

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POST GRADO  
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA APLICADA**



**“EVALUACIÓN DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS EN SISTEMAS  
SOCIAL ECOLÓGICOS AFECTADOS POR LA MINERÍA ALUVIAL  
EN MADRE DE DIOS”**

**Presentada por:**

**CYNTHIA FIORELLA GÓMEZ AGURTO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN ECOLOGÍA APLICADA**

**Lima - Perú**

**2012**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
ESCUELA DE POST GRADO**

**“EVALUACIÓN DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS EN SISTEMAS  
SOCIAL ECOLÓGICOS AFECTADOS POR LA MINERÍA ALUVIAL  
EN MADRE DE DIOS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
MAGISTER SCIENCE EN ECOLOGÍA APLICADA**

**Presentada por:**

**CYNTHIA FIORELLA GÓMEZ AGURTO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente Jurado:**

**Mg. Sc. MERCEDES FLORES**

**Presidente del Jurado**

**Mg. Sc. EFRAÍN MALPARTIDA**

**Miembro del jurado**

**Mg. Sc. ZULEMA QUINTEROS**

**Miembro del jurado**

**Dr. EDGAR SÁNCHEZ**

**Patrocinador**

**Lima – Perú**

**27 de Diciembre de 2012**

## **DEDICATORIA**

A Dios, que me guía y me permite ofrecer este trabajo.

A Matías y toda mi familia.

A mamá y mis abuelos, que me cuidan desde el cielo.

A los pobladores de Madre de Dios.

A todas las personas que brindaron apoyo a esta investigación.

## **AGRADECIMIENTO**

Muchas personas e instituciones colaboraron para hacer posible este estudio.

Agradecimientos especiales a:

- Mi familia, por su invaluable apoyo.
- Mi patrocinador de tesis, por su soporte y confianza.
- El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – CONCYTEC por el financiamiento de la presente investigación a través de una beca de maestría.
- Christopher D. Knightes, de la división de investigación en ecosistemas de la agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), por su orientación en la aplicación del modelo SERAFM, y John Meech, por su apoyo con el sistema experto HgEx.
- Representantes del SERNANP y de la mesa de concertación para el ordenamiento minero de Madre de Dios, por la retroalimentación brindada.
- Los mineros artesanales de APAYLOM y del río Madre de Dios por su apertura durante la visita a campo.



# ÍNDICE GENERAL

|  |    |
|--|----|
| Carátula   | 1  |
| Presentación   | 2  |
| Dedicatoria  | 3  |
| Agradecimiento   | 4  |
| Índice General   | 5  |
| Índice de Anexos   | 9  |
| Índice de Cuadros  | 12 |
| Índice de Figuras  | 13 |
| Resumen  | 17 |
| Abstract   | 18 |
| <br>   |    |
| I. Introducción  | 19 |
| II. Revisión de literatura   | 21 |
| 2.1. Antecedentes  | 21 |
| 2.1.1. La minería aluvial y sus impactos en la Amazonía                              | 21 |
| 2.1.2. Estado del arte de las investigaciones sobre minería aluvial en Madre de Dios | 32 |
| a) Sobre la región   | 32 |
| b) Sobre las concesiones mineras en las cuencas de la región                         | 32 |
| c) Sobre las actividades mineras   | 33 |
| d) Sobre los impactos ambientales  | 35 |
| e) Sobre la formalización  | 40 |
| f) Sobre la organización de los mineros  | 42 |
| g) Sobre los conflictos socioambientales   | 43 |
| 2.1.3. Panorama de la conflictividad social en Perú                                  | 45 |
| 2.1.4. Estado del arte de las investigaciones sobre el mercurio                      | 48 |
| a) Concentraciones normales de mercurio en el ambiente                               | 48 |
| b) Factores determinantes de la toxicidad del mercurio                               | 49 |
| c) Distribución del mercurio en el ambiente (toxicodinámica)                         | 51 |
| d) Toxicocinética del mercurio   | 55 |
| e) Sintomatología y tratamiento  | 59 |
| f) Interacciones y sinergias   | 60 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| g)     | Indicadores toxicológicos de límites de exposición  | 62  |
| h)     | Mercurio en la Amazonía   | 63  |
|        | • En sedimentos   | 63  |
|        | • En agua   | 65  |
|        | • En peces  | 66  |
| i)     | Mercurio en organismos sensibles y bioindicadores   | 69  |
|        | • En plantas  | 70  |
|        | • En bentos e invertebrados en general  | 70  |
|        | • En humanos  | 71  |
|        | • En felinos  | 73  |
|        | • En reptiles   | 73  |
|        | • En lobos de río   | 74  |
| 2.2.   | Marco teórico   | 79  |
| 2.2.1. | La investigación desde una perspectiva de manejo adaptativo                                   | 79  |
| 2.2.2. | El enfoque de medios de vida sostenibles como herramienta de evaluación del manejo adaptativo | 87  |
| 2.2.3. | La estadística no convencional aplicada al manejo adaptativo                                  | 90  |
| a)     | Estadística bayesiana   | 90  |
| b)     | Simulación probabilística - Montecarlo  | 92  |
| c)     | Criterios $6\sigma$ para la determinación de límites aceptables de cambio                     | 94  |
| d)     | Cadenas de Markov y probabilidades de transición  | 98  |
| e)     | Lógica difusa y estadística posibilística   | 100 |
| III.   | Materiales y métodos  | 104 |
| 3.1.   | Lugar de ejecución  | 104 |
| 3.2.   | Materiales y equipos  | 106 |
| 3.3.   | Métodos de análisis   | 108 |
| 3.5.1. | Modelamiento de la respuesta del ecosistema   | 111 |
| a)     | Análisis de riesgos causados por el mercurio  | 111 |
|        | • La revisión del modelo conceptual   | 111 |
|        | • El análisis de la exposición  | 112 |
|        | • El análisis de la toxicidad   | 114 |
|        | • La caracterización del riesgo   | 116 |
|        | • El análisis de sensibilidad y escenarios  | 118 |

|   |     |
|---|-----|
| • El análisis de incertidumbre  | 119 |
| b) Modelamiento con SERAFM  | 120 |
| 3.5.2. Modelamiento del manejo adaptativo   | 122 |
| a) Análisis de escenarios con HgEx  | 122 |
| 3.5.3. Análisis de la resiliencia   | 128 |
| a) Identificación de los asuntos de interés   | 129 |
| b) Identificación de los componentes del sistema social – ecológico: ¿resiliencia de qué? | 129 |
| c) Identificación de disturbancias e incertidumbres: ¿resiliencia a qué?                  | 129 |
| d) Identificación de las múltiples escalas espaciales y temporales                        | 129 |
| e) Desarrollo del modelo conceptual del ciclo adaptativo                                  | 130 |
| f) Identificación de estados alternativos   | 130 |
| g) Análisis de umbrales y transiciones  | 131 |
| h) Análisis de la interacción entre escalas   | 131 |
| i) Análisis de la interacción entre umbrales y cambios de escala                          | 131 |
| j) Síntesis de la resiliencia general y específica  | 131 |
| k) Análisis de la gobernanza y las instituciones  | 132 |
| l) Análisis de las redes sociales entre actores   | 133 |
| m) Síntesis del análisis de la resiliencia  | 133 |
| n) Evaluación de la transformación  | 134 |
| IV. Resultados y discusiones  | 135 |
| 4.1. Resultados del modelamiento de la respuesta del ecosistema                           | 135 |
| 4.1.1. Análisis de riesgos causados por el mercurio                                       | 136 |
| • Revisión del modelo conceptual  | 136 |
| • Análisis de la exposición   | 137 |
| • Análisis de la toxicidad  | 141 |
| • Caracterización del riesgo  | 143 |
| • Análisis de sensibilidad y escenarios   | 147 |
| • Análisis de incertidumbre   | 147 |
| 4.1.2. Modelamiento con SERAFM  | 148 |
| 4.2. Resultados del modelamiento del manejo adaptativo                                    | 151 |
| 4.2.1. Análisis de escenarios con HgEx  | 152 |
| 4.3. Análisis de la resiliencia   | 156 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.1. Identificación de los asuntos de interés   | 156 |
| 4.3.2. Identificación de los componentes del sistema social ecológico: ¿resiliencia de qué? | 157 |
| 4.3.3. Identificación de perturbaciones e incertidumbres: ¿resiliencia a qué?               | 161 |
| 4.3.4. Identificación de las múltiples escalas espaciales y temporales                      | 165 |
| a) Era de la configuración (1900-1929)  | 166 |
| b) Era del descubrimiento (1930-1960)   | 168 |
| c) Era de la organización (1961-1990)   | 169 |
| d) Era de la legalización (1991- 2002)  | 171 |
| e) Era de la transformación (2002 en adelante)  | 173 |
| 4.3.5. Desarrollo del modelo conceptual del ciclo adaptativo                                | 183 |
| 4.3.6. Identificación de estados alternativos   | 195 |
| 4.3.7. Análisis de umbrales y transiciones  | 210 |
| 4.3.8. Análisis de la interacción entre escalas   | 212 |
| 4.3.9. Análisis de la interacción entre umbrales y cambios en cascada                       | 215 |
| 4.3.10. Síntesis de la resiliencia general y específica                                     | 216 |
| 4.3.11. Análisis de la gobernanza y las instituciones                                       | 218 |
| 4.3.12. Análisis de las redes sociales entre actores  | 227 |
| 4.3.13. Síntesis del análisis de la resiliencia   | 230 |
| 4.3.14. Evaluación de la transformación   | 233 |
| V. Conclusiones   | 235 |
| 5.1. Acerca de la hipótesis de la investigación   | 235 |
| 5.2. Acerca del objetivo principal de la investigación                                      | 235 |
| 5.3. Acerca de los objetivos específicos de la investigación                                | 236 |
| a) Caracterización de escenarios con SERAFM, @risk y HgEx                                   | 237 |
| b) Resiliencia del sistema  | 238 |
| a) Modelo conceptual de la dinámica del sistema   | 242 |
| c) Análisis de escenarios alternativos con cadenas de Markov                                | 243 |
| VI. Recomendaciones   | 245 |
| VII. Referencias bibliográficas   | 247 |
| VIII. Anexos  | 291 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| Anexo A: Mercurio en ambientes amazónicos   | 291 |
| Anexo B: Valores de NOAEL y LOAEL de mercurio   | 292 |
| Anexo C: Valores límite de mercurio según guías y normas internacionales  | 294 |
| Anexo D: Estándares de calidad ambiental para agua según normativa nacional (D.S. 002-2008-MINAM)                 | 296 |
| Anexo E: Límites máximos permisibles establecidos por la normatividad nacional relevante para la actividad        | 297 |
| Anexo F: Calidad del suelo en Madre de Dios – 1997.   | 298 |
| Anexo G: Mercurio en sedimentos del río Malinowski  | 299 |
| Anexo H: Calidad del agua en Madre de Dios - 1996   | 300 |
| Anexo I: Mercurio en agua de la cuenca del río Malinowski   | 301 |
| Anexo J: Concentraciones de mercurio en agua 2000 - 2006  | 302 |
| Anexo K: Calidad del agua en ambientes extremos   | 307 |
| Anexo L: Calidad del agua en Madre de Dios - 2007   | 308 |
| Anexo M: Mercurio en peces amazónicos entre 1977 y 1995   | 309 |
| Anexo N: Mercurio en peces del río Madeira – promedio histórico por especie y hábito alimenticio                  | 310 |
| Anexo O: Mercurio en peces de Madre de Dios en 1992   | 311 |
| Anexo P: Mercurio en peces de Madre de Dios en 1993   | 312 |
| Anexo Q: Mercurio en peces de Madre de Dios en 1995   | 313 |
| Anexo R: Mercurio en peces del río Malinowski - 2002  | 314 |
| Anexo S: Mercurio en peces de Madre de Dios en 2009   | 315 |
| Anexo T: Caracterización de <i>Melanosuchus niger</i>   | 316 |
| Anexo U: Mercurio en lobos de río del hemisferio norte  | 319 |
| Anexo V: Caracterización de <i>Pteronura brasiliensis</i>   | 320 |
| Anexo W: Resultados detallados de la modelación de la respuesta del ecosistema ante la contaminación por mercurio | 325 |
| a) Resumen de datos multianuales  | 325 |
| b) Análisis determinístico del riesgo por mercurio en la cadena trófica acuática                                  | 327 |
| • Datos de entrada – Agua   | 327 |

|  |     |
|--|-----|
| • Datos de entrada – Peces   | 332 |
| • Datos de entrada – Sedimentos  | 337 |
| • Datos de entrada – Heces de <i>Pteronura brasiliensis</i>                      | 338 |
| • Datos resumidos HgT  | 338 |
| • Dosis suministrada y Riesgo de Cáncer – HgT                                    | 340 |
| • Factores de bioacumulación y biomagnificación – HgT                            | 344 |
| • Factores de bioacumulación biota sedimentos (y heces) – HgT                    | 345 |
| • Cociente de riesgo (HQ) – HgT  | 346 |
| • Valor criterio de protección – HgT   | 347 |
| • Datos resumidos MeHg   | 348 |
| • Dosis suministrada y Riesgo de Cáncer – MeHg                                   | 350 |
| • Factores de bioacumulación y biomagnificación – MeHg                           | 354 |
| • Factores de bioacumulación biota sedimentos (y heces) – MeHg                   | 355 |
| • Cociente de riesgo (HQ) – MeHg   | 356 |
| • Valor criterio de protección – MeHg  | 357 |
| c) Análisis probabilístico del riesgo por mercurio en la cadena trófica acuática | 359 |
| • Dosis suministrada y Riesgo de Cáncer – HgT                                    | 359 |
| • Factores de bioacumulación HgT   | 365 |
| • Factores de biomagnificación HgT   | 367 |
| • Factores de bioacumulación biota sedimentos (y heces) – HgT                    | 368 |
| • Cociente de riesgo (HQ) – HgT  | 381 |
| • Valor criterio de protección – HgT   | 387 |
| • Dosis suministrada y Riesgo de Cáncer – MeHg                                   | 393 |
| • Factores de bioacumulación – MeHg  | 399 |
| • Factores de biomagnificación – MeHg  | 401 |
| • Factores de bioacumulación biota sedimentos – MeHg                             | 402 |
| • Cociente de riesgo (HQ) – MeHg   | 414 |
| • Valor criterio de protección – MeHg  | 420 |
| d) Límites Aceptables de Cambio (LAC)  | 426 |
| • En agua  | 426 |
| • En peces   | 432 |

|   |     |
|---|-----|
| • En sedimentos   | 441 |
| e) Escenarios modelados con SERAFM  | 446 |
| • Escenario actual  | 447 |
| • Escenario actual con distribución normal  | 470 |
| • Escenario optimista   | 476 |
| • Escenario pesimista   | 482 |
| f) Resultados detallados de los escenarios modelados con SERAFM   | 488 |
| • Escenario actual  | 488 |
| ○ Entradas  | 488 |
| ○ Salidas   | 489 |
| • Escenario actual con distribución normal  | 495 |
| ○ Entradas  | 495 |
| ○ Salidas   | 496 |
| • Escenario optimista   | 502 |
| ○ Entradas  | 502 |
| ○ Salidas   | 503 |
| • Escenario pesimista   | 509 |
| ○ Entradas  | 509 |
| ○ Salidas   | 510 |
| Anexo X: Datos de entrada para la aplicación del software HgEx “Expert system for risk assessment of mercury discharge from gold mining operations” | 516 |
| Anexo Y: Análisis estadístico de los capitales de los medios de vida en las diferentes eras de manejo   | 523 |
| a) Resultados del análisis de componentes principales con el software Past  | 523 |
| b) Resultados del análisis de similaridad (ANOSIM) con el software Past   | 525 |
| c) Resultados del análisis de clusters con el software Past   | 525 |
| • Cluster analysis – Euclidean distance – Constrained   | 525 |
| • Cluster analysis – Ward’s method  | 526 |
| • Cluster analysis – Ward’s method – Constrained  | 526 |
| • Cluster analysis – K means clustering   | 526 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Cuadro 1: Producción de oro y cantidad de mineros artesanales en Sudamérica.  | 21  |
| Cuadro 2: Producción de oro y cantidad de mercurio liberado al ambiente en la zona minera de Madre de Dios.           | 23  |
| Cuadro 3: Producción de oro en Madre de Dios 1990 – 2002.   | 23  |
| Cuadro 4: Producción de oro por cuencas en Madre de Dios, 1995 – 2007.  | 24  |
| Cuadro 5: Matriz de evaluación de impactos ambientales de la minería en MDD.  | 38  |
| Cuadro 6: Datos de entrada para calibrar el “Forest fire model”.  | 49  |
| Cuadro 7: Vida media de las especies químicas de mercurio en el organismo.  | 59  |
| Cuadro 8: Evaluación de aspectos sociales en el escenario actual.   | 152 |
| Cuadro 9: Resumen de temáticas clave en el sistema evaluado.  | 157 |
| Cuadro 10: Actores y usos directos de los recursos naturales en Madre de Dios.  | 158 |
| Cuadro 11: Actores y usos indirectos de los recursos naturales en Madre de Dios.                                      | 159 |
| Cuadro 12: Mapeo de perturbaciones actuales o históricas del sistema social-ecológico.                                | 161 |
| Cuadro 13: Mapeo de perturbaciones previstas, potenciales o futuras del sistema social-ecológico.                     | 163 |
| Cuadro 14: Factores de escalas mayores y menores que influyen en la minería aluvial.                                  | 166 |
| Cuadro 15: Valoración cuantitativa de los capitales identificados con el enfoque de medios de vida sostenibles (MVS). | 185 |
| Cuadro 16: Valoración cualitativa de los capitales identificados con el enfoque de medios de vida sostenibles (MVS).  | 189 |
| Cuadro 17: Evolución de estados alternativos del sistema.   | 197 |
| Cuadro 18: Relación estimada del costo e impacto ambiental en medios de vida alternativos.                            | 205 |
| Cuadro 19: Análisis de la probabilidad de exceder umbrales.   | 210 |
| Cuadro 20: Análisis de la resiliencia según atributos del sistema.  | 217 |
| Cuadro 21: Análisis de la flexibilidad generada por la toma de decisiones.  | 220 |
| Cuadro 22: Evaluación de los niveles de toma de decisiones.   | 220 |
| Cuadro 23: Evaluación del cumplimiento normativo.   | 221 |
| Cuadro 24: Mapeo de relaciones de poder y conflictos.   | 225 |
| Cuadro 25: Estrategias para incrementar la resiliencia.   | 232 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Tendencias de la producción de oro entre los años 1900 y 2000.  | 22 |
| Figura 2: Ciclos de la producción de oro entre los años 1840 y 2000.  | 22 |
| Figura 3: Evolución del precio internacional del oro de 1987 al 2007.   | 25 |
| Figura 4: Evolución del precio internacional del oro en miles de soles por Kg. de oro, entre 1990 y el 2010.  | 25 |
| Figura 5: Evolución de la producción de oro en Madre de Dios, y su valor entre 1995 y 2007.   | 26 |
| Figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11: Métodos de obtención del oro utilizados en minería aluvial, de menor a mayor nivel de intensificación.                           | 27 |
| Figura 12: Mercurio mezclándose con el agua.  | 28 |
| Figuras 13, 14 y 15: Manipulación directa del mercurio durante la amalgamación.   | 28 |
| Figura 16: Refogeo del azogue al aire libre.  | 29 |
| Figuras 17 y 18: Concentrado de oro obtenido por proceso artesanal.   | 29 |
| Figura 19: Ciclo de procesamiento del oro.  | 30 |
| Figura 20: Balance de mercurio durante la producción de oro.  | 31 |
| Figura 21: Actividad minera en las cuencas de Madre de Dios.  | 33 |
| Figuras 22 y 23: Diseño básico de las retortas.   | 34 |
| Figura 24: Evolución de la deforestación en las microcuencas Huepetuhe – Caychive 1986 - 2008.  | 36 |
| Figura 25: Tendencia exponencial de la deforestación en las microcuencas Huepetuhe - Caychive.  | 36 |
| Figuras 26 y 27: Colector o filtro de aire para tiendas de comercialización de oro.   | 40 |
| Figuras 28 y 29: Eco – 100v de la empresa Smallvill SAC.  | 40 |
| Figuras 30 y 31: A la izquierda regeneración natural. A la derecha programa de restauración ambiental en Huepetuhe.   | 41 |
| Figura 32: Flujo comercial del oro al 2008.   | 43 |
| Figuras 33, 34 y 35: Mapas de superposición de los derechos mineros.  | 44 |
| Figura 36: Campos de estabilidad (Eh-pH) para especies acuosas de mercurio sin considerar la materia orgánica en solución.                                    | 52 |
| Figuras 37, 38, 39 y 40: Cambios en los campos de estabilidad (Eh-pH) para especies acuosas de mercurio cuando se considera la materia orgánica en solución . | 53 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 41: Acción de la metilcobalamina en la metilación del mercurio.  | 54  |
| Figura 42: Proceso de absorción, distribución, metabolismo y excreción (LADME) para el mercurio.                    | 56  |
| Figura 43: Modelo toxicocinético de eliminación de Cember.  | 58  |
| Figura 44: Curva teórica dosis – respuesta en relación al % de población.   | 62  |
| Figura 45: Biomagnificación del mercurio en la cadena trófica.  | 70  |
| Figura 46: Interacción de ciclos adaptativos en panarquía.  | 79  |
| Figura 47: Cambio del sistema para la sostenibilidad.   | 80  |
| Figura 48: Esquemización de la resiliencia y los estados alternativos.  | 81  |
| Figura 49: Esquema de la topología de dos dominios de atracción mostrando.  | 81  |
| Figura 50: Efecto de las perturbaciones en el estado del sistema.   | 82  |
| Figura 51: Esquema bidimensional del ciclo adaptativo.  | 83  |
| Figura 52: Esquema tridimensional del ciclo adaptativo.   | 83  |
| Figura 53: Trampa de la pobreza en un sistema complejo.   | 84  |
| Figura 54: Trampa de la rigidez en un sistema complejo.   | 84  |
| Figura 55: Variación de la resiliencia durante el ciclo adaptativo.   | 85  |
| Figura 56: Marco conceptual de los medios de vida sostenibles.  | 86  |
| Figura 57: Teorema de Bayes en su forma original.   | 91  |
| Figura 58: Impacto de la introducción de probabilidades en el modelo.   | 93  |
| Figuras 59 y 60: Toma de números aleatorios con muestreo Montecarlo y su variación, el muestreo latino hipercúbico. | 94  |
| Figura 61: Límites de control.  | 95  |
| Figuras 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, y 69: Criterios de evaluación.  | 96  |
| Figura 70: Criterios para monitorear la estabilidad de un proceso.  | 97  |
| Figuras 71 y 72: Representación de una cadena de Markov y su respectiva matriz de transición.                       | 98  |
| Figura 73: Representación de una cadena de Markov absorbente.   | 99  |
| Figura 74: Ejemplo de una función de pertenencia.   | 101 |
| Figura 75: Mapa de ubicación de la región Madre de Dios en Perú.  | 104 |
| Figura 76: Foto aérea del impacto de la actividad minera en Huepetuhe.  | 105 |
| Figura 77: Etapas del desarrollo de la tesis.   | 109 |
| Figura 78: Metodología para el desarrollo de la tesis.  | 110 |
| Figura 79: Estructura del sistema experto HgEx.   | 123 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 80: Ecuación del potencial de bioacumulación.   | 124 |
| Figura 81: Ecuación del factor $\alpha$ .  | 124 |
| Figura 82: Elementos del factor $\alpha$ .   | 124 |
| Figura 83: Variación del DoB HEF según factor $\alpha$ .   | 125 |
| Figura 84: Variación del DoB pbr según DoB HEF.  | 125 |
| Figura 85: Puntos de control solicitados por HgEx.   | 127 |
| Figura 86: Ecuación del proceso de revisión del DoB PBR.   | 127 |
| Figura 87: Sistema de adaptación del sistema experto HgEx.   | 128 |
| Figura 88: Clasificación de stakeholders.  | 132 |
| Figura 89: Modelo de gestión de conflictos.  | 133 |
| Figura 90: Ciclo biogeoquímico del mercurio en un ecosistema acuático.   | 137 |
| Figura 91: Mapa de ordenamiento de la minería en Madre de Dios.  | 175 |
| Figura 92: Línea de tiempo considerando conflictos con enfrentamiento y variaciones de la normativa.   | 179 |
| Figura 93: Ciclo adaptativo del sistema social – ecológico afectado por la minería informal en Madre de Dios.  | 180 |
| Figura 94: Evolución de los capitales durante el ciclo adaptativo de la “fiebre del oro”.  | 188 |
| Figuras 95, 96, 97, 98 y 99: Estado de los capitales en cada una de las eras de manejo del sistema social ecológico afectado por la minería aluvial. | 184 |
| Figura 100: Mapa conceptual de la dinámica e impactos de la minería en Madre de Dios.  | 192 |
| Figura 101: Atractores en la dinámica de la minería aluvial.   | 200 |
| Figuras 102 a la 115: Evaluación del escenario conservador mediante cadenas de Markov.   | 202 |
| Figura 116: Probabilidad de ocurrencia de minería informal en el escenario conservador.  | 204 |
| Figura 117: Probabilidad de ocurrencia de minería formal en el escenario conservador.  | 204 |
| Figura 118: Probabilidad de ocurrencia de medios de vida sostenibles en el escenario conservador.  | 205 |
| Figura 119: Variación del costo de la actividad humana en el escenario conservador.  | 206 |
| Figura 120 y 121: Evaluación del escenario optimista mediante cadenas de Markov.   | 207 |
| Figura 122: Probabilidad de ocurrencia de minería informal en el escenario optimista.  | 207 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 123: Probabilidad de ocurrencia de minería formal en el escenario optimista.   | 208 |
| Figura 124: Probabilidad de ocurrencia de medios de vida sostenibles el escenario optimista.  | 208 |
| Figura 125: Costo de las actividades humanas en el escenario optimista.   | 209 |
| Figuras 126 y 127: Evaluación del escenario pesimista mediante cadenas de Markov.   | 209 |
| Figura 128: Efectos de la panarquía en el sistema estudio.  | 213 |
| Figura 129: Mecanismos principales de influencia de en ciclos adaptativos de otras escalas.   | 214 |
| Figura 130: Análisis de interacción entre variables clave de los umbrales de cambio.  | 215 |
| Figura 131: Actores en el sistema social-ecológico afectado por la minería aluvial.   | 219 |
| Figura 132: Intereses y temores de los principales actores de la minería artesanal.   | 224 |
| Figura 133: Maneras de focalizar la resolución de conflictos.   | 227 |
| Figura 134: Análisis de las redes sociales y relaciones entre stakeholders.   | 228 |
| Figura 135: Mapa conceptual del funcionamiento del sistema social-ecológico.  | 231 |
|   |     |
| Figuras del Anexo T:  |     |
| Figura T1: Distribución de <i>Melanosuchus niger</i> .  | 316 |
| Figura T2: Vista de cuerpo entero de <i>Melanosuchus niger</i> .  | 317 |
| Figura T3: Caimán negro hembra, cuidando su nido.   | 318 |
|   |     |
| Figuras del Anexo V:  |     |
| Figura V1: Vista de cuerpo entero de <i>Pteronura brasiliensis</i> .  | 320 |
| Figura V2: Reducción de <i>Pteronura brasiliensis</i> en el departamento de Madre de Dios (presencia original vs presencia la década del noventa. | 321 |
| Figuras V3 y V4: Madrigueras típicas de <i>Pteronura brasiliensis</i> .   | 322 |
| Figura V5: Letrina de <i>Pteronura brasiliensis</i> con restos de escamas.  | 322 |
| Figura V6: Grupo familiar de <i>Pteronura brasiliensis</i> .  | 323 |
| Figura V7: Crías de <i>Pteronura brasiliensis</i> .   | 324 |

## RESUMEN

Este estudio analiza las dinámicas de los últimos cien años en el sistema social ecológico afectado por la minería de oro en Madre de Dios, así como los impactos a la salud por la liberación de mercurio. Se utilizó la metodología de análisis de riesgos toxicológicos propuesta por el National Research Council (1983) pero adicionando un análisis probabilístico de la información histórica mediante la simulación Montecarlo con @Risk. La hoja de cálculo “SERAFM” de la U.S.E.P.A. permitió modelar escenarios alternativos de la respuesta del ecosistema y el sistema experto “HgEx” facilitó la realización de una evaluación posibilística de los escenarios de manejo en relación al impacto por mercurio. Asimismo, se utilizó la metodología de la Alianza para la Resiliencia, cadenas de Markov y análisis de stakeholders para evaluar el pasado, presente y futuro del sistema.

Se encontró que la bioacumulación y biomagnificación de metilmercurio en el sistema es creciente y difícilmente reversible en el corto y mediano plazo. En el escenario optimista, a pesar de la implementación de mejores medidas de manejo y de la reducción de los niveles de intensificación tecnológica, los efectos ecosistémicos se persisten. Si la trayectoria del sistema se mantiene es posible que se consoliden estados degenerativos. El atractor del escenario actual tiene gran resistencia.

El análisis de la resiliencia permitió además identificar las eras de manejo, fases y estados del ciclo adaptativo, así como los procesos de diferentes escalas que influyen en el sistema. Se encontró que las variables clave son el precio del oro, la tasa de migración, el nivel de intensificación de la actividad, el nivel de contaminación por mercurio y el nivel de gobernanza, siendo este último el que es necesario desarrollar para que el sistema no tienda hacia el escenario pesimista, salga de la trampa de la pobreza y se reconfigure de tal modo que se promueva la remediación ambiental, el desarrollo de capitales para la sostenibilidad, la reducción de la corrupción y el incremento de la resiliencia. Se propone desarrollar un programa de monitoreo de largo plazo así como plantear nuevas estrategias de manejo y de negociación en base a los aprendizajes históricos relevados en este estudio.

**Palabras clave:** Madre de Dios, minería de oro, formalización, riesgo toxicológico, resiliencia, medios de vida, estados alternativos, SERAFM, HgEx, cadenas de Markov.

## ABSTRACT

This study analyzes the dynamics of the last hundred years in the social ecological system affected by gold mining in Madre de Dios, and the health impacts of mercury releases. The methodology proposed by the National Research Council (1983) was used in the toxicological analysis but adding a probabilistic analysis of the historical data with a Monte Carlo simulation using @Risk. The U.S.E.P.A.'s spreadsheet "SERAFM" permitted to model alternative scenarios of the ecosystem response, and the expert system "HgEx" facilitated a possibilistic assessment of the management scenarios regarding the impact of mercury. Furthermore, the Resilience Alliance methodology, Markov chains and stakeholder analysis were used to assess the past, present and future of the system.

We found that the bioaccumulation and biomagnification of methylmercury in the system is growing and is difficult to reverse in the short and medium term. In the optimistic scenario, despite the implementation of better management measures and the reduction of the levels of technological intensification, the effects in the ecosystem persist. If the trajectory of the system does not change, degenerative conditions could be consolidated. The attractor in the current scenario has great endurance.

The resilience analysis also allowed identifying management eras, phases and states of the adaptive cycle and processes of different scales that influence the system. We found that the key variables are the gold price, the migration rate, the level of increase of the activity, the level of mercury contamination and the level of governance. The latter is the one that needs to be developed so that the system does not tend towards the pessimistic scenario, can exit the poverty trap and is reconfigured so as to promote environmental remediation, capital development for sustainability, the reduction of corruption and the increase of the resilience. It is proposed to develop a long-term monitoring program and new management and negotiation strategies based on the historical learning analyzed in this study.

**Keywords:** Madre de Dios, gold mining, formalization, toxicological risk, resilience, livelihoods, alternative states, SERAFM, HgEx, Markov chains.

## I. INTRODUCCIÓN

En la Amazonía los *booms* extractivos (por caucho, petróleo, madera, drogas, y desde luego, minerales) han estructurado ciclos económicos que, mientras duraron, generaron un gran movimiento comercial, la apertura de nuevas vías de comunicación y el incremento de la migración, pero que han significado a la vez, impactos ambientales y sociales acumulativos, los que en raras ocasiones han sido tomados en cuenta por las políticas públicas nacionales, regionales y locales.

Los impactos causados por la actividad minera aluvial en Madre de Dios datan ya de varias décadas y a raíz de la creación del Ministerio del Ambiente, el departamento fue declarado en Emergencia Ambiental. Teniendo en cuenta que la región es la tercera productora de oro en el Perú y que existen diversos actores con conflictos de intereses, no es de extrañar que el ordenamiento territorial propuesto por el citado Ministerio haya desatado extensas discusiones.

Desde el 2009, por primera vez en la historia del país, se está trabajando interinstitucionalmente para encontrar alternativas ante el *boom* de la minería informal. Sin embargo aún existen importantes conflictos de interés alrededor de esta actividad debido a que también representa un medio de vida para los pobladores locales (la mayoría de ellos migrantes). Esta tesis pretende probar la siguiente hipótesis en Madre de Dios: “*La intensificación de la minería informal y los conflictos socioambientales están reduciendo la resiliencia del sistema social ecológico y propiciando la transición hacia estados degenerativos*”.

Los tomadores de decisiones necesitan herramientas que les permitan vislumbrar escenarios con la finalidad de planificar con enfoque adaptativo, gestionar mejor la incertidumbre y negociar. Si bien existen excelentes estudios de diagnóstico, es necesario integrar la información desarrollada desde los diferentes campos del conocimiento y utilizar herramientas más flexibles en la prognosis, como los modelos de lógica difusa.

En este estudio se realiza un análisis de riesgos con información histórica para estimar el impacto a la salud y al ambiente de una de las principales consecuencias de la

actividad minera informal: la emisión del mercurio, y luego se aplica un sistema experto desarrollado en base a la experiencia brasilera, con la finalidad de analizar con lógica difusa, los posibles escenarios en los que se deberá gestionar espacio. Esto, como parte de la metodología de análisis de la resiliencia propuesta por Walker (2002), permitirá plantear propuestas y políticas más realistas, así como identificar los recursos necesarios para llevarlas a cabo.

Asimismo, analizar el pasado bajo la óptica de los ciclos adaptativos permitirá utilizar la memoria del sistema social ecológico con fines constructivos, e identificar escenarios indeseables, los cuales sólo podrán evitarse tomando decisiones asertivas en etapas de cambios abruptos, como la que se presenta actualmente.

Desde el punto de vista metodológico el objetivo principal de la presente investigación es: “Identificar los estados alternativos más probables del sistema social ecológico de la minería aluvial en Madre de Dios, en base a los escenarios modelados”. Y los objetivos específicos son:

- Caracterizar el escenario actual mediante el análisis de riesgos y los escenarios futuros a través de la aplicación de los modelos SERAFM con @risk y HgEx, basados en probabilidades y lógica difusa respectivamente.
- Realizar el análisis de la resiliencia tomando como base la lógica del manejo adaptativo (Holling, 1973 y seguidores).
- Desarrollar un modelo conceptual para la dinámica del sistema con apoyo del software Stella.
- Identificar escenarios alternativos con cadenas de Markov.

Se espera que este documento sirva también como línea de base para futuros programas de monitoreo, planes maestros y demás instrumentos estratégicos de gestión del territorio. Y, que la metodología propuesta sea difundida de tal modo que los escenarios puedan actualizarse cuando exista evidencia de la influencia de nuevos factores y patrones en las respuestas de los sistemas social-ecológicos, relacionados por ejemplo: al cambio climático, cambio de intereses en las negociaciones, política internacional, desastres, etc.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES

#### 2.1.1. LA MINERÍA ALUVIAL Y SUS IMPACTOS EN LA AMAZONÍA

Hay reportes de minería pequeña y artesanal en la Amazonía sudamericana desde los años 1600, pero en realidad data por lo menos de la época de la colonia. Sin embargo, desde mediados del siglo pasado su peligrosidad se ha incrementado. Y es que el uso de mercurio se ha hecho masivo y las extensiones abarcadas son cada vez mayores.

Una proporción importante de la población amazónica se encuentra involucrada en esta actividad. Como referencia, en 1997, Veiga reportó más de 1 millón de mineros artesanales, con una producción anual de oro cercana a 200 toneladas, como se observa en el Cuadro 1. GRADE encontró que solamente en la cuenca del río Madre de Dios habían 30 000 mineros en 1994. Estas cifras pueden estar subestimadas dada la estacionalidad de la actividad y las dificultades para su formalización y por ende para su seguimiento.

**CUADRO 1: Producción de oro y cantidad de mineros artesanales en Sudamérica.**

| País                  | TM oro  | # mineros (en miles) |
|-----------------------|---------|----------------------|
| <b>Brasil</b>         | 30 – 50 | 200 - 400            |
| <b>Colombia</b>       | 20- 30  | 100 - 200            |
| <b>Perú</b>           | 20 – 30 | 100 - 200            |
| <b>Ecuador</b>        | 10 - 20 | 50 - 80              |
| <b>Venezuela</b>      | 10 – 15 | 30 - 40              |
| <b>Suriname</b>       | 5 – 10  | 15 - 30              |
| <b>Bolivia</b>        | 5 – 7   | 10 - 20              |
| <b>México</b>         | 4 – 5   | 10 - 15              |
| <b>Chile y Guyana</b> | 3 – 5   | 6 - 10               |

FUENTE: Veiga (1997).

Los niveles de producción han ido variando en función a los oscilantes precios del oro pero la tendencia principal ha sido creciente. En la Figura 1 y la Figura 2 se aprecia la variación de la producción de oro en el último siglo.



**FIGURA 1: Tendencias de la producción de oro entre los años 1900 y 2000.**

FUENTE: Oroyfinanzas.com (en línea).



**FIGURA 2: Ciclos de la producción de oro entre los años 1840 y 2000.**

FUENTE: Chaize (en línea).

En Perú, factores coadyuvantes para el incremento de la producción han sido por ejemplo: la mayor accesibilidad a los placeres auríferos, los vaivenes de las políticas estatales que regulan la minería aluvial y su formalización, la formación de “clusters”, la

disponibilidad de nuevas tecnologías para la extracción y la coyuntura socio-política del país que movilizó colonos desde la sierra (Arriarán y Gómez, 2006).

En el Cuadro 2 se aprecia la cantidad de mercurio liberado al agua en relación a los kilogramos de oro producidos en Madre de Dios reportados entre 1987 y 1994. Esto se complementa con el Cuadro 3 que indica la cantidad de oro producida desde 1990 hasta el 2002, período para el cual no se tiene estimaciones de la cantidad de mercurio liberada. El Cuadro 4 sintetiza las cantidades de oro producidas del 1995 al 2007 por cuencas en base la información de Mosquera et al. (2009).

**CUADRO 2: Producción de oro y cantidad de mercurio liberado al ambiente en la zona minera de Madre de Dios.**

| Año  | Oro producido (Kg) | Ingreso de Hg (Kg) al agua |
|------|--------------------|----------------------------|
| 1987 | 1560               | 2028                       |
| 1988 | 1976               | 2608                       |
| 1989 | 1272               | 1680                       |
| 1990 | 6500               | 8580                       |
| 1991 | 6500               | 8580                       |
| 1992 | 15215              | 14800                      |
| 1993 | 16525              | 14900                      |
| 1994 | 18999              | 16000                      |

FUENTE: Deza (1997), en base al anuario de 1995 de la Dirección Regional de Energía y Minas, y a datos del IMA (1994).

**CUADRO 3: Producción de oro en Madre de Dios 1990 – 2002.**

| Año  | Oro producido (Kg) |
|------|--------------------|
| 1990 | 6500               |
| 1991 | 6500               |
| 1992 | 7500               |
| 1993 | 9600               |
| 1994 | 9600               |
| 1995 | 9600               |

| Año  | Oro producido (Kg) |
|------|--------------------|
| 1996 | 9300               |
| 1997 | 9300               |
| 1998 | 93000              |
| 1999 | 11600              |
| 2000 | 11300              |
| 2001 | 10800              |
| 2002 | 10800              |

FUENTE: Barbieri (2004) en base a información publicada por el Ministerio de Energía y Minas en el 2003.

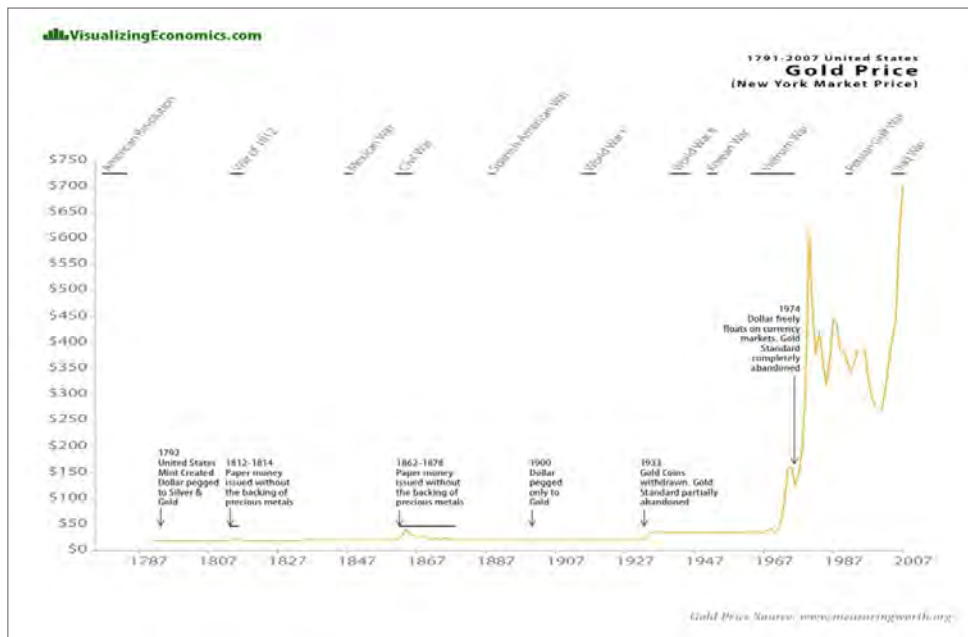
**CUADRO 4: Producción de oro por cuencas en Madre de Dios, 1995 – 2007.**

| Año  | Kg de oro producido por cuencas |                    |            |               |                  |
|------|---------------------------------|--------------------|------------|---------------|------------------|
|      | Huepetuhe                       | Puquiri - Colorado | Malinowski | Madre de Dios | Inambari y otros |
| 1995 | 6885                            | 318                | 559        | 1838          | -                |
| 1996 | 7421                            | 172                | 348        | 1393          | -                |
| 1997 | 9984                            | 302                | 352        | 1937          | -                |
| 1998 | 8097                            | 109                | 262        | 2378          | -                |
| 1999 | 7662                            | 358                | 411        | 3229          | -                |
| 2000 | 6948                            | 402                | 735        | 3255          | -                |
| 2001 | 6321                            | 255                | 1345       | 2911          | -                |
| 2002 | 8228                            | 492                | 231        | 2330          | 1143             |
| 2003 | 7979                            | 818                | 406        | 2252          | 1407             |
| 2004 | 9316                            | 1377               | 461        | 2368          | 1276             |
| 2005 | 10136                           | 1498               | 502        | 2576          | 1388             |
| 2006 | 9957                            | 1472               | 493        | 2531          | 1364             |
| 2007 | 10388                           | 1536               | 514        | 2641          | 1423             |

FUENTE: Elaboración propia en base a información de Mosquera et al. (2009).

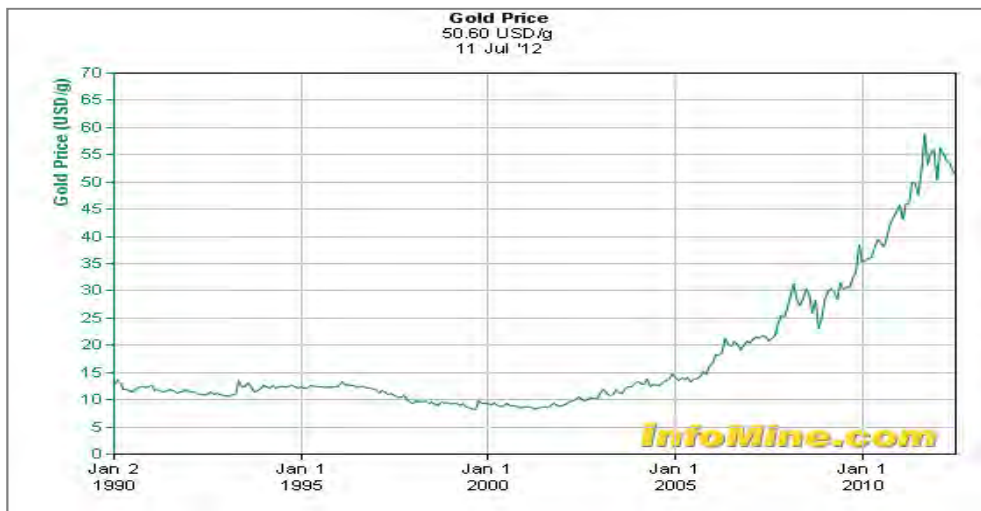
Si bien en 1993 la descarga promedio de mercurio a los cuerpos de agua de Madre de Dios era cercana a 9 – 15 TM/año, Gutleb et al. en Schenck (1999) indican que para 1997 llegaba hasta 30 TM/año y posiblemente en la actualidad dicha cifra se haya incrementado con igual tendencia que la explotación de oro. En la Figura 3 se aprecia la evolución del precio internacional de oro desde 1987 hasta el 2007 y su relación con

algunas crisis mundiales. Se evidencia un abismal incremento desde mediados de los años 60s. En la Figura 4 se muestra la tendencia creciente del valor del oro en soles por kilogramo durante los últimos diez años (tener en cuenta que su valor en el mercado negro puede ser más bajo). En la Figura 5 se compara los incrementos de la producción de oro en Madre de Dios y su valor en dólares entre 1995 y el 2007.



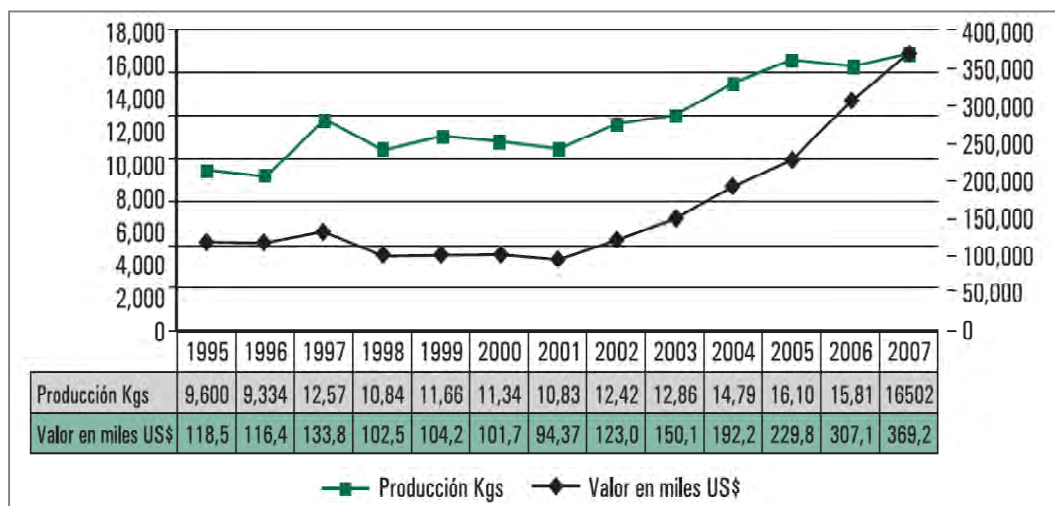
**FIGURA 3: Evolución del precio internacional del oro de 1987 al 2007.**

FUENTE: Mulbrandon en VisualizingEconomics.com (en línea).



**FIGURA 4: Evolución del precio internacional del oro en miles de soles por Kg. de oro, entre 1990 y el 2010.**

FUENTE: Infomine.com (en línea).



**FIGURA 5: Evolución de la producción de oro en Madre de Dios, y su valor entre 1995 y 2007.**

FUENTE: Mosquera et al. (2009).

En el departamento de Madre de Dios el primer *boom* minero se dio cuando el Estado peruano promovió la identificación de placeres auríferos y propició la migración para la explotación minera, a mediados del siglo XX. Desde entonces, varias “fiebres por el oro” se han sucedido y no sólo han causado grandes cambios sociales sino que han generado impactos ambientales con efectos acumulativos. Por otro lado, esta actividad significa al menos el 50% del PBI departamental y representa ingresos familiares de \$ 200 al mes (Poveda, 2006). Esto es el doble de lo que una familia ganaría en actividades agrícolas. Sin embargo, hay que diferenciar entre mineros artesanales de subsistencia, sometidos a círculos viciosos de “habilitación<sup>1</sup>” en los que apenas pueden cubrir sus costos fijos, y los mineros que “emplean” a otros y son dueños de equipos y maquinaria.

Las técnicas para extraer el mineral de los depósitos aluviales son diversas, a saber: uso de carretillas con tamices, balsas con mangueras de succión, dragas, maquinaria, etc. El método utilizado depende de la capacidad de gasto del minero y del lugar escogido para la explotación. Además, conforme un área es re-explotada, el método se va intensificando. Ver Figuras 6 a 11.

<sup>1</sup> La *habilitación* es un sistema mediante el cual los dueños de medios productivos proveen de capital de trabajo, sea en dinero o en especies (alimentos, combustible, mercurio, detergente, agua y explosivos) a los mineros artesanales.





**FIGURAS 6, 7, 8, 9, 10 y 11: Métodos de obtención del oro utilizados en minería aluvial, de menor a mayor nivel de intensificación.**

FUENTE: Observatorio de parques (en línea).

El mercurio ingresa al proceso durante la amalgamación, cuando se introduce al agua y sedimentos donde se encuentran las partículas de oro (ver Figura 12). En el caso de la minería artesanal es manipulado con manos y pies (ver Figuras 13, 14 y 15), y en el caso de explotaciones pequeñas y medianas, se utilizan pozas como aquellas de la Figura 11.



**FIGURA 12: Mercurio mezclándose con el agua.**

Fuente: Obtención propia (2007).



**FIGURAS 13, 14 y 15: Manipulación directa del mercurio durante la amalgamación.**

Fuente: Obtención propia (2007).

En la etapa final se refoguea la amalgama en latas para concentrar el oro, liberándose mercurio gaseoso al ambiente (ver Figura 16). En los mejores casos se utiliza retortas que permiten controlar las emisiones, pero no es una práctica generalizada. El producto final son pequeños concentrados de oro con un nivel significativo de impurezas. (Ver Figuras 17 y 18).





**FIGURA 16: Refogeo del azogue al aire libre.**

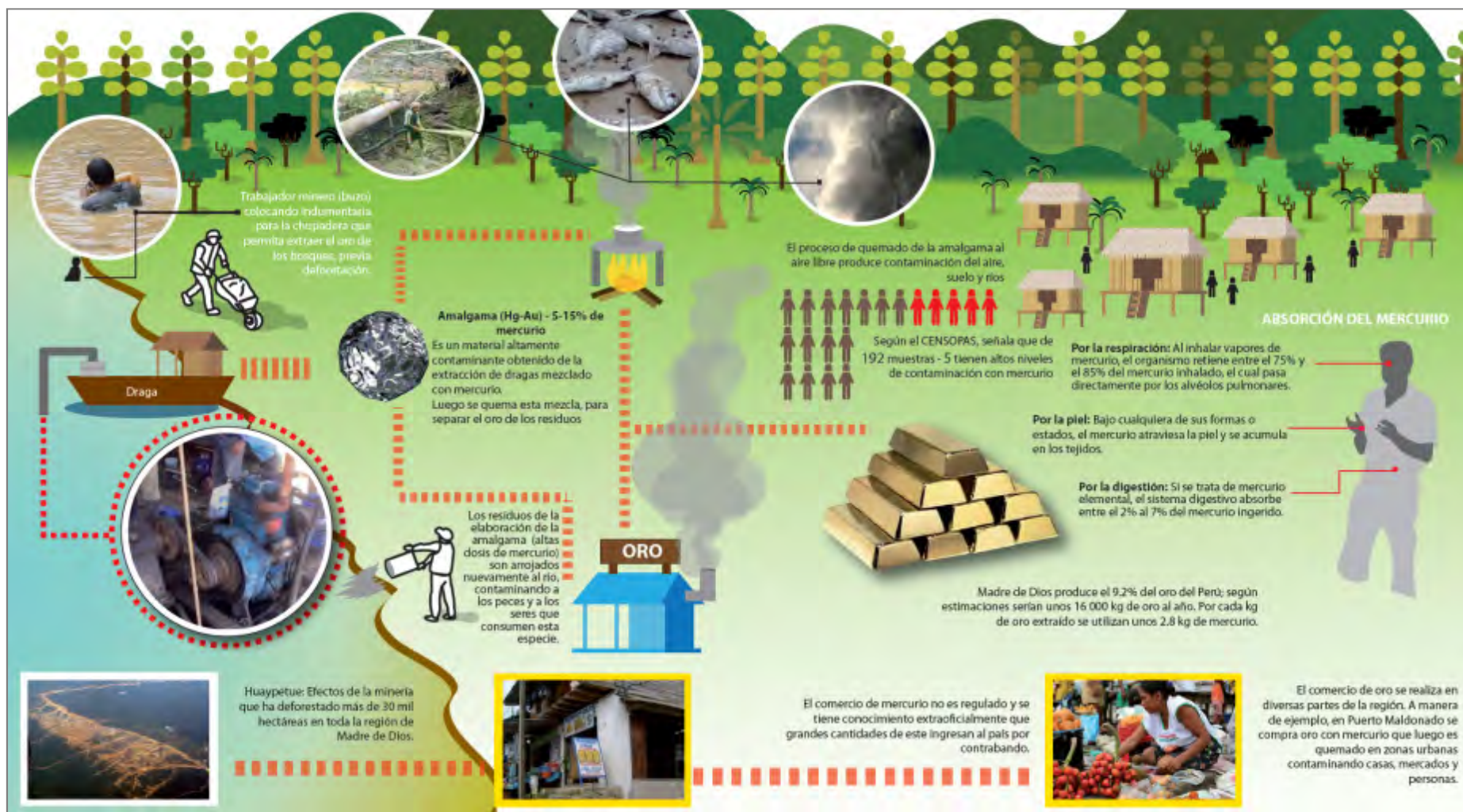
Fuente: Obtención propia (2007).



**FIGURAS 17 y 18: Concentrado de oro obtenido por proceso artesanal.**

Fuente: Obtención propia (2007).

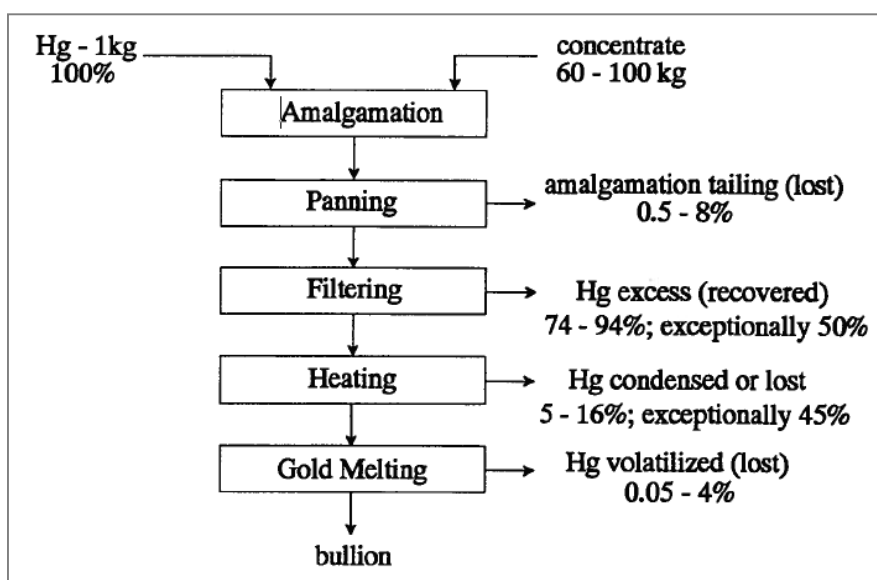
En la Figura 19 se puede apreciar el ciclo completo del mercurio en la Amazonía de Madre de Dios. Se observa cómo ingresa al ambiente tanto a través de los efluentes como de las emisiones atmosféricas y pasa entonces a la cadena trófica, afectando a los pobladores locales.



**FIGURA 19: Ciclo de procesamiento del oro.**

Fuente: Álvarez et al. (2011).

Veiga y Fernández (1990) mencionan que aunque el mercurio es obtenido a un precio muy elevado, su utilización representa sólo el 1,2 % del costo de producción y resulta siempre un insumo rentable. Los mineros saben que logran una baja eficiencia de recuperación del oro, pero los métodos que utilizan les resultan fáciles de aplicar. Pfeiffer y Lacerda (1988) calculan que se pierde entre 30 y 45% del mercurio que ingresa al circuito, y que de ello, al menos un 45% se va a los cuerpos de agua y un 55% a la atmósfera. En la Figura 20 se observa más detalles sobre el balance de mercurio.



**FIGURA 20: Balance de mercurio durante la producción de oro.**

FUENTE: Pfeiffer y Lacerda (1988) en base a Farid et al. (1991).

CETEM (1989) agrega que el porcentaje que se volatiliza en algunos casos llega al 70% y esto se suma a las emisiones de mercurio que se producen por la deforestación mediada de quemas, que los mismos mineros también realizan. Adicionalmente, según Veiga et al. (en línea) anualmente la deforestación causa por lo menos 90 TM de mercurio liberado.

## **2.1.2. ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE MINERÍA ALUVIAL EN MADRE DE DIOS**

El diagnóstico de la minería artesanal en Madre de Dios (Mosquera et al. 2009), es el estudio que mejor caracteriza los indicadores socioeconómicos, impactos ambientales, marco legal, sistemas de organización y conflictos actuales alrededor de la actividad minera en la zona de estudio. Una de sus riquezas es que consolida los resultados más relevantes de las investigaciones previas en esta materia. De él se puede rescatar la siguiente información clave:

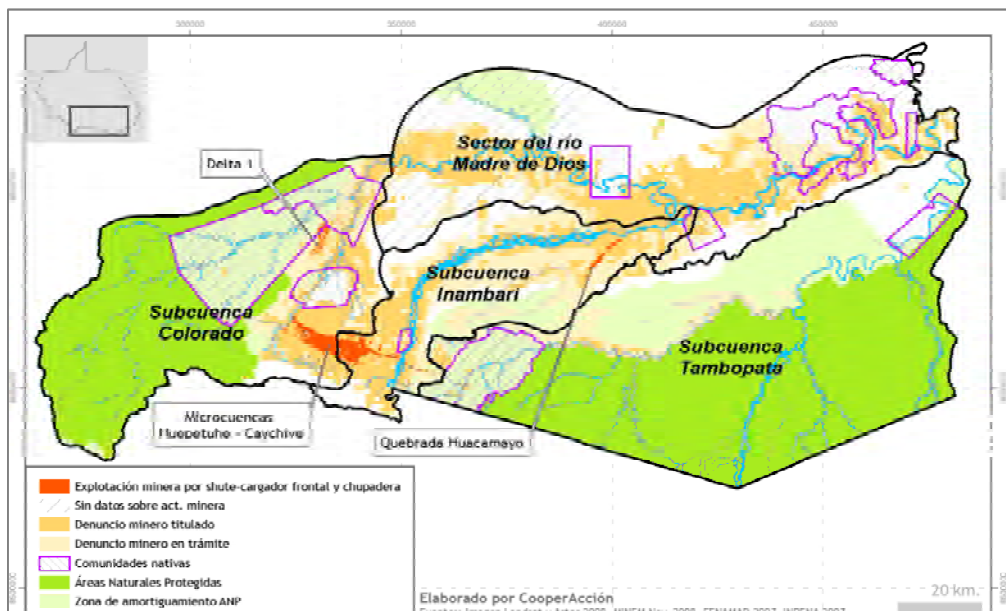
### **a) Sobre la región**

- La actividad que más aporta al Producto Bruto Interno regional es la minería aurífera.
- El 72% de la población de Madre de Dios se encuentra en la provincia de Tambopata.
- La tasa de inmigración es una de las más altas del país (> 3.4% anual).
- Existen 26 comunidades nativas, que ocupan 450000 has.
- La apertura de carreteras, aeropuertos y otras vías de acceso, ha facilitado la inmigración, el aumento de la densidad poblacional y la presión por recursos.
- Más del 50% del territorio está clasificado según la zonificación ecológica – económica a nivel macro, con fines de protección ecológica. Cerca del 9% está clasificado como “Zona de tratamiento especial” por el fuerte impacto de la actividad minera, cerca del 40% se es conocido como “Zona de producción” para actividades como agricultura, turismo, etc., y finalmente, menos de 1% del territorio resultó apto para albergar áreas urbanas e industriales.

### **b) Sobre las concesiones mineras en las cuencas de la región, al 2009**

- El 56% de la subcuenca media – alta del río Madre de Dios tenía concesiones mineras vigentes o en trámite al 2009, en 4164,54 hectáreas, explotadas por los métodos de carancheras, balsas y dragas.

- El 7% de la subcuenca del río Tambopata tenía concesiones mineras vigentes o en trámite, ocupando 223,80 hectáreas de los ríos Malinowski y Tambopata. Se usan canaletas, carretillas, chupaderas y balsas gringo, siendo la tendencia a mecanizar la producción.
- El 27% de la subcuenca del río Colorado tenía concesiones mineras vigentes o en trámite, principalmente en Huepetuhe y Delta 1. 7894,78 hectáreas estaban siendo explotadas con shute-cargador frontal y chupadera.
- El 87 % de la subcuenca del río Inambari tenía concesiones mineras vigentes o en trámite, sobretodo en los ríos Caychive, Dos de Mayo y la quebrada Huacamayo, existiendo actualmente 6615,83 hectáreas intervenidas.



**FIGURA 21: Actividad minera en las cuencas de Madre de Dios.**

FUENTE: Mosquera et al. (2009).

### c) Sobre las actividades mineras

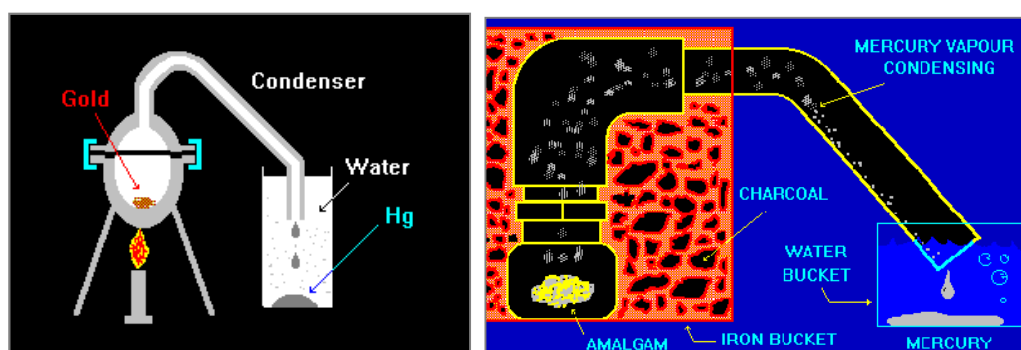
- Actualmente, los métodos usados para la prospección del oro son:
  - En terrazas de la llanura aluvial: Barroteo y apertura de piques.
  - En playas de la llanura aluvial: Muestreo con lampas.
  - En cauces de río de la llanura aluvial: Succión con balsas o dragas.
  - En zonas altas del piedemonte: Apertura de piques.
  - En terrazas del piedemonte: Canales verticales en las paredes.



- Se distinguen tres tipos de explotación de oro:
  - Artesanal: Manual con ingenio, canaletas o por arrastre.
  - Semi-mecanizada: La recuperación del oro es manual. Se usa carancheras, chupaderas, balsas, shute cargadores frontales y dragas tipo lanza.
  - Mecanizada: Nada se realiza manualmente. Se utiliza dragas de 16” y de cangilones.

Los mineros no conocen los detalles mineralógicos de las áreas que minan, y tampoco la granulometría del oro que buscan. Esto sumado a que no se controla adecuadamente el flujo de agua, hace que se pierda mucho material aurífero. Tanto el período de lluvias intensas, como el estiaje afectan los volúmenes de producción, incrementándose entonces la explotación en la zona de piedemonte.

Para el refogeo, la proporción de la mezcla mercurio – oro es de 2:1. Sin embargo, en la práctica los mineros incorporan una cantidad adicional de mercurio a fin de asegurarse de que todo el oro se recupere. Muchos mineros reconocen haber recuperado el mercurio con el uso de las retortas (ver Figuras 22 y 23), sin embargo, su uso no es masivo. Una evaluación realizada por el Ministerio de Energía y Minas en 1999 señala que la mayoría de los mineros queman la amalgama en las cocinas de sus campamentos (76.3%) y en menor cantidad al aire libre (23.6%). Se estima que la cantidad de mercurio que se ha estado emitiendo a la atmósfera entre los años 1995 – 2007 habría sido 329,38 toneladas sin el uso de retortas.



**FIGURAS 22 Y 23: Diseño básico de las retortas.**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).

El oro se comercializa tasando su valor de acuerdo a la presencia física sin análisis químico de ningún tipo. Se han identificado 6 poblados donde se comercializa el oro: Puerto Maldonado, Huepetuhe, Delta 1, Laberinto, Mazuko y Acepón.

Las tiendas comercializadoras actúan como pequeños centros de refinación de oro. Durante el proceso de quema o refogado final de la amalgama en las tiendas comercializadoras de oro se emiten al aire de 5% a 15% del mercurio que aún contiene la amalgama, contaminando así el ambiente.

#### **d) Sobre los impactos ambientales**

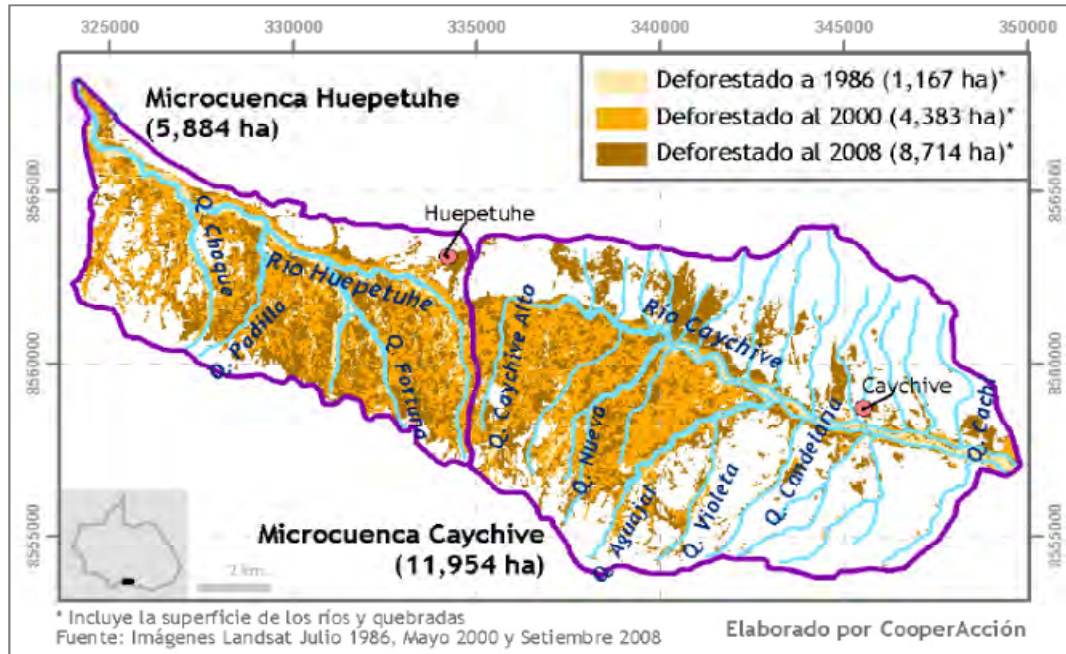
Los impactos negativos severos derivan de la extracción por chupaderas y shutes con cargador frontal utilizados en zonas de piedemonte fundamentalmente. Los métodos de carancheras y balsas también causan efectos negativos significativos en la zona de llanura aluvial, sin dejar de mencionar a las operaciones realizadas por las dragas, en el río Madre de Dios fundamentalmente.

En la etapa de beneficio, es mediante la quema de la amalgama que se causa un alto impacto negativo en la calidad del suelo, agua, flora y fauna, y la salud de las personas. De menor magnitud, pero relevantes, son los impactos causados por de las tiendas comercializadoras de oro que refoguean nuevamente el producto para su respectiva transacción.

Como resultado de las operaciones de extracción y separación del material aurífero los principales impactos ambientales negativos son:

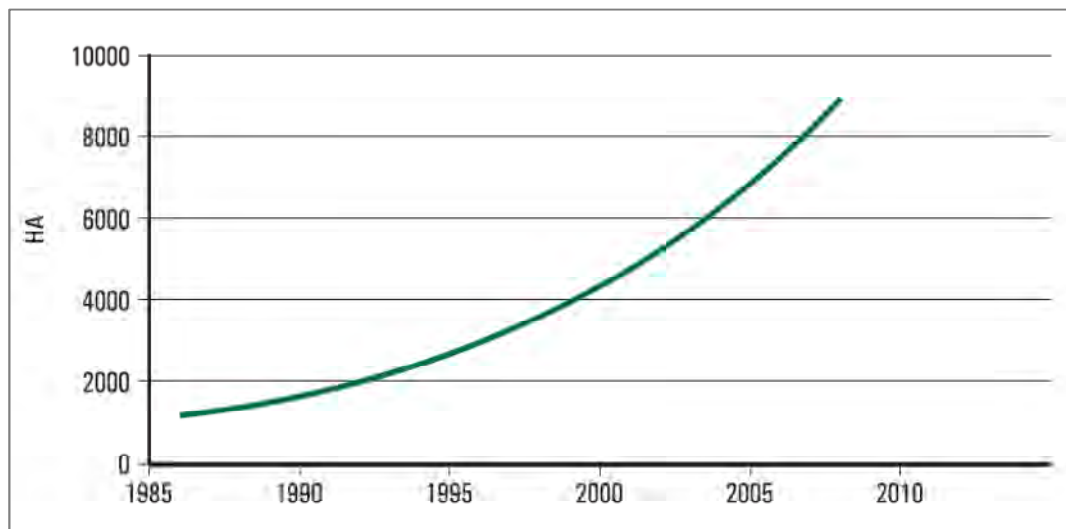
- Alteración del paisaje.
- Deforestación (ver Figuras 24 y 25).
- Degradación del suelo.
- Colmatación de sedimentos en los cauces de río y fangos en el suelo.
- Deterioro de la calidad del agua superficial (ríos y quebradas).
- Desaparición de flora y fauna acuática.
- Emisión de ruidos.
- Contaminación por hidrocarburos.

- Crecimiento de centros poblados sin planificación y con demandas de servicios básicos.
- Contaminación por residuos.



**FIGURA 24: Evolución de la deforestación en las microcuencas Huepetuhe – Caychive 1986 - 2008.**

FUENTE: Mosquera et al. (2009).



**FIGURA 25: Tendencia exponencial de la deforestación en las microcuencas Huepetuhe - Caychive.**

FUENTE: Mosquera et al. (2009).



En la etapa de beneficio y comercialización los impactos ambientales negativos relevantes están referidos a la contaminación por mercurio e hidrocarburos. En el Cuadro 5 se puede observar una matriz que sintetiza la evaluación cualitativa de los impactos ambientales de la actividad.

**CUADRO 5: Matriz de evaluación de impactos ambientales de la minería en Madre de Dios.**

| Medio            | Componente ambiental | Parametro             | Explotación |    |          |    |          |    |            |    |       |    |           |    |       |    | Beneficio |    |              | Com.     |    |                |    |    |
|------------------|----------------------|-----------------------|-------------|----|----------|----|----------|----|------------|----|-------|----|-----------|----|-------|----|-----------|----|--------------|----------|----|----------------|----|----|
|                  |                      |                       | Ingenio     |    | Canaleta |    | Arrastre |    | Caranchera |    | Balsa |    | Chupadera |    | Shute |    | Draga     |    | Amalgamación | Refogado |    | Refogado final |    |    |
| Físico           | Suelo                | Deforestación         | B           | M  | M        | M  | M        | M  | M          | M  | M     | M  | A         | M  | A     | M  | M         | M  | MB           | MB       | MB | MB             | MB | MB |
|                  |                      | Erosión               | B           | M  | M        | M  | M        | A  | M          | A  | M     | A  | A         | A  | A     | A  | M         | A  | MB           | MB       | MB | MB             | MB | MB |
|                  |                      | Inundación            | B           | B  | B        | B  | B        | B  | MB         | MB | MB    | MB | A         | A  | A     | A  | MB        | MB | MB           | MB       | MB | MB             | MB | MB |
|                  |                      | Calidad del suelo     | B           | B  | B        | M  | B        | M  | B          | B  | B     | B  | A         | A  | A     | A  | B         | B  | B            | M        | A  | A              | A  | M  |
|                  | Clima                | Microclima            | B           | B  | B        | M  | B        | M  | B          | B  | B     | B  | M         | M  | A     | M  | B         | B  | MB           | MB       | B  | B              | B  | B  |
|                  | Atmósfera            | Calidad del aire      | MB          | MB | MB       | MB | MB       | MB | MB         | MB | MB    | MB | B         | B  | M     | B  | MB        | MB | B            | MB       | A  | A              | A  | A  |
|                  |                      | Ruido                 | B           | MB | B        | MB | B        | MB | B          | MB | M     | MB | A         | M  | A     | M  | M         | MB | MB           | MB       | B  | MB             | B  | MB |
|                  | Agua                 | Grava                 | M           | M  | M        | A  | M        | A  | M          | A  | A     | A  | A         | A  | A     | A  | A         | A  | MB           | MB       | MB | MB             | MB | MB |
|                  |                      | Sedimentos            | M           | A  | M        | A  | A        | A  | A          | A  | A     | A  | A         | A  | A     | A  | A         | A  | MB           | MB       | MB | MB             | MB | MB |
|                  |                      | Alteración cauce      | B           | M  | B        | B  | M        | B  | A          | M  | A     | M  | M         | M  | M     | M  | M         | M  | MB           | MB       | MB | MB             | MB | MB |
| Calidad del agua |                      | M                     | A           | M  | A        | A  | A        | A  | A          | A  | A     | M  | M         | M  | M     | A  | M         | B  | M            | M        | M  | M              | M  |    |
| Paisaje          | Modificación         | B                     | MB          | B  | MB       | M  | B        | M  | MB         | M  | M     | A  | B         | A  | B     | M  | M         | MB | MB           | MB       | MB | MB             | MB |    |
| Biológico        | Flora                | Acuática              | B           | MB | B        | B  | M        | M  | A          | M  | A     | M  | A         | B  | A     | B  | A         | M  | B            | B        | A  | M              | A  | M  |
|                  |                      | Terrestre             | B           | MB | B        | B  | B        | B  | M          | MB | B     | MB | A         | A  | A     | A  | B         | MB | B            | B        | A  | M              | A  | M  |
|                  | Fauna                | Acuática              | B           | B  | B        | B  | B        | B  | M          | B  | M     | B  | A         | A  | A     | A  | M         | B  | B            | B        | A  | M              | M  | M  |
|                  |                      | Terrestre             | B           | MB | B        | B  | B        | B  | M          | MB | B     | MB | A         | A  | A     | A  | B         | MB | B            | B        | A  | M              | A  | M  |
| Socio-económico  | Población            | Salud                 | M           | MB | M        | M  | M        | M  | M          | M  | M     | M  | A         | M  | M     | B  | B         | B  | A            | M        | A  | M              | A  | M  |
|                  |                      | Crecimiento poblac.   | M           | B  | M        | B  | M        | B  | M          | B  | M     | B  | A         | M  | A     | M  | B         | B  | B            | B        | B  | B              | B  | B  |
|                  | Territorio           | Uso de la tierra      | B           | MB | B        | MB | M        | MB | B          | M  | B     | M  | A         | A  | A     | A  | B         | MB | B            | MB       | M  | MB             | M  | MB |
|                  | Economía             | Actividad tradicional | B           | MB | B        | MB | M        | MB | M          | MB | M     | MB | A         | MB | A     | MB | A         | MB | B            | MB       | B  | MB             | B  | MB |
|                  | Cultura              | Cambio cultura nativa | M           | MB | M        | MB | M        | MB | M          | MB | A     | MB | A         | MB | A     | MB | A         | MB | M            | MB       | M  | MB             | M  | MB |

Elaboración Propia. Primera Columna: Impacto; Segunda columna: Mitigación. Calificación: Alto=A; Moderado=M; Bajo=B; Muy Bajo=MB

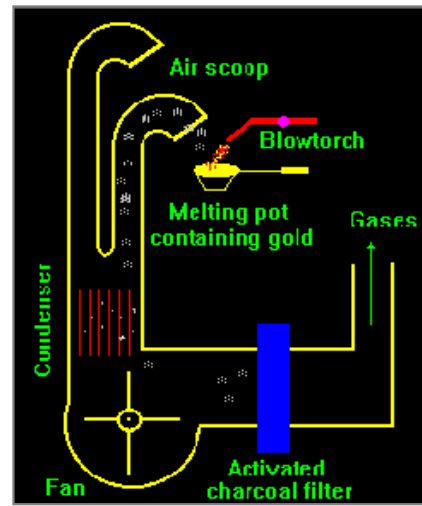
FUENTE: Mosquera et al. (2009).

Las principales causas para la ocurrencia de los impactos ambientales negativos son que:

- Los pequeños productores y mineros artesanales no manejan información técnica y ambiental en las diferentes etapas de la actividad minera, y además, tienen poco interés en capacitarse y educarse en un centro de formación.
- Hay temor o falta de interés en aplicar y mejorar las técnicas para el lavado del material aluvial y el refogado de la amalgama. Por ejemplo, las retortas, que minimizarían la evaporación del mercurio en el ambiente.
- Se ha intensificado la tecnología sin planificación y sin responsabilidad ambiental.
- La autoridad ambiental descentralizada, a cargo de controlar y planificar el desarrollo de la actividad minera, no tiene capacidades ni recursos suficientes para ejercer una labor efectiva.

Las siguientes medidas de mitigación de impactos han sido evaluadas a nivel piloto en la región:

- Desarrollar y dar cumplimiento a las herramientas de gestión ambiental como los planes de manejo ambiental y de cierre de minas.
- Usar un colector para capturar más del 80% del mercurio emitido durante la quema que se practica en las tiendas de comercializadoras que acopian el oro. Desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. Ver Figuras 26 y 27.
- Recuperar el oro por medio de técnicas de flotación, sin el uso del mercurio. El Ing. Carlos Villachica desarrolló con apoyo de CONCYTEC el prototipo ECO – 100V, maquina de \$4500 que funciona a gasolina o gas y tiene una eficiencia de recuperación del 95%, y del 90% en recirculación del agua. Ver Figuras 28 y 29. Este equipo tiene un motor que hace girar un eje vertical con hélices para mantener la arena en suspensión y aspirar una gran cantidad de aire, el que luego se dispersa en miles de burbujas pequeñas. Las partículas de oro que quedan libres se “pegan” a las burbujas de aire y las llevan a la superficie, tras haber sido mezcladas con un reactivo colector.



**FIGURAS 26 y 27: Colector o filtro de aire para tiendas de comercialización de oro.**

FUENTES: Fernández (en línea) y Veiga y Meech (1996).



**FIGURAS 28 y 29: ECO – 100V de la empresa Smallvill SAC.**

FUENTES: El Comercio (en línea) Quispe (2010).

- Implementar programas de fitorremediación y restauración ambiental, tal como lo hicieron la EMBRAPA y la UNALM. Ver Figuras 30 y 31. En los proyectos piloto realizados, se ha determinado que el uso de leguminosas arbóreas es lo más efectivo para recolonizar el medio con vegetación e iniciar la restauración ya que no sólo permite la fijación de nitrógeno y la formación progresiva de suelo, sino la recuperación del potencial productivo del espacio. Adicionalmente, permite dar seguimiento a los estadios sucesionales del ecosistema.



**FIGURAS 30 y 31: A la izquierda regeneración natural. A la derecha programa de restauración ambiental en Huepetuhe.**

FUENTES: Vidalón (2002) y EMBRAPA en [www.adima.org](http://www.adima.org) (en línea).

#### e) Sobre la formalización

Los aspectos más importantes de la formalización y que aún no se viven en la minería de Madre de Dios, son:

- El financiamiento o acceso a créditos.
- El cumplimiento legal.
- El fortalecimiento institucional.
- La gestión ambiental.
- El fortalecimiento de la gestión local participativa.
- La generación y acceso a la información.
- La generación y acceso a mejores condiciones de trabajo y de vida.

En la región sucede un proceso de formalización sumamente complejo y discontinuo, porque no ha recibido la suficiente atención del Estado. Para toda la región sólo se cuenta con una oficina de la Dirección Regional de Energía y Minas - DREM y una oficina de Pequeña Minería y Minería Artesanal – MAPE (ubicadas en Puerto Maldonado), que no le dan sostenibilidad al proceso.

Tanto mineros colonos como indígenas tienen sus propias versiones sobre el marco legal de las actividades MAPE, en sus versiones ambos se reconocen como actores importantes en la minería pero también ambos quieren defender sus propios intereses. A la fecha el marco legal les ha servido a ambos, puesto que se han acogido

al mismo para realizar petitorios o les otorguen títulos, ya que el número de denuncias mineros se ha incrementado considerablemente en los últimos años.

#### **f) Sobre la organización de los mineros**

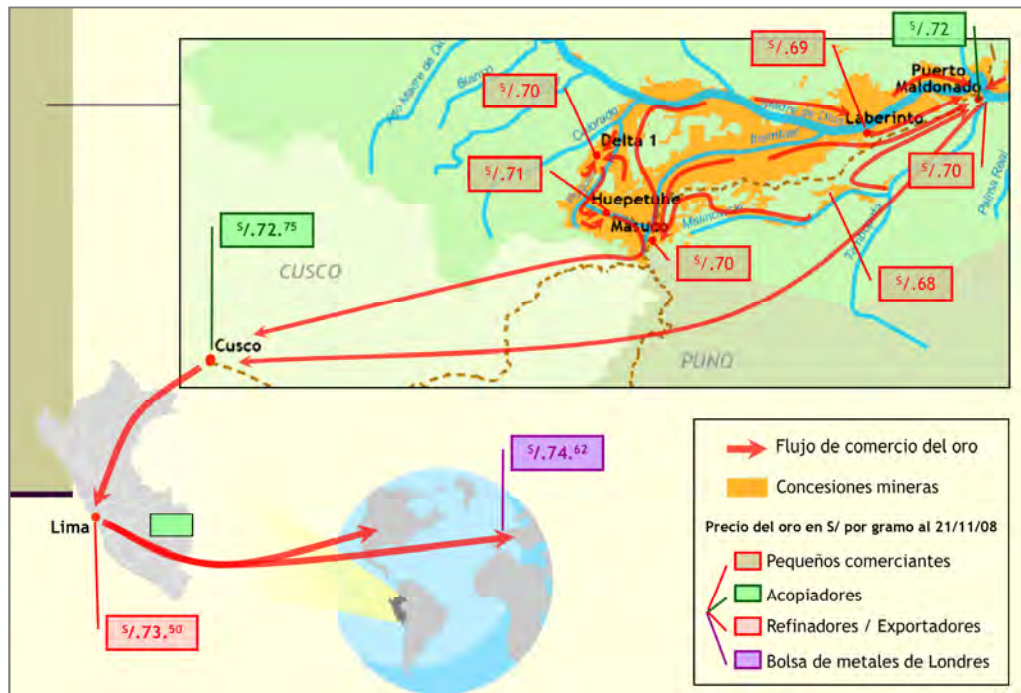
Los principales gremios de la región se denominan APPMAMD, FEDEMIN y FENAMAD. Representan los modelos prevalentes de asociatividad productiva de las actividades MAPE. Además, han sido los principales puntos de referencia para expresar las demandas a instancias regionales y nacionales.

La organización socio-productiva de las actividades MAPE ha traído como consecuencia que la APPMAMD represente a los mineros formales o en proceso de formalizarse, la FEDEMIN a los mineros posesionarios e invitados y mineros contratados, mientras que la FENAMAD representa a las comunidades nativas involucradas en la MAPE.

Los convenios y acuerdos entre los actores sociales para la implementación de las unidades MAPE están íntimamente ligados a la red de financiamiento. Las unidades MAPE se agencian financieramente de los comerciantes, prestamistas e inversionistas de la minería informal y en pocos casos, de sistemas bancarios de la región. Entre las unidades MAPE y los agentes de financiamiento se establece un sistema de acuerdos donde los pagos son en gramos de oro por proporcionar insumos necesarios para las actividades MAPE.

En la Figura 32 se observa el flujo comercial del oro en Madre de Dios. Se puede apreciar que los vínculos comerciales no se dan directamente con el mercado formal de metales preciosos. Los intermediarios juegan un rol clave, ya que representan la demanda informal y regulan los precios regionales del oro. Económicamente, los mineros y sus asociaciones, dependen de las reglas de mercado que aquellos impongan.





**FIGURA 32: Flujo comercial del oro al 2008.**

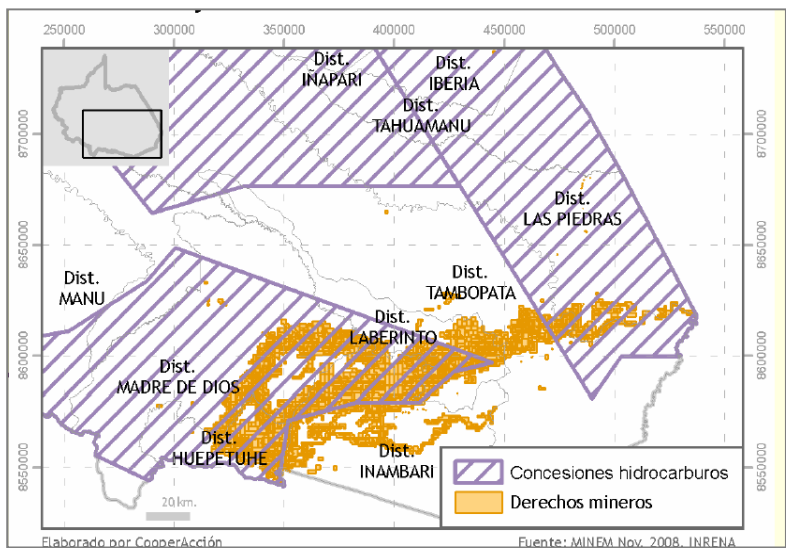
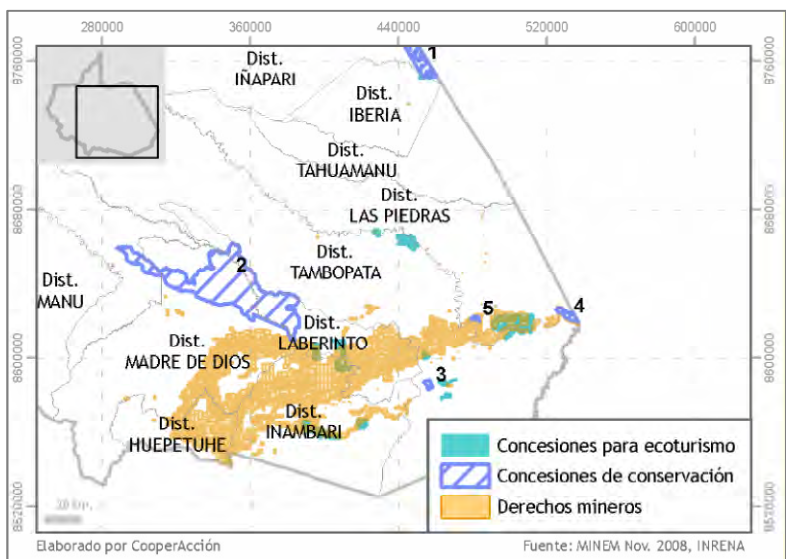
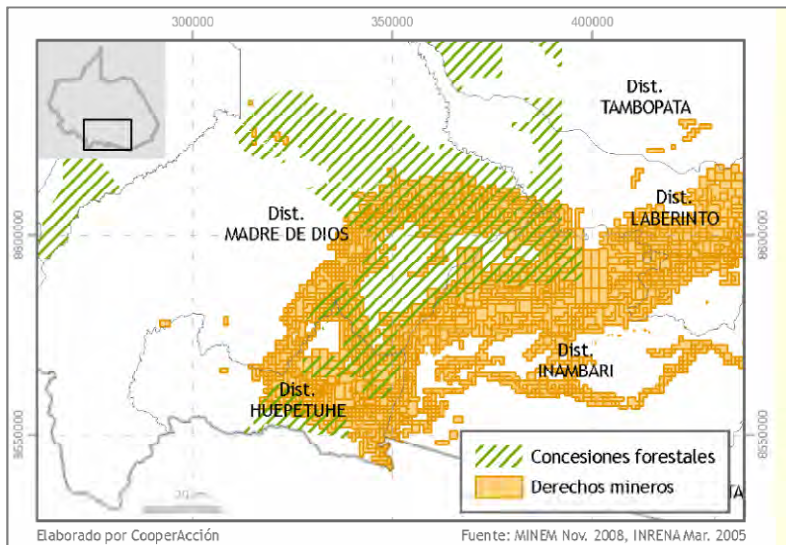
FUENTES: Mosquera et al. (2009).

Respecto al modelo de asociatividad productiva, el tipo *asociación en participación* es la más recurrente en Madre de Dios y en todas sus sub-cuencas, a excepción de Huetupetue donde predominan las unidades tipo microempresa con trabajo asalariado. La primera se caracteriza por la defensa del trabajo donde los actores sociales se agrupan por los conflictos sociales que suceden, como en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Comunal Amarakaere y la del Tambopata y en las sub-cuencas del río Puquiri y del río Malinowski.

### g) Sobre los conflictos socioambientales

En la región se presentan tres tipos de conflictos socioambientales:

- Entre mineros formales e informales, Áreas Naturales Protegidas – ANPs y concesionarios de otros usos del espacio: concesiones ecoturísticas, forestales, de producción de castaña e hidrocarburos.
- Entre mineros nativos y colonos.
- Entre la MAPE y la sociedad civil.



**FIGURAS 33, 34 y 35: Mapas de superposición de los derechos mineros.**

FUENTES: Mosquera et al. (2009).



Desde la formación de las ANP no se ha tomado como referencia la opinión de las poblaciones mineras del lugar y se ha fragmentado denuncias mineras, superponiendo el área del ANP a estos últimos. Pese a ello, los mineros colonos e indígenas han continuado con las actividades MAPE produciendo en la informalidad y generando un agudo daño ambiental.

Los conflictos entre los nativos y los mineros, si bien inicialmente se debieron al maltrato propiciado por los migrantes y la lucha por el uso del territorio, actualmente el pago de regalías también es una causa de conflictos. Por otra parte, a nivel de sociedad civil, la MAPE ha configurado un esquema de diferenciación, entre los mineros que tienen mayor poder adquisitivo y los que no lo tienen, o con aquellos que desarrollan otras actividades económicas.

### **2.1.3. PANORAMA DE LA CONFLICTIVIDAD SOCIAL EN PERÚ**

La mayor parte de los emprendimientos que han generado conflictos a través de la historia se han desarrollado en espacios naturales y/o tradicionales, ocasionando cambios en el ecosistema, en las actividades económicas predominantes, en las formas de relacionarse y vivir de los pueblos del entorno, así como en los usos y costumbres de la población. El caso de la minería informal, con sus particularidades, no es la excepción.

Según la Defensoría del Pueblo (2012), las causas o motivadores más frecuentes de los conflictos son:

- Existencia de necesidades insatisfechas y extrema pobreza en entornos donde se desarrollan actividades económicas altamente rentables.
- Temores por los riesgos o amenazas percibidos por los diferentes grupos de interés.
- Expectativas por lograr mayores beneficios.
- Falta de equidad en el usufructo de los recursos naturales.
- Descontento por incumplimiento de compromisos y promesas políticas.
- Defensa de principios y concepciones de vida y desarrollo.

Se denomina “conflictos socioambientales” a aquellos cuya dinámica gira en torno al control, uso y/o acceso al ambiente y sus recursos. Están presentes, además, elementos

sociales, políticos, económicos o culturales. Estos han ido en escalada durante los últimos años.

Del universo de conflictos que registra la Defensoría del Pueblo, tenemos que en septiembre del 2005 los socioambientales representaban el 19% del total de conflictos, en septiembre del 2006 se incrementaron al 23% del total de conflictos sociales en el Perú, llegaron a 46% en Septiembre del 2007, para alcanzar el 49% en el 2008. Es decir, han dejado atrás a aquellos que años antes eran el mayor motivo de controversia y confrontación: los suscitados con los gobiernos locales, regionales, centrales o incluso aquellos de orden laboral, lo cuales ya no son los más frecuentes<sup>2</sup>.

Una respuesta de los gobiernos de turno ante la escalada de conflictos fue crear instancias que abordaran y atendieran el reclamo de las partes para ayudar a resolver los problemas. Para ello se crearon oficinas o dependencias que pretendían actuar de facilitadores en la gestión de los conflictos, es así que en el año 2004 se crearon dos unidades encargadas de prevenir los conflictos: una en el Ministerio del Interior (La Oficina General de Inteligencia) y la otra en la Presidencia del Consejo de Ministros, denominada Unidad de Análisis Estratégico y Prevención de Conflictos. En el 2006 se conformó la Comisión Multisectorial de Prevención de Conflictos Sociales, que pasó a ser la Unidad de Análisis y Prevención de Conflictos Sociales. La propia Defensoría del Pueblo también actúa como facilitadora y desde que se creó el Ministerio del Ambiente en el 2008 esta entidad también aborda la problemática. Además, cada sector ahora tiene una Dirección de Gestión Social.

A los escenarios con conflictos de larga data de incubación y/o que se encuentran en fase clímax, se han incorporado de manera voluntaria: la iglesia, las universidades, los Organismos No Gubernamentales de Desarrollo y asociaciones de la sociedad civil organizada. Ellos están interviniendo en algunas mesas de diálogo, como veedores o mediadores de las negociaciones y enfrentamientos.

---

<sup>2</sup> Extraído de los Reportes Conflictos Sociales que mensualmente emite la Defensoría del Pueblo en <http://www.defensoria.gob.pe/conflictos-sociales/home.php>

Según la Defensoría del Pueblo, la conflictividad en el Perú tiene una serie de características que deben ser consideradas en cada caso.

- Los conflictos están influenciados por la dinámica de crecimiento económico del país, la cual no ha implicado necesariamente, el establecimiento de medidas que generen una percepción de bienestar social y de representatividad política de ciertos sectores de la sociedad.
- El Estado no ha cumplido su función de regulación y de control en toda su extensión y ha permitido que los problemas sean abordados asimétricamente por las fuerzas de la sociedad y el mercado. Es más, en muchos casos ha habido corrupción en la toma de decisiones.
- Falta definir un modelo de gestión de los conflictos sociales en los tres niveles de gobierno y superar el déficit de confianza que aún subsiste en la administración pública. Prueba de ello son las dudas que siempre inspiran en la población el cumplimiento (o incumplimiento) de las actas que se suscriben.
- Insuficiente cultura del diálogo. Valores como la tolerancia, el respeto a la ley, el reconocimiento del otro, no están fuertemente arraigados en la conciencia de la gente y en los actores estatales. Cuesta trabajo lograr una disposición adecuada a escuchar a los otros y a entender sus razones.

A esto se puede sumar otro rasgo de los conflictos y es su forma de dar a conocer los problemas y de llevar al espacio público determinadas demandas. El mecanismo de reclamación que se usa involucra en tiempos cortos a la protesta con violencia y a la presión pública. A pesar de la intención dialogante de algunos de los stakeholders, las exigencias de respuestas prontas y las limitaciones para proponer modalidades de diálogo creíbles y efectivas, precipitan el protagonismo de los actores violentos.

## 2.1.4. ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE EL MERCURIO

### a) Concentraciones normales de mercurio en el ambiente

En condiciones normales el mercurio se encuentra en cantidades tan bajas que no es tóxico. Así, en suelos su concentración promedio es 500 ppb (peso seco), aunque puede variar desde 4 ppb hasta 5800 ppb (peso seco), sin embargo, mayormente los niveles están entre 20 y 625 ppb (ATSDR, 1999). En el agua de lluvia su concentración fluctúa entre 0.001 y 3.5 ppb, y en aguas superficiales generalmente se estabiliza en cantidades menores a 0.5 ppb (Bjornberg et al. 1988, Irwin 1997).

Según Sweet y Zelikoff (2001) en áreas que no han sido contaminadas la concentración de mercurio en peces<sup>3</sup> puede variar entre 18 y 600 ppb (peso húmedo), llegando a un máximo de 2200 ppb en zonas con presencia de mineralizaciones de sulfuro (Shilts y Coker, 1995). En plantas las concentraciones naturales de mercurio varían entre 0.001 y 0.1 ppm (peso seco), aunque en la selva pueden llegar a 0.3 ppm. A modo de comparación, Martinelli et al. (1988) reporta que en zonas contaminadas del río Madeira en Brasil, la concentración en macrofitas acuáticas llega a ser mayor a 1 ppm.

Básicamente los principales responsables de casi todas las deposiciones naturales de mercurio en las aguas y suelos superficiales son los incendios forestales, las lluvias y las erupciones volcánicas, (Fergusson 1990, Hall 1995, Jones y Slotton 1996). Nriagu (1989) estima que el 40% de las emisiones globales de mercurio (aproximadamente 2500 TM/año) provienen de fuentes naturales, y agrega que de ellas, el 30-50% proviene de los aerosoles y la volatilización de los compuestos hidrocarbonados como terpenos e isoprenos de las plantas que forman fuertes complejos con el mercurio. Según Hall et al. (1991) el mercurio puede permanecer en la atmosfera de 6 a 24 meses si el clima es seco, caso contrario precipita con las lluvias.

---

<sup>3</sup> Las concentraciones de mercurio en peces referenciadas en este estudio están basadas en muestras de músculo. Cuando se referencia concentraciones en órganos, se indica de manera explícita.

Teniendo en cuenta la importancia actual de la práctica de roce y quema en la selva, Veiga et al. (1994) han desarrollado el programa: “Forest Fire Model” para calcular la cantidad de mercurio emitida por la deforestación en la Amazonía (ver Cuadro 6). En los múltiples escenarios analizados encontraron que la mayor parte de los compuestos de mercurio se emiten aún cuando la combustión es incompleta, mientras que sólo una pequeña proporción de mercurio se volatiliza desde los compuestos orgánicos del suelo durante las quemas. Lo restante se queda en las hojas y pasa luego a lixivarse o volatilizarse lentamente.

**CUADRO 6: Datos de entrada para calibrar el “Forest Fire Model”.**

| Biomass Type                | Weight (t/ha) | Hg Content (ppm) | % Released  | Hg Released (g/ha) |
|-----------------------------|---------------|------------------|-------------|--------------------|
| <b>Above ground Biomass</b> |               |                  |             |                    |
| Wood                        | 260           | 0.050            | 90          | 11.7               |
| Leaves                      | 9             | 0.050            | 90          | 0.4                |
| Roots                       | 20            | 0.050            | 90          | 0.9                |
| <b>Below ground Biomass</b> |               |                  |             |                    |
| Roots                       | 35            | 0.050            | 20          | 0.3                |
| <b>Fallen Trunks</b>        | 16            | 0.050            | 90          | 0.7                |
| <b>Humus material</b>       | 11            | 0.100            | 20          | 0.2                |
| <b>Soil organic matter</b>  | 47            | 0.100            | 20          | 0.9                |
| <b>Total</b>                | <b>398</b>    | <b>0.057</b>     | <b>66.8</b> | <b>15.2</b>        |

FUENTE: Veiga et al. (1994).

#### **b) Factores determinantes de la toxicidad del mercurio**

En líneas generales la toxicidad del mercurio y de cualquier elemento depende de la interacción de varios factores, fundamentalmente:

- *La forma química*, porque ésta determina su distribución en el ambiente y en los organismos, su absorción y sus efectos en diversos órganos. Según la OMS (1989) lo más frecuente es que el mercurio se encuentre en las siguientes formas:
  - *Mercurio inorgánico* en cualquiera de sus tres estados oxidativos: mercurio metálico ( $Hg^0$ ), mercurioso ( $Hg^{+1}$ ) y mercúrico ( $Hg^{+2}$ ).
  - *Sales de mercurio* como  $HgCl$ ,  $HgCl_2$  y  $HgO$ .

- *Mercurio orgánico* como los compuestos alquilados, por ej: metilmercurio.

Los compuestos alquilomercuriales se absorben fácilmente y pueden resultar significativamente perjudiciales para la biota. El metilmercurio llega a ser una toxina para el sistema nervioso central, inclusive de los fetos ya que es capaz de cruzar<sup>4</sup> la barrera placentaria y luego la barrera cerebral. Causa efectos cognitivos, retardos en el crecimiento, ceguera, problemas auditivos y déficit motoro e intelectual. En animales ocasiona anorexia y aletargamiento (Amdur et al. 1991) así como cambios conductuales, incremento de la mortalidad, reducción de la esperanza de vida, reproducción alterada, problemas de crecimiento y aprendizaje, efectos neurológicos (sobretudo en mamíferos), incremento del riesgo de depredación, etc. Las especies químicas inorgánicas no tienen efectos tóxicos o carcinogénicos comprobados, aunque sí pueden alterar temporalmente algunas funciones de los organismos. Las sales de mercurio pueden ser corrosivas para el estómago y otros órganos si son ingeridas.

- *La vía de ingreso al organismo.* Por ejemplo, el mercurio elemental al ser inhalado es absorbido fácilmente por los alveolos pulmonares debido a que es apolar, pero tiene una reducida absorción por vía digestiva ya que un porcentaje muy alto termina siendo excretado en las heces. Por su parte, el mercurio iónico ( $Hg^{2+}$ ) sí se absorbe fácilmente a través del tracto gastrointestinal. Lo mismo ocurre con el metilmercurio, cuya absorción llega hasta el 95%, independientemente de si el radical ingresa unido a proteínas o como sal en solución acuosa.
- *La dosis,* incluyendo el tiempo de exposición y las concentraciones. Los seres autótrofos (como las plantas y el fitoplancton) se ven menos afectados que los heterotrófos porque absorben pasivamente mercurio y están expuestos a concentraciones más bajas y menos tóxicas.
- *El estado inmune del individuo,* porque define su nivel de resiliencia.

---

<sup>4</sup> Por lo general penetra fácilmente las células de los mamíferos. Tiene mayor movilidad dentro del organismo que el mercurio iónico (como por ejemplo el  $Hg^0$  y el  $HgS$ ) o el mercurio elemental (Sweet y Zelikoff 2001).

- *La edad*, de allí que las crías y niños sean los más susceptibles, al igual que los individuos de mayor edad, que tienen mecanismos de detoxificación deteriorados.
- *La dieta*, porque influye en el nivel de absorción del mercurio en el tracto gastrointestinal.

Otros factores capaces de acentuar o atenuar los efectos tóxicos son: la exposición a otras sustancias antagónicas o sinérgicas con el mercurio, los hábitos, el estado hormonal, el sexo, las características individuales, el estilo de vida, etc.

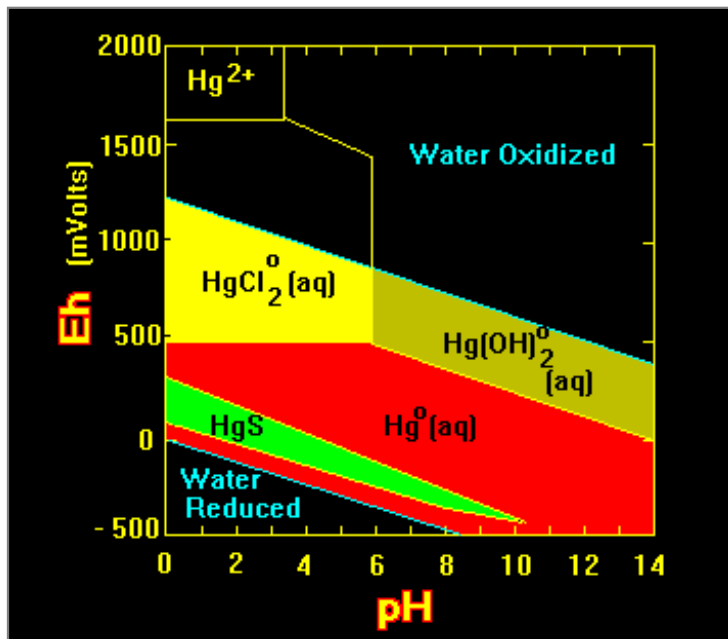
### c) **Distribución del mercurio en el ambiente (toxicodinámica)**

Por lo general los impactos de la contaminación por mercurio trascienden mucho más allá de las áreas mineras (Leady y Gottgens, 2001). Las concentraciones en agua, aire, sedimentos y biota varían espacialmente debido a la movilidad estacional de los mineros artesanales y a que tanto las emisiones como los vertimientos están circunscritos a áreas a partir de las cuales se dan procesos de transporte y dispersión a nivel de cuenca. Solamente entre el 2 y el 8 % del mercurio liberado es retenido en sedimentos, la mayor parte puede ser evaporado y transportado vía atmosférica, puede ser llevado aguas abajo por la corriente o puede ingresar a la cadena alimenticia donde se bioacumula. No hay estudios sobre el alcance de la dispersión de mercurio que se libera durante la quema de la amalgama, sin embargo Marins et al. (1991) mencionan que en la selva las deposiciones suelen darse cerca de las áreas mineras, generalmente en un radio de 500 m. alrededor de ellas.

Es muy importante resaltar que el mercurio resulta tóxico para la biota si se encuentra *disponible* para ella en altas concentraciones. Algunas condiciones como temperatura, salinidad, dureza del agua, materia orgánica disuelta, presencia de otros compuestos, hidrología (Lucotte et al. 1999, Evers y Reaman, 1998) y diversos factores biogeoquímicos (Watras y Huckabee, 1998) como los tipos de depósitos de suelos (Fortin et al, 2001) pueden propiciar o no su disponibilidad. Incluso pueden interactuar entre si. Por ejemplo, el mercurio iónico ( $Hg^{+2}$ ) de la columna de agua bajo ciertas condiciones de pH, puede interactuar con el  $S^{-2}$  (sulfuro) formando un precipitado casi insoluble, el HgS,

que no está disponible para los seres vivos. Reacciones similares pueden ocurrir si las concentraciones de calcio, zinc y selenio son altas.

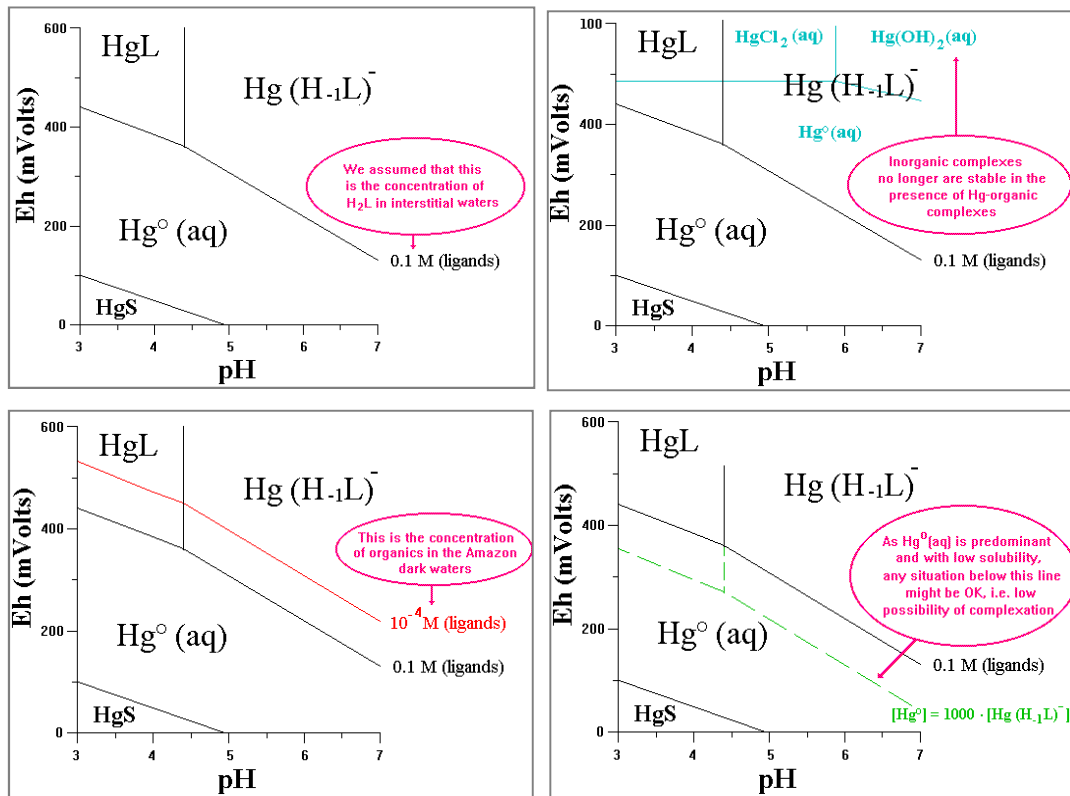
La estabilidad de los compuestos de mercurio se puede estudiar con los diagramas Eh-pH (ver Figura 36) donde las líneas representan el equilibrio entre especies, y tanto la magnitud como la posición del campo dependen de la presencia de los otros iones. Algunos factores que se toman en cuenta para la representación son: la concentración de cloruros, la concentración de sulfuros y la presencia de sustancias solubles como la materia orgánica. Sin embargo hay que tener cuidado al utilizarlos porque su construcción se basa en la asunción de condiciones de equilibrio, las cuales no son frecuentes en el ambiente, ya que las tasas de transformación a componentes más estables pueden ser muy lentas. Además, la presencia de ácidos fúlvicos en los sedimentos cambia los diagramas debido a la formación de complejos solubles con la consiguiente reducción de la precipitación y la movilización del mercurio de los sedimentos (Lövgren y Sjöberg, 1989; Ramamoorthy y Rust, 1976). Ver Figuras 37, 38, 39 y 40.



**FIGURA 36: Campos de estabilidad (Eh-pH) para especies acuosas de mercurio sin considerar la materia orgánica en solución.**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).





**FIGURAS 37, 38, 39 y 40: Cambios en los campos de estabilidad (Eh-pH) para especies acuosas de mercurio cuando se considera la materia orgánica en solución.**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).

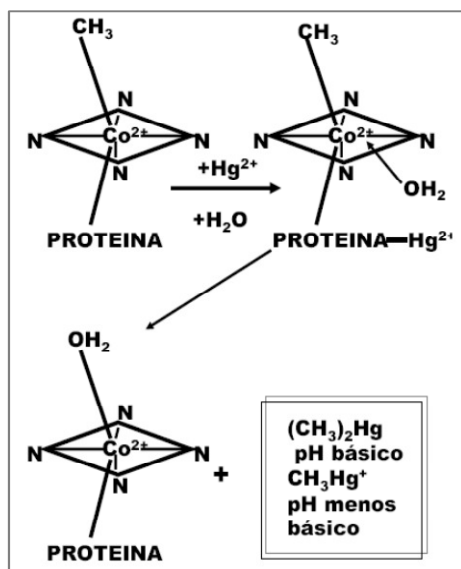
En las Figuras 37, 38, 39 y 40 las líneas completas representan condiciones de equilibrio en las que ambas especies tienen igual concentración. Las líneas punteadas representan las situaciones en las que la concentración del complejo es 1000 veces más baja que la concentración de mercurio metálico acuoso. En esos casos la posibilidad de metilación es remota. Lo que estas gráficas indican es que mientras más alto es el pH se requiere un menor potencial redox para formar complejos de mercurio. Además, en presencia de materia orgánica, los complejos se forman a menores niveles de Eh que aquellos observados en el diagrama Eh-pH para especies inorgánicas. Es así como el mercurio puede ser oxidado y solubilizado.

En la Amazonía la posibilidad de utilizar los diagramas Eh-pH como instrumento de predicción es muy limitada porque hay una amplia gama de ácidos orgánicos con distinta composición, que afectan de modo particular a las condiciones termodinámicas. Es más, como el metilmercurio es termodinámicamente menos estable que las especies

inorgánicas es casi imposible un equilibrio. Y adicionalmente, la asimilación por la biota es tan rápida que no da tiempo suficiente para la transformación del mercurio en el agua. Por ello, el compartimiento ambiental más relevante para el estudio está representado por los sedimentos.

Para que el mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ) se bioacumule, es necesario que primero se convierta en mercurio soluble (a través de su oxidación y transformación en mercurio iónico  $\text{Hg}^{+2}$ ) y luego en un compuesto alquilomercurial (Meech et al. 1998). Esto con frecuencia ocurre en los sedimentos. La conversión del mercurio iónico divalente a compuestos de metil y dimetilmercurio, puede darse por las siguientes vías:

- *Aeróbica*, que implica la metilación por procesos celulares que normalmente dan lugar a la formación de metionina.
- *Anaeróbica*, que comprende la metilación por medio de compuestos con metilcobalamina, los cuales son producidos por bacterias metanogénicas en ambientes moderadamente reductores. Según Grant (1971) cualquier microorganismo capaz de sintetizar vitamina B12 puede realizar la conversión. Es la vía más común en el ambiente. Ver detalles en la Figura 41.



**FIGURA 41: Acción de la metilcobalamina en la metilación del mercurio.**

FUENTE: Doadrio (2004).

Sin embargo, en algunos casos, en vez de metilarse el  $\text{Hg}^{+2}$  puede reducirse a vapor de mercurio metálico con ayuda de algunas bacterias del género *Pseudomona*. Lo mismo puede ocurrir en aguas aireadas medianamente eutróficas. La tasa de conversión varía entre 0.5% y 10% al día. Este proceso incrementa la pérdida de mercurio a la atmósfera y reduce la cantidad disponible para metilación en los sistemas acuáticos (Mason et al. 1995).

La metilación se ve favorecida ante la presencia de humus o sedimentos de turba (materia altamente orgánica) y no suele ocurrir en los suelos (Davis et al. 1997) ni en las columnas de agua a menos que se trate de cuerpos lóticos o lénticos de aguas oscuras, donde la presencia de ácidos fúlvicos es mayor (Meech et al. 1998). Estos últimos al ser capaces de incrementar la solubilidad del mercurio (Veiga 1997) incrementan la disponibilidad del mismo en forma de  $\text{Hg}^{2+}$ . Entonces, los lagos y lagunas con estratificación estacional pueden ser fuentes importantes de metilmercurio ya que tienen un hipolimnion anóxico (Slotton et al. 1995) y condiciones reductoras. Hay que mencionar que en medios ácidos se libera mayores cantidades de compuestos alquilomercuriales y a su vez estos se desintegran más rápido. Por eso Lacerda et al. (1989) indican que a  $\text{pH} < 5.5$  la biotransformación es mayor. Esto es más frecuentes en las cochas y pequeñas corrientes que en los ríos caudalosos de la Amazonía, cuyo pH suele fluctuar alrededor de 7.

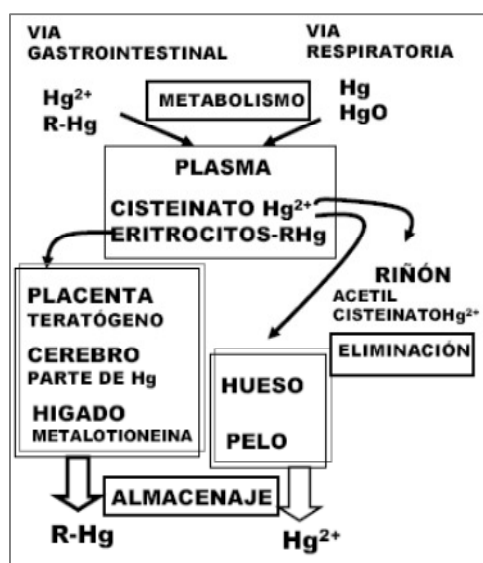
Resumiendo, la producción de metilmercurio es controlada fundamentalmente por la actividad metabólica microbiana, la concentración total de mercurio inorgánico (Hintelmann et al. 2000, y Rudd, 1995), la presencia de materia orgánica, el potencial redox y el pH (Veiga y Meech, en línea). En los ambientes con poca alcalinidad y bajo pH: pantanales, várzeas inundables y cuerpos de aguas negras, las tasas de metilación son mayores y los riesgos de bioacumulación en la biota también (Wiener et al. 2003, Chen et al. 2005 y Scheuhammer y Blancher, 1994).

En el Anexo A se muestra los niveles de mercurio total reportados hasta 1995 en compartimientos abióticos de las zonas mineras de la Amazonía.

#### **d) Toxicocinética del mercurio**

Una vez que ingresa al organismo de los animales superiores, el mercurio es transportado por los distintos constituyentes de la sangre. Aproximadamente el 90% de los

compuestos orgánicos de mercurio se transportan en las células rojas y un 50% del mercurio inorgánico lo hace a través del plasma, unido a la albúmina. El mercurio se distribuye tratando de alcanzar un estado de equilibrio que depende de: la dosis, la duración de la exposición, el grado de oxidación, la concentración de los compuestos de mercurio en los distintos compartimentos sanguíneos, la concentración en relación con los grupos sulfhidrilos libres, la afinidad de los componentes celulares con el mercurio, y la velocidad de asociación - disociación del complejo mercurio-proteína (ATSDR, 1999). En la Figura 42 se observa proceso LADME.



**FIGURA 42: Proceso de absorción, distribución, metabolismo y excreción (LADME) para el mercurio.**

FUENTE: Doadrio (2004).

Asimismo, el mercurio sufre biotransformaciones. Estas dependen de las peculiaridades de las diferentes especies químicas, pero pueden resumirse en cuatro clases:

- Oxidación del vapor de mercurio metálico ( $Hg^0$ ) a mercurio divalente ( $Hg^{+2}$ ).
- Reducción del mercurio divalente ( $Hg^{+2}$ ) a mercurio metálico ( $Hg^0$ ).
- Metilación del mercurio inorgánico (aproximadamente 0,05 - 0,26% del mercurio inorgánico se convierte en metilmercurio, según estudios en ratas).
- Conversión del metilmercurio en mercurio inorgánico (fundamentalmente en el hígado, el bazo y en el cerebro y otros tejidos bajo condiciones de exposición crónica).

El mercurio presenta especial afinidad por el cerebro y el sistema nervioso. Mientras está como  $\text{Hg}^0$  atraviesa<sup>5</sup> la barrera encefálica y luego se oxida a  $\text{Hg}^{+2}$  en los eritrocitos, quedando retenido. Inclusive, dentro del cerebro tiene una localización selectiva. Por otra parte, el mercurio divalente ( $\text{Hg}^{+2}$ ) que ingresa al organismo se deposita fundamentalmente en los constituyentes celulares ricos en grupos sulfhidrilos ( $-\text{SH}$ ), como los lisosomas del riñón y del hígado, donde se une a la metalotioneína<sup>6</sup>.

Por lo general, el mercurio inhibe los grupos sulfhidrilo de numerosas enzimas y precipita las proteínas, en especial aquellas sintetizadas por las neuronas. También disminuye la producción energética celular y la actividad mitocondrial. Provoca la muerte celular porque disminuye el transporte activo de azúcares, aminoácidos y precursores de ácidos nucleicos en las proteínas de estructura y en las enzimáticas. Asimismo, reduce las defensas del organismo ante otros metales pesados y es capaz de generar aberraciones cromosómicas y por lo tanto anomalías congénitas. El riesgo de toxicidad es mayor cuando la exposición es crónica.

En cuanto al metilmercurio, por ser liposoluble su distribución en el organismo es más uniforme y se reparte entre el cerebro, el hígado y el riñón<sup>7</sup>. Cantidades menores van también al epitelio del tiroides, las células medulares de las glándulas adrenales, los espermatozoides, el epitelio pancreático, la epidermis, las reservas de grasa y el cristalino.

En mamíferos las rutas preferentes para la eliminación del mercurio son la orina (hasta 10%) y las heces (aproximadamente 90%). En el caso del metilmercurio la eliminación es muy lenta porque es recirculado al tracto gastrointestinal<sup>8</sup> y solo parte de él es expulsado en las excretas ya que el resto es reabsorbido hacia el plasma, generándose un ciclo. Este proceso da lugar a un riesgo elevado de acumulación. Hay otras especies de mercurio que pueden ser excretadas por la saliva en cantidades relativamente importantes

---

<sup>5</sup> El paso del  $\text{Hg}^0$  a través de las membranas celulares está facilitado por su alta liposolubilidad y por la ausencia de cargas eléctricas.

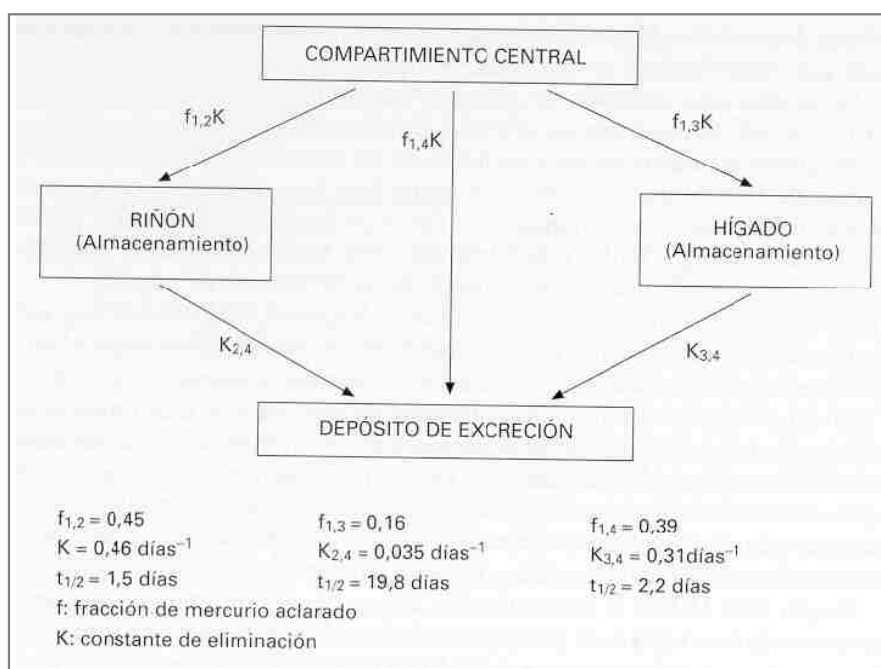
<sup>6</sup> La metalotioneína es un receptor de proteínas que es inducido e incrementado en cantidad debido al mercurio.

<sup>7</sup> En humanos, el mercurio se distribuye principalmente entre los siguientes compartimientos: músculo (del 44% al 54%), hígado (del 19% al 22%), riñón (9%), sangre (9%-15%), piel (8%), cerebro (del 4% al 7%) e intestino (3%).

<sup>8</sup> Se ha determinado que en humanos, el  $\text{Hg}^0$  se absorbe muy poco en el tracto gastrointestinal, probablemente en cantidades inferiores al 0,01%. Además, por esta vía, la absorción de los compuestos inorgánicos de mercurio (insolubles) varía entre el 2% y el 15%, dependiendo de la solubilidad del compuesto ingerido.

( $\frac{1}{4}$  de la concentración sanguínea y  $\frac{1}{10}$  de la concentración urinaria), así como por medio del sudor y por exhalación (hasta el 7% del mercurio inhalado)<sup>9</sup>.

Según Español (2001), en 1969 Cember propuso un modelo toxicocinético para la acumulación y excreción del mercurio donde considera que el mismo puede ser enviado directamente a los depósitos de excreción (orina, heces, pelo, uñas, etc.) o puede pasar por un período importante de acumulación en los riñones, que hace lenta la velocidad de eliminación (ver Figura 43). También es posible que se acumule por un plazo corto en el hígado antes de ser excretado. En el caso específico de las aves piscívoras, el mercurio se concentra más en el hígado que en los riñones (Scheuhammer et al. 1998). En estos dos compartimientos, y también en el cerebro, ocurre desmetilación así que el metilmercurio que ingresa al organismo puede almacenarse como mercurio inorgánico (Ikemoto et al., 2004).



**FIGURA 43: Modelo toxicocinético de eliminación de Cember.**

FUENTE: Español 2001).

Como se puede observar en el Cuadro 7, la vida media<sup>10</sup> de los diferentes compuestos de mercurio varía según la especie y el compartimiento donde se almacena.

<sup>9</sup> Suele haber 100% de absorción y 80% de retención en los pulmones.

<sup>10</sup> Vida media es el tiempo que tarda el organismo en reducir a la mitad la concentración del tóxico. Por

Sin embargo, hay que mencionar que si el ingreso de mercurio es continuo, la carga en los riñones permanece casi constante, ya que en la orina se excreta solamente la mitad de la dosis absorbida. Todas las formas del mercurio pueden dañar los riñones si cantidades suficientemente altas entran al cuerpo. En los riñones se concentra entre 50 y 80% de todo el mercurio presente en el organismo (IPCS, 1991). La presencia de las enzimas glutatónicas es probablemente la causa principal de esta concentración.

**CUADRO 7: Vida media de las especies químicas de mercurio en el organismo.**

| Especie química     | Vida media en el organismo | Vida media en tejidos y órganos |
|---------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Metilmercurio       | Humanos: 120 días.         | Sangre: 70 días.                |
|                     | Peces: 2 años.             | Cerebro: 240 días               |
| Mercurio elemental  | Humanos: 60 días.          | Pulmones: 1,7 días.             |
|                     |                            | Riñones: 64 días                |
|                     |                            | Cerebro: menos de 1 año.        |
| Mercurio inorgánico | Hombres: 48 días.          | Sangre: 20 a 28 días.           |
|                     | Mujeres: 37 días.          |                                 |

FUENTE: ATSDR (1999).

### e) Sintomatología y tratamiento

Los primeros síntomas de intoxicación por mercurio no son específicos: parestesia, visión borrosa, laxitud, apatía, menor tolerancia al estrés y malestar. Pueden pasar desapercibidos. Por ejemplo: pequeñas reducciones del cociente de inteligencia (IQ) o efectos sobre el cerebro. Estos solamente pueden determinarse usando exámenes neurológicos muy sensibles y ello no está disponible siempre, menos aún para estudios en animales. Sin embargo, todos concuerdan en que la exposición prolongada afecta el sistema nervioso central y destruye células neuronales<sup>11</sup>. Como ya se mencionó, ello puede desencadenar ataxia, disartria, parálisis motoras y alteraciones sensoriales (diplopia, estrechamiento del campo visual y sordera). En casos de embarazo, la situación es grave

---

ejemplo, si un compuesto tiene una vida media de 24 horas y su concentración en un momento dado es 40 mg/L, en un día se bajará la concentración a 20 mg/L, pero bajar esta concentración otros 20 mg/L requerirá de más de 6 días debido a la cinética metabólica y de eliminación (Peña et al., 2004).

<sup>11</sup> La respuesta tóxica es cualquier cambio que va mas allá de la capacidad de adaptación y produce una lesión celular permanente (Peña et al., 2004).

porque el mercurio se concentra hasta 30 veces más en la placenta que en el cuerpo de la madre y ello se traduce luego en aborto espontáneo, morbilidad perinatal, malformaciones congénitas y/o en el incremento de la incidencia de tumores en el sistema nervioso central del feto.

La intoxicación por metilmercurio también deprime el sistema colinérgico, lo cual, en experimentos con animales se ha manifestado por la disminución de la actividad motora, la disfunción rotatoria y la hipertermia. Otras consecuencias son alteraciones en la formación y agregación de plaquetas, inhibición de la secreción de prostaglandina, reducción del zinc y el magnesio en los eritrocitos, inhibición de esteroides adrenales y testiculares (y por lo tanto de la actividad sexual), etc.

En general, la exposición oral prolongada de animales a niveles altos de metilmercurio produce daños al sistema nervioso, riñón, estómago e intestino grueso, altera la presión sanguínea y los latidos del corazón, genera disfunciones reproductivas, etc. Los estudios también demuestran que si un animal es expuesto al metilmercurio durante su etapa de desarrollo, los efectos empeorarán con la edad aún cuando la exposición haya cesado. El caso es distinto para exposiciones agudas en adultos, en las que sí es posible excretar lentamente gran parte del mercurio a lo largo de varios meses luego de eliminar la fuente (cuatro o cinco meses en el caso de peces).

No existen tratamientos eficaces para la intoxicación avanzada. En humanos los antídotos<sup>12</sup> son fundamentalmente preventivos y se administran inmediatamente después de la exposición. No se han probado antídotos en fauna silvestre. Las intoxicaciones agudas requieren una combinación de técnicas de depuración vía digestiva, respiratoria, parental, etc. Las crónicas requieren que se suprima todo el contacto con la fuente de contaminación y un tratamiento desintoxicante.

#### **f) Interacciones y sinergias**

Existen algunos elementos que pueden incrementar la tolerancia de los organismos al mercurio. El selenio, por ejemplo, reduce la toxicidad de aquel porque interacciona con

---

<sup>12</sup> Los antídotos se aplican básicamente en humanos y buscan reducir la cantidad de mercurio en el tejido receptor, formando un complejo inactivo o facilitando la desmetilación y eliminación.



el  $\text{Hg}^{+2}$ , disminuyendo sus concentraciones en riñones y tejidos, mediante la formación de selenoproteínas (Palmisano et al. 1995, Cavalli y Cardellicchio, 1995). También es posible que limite la absorción de metilmercurio al competir por los sitios de unión y al restringir su biodisponibilidad. Según Cuvin – Aralar y Furness (1991) otros mecanismos de protección serían la redistribución de la excreción del mercurio, la formación de complejos, la conversión a formas menos tóxicas (con formación de metalotioneinas y tiemanitas insolubles, por ejemplo) y el incremento de la acción de la glutatióna peroxidasa, enzima que previene el daño oxidativo. El selenio puede incluso inhibir el transporte hacia la placenta.

Cada compuesto de selenio tiene un efecto protector diferente, que varía según la etapa de la vida del animal y la especie de mercurio con la que debe interactuar. Así, el selenio presente en la dieta es menos eficaz que el selenito. El ion selenio es el que puede formar las selenoproteínas. En este caso específico aunque su presencia favorece la desmetilación no implica un aumento en la excreción de metilmercurio sino que al inducir cambios en la forma química puede originar un incremento de la concentración de mercurio inorgánico en el cerebro y en el hígado. Todos los efectos protectores del selenio son apreciables en organismos superiores y muy poco en invertebrados (Pelletier, 1986).

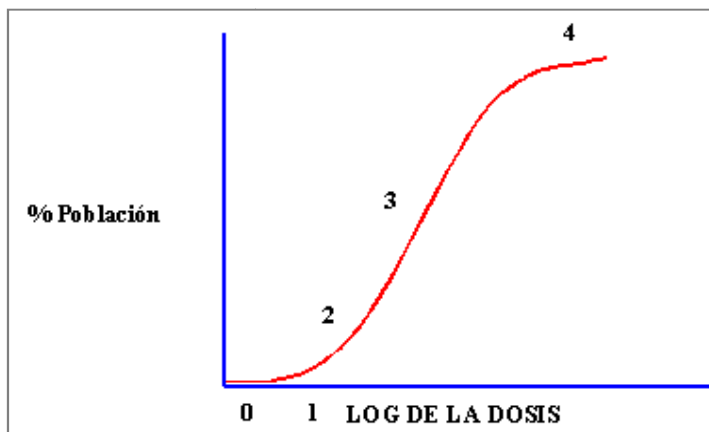
Por otra parte, cuanto más metilmercurio se consume en la dieta, más selenio se almacena en los tejidos y esto puede llegar a ser peligroso puesto que altas concentraciones de selenio tienen efectos teratogénicos (Hoffman et al., 1988). Hay que tener en cuenta que 10  $\mu\text{g/g}$  de selenometionina pueden proteger a un animal de los efectos adversos de 10  $\mu\text{g/g}$  de metilmercurio, pero pueden resultar tóxicos si las concentraciones mercuriales se reducen mientras el selenio permanece, o si el individuo se encuentra débil.

Aparte del selenio, principal antagonista, hay otros factores que modifican la toxicidad del mercurio, por ejemplo: la vitamina E y el alcohol. La primera es antioxidante y aumenta la tolerancia al metilmercurio. El etanol, en cambio, tiene un efecto negativo ya que inhibe la acción de la catalasa y modifica el balance redox del mercurio inorgánico en los tejidos, de manera que potencia los efectos del metilmercurio. Algunos estudios sugieren que aumenta la retención del metilmercurio en el riñón, hígado y cerebro a concentraciones que no modifican su neurotoxicidad pero sí su nefrotoxicidad.

### g) Indicadores toxicológicos de límites de exposición

Los estudios toxicológicos dosis – respuesta permiten obtener valores referenciales que, para cada contexto, representan los límites de resiliencia de una especie. Si bien la confiabilidad de estos valores depende de la muestra, contribuyen a la toma de decisiones porque son el punto de partida para evaluaciones toxicológicas más avanzadas y guían las decisiones políticas sobre estándares ambientales.

En los experimentos se analiza los efectos del contaminante en especímenes de laboratorio bajo condiciones controladas con el objetivo de determinar la correspondencia entre la cantidad de tóxico y la magnitud del efecto. Para poder generalizar los resultados se trabaja con varios supuestos<sup>13</sup>. Cuando existe mucha variación entre una misma población, se analiza el porcentaje que presenta una determinada respuesta para cada dosis suministrada y se grafica una curva similar a aquella de la Figura 44.



esta Máxima

**FIGURA 44: Curva teórica dosis – respuesta en relación al % de población.**

FUENTE: Peña et al. (2004).

<sup>13</sup> Asunciones:

- Que especies similares presentan respuestas similares (aunque en la realidad existan excepciones).
- Que la concentración que determina la respuesta tóxica es la que se presenta en el tejido u órgano blanco (mg de sustancia/ml de sangre) y no la que se encuentra en el medio contaminado.
- Que el tóxico se diluye en el organismo y entre mayor sea la masa corporal, mayor cantidad se necesitará para alcanzar una determinada concentración en la sangre.
- Que la sangre está en equilibrio con todos los tejidos.
- Que la concentración del tóxico dentro del organismo cambia con el tiempo.
- Que el período y frecuencia de la exposición determina el tipo de efecto, de allí que se hable de exposiciones agudas, subagudas, crónicas y subcrónicas.

La curva dosis – respuesta evidencia los impactos la salud de un compuesto químico. Generalmente curva es horizontal (sin efectos) cuando la dosis es muy baja. Esa región se conoce como NOAEL (por sus siglas en ingles No Observed Adverse Effects Level) y su límite es el valor clave a identificar. Cuando empiezan a evidenciarse efectos, la pendiente de la curva crece. A eso se le denomina LOAEL (en inglés: Lowest Observed Adverse Effect Level). Luego la pendiente se incrementa hasta su nivel máximo y entonces empieza a decaer. Si las exposiciones experimentales son intermitentes, se corrige el valor del NOAEL para que representen exposiciones continuas (Peña et al., 2004). Inclusive, en ciertos casos es posible calibrar los resultados con valores obtenidos en observaciones de campo. El NOAEL y el LOAEL son datos muy importantes en las evaluaciones de riesgos toxicológicos.

En el Anexo B se presenta una lista de valores de NOAEL y LOAEL en relación a la dieta de especies acuáticas que son particularmente sensibles a la exposición a mercurio. Los mismos pueden ser usados con fines comparativos. En contraste, en el Anexo C se mencionan algunos de los valores límite, recomendados para las diferentes especies de mercurio. Nótese que muchas veces estos no tienen relación con lo indicado por los estudios toxicológicos. Adicionalmente, en los Anexos D y E se lista los estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles establecidos por el gobierno peruano para el mercurio total.

#### **h) Mercurio en la Amazonía**

- **En sedimentos**

En la Amazonía, a mediano y largo plazo los procesos de transporte de sedimentos son determinantes en la dispersión del mercurio. Usualmente las concentraciones superficiales son altas alrededor de los *hotspots* mineros. Según Díaz (1998) en ellas pueden elevarse cerca de 4000 veces (157 ug/g en contraste con 0.04 ug/g 100 Km aguas abajo). Sin embargo, si analizamos capas más profundas encontraremos que existe mercurio almacenado en toda la cuenca amazónica (los suelos tienen al menos 50000 años de antigüedad y todo ese tiempo han estado recibiendo ingresos de Hg). Los tipos de suelos y las características hidrológicas de cada microcuenca determinan su movilidad.

Lechler et al. (2000) han encontrado concentraciones altas de mercurio en oxisoles amazónicos y correlación entre la presencia de As y Hg en zonas mineralizadas. Esto ayuda a explicar las altas concentraciones superficiales en áreas intervenidas por la minería. Sin embargo, para analizar las concentraciones en las diferentes capas de suelo, debemos evaluar históricamente los procesos erosivos y la presencia de elementos capaces de controlar la movilidad del mercurio en los sedimentos, como el hierro. Esto se realiza evaluando testigos profundos de sedimentos y horizontes de suelos. Generalmente se encuentra importantes concentraciones de mercurio y hierro en el horizonte B ya que en la Amazonía los compuestos del horizonte A se lixivian rápidamente en los latosoles y podzoles.

En la cuenca alta del río Madre de Dios, las pérdidas de suelo totales son de 390 508.7 Tn/año, que es lo mismo decir 1,321.00 k/Ha/año, lo que significa la pérdida de una lámina de suelo de aproximadamente 0,20 mm de espesor (PROMANU, en línea). Además, mientras mayores avenidas y escurrimientos se presentan, los procesos erosivos son más violentos.

En 1996, INGEMMET realizó un estudio de la dispersión del mercurio en Madre de Dios (Medina, 2001). Las concentraciones en sedimentos, aguas abajo de la boca del río Inambari, se encontraban entre 0.01 y 0.185 mg/Kg. Las muestras recolectadas aguas arriba, en zonas mineras, estaban entre 0.1 y 0.82 mg/kg, y se encontró incluso una muestra con 2.56 mg/kg. En todos los casos se sobrepasó el nivel esperado para ríos amazónicos sin actividad minera, que es <0.02 mg/kg.

Trigoso y Juscamaita (en línea) realizaron en 1995 una investigación preliminar para la rehabilitación de Huepetuhe y al realizar la línea base encontraron concentraciones entre 0.091 y 0.362 mg/Kg en sedimentos contaminados, siendo 0.131 mg/Kg la concentración de sedimentos provenientes del área testigo. Además, reportaron que la conductividad eléctrica del suelo fluctuaba entre 0.14 a 0.22 dS/m debido al bajo contenido de sales y a que el pH variaba entre 4.5 y 5.2 (ácido). Asimismo, hallaron que el material estaba conformado principalmente por arena y el contenido de cationes cambiabiles era bajo.

En la Evaluación Ambiental Territorial el MINEM (1997) se reportó los parámetros de calidad de suelos mostrados el Anexo F. Se puede observar que el promedio de HgT fue 0.29 mg/Kg variando entre 0 y 0.7 mg/Kg. En el 2002, Barbieri evaluó los sedimentos de la cuenca del río Malinowski y halló las concentraciones de mercurio que se muestran en el Anexo G.

Por otro lado, en lo que respecta a suelos con alto contenido de materia orgánica, a fin de prevenir los efectos ecológicos del mercurio, se han establecido límites críticos preliminares de 0.07-0.3 mg/kg de HgT en el suelo.

- **En agua**

El agua representa un compartimiento ambiental de referencia, útil para estimar las bioconcentraciones de los contaminantes. Trigos y Juscamaita (en línea) reportaron contenidos de mercurio entre niveles no detectables (<0.0002 mg/l) y un máximo de 0.038 mg/l para aguas con pH entre 3.8 y 6.4, y con temperatura entre 23 y 26 °C. En 1996, INGEMMET encontró que el 92% de sus 51 muestras estaban por debajo de los 0.5 mg/l, y que sólo 4 muestras tenían valores elevados por haberse tomado cerca de centros de almagamación: 0.6 mg/l, 1 mg/l, 4.4 mg/l y 71.45 mg/l. Sin embargo, como se observa en el Anexo H, en 1996 los valores seguían siendo bajos (0.002 mg/l) o no detectables en otros puntos de la cuenca. En el 2002, Barbieri también obtuvo valores no detectables de mercurio, a pesar de haber realizado su estudio en la cuenca del río Malinowski, donde la actividad minera es importante. Ver Anexo I.

En los reportes de DIGESA del 2000 al 2006 (en Ascorra, 2008) ya se encuentran estaciones donde la concentración de mercurio en agua no sólo es detectable sino que es mayor a 0.001 mg/l, valor recomendado por la OMS. Ver Anexo J. Mientras tanto, otros estudios concentraron sus esfuerzos en medir la calidad del agua en función a otros parámetros. En el Anexo K se observa un resumen de la data colectada por el Stroud Water Research Center (SWRC, en línea) en un área altamente contaminada y un área de conservación. Se observa que en las zonas mineras la diversidad<sup>14</sup> de macroinvertebrados se reduce, así como el pH y el oxígeno disuelto. En el Anexo L se observa los datos

---

<sup>14</sup> A menos que se indique más detalle, este documento hace referencia a biodiversidad  $\alpha$  de especies.

recabados durante la realización del EIA de la carretera interoceánica en el sector que atraviesa la capital de Madre de Dios, el cual no contempló la medición de las concentraciones de mercurio.

- **En peces**

Los peces constituyen una fuente importante de proteínas en la Amazonía, y por lo tanto son fundamentales en la dieta de la biota del ecosistema acuático y en la de los humanos. Según Pfeiffer et al. (1993) y Akagi et al. (1995), en los tejidos de los peces aproximadamente el 90% del mercurio se encuentra metilado y unido covalentemente a las proteínas con grupos sulfidrilos. Por ende, cuando las fuentes de contaminación son persistentes, bioacumulan en gran cantidad.

La bioacumulación de mercurio en peces depende de muchos factores como: la química del agua<sup>15</sup>, los hábitos alimenticios<sup>16</sup>, la edad, el tamaño, las características metabólicas de cada especie, el nivel de contaminación del hábitat y el tamaño de la cuenca. Barbosa et al. (2003), por ejemplo, han encontrado una relación entre la concentración de mercurio en peces y las siguientes variables: el pH, el COD y la concentración de mercurio en agua. Sin embargo, en algunos casos, se presentan relaciones extrañamente inversas o no se presentan, por lo que se hace necesario evaluar las condiciones particulares del ambiente, las interacciones con otros compuestos como el selenio, y la fisiología de la especie. Según Dorea et al. (1998), los grandes peces amazónicos también acumulan selenio, lo que neutraliza el efecto tóxico del mercurio.

Los peces ricos en grasas acumulan metales y elementos traza con mayor facilidad y sus alevines generalmente presentan alteraciones. Así lo demostraron Fjeld et al. (1998) al evidenciar que los embriones de este tipo de peces, expuestos por vía parental a concentraciones de mercurio cercanas a 0.27 mg/Kg (durante la ovogénesis), se convierten en alevines con alimentación menos eficiente que la población normal.

---

<sup>15</sup> Lathrop et al (1989) encontraron que las concentraciones se incrementan cuando el pH, la alcalinidad, la concentración de calcio, la conductividad y los valores de clorofila en el medio, disminuyen.

<sup>16</sup> A través de la ingesta, los peces introducen a su organismo nueve veces más mercurio que a través del agua que beben o con la que tienen contacto (Kudo y Mortimer, 1979).

Aunque hay diferencias entre especies, concentraciones entre 6 – 20 mg/Kg (peso húmedo) en músculo son letales para los peces (Hammerschmidt et al., 2002). Este tipo de datos sólo se presenta en zonas altamente impactadas, como la bahía de Minamata en Japón. Sin embargo, aún a niveles más bajos hay efectos conductuales, hormonales y reproductivos (gónadas menos desarrolladas, menor producción de huevos, menor cruzamiento). La mayor parte de experimentos realizados en laboratorios subestiman las dosis letales porque no consideran que la principal vía de ingreso del mercurio es el alimento y no el agua.

Las concentraciones normales de mercurio en peces carnívoros de la Amazonía deberían fluctuar entre 0.01 ug/g y 0.8 ug/g peso húmedo, pero en la actualidad es difícil que esto se presente. En cambio, es mucho más frecuente encontrar valores como los reportados por Malm en 1991 para piscívoros de los ríos Madeira y Tapajós, es decir, entre 0.9 y 2.89 ug/g.

Los peces, al ser ingeridos, transfieren a sus predadores los compuestos de mercurio. Además, si mueren sin ser devorados se descomponen, pasando a formar parte de los sedimentos y cuando los organismos bentónicos se alimentan, el mercurio contenido en ellos reingresa en la cadena alimenticia acuática y se biomagnifica nuevamente a través de cada nivel trófico. Adicionalmente, por su capacidad de migrar, los peces son los organismos que movilizan el metilmercurio con mayor efectividad.

Por lo mencionado anteriormente no cabe duda que la concentración de mercurio en peces es un indicador clave para estimar el riesgo toxicológico. En el Anexo M se resume varios estudios sobre las concentraciones de mercurio en peces de la Amazonía y ecosistemas similares. Hay que tener en cuenta que según el Instituto de Medio Ambiente – IMA, para 1995 las concentraciones en Madre de Dios representaban sólo un tercio de las concentraciones en Brasil. Se puede observar que los peces insectívoros, pocas veces considerados en los estudios toxicológicos, pueden bioconcentrar el mercurio muy rápido llegando a pronta edad a umbrales semi-letales. Y, en términos generales, cada especie tiene una capacidad distinta para adaptarse a ambientes contaminados por mercurio, al margen de sus hábitos alimenticios.

En el 2008, Wanderley et al. publicaron un compendio histórico de las concentraciones de mercurio en peces capturados en el río Madeira. Ver Anexo N. Dicha investigación resume los estudios realizados entre los años 1987 y 2000 e incluye al menos a 86 especies y más de 1100 muestras. Como la mayoría de peces amazónicos son migratorios y pueden movilizarse a través de toda la cuenca, atravesando fronteras, la información rescatada por Wanderley et al. resulta relevante para Madre de Dios. Un hallazgo interesante es que en escala multianual no fue posible encontrar correlaciones significativas entre la concentración de mercurio y el largo o peso del pez. Esto muestra la alta variabilidad de respuestas que es posible encontrar y toma en cuenta el cambio temporal de los hábitos migratorios y alimenticios de los peces.

En Perú, Gutleb et al. (1993), Deza (1997), Barbieri (2004) así como Fernández y González (2009), han determinado mercurio total en peces en el departamento de Madre de Dios. Gutleb halló valores altos inclusive en el Parque Nacional Manu, principalmente en aquellos especímenes de gran tamaño (ver Anexos O y P).

En 1997, Deza realizó un monitoreo en peces obtenidos cerca de Puerto Maldonado para analizar la acumulación según niveles tróficos. Ver detalles en el Anexo Q. Es el estudio con mayor cantidad de muestras analizadas y concluyó que las concentraciones mayores se presentan en grandes peces migratorios, aunque la bioacumulación depende sobretodo del grado y tiempo de exposición. De sus resultados es importante resaltar las diferencias interespecíficas<sup>17</sup> encontradas. Así, para el carnívoro migratorio “dorado” reportó concentraciones entre 0.307 y 1.095 mg/Kg, para el carnívoro residente “fasaco” entre 0.013 y 0.151 mg/Kg, para el insectívoro “mojarrita” entre 0.012 y 0.062 mg/Kg, para el detritívoro migratorio “boquichico” entre 0.024 y 0.124 mg/Kg y para el detritívoro residente “carachama” entre 0.004 y 0.046 mg/Kg. También halló correlaciones significativas entre el peso del pez (relacionado a la edad) y las concentraciones de mercurio, sobretodo en predadores. Además, pudo demostrar que hay especies insectívoras de poco peso y tamaño que bioacumulan cantidades importantes, incrementando la biomagnificación en el área. Sin embargo, resaltó que sólo aproximadamente el 10% del contaminante ingerido a través de las presas es bioacumulado por el nivel trófico siguiente.

---

<sup>17</sup> La calificación del hábito de un pez (migratorio o residente) es relativa, depende no sólo de la especie sino de las condiciones ambientales que propician o no la movilización de un cardumen específico.



En cuanto a Barbieri (2004), analizó sus resultados a la luz de los datos de mercurio total en agua y sedimentos del río Malinowski, según puntos de muestreo. Ver Anexo R. Encontró correlación entre la longitud de los peces y su nivel de bioacumulación. Asimismo, halló valores bajos de mercurio en agua en los lugares donde las concentraciones en sedimentos eran altas y las concentraciones en peces, variables, evidenciando la dificultad de encontrar el tamaño óptimo de muestra.

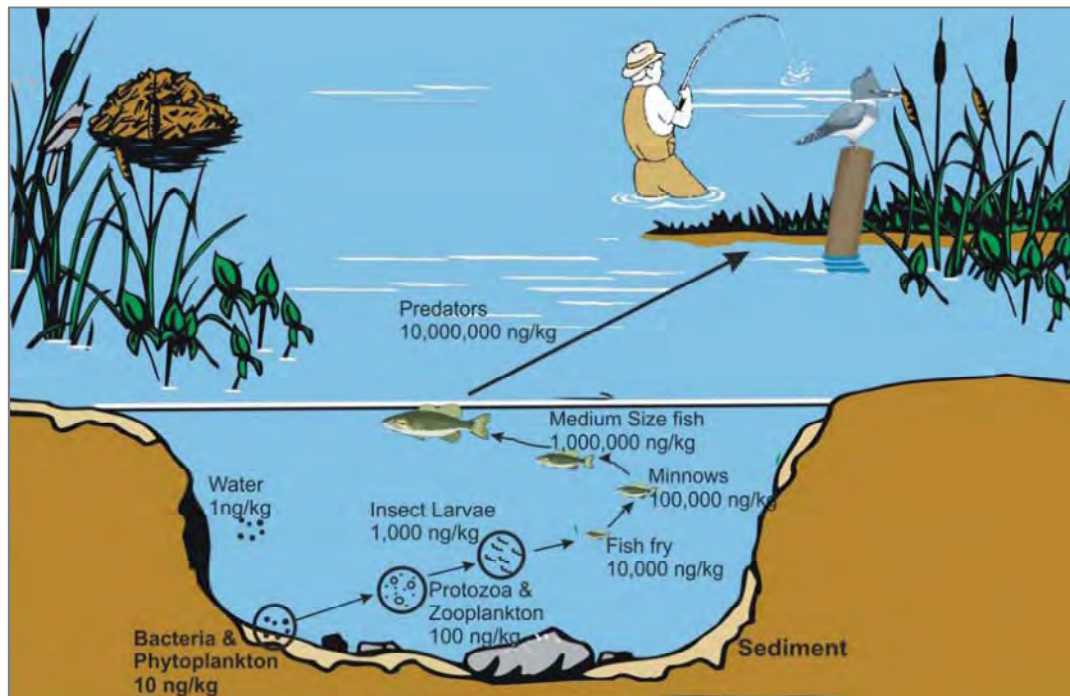
En el 2009, Fernández (del Carnegie Institution for Science) y Gonzalez (de la Universidad de Machala) realizaron una investigación conjunta sobre la minería aluvial en Perú y realizaron el trabajo de campo con un espectrofotómetro portátil. Sus resultados se presentan en el Anexo S. En resumen, hallaron concentraciones sobre los 0.5 ppm recomendados por la OMS en 3 de las 10 especies estudiadas (mota punteada, zúngaro y chambira) y valores altos en las doncellas. Sólo en las corvinas se pudo identificar una correlación lineal ( $R^2 = 0.793$ ) entre el peso del pez y la concentración del mercurio. Las muestras tomadas en piscigranjas, peces omnívoros y detritívoros mostraron concentraciones relativamente bajas.

#### **i) Mercurio en organismos sensibles y bioindicadores**

En vista que el mercurio es altamente tóxico, se bioacumula en la biota y se biomagnifica<sup>18</sup> a través de la cadena trófica (como se observa en la Figura 45), los organismos que están en el tope de la misma o en compartimientos clave, suelen estudiarse como bioindicadores.

---

<sup>18</sup> Biomagnificación: Ratio que expresa la concentración de un metal pesado en el tejido de un predador, en comparación con la concentración del mismo elemento en los tejidos de su presa (AMAP, 1998).



**FIGURA 45: Biomagnificación del mercurio en la cadena trófica.**

FUENTE: New Jersey Department of Environmental Protection (2001).

A continuación se describe las concentraciones y efectos del mercurio en algunos organismos clave para la evaluación del impacto ambiental:

- **En plantas**

Si bien la absorción de mercurio por parte de las plantas vasculares no es significativa, hay especies que sí biocumulan y pueden utilizarse como bioindicadoras. Por ejemplo, algunos musgos y hongos. En 1996, INGEMMET encontró que las concentraciones de mercurio en raíces, hojas y tallos, aguas abajo de la desembocadura del río Inambari, estaban alrededor de 0.033 y 0.185 mg/kg, siendo menores que aquellas de muestras tomadas aguas arriba de la desembocadura, que estaban en el rango de 0.03 a 0.395 mg/kg.

- **En bentos e invertebrados en general**

Baker and Allard (2002) han demostrado que por vivir en contacto con los sedimentos, la concentración de mercurio en bentos y macroinvertebrados es alta, aunque la concentración proporción metilada respecto al mercurio total varía considerablemente

según el hábito alimenticio. Así por ejemplo, Tremblay (1999) encontró que en los insectos detritívoros el porcentaje metilado era 35-45% y en los predadores 70-85%. Al igual que en caso de los peces insectívoros, a pesar que estos porcentajes son más bajos que aquellos de los peces, la bioacumulación es mucho más rápida. La contraparte es que en muchos invertebrados el tiempo de vida medio del mercurio en el organismos es más corto (2 días aproximadamente), y por lo tanto su labilidad es mayor.

Las lombrices de tierra han demostrado ser excelentes bioindicadoras de la biodisponibilidad del mercurio en el sedimento (Hinton y Veiga, 2002). Son una buena alternativa para investigaciones en las que no se tiene referencia sobre la fisiología de los invertebrados nativos. Pueden metilar el mercurio internamente, sobretodo en sistemas de aguas negras con abundantes ácidos orgánicos.

En cambio, evaluar la contaminación por mercurio utilizando estudios taxonómicos y de diversidad no siempre es apropiado ya que es posible que en áreas contaminadas por mercurio la abundancia y diversidad de los invertebrados no se vea afectada significativamente o de manera negativa. En muchos casos la forma química que presentan los compuestos con mercurio no permite la captación y por tanto las comunidades bentónicas siguen exhibiendo la misma integridad (Baker and Allard, 2002).

- **En humanos**

Estudiar las concentraciones de mercurio y metilmercurio en personas es de gran utilidad para la toma de decisiones. Sin embargo, hay algunas dificultades técnicas respecto al muestreo. Por ejemplo, las muestras de cabello pueden verse afectadas por factores externos y pueden tener concentraciones diferenciadas según la longitud.

Se ha demostrado que existe una relación directa entre las concentraciones en la sangre y aquellas en la dieta (peces). Morton y Clarkson (1973) proponen:  $\text{Hg en sangre (ppb)} = 0.95 \times \text{Hg (mg) ingesta diaria de pescado}$ . Igualmente, cuando la ingesta diaria es casi constante hay un equilibrio entre el mercurio en sangre y cabellos.

Health Canada (Veiga et al., 1999) recomienda que la ingestión diaria en mujeres y niños no debe ser mayor a 0.2 mg/Kg de mercurio y en hombres no más de 0.47 mg/Kg.

En cabello la concentración normal es aproximadamente 6 ppm (70% metilado) así que con 50 ppm ya habría evidencias de intoxicación. En sangre el valor límite normal es 10 ug/L y en orina 20 ug/L, en función al nivel de creatinina. Para gestantes, 20 ppm en cabello pueden ser peligrosos, así que un límite conservativo propuesto es 10 ppm (Skerfving, 1988). Niños nacidos de madres con concentraciones entre 70 y 640 ug/g han desarrollado alteraciones neurológicas.

La concentración de mercurio en individuos que no están expuestos ocupacionalmente y tienen un consumo moderado o bajo de pescado, varía entre 0.1 ug/L y 7 ug/L, siendo más altos los valores en sangre. Barreto (en línea) ha evaluado las concentraciones de mercurio en orina, sangre y cabello en pobladores del río Nanay entre el 2001 y el 2002, cuando hubo un incremento importante de la actividad minera en la zona, y encontró que si bien en ocasiones las concentraciones en orina pueden ser bajas o menores en promedio a las obtenidas el año anterior, las concentraciones en cabello son las más adecuadas para realizar evaluaciones históricas. En este compartimiento halló que una proporción mayor de pobladores se encontraba intoxicado crónicamente aunque no siempre se evidenciaban signos de toxicidad aguda en orina o sangre. La evaluación en estos dos compartimientos es útil fundamentalmente cuando se busca indicios de exposiciones recientes y altas.

A inicios de los 90s, investigadores de la Universidad de Montreal (IRDC, 2003) comprobaron que sólo con exponerse tres semanas a una alimentación con peces dos veces al día, los niveles de metilmercurio en el cabello se pueden incrementar entre 2 y 3 veces. A pesar de ello, en la Amazonía, los pobladores ribereños expuestos no mostraban síntomas graves de intoxicación por mercurio, aunque experimentaban disminución de la coordinación, la destreza manual y la visión. Una de las riquezas del estudio fue que demostró que aún a niveles considerados “sin riesgo” por la Organización Mundial de la Salud (OMS), puede haber daños a la salud humana. Adicionalmente, encontraron que existe relación entre las estaciones del año y la cantidad de metilmercurio en la población, fundamentalmente debido a la disponibilidad de peces.

- **En felinos**

En felinos se ha demostrado que la exposición crónica a mercurio ha causado el incremento de la tasa de mortalidad, la reducción del éxito reproductivo y por consiguiente, la alteración de las densidades poblacionales, incrementándose así el riesgo de extinción. Los resultados de determinaciones de mercurio en órganos, cabellos, sangre y heces han mostrado que es posible obtener modelos predictivos que asocien las concentraciones entre los compartimientos mencionados, a tal punto que las heces puedan ser buenas predictoras del estado de conservación. Por otro lado, se ha encontrado que las sequías ocasionan un estrés adicional que interacciona con las altas concentraciones de mercurio en el cuerpo (Florida Panther, en línea).

- **En reptiles**

Con frecuencia los cocodrilos y caimanes se hallan en el tope de sus respectivas cadenas tróficas, y tienen por lo tanto, una gran capacidad de bioacumular tóxicos a lo largo de su vida. Campbell et al. (2010) realizaron un análisis a 33 cocodrilos americanos, encontrando altas concentraciones de mercurio y otros metales. Concluyeron que siempre que existan fuentes dispersas del contaminante, existirá una variación de la concentración bioacumulada por diferentes individuos, ya que ésta es más dependiente del hábitat que del sexo o la edad. Sin embargo, encontraron que aquellos cocodrilos con más mercurio en tejidos, también habían retenido más selenio ya que con ello intentaban activar mecanismos de detoxificación.

Rumbold et al. (2002) hallaron que los cocodrilos que habitan ambientes más contaminados desarrollan resistencia a los altos niveles de mercurio en órganos, pudiendo incluso vivir con concentraciones cuatro veces más altas que el promedio para efectos adversos. Schneider et al (2012), hallaron que los caimanes negros (*Melanosuchus niger*, ver caracterización de esta especie en el Anexo T) y los cocodrilos de la cuenca del río Purus no tenían altas concentraciones de mercurio en tejidos, aunque sí es probable que las tuvieran en órganos blandos, por lo cual las personas que se alimentan de ellos estarían expuestas a riesgos a la salud.

- **En lobos de río**

Las diferentes especies de lobos de río que hay en el mundo han sido ampliamente estudiadas no sólo porque se encuentran amenazas sino porque cumplen un rol regulador en el ecosistema y son bioindicadores de contaminación por excelencia. En otras latitudes ya se ha determinado que los metales pesados como el mercurio son responsables de la reducción de algunas poblaciones, por ejemplo: de *Lutra lutra* en Europa y de *Lutra canadensis* en Norte América (Mason et al., 1986; Halbhook et al., 1994; Evans et al., 2000; Hyvarinen et al., 2003).

En 1981, O' Connor y Nielsen (1981) encontraron que al alimentar a *Lutra canadensis* por seis meses con peces cuya concentración de metilmercurio era 2 ug/g, estas desarrollaban cuadros de anorexia y ataxia. Wobeser y Swift (1976) así como Thompson (1996), agregaron que concentraciones mayores a 1.8 ppm de metilmercurio en la dieta causan efectos adversos mayores. Incluso concentraciones sobre 1 ppm de mercurio total pueden contribuir a generar impactos subletales. La U.S.E.P.A. (1997), ha generalizado los resultados obtenidos con visones<sup>19</sup> para el resto de mamíferos acuáticos e indica que se espera efectos subletales a dosis hasta de 1.1 mg/Kg (peso húmedo) de metilmercurio en la dieta ó 0.18 mg/Kg (peso corporal), y muerte a concentraciones entre 1 y 5 mg/kg en la dieta.

En el 2000, Mierli et al. encontraron que las concentraciones de mercurio en *Lutra canadensis* de Ontario variaban según la edad: se incrementaban durante los 2 o 3 primeros años de edad, se mantenían estables los siguientes 2 o 3 años, pero luego declinaban. También en Maine (Estados Unidos), Yates et al. (2004) lograron identificar una correlación significativa entre edad y concentración de mercurio en piel, lo que no ocurrió respecto a las concentraciones en cerebro e hígado. Este último estudio sugiere que los adultos (y principalmente las hembras) acumulan el mercurio en la piel, el cabello y los tejidos grasos, disminuyendo poco a poco las concentraciones en órganos si la fuente de contaminación cesa.

---

<sup>19</sup> En visones alimentados con dosis controladas de metilmercurio (Wobeser et al, 1976) se observó anorexia y ataxia en dosis de 1,1 ug/g, muerte a los 26 - 36 días con dosis de 4,8 ug/g y a los 19 - 26 días con dosis de 8,3 ug/g. Otros efectos fueron: palidez, hígados amarillentos, lesiones en el sistema nervioso central y degeneración axonal. De haber sido mayor el tiempo de prueba, esto se hubiese manifestado en problemas motores. De este estudio se dedujo que el LOAEL para el visón es 180 ug/Kg peso fresco/día. Es la especie con menor LOAEL reportado, y por tanto, la más sensible.

En 1981, O'Connor y Nielsen en base a estudios de dosis-respuesta realizados en laboratorio, determinaron que las concentraciones terminales de mercurio total para *Lutra canadensis* son de 20 a 25 ppm en hígado y riñones, y de 15 a 19 ppm en el cerebro. Observaron sin embargo, que algunos individuos eran capaces de sobrevivir más allá de estos umbrales a pesar de estar afectados por mercurialismo. Durante las pruebas algunos soportaron concentraciones promedio en hígado y riñones de 33.4 y 39.2 mg/g, respectivamente. Posteriormente, en 1985, Wren encontró individuos de *Lutra canadensis* muertos en Ontario (Canadá) con concentraciones de mercurio en órganos sustancialmente mayores que los niveles letales experimentales<sup>20</sup>. Esto indicaría que hay una subestimación de las dosis críticas obtenidas en estudios de laboratorio o que la tolerancia de las poblaciones silvestres puede llegar a ser mayor (factores como los niveles de selenio no fueron analizados en los estudios mencionados). Grove (2006) agrega que a pesar de la tolerancia, cuando los órganos son expuestos de manera crónica a concentraciones altas de mercurio, empiezan a tener disfuncionalidades e inician las malformaciones. En el Anexo U se encuentra una síntesis de las concentraciones de mercurio halladas en diversos compartimientos, por investigadores del hemisferio norte.

En Islas Shetland (Escocia), Kruuk y Conroy analizaron las causas de muerte de *Lutra lutra* entre 1984 y 1988, y encontraron que 54% se debían a razones no naturales. Concluyeron que concentraciones altas<sup>21</sup> de mercurio podrían haber causado efectos subletales previos, sobretodo en los individuos mayores a 5 años, y por ende haber favorecido los atropellos en autopistas y la limitación de sus habilidades de pesca. Incluso podría haber habido mayor predisposición a las enfermedades. Según Gutleb et al. (1993), los primeros síntomas de mercurialismo en lobos de río adultos son problemas de coordinación y dificultad para caminar normalmente. En este caso, los individuos intoxicados se comportaban de manera extraña, viajando en círculos, cayéndose y revolcándose en la nieve.

---

<sup>20</sup> Un promedio de 36 mg/g en el músculo de los individuos encontrados vs la dosis letal de 15.7 mg/g, obtenida previamente en laboratorio. Además, con 96 mg/g de mercurio bioacumulado en el hígado y 58 mg/g en los riñones. Concentraciones mucho mayores a las propuestas por O'Connor y Nielsen (1981) como valores letales.

<sup>21</sup> Se halló 30 ug/g en el hígado.

Estas conductas sólo demuestran que los lobos de río llevan la delantera en el ranking de sensibilidad al mercurio, que según Basu et al. (2005) es como sigue: lobo de río > rata > visón > ratón > humano. Y es que pueden acumular más mercurio en su cerebro que otras especies, básicamente porque tienen la capacidad de metabolizarlo de sus formas orgánicas a inorgánicas. Según Burbacher et al. (1990) con concentraciones de metilmercurio entre 3 y 11 mg/Kg en el cerebro, se puede esperar efectos subletales y con concentraciones entre 12 y 20 mg/Kg se puede esperar incluso efectos teratogénicos.

Los efectos del mercurialismo en los lobos de río son muy similares a aquellos que se presentan en humanos, es decir, puede haber daños en regiones específicas del cerebro como la corteza cerebral, desde donde se controlan funciones motoras, de memoria y aprendizaje. En un estudio neurotóxicológico del metilmercurio en *Lutra canadensis* (Basu et al. 2005), se observó que uno de los primeros síntomas de afección al sistema nervioso es la reducción en la densidad de receptores de señales neurotransmisoras clave. Según Basu et al. (2005), las concentraciones altas de mercurio pueden alterar las funciones cerebrales del lobo de río y es por ello que las características de vinculación de los receptores pueden utilizarse como indicadores del efecto de este contaminante.

Tratando de explorar los cambios bioquímicos que preceden la neurotoxicidad clínica en individuos silvestres, Basu (2008), encontró que los subtipos M1 y M2 de los receptores<sup>22</sup> mACh de la corteza occipital, son los más afectados. Ahora incluso se sabe que a diferencia de otros contaminantes, los compuestos de mercurio (MeHg and Hg<sup>2+</sup>), logran una inhibición muy alta (> 50%) del receptor muscarínico mACh (acetilcolina colinérgica muscarínica). Asociado está el hecho de que el mercurio es un factor limitante para la actividad de enzimas clave como la colinesterasa y la monoamina oxidasa. Entonces, la intoxicación crónica por mercurio genera carga alostática<sup>23</sup> y afecta principalmente a los sistemas nervioso y endocrino de los lobos de río.

---

<sup>22</sup> El M1 media la secreción salival, la memoria y los procesos de sinapsis. El M2 regula procesos enzimáticos y determina el ritmo cardíaco, la fuerza y el desempeño del sistema nervioso central (incluyendo conductas).

<sup>23</sup> La carga alostática es causada por los excesivos ciclos de respuesta a estresores (demasiado frecuentes o muy largos). Desregula los sistemas fisiológicos e incrementa el riesgo de deceso. Se sostiene por la permanencia de la perturbación (en este caso por las altas concentraciones de mercurio) y/o por la estructura social. Se tolera con aprendizaje adaptativo y adaptaciones fisiológicas.



Basu et al. (2005b), han demostrado que concentraciones de 0.5 ppm de metilmercurio en la dieta, tienen el potencial de alterar el sistema colinérgico en regiones específicas del cerebro. Es más, Basu et al. (2007b) han hallado que concentraciones tan bajas como 0.1 ppm, pueden reducir significativamente los niveles de receptores NMDA (N-metil-d-acido aspartico) del sistema glutamatérgico en el ganglio basal, el cerebelo, el tallo y la corteza occipital. Estos receptores son indispensables para la consolidación de la memoria y para extraer información de los recuerdos. Además, hay evidencias de inhibición límbica en el hipocampo y otros componentes del eje HPA (hipotalámico – hipofisiario –adrenal), así como de desactivación de rutas colinérgicas, que a su vez están asociadas con el sistema dopaminérgico, el adrenérgico, el GABAérgico, el serotoninérgico, el histaminérgico, etc, los cuales modulan la retención de la memoria en evitación inhibitoria y los procesos de locomoción, agresividad en respuesta a estresores, aprendizaje, etc.

Aunque los síntomas principales de mercurialismo se dan por afectación al cerebro, se sabe que cada forma química de mercurio tiene afinidad por distintos órganos y tejidos, y muchas veces no es posible analizarlos todos. Por ello es de gran utilidad la información previa sobre correlaciones entre los valores hallados en los diferentes compartimientos (Evans et al., 1998; Mierli et al., 2000). Por ejemplo, estudios realizados en Ontario demuestran que las concentraciones en cabello están fuertemente correlacionadas con las existentes en hígado y cerebro. A pesar de no haber estudiado la misma especie, con este tipo de información Skarén (1992) pudo demostrar que las altas concentraciones de mercurio (60 ppm) encontradas en muestras de cabello de *Lutra lutra*<sup>24</sup> en Finlandia eran un indicio importante de que los grupos estudiados se encontraban en riesgo.

Los resultados de todas las investigaciones mencionadas son relevantes para interpretar el nivel de exposición de *Pteronura brasiliensis* (la nutria gigante o lobo de río que existe en Madre de Dios, ver Anexo V) y por ende, hacer extrapolaciones sobre el riesgo de otros organismos y de las personas.

Sobre *Pteronura brasiliensis* en particular se tiene información obtenida en Río Negro (Pantanal, Brasil) por Días et al. (2005), quienes analizaron dos individuos

---

<sup>24</sup> Los 60 ppm en lobos de río son evidencia de intoxicación crónica y contrastan con los 50 ppm que en humanos causan la muerte del sistema nervioso (Nuorteva, 1976 en Skarén, 1992).

encontrados muertos cerca de un área minera. Las concentraciones de mercurio halladas en sus órganos fueron en promedio: de 2.94 a 3.68 mg/g de HgT en cabello, de 1.52 a 4.3 mg/g en hígado, de 1.11 a 4.59 mg/g en riñones, y 0.17 mg/g en el músculo. Wren ya había sugerido en 1986 que las concentraciones normales de mercurio en el hígado deben ser menores a 4 mg/g. Es más, O'Connor y Nielsen (1981) y Kucera (1983) consideraron un valor crítico de 3 mg/g. Es posible que los individuos encontrados en Brasil hayan estado afectados por el mercurio y que no hayan soportado la carga alostática, puesto que el valor crítico a considerar en *Pteronura brasiliensis* debe ser inclusive menor que en los casos anteriores porque esta especie tiene gran tamaño y bioacumula más rápido cualquier contaminante (Burger, 1997).

Entre 1992 y 1993, Gutleb et al (1997)<sup>25</sup> analizaron mercurio en *heces* de *Pteronura brasiliensis* en el Parque Nacional del Manu, en Perú. Este estudio representa una buena línea de base porque en aquel tiempo las concentraciones de mercurio total y metilmercurio estuvieron bajo el límite de detección del método de determinación empleado (< 0.01 ppm) en casi todos los casos.

---

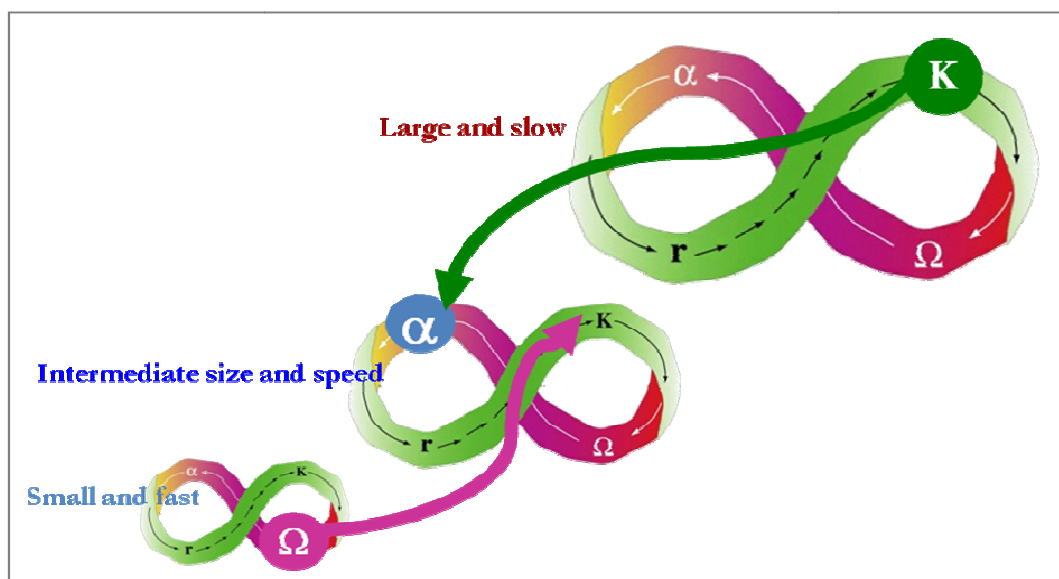
<sup>25</sup> En el marco del proyecto de investigación de *Pteronura brasiliensis* a largo plazo, iniciado por la Sociedad Zoológica de Frankfurt y la Sociedad de Munich para la Vida Silvestre.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. LA INVESTIGACIÓN DESDE UNA PERSPECTIVA DE MANEJO ADAPTATIVO

Vale la pena aclarar que el marco epistemológico del manejo adaptativo reconoce que los sistemas ecológicos incluyen al hombre pero para hacer hincapié en este hecho los denomina: *Sistemas Social – Ecológicos (SES)*, aceptando una perspectiva antropocéntrica que se justifica dado que el ser humano es parte crucial del sistema al tomar decisiones que influyen en los otros elementos del mismo.

El manejo adaptativo empieza por reconocer la complejidad de los sistemas social ecológicos y el dinamismo constante de los mismos, debido a que los manejadores (personas) actúan en todas las escalas de la panarquía (ver esquema de ciclos adaptativos panárquicos en la Figura 46). Es así que postula que no es posible hacer predicciones probabilísticas de las respuestas de un sistema ante perturbaciones externas, si no se tiene en cuenta la influencia de la toma de decisiones.

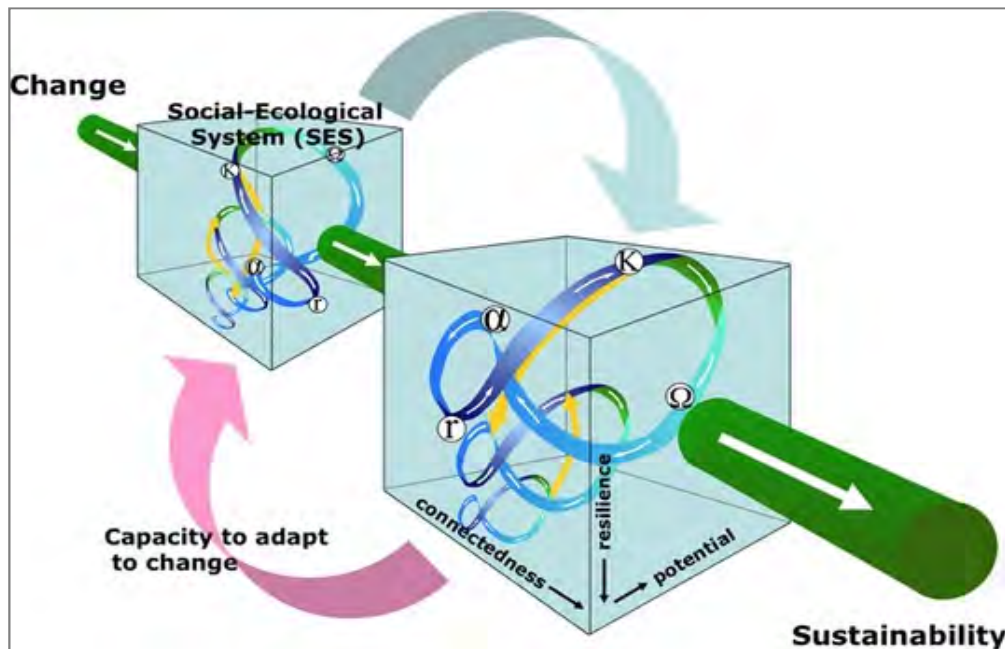


**FIGURA 46: Interacción de ciclos adaptativos en panarquía.**

FUENTE: Resilience Alliance (en línea).

La sustentabilidad se define como la mantención de la funcionalidad del sistema (o integridad, bajo la lógica de Harwell, 1999) una vez que éste es perturbado, es decir, la

capacidad de renovarse o reorganizarse incluso después de ver alteradas su estructura y función. Por lo tanto está asociada a la resiliencia. En la Figura 47 se puede apreciar que con el manejo adaptativo se busca lograr que los cambios contribuyan a organizar el sistema de tal modo que se logre la sustentabilidad en todas las escalas.



**FIGURA 47: Cambio del sistema para la sostenibilidad.**

FUENTE: Kim y Oki (2011).

La resiliencia también puede definirse como el grado de perturbación que puede soportar un sistema sin cambiar su dominio de atracción original, es decir, sin pasar a un estado alternativo con diferentes propiedades funcionales y estructurales, y el grado en que el sistema expresa capacidad de aprendizaje y adaptación.

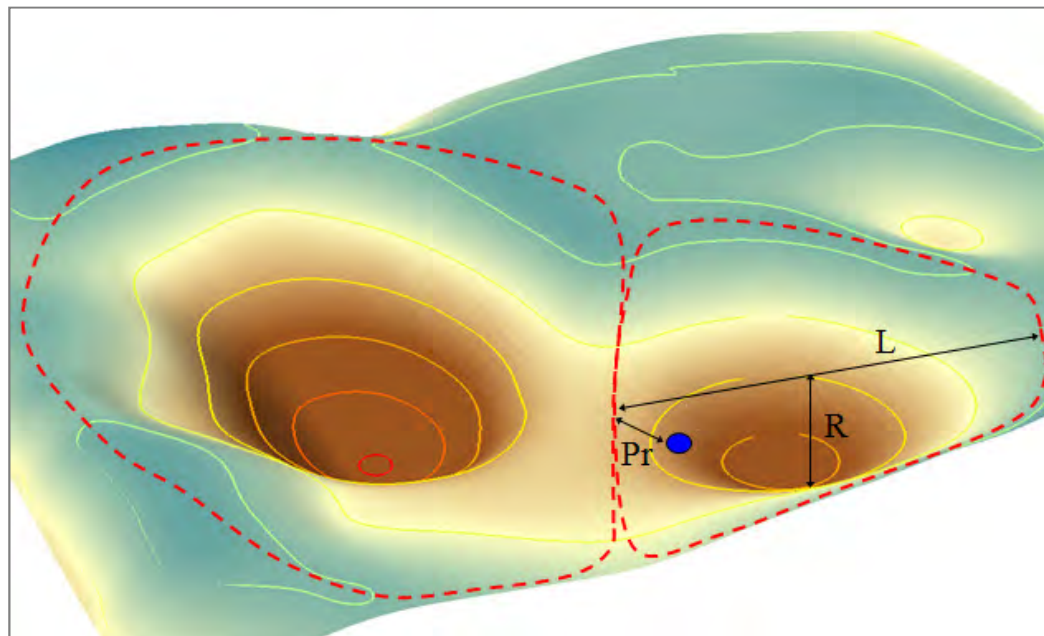
El estado de un sistema es en realidad un conjunto de valores en las variables clave que si bien pueden fluctuar, tienen *feedbacks* que permiten que el sistema no pase a un estado alternativo. En ocasiones, cuando los sistemas son muy complejos, se puede hablar de características del sistema en vez de “estados”. Los estados se originan por la existencia de atractores que ocasionan que el sistema regrese una y otra vez hacia a un estado dado. La transición entre estados se da cuando se exceden los límites en las variables clave, y puede ser gradual o abrupta.

Según Peterson (2000) la capacidad de recuperación ecológica de un sistema puede ser ilustrada por una bola sobre una superficie. Ésta última representa las fuerzas que actúan sobre un sistema en cualquier estado dado. Como se aprecia en la Figura 48 la resiliencia de un estado corresponde a la anchura de un pozo de estabilidad. Esto representa la cantidad de cambio que un sistema tendría que experimentar para pasar a otro estado. La Figura 49 muestra tres aspectos de la resiliencia: L = Latitud, R = Resistencia y Pr = Precariedad. La Figura 50 muestra los efectos de las perturbaciones y condiciones externas sobre la resiliencia.



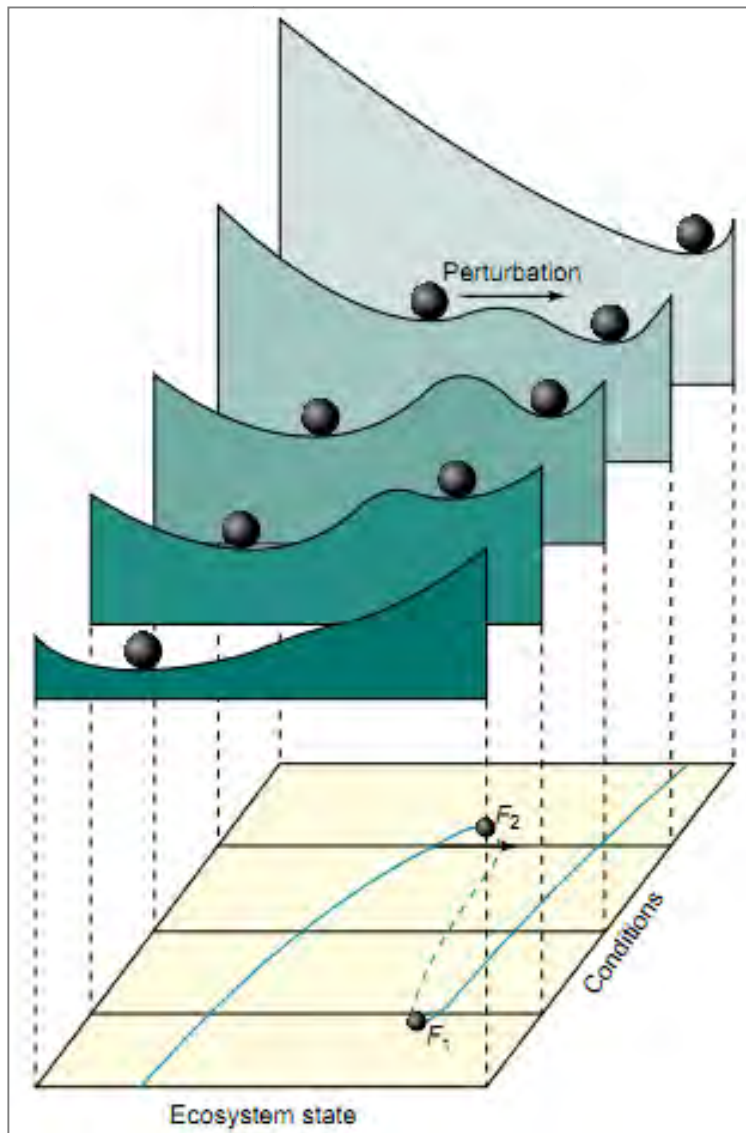
**FIGURA 48: Esquemmatización de la resiliencia y los estados alternativos.**

FUENTE: Peterson (2000).



**FIGURA 49: Esquema de la topología de dos dominios de atracción.**

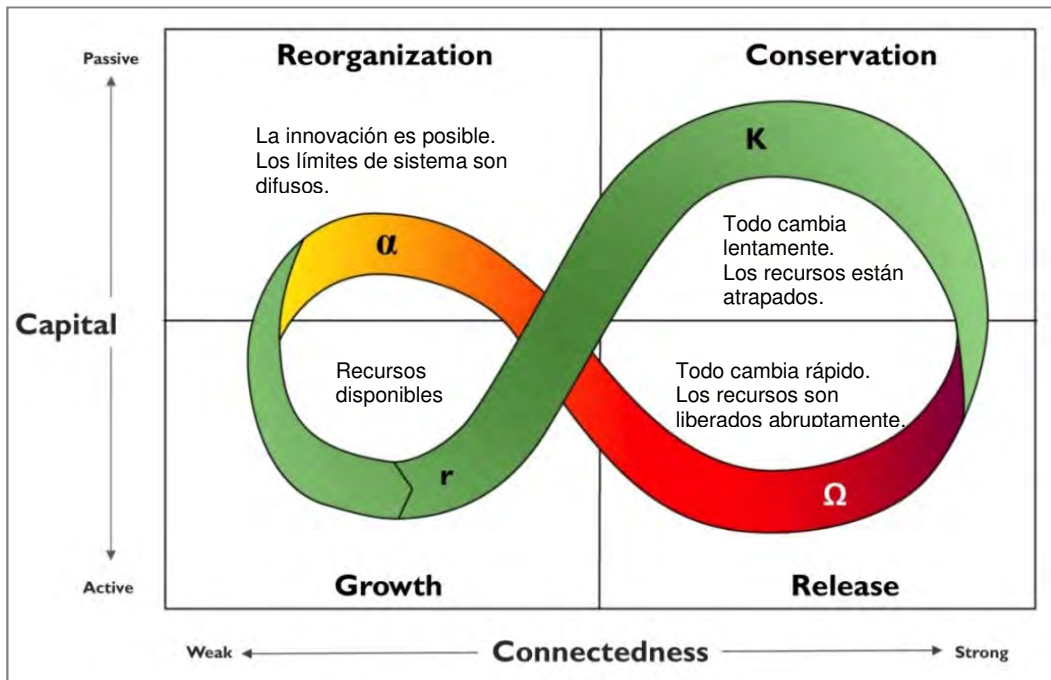
FUENTE: Resilience Alliance (en línea).



**FIGURA 50: Efecto de las perturbaciones en el estado del sistema.**

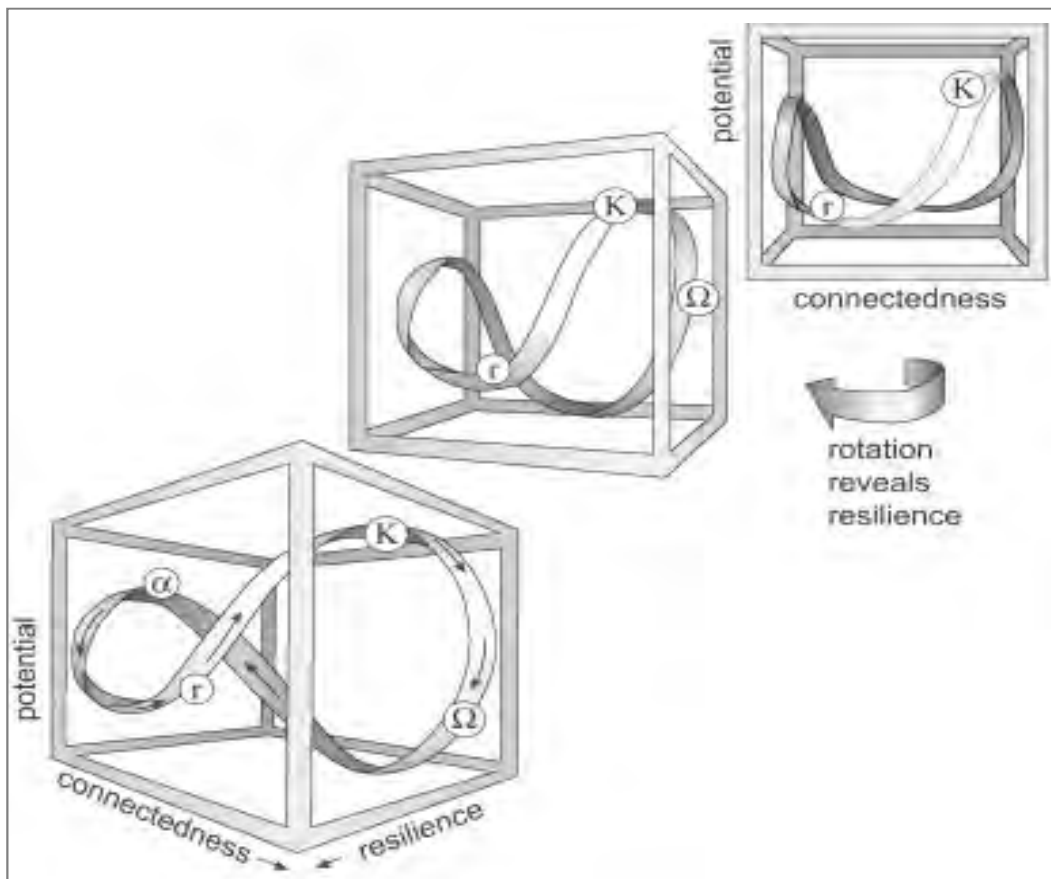
FUENTE: Scheffer y Carpenter (2003).

En la Figura 51 se observa las fases de un ciclo adaptativo y su relación con la conectividad y el desarrollo de los capitales en el sistema. En la vista tridimensional de la Figura 52 se observa la influencia del ciclo en la resiliencia. Es importante mencionar que no siempre las fases se producen en secuencia. Cuando se presenta la trampa de la pobreza el sistema no pasa por fase K y pasa continuamente de la etapa r a la etapa  $\Omega$ , y cuando se produce la trampa de la rigidez el sistema no puede salir de la fase K.



**FIGURA 51: Esquema bidimensional del ciclo adaptativo.**

FUENTE: Holling (1987).

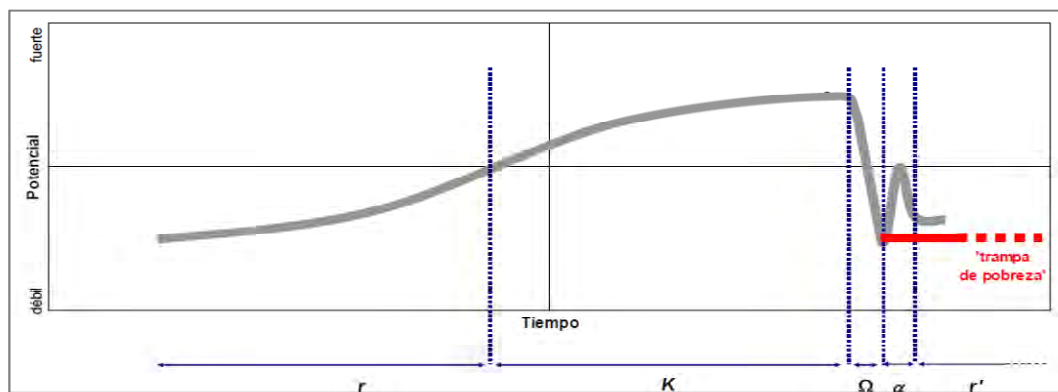


**FIGURA 52: Esquema tridimensional del ciclo adaptativo.**

FUENTE: Holling y Gunderson (2002) en Grundmann et al. (2012).



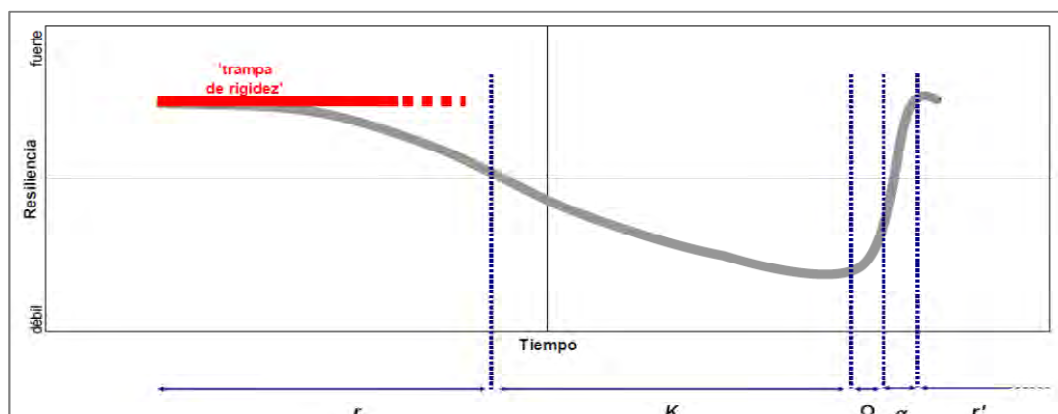
Para Ambrosio (2007) la trampa de la pobreza supone el colapso del sistema ante una pérdida de potencial o de diversidad debido a la influencia de una perturbación. Se genera un estado de empobrecimiento que se caracteriza por tener bajo control interno, débil resiliencia, alta vulnerabilidad y baja capacidad de regeneración. El sistema entonces regresa al colapso o bien no logra pasar de  $\Omega$  a  $\alpha$ . Ver Figura 53. Ante esta situación de empobrecimiento estructural, Holling (2001) sugiere que, en caso la recuperación sea posible, sería útil conocer los atributos críticos que deben ser reinventados y reestablecidos a partir de la memoria residual acumulada en mitos y tradiciones.



**FIGURA 53: Trampa de la pobreza en un sistema complejo.**

FUENTE: Ambrosio (2007).

La trampa de la rigidez (ver Figura 54) se presenta en sistemas muy resilientes, donde hay una alta resistencia al cambio, baja capacidad adaptativa e incluso es posible que exista represión. En ellos la innovación es baja y esto genera que no se adapten continuamente a los cambios.



**FIGURA 54: Trampa de la rigidez en un sistema complejo.**

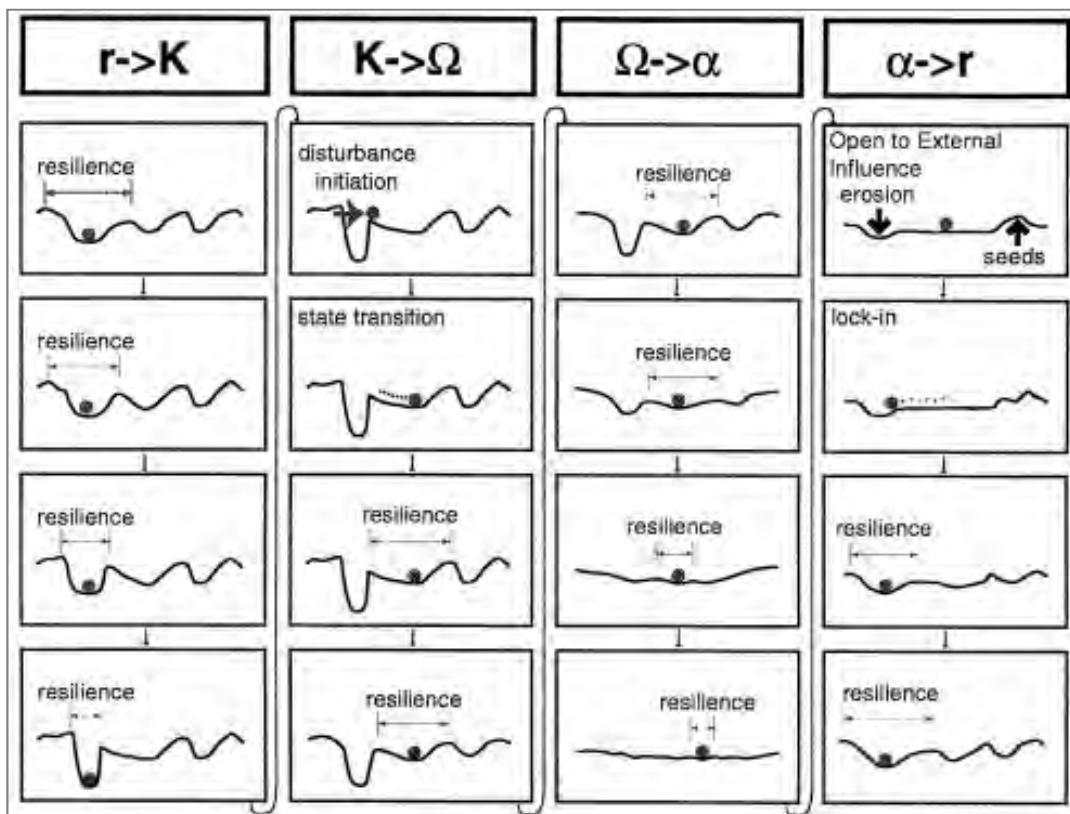
FUENTE: Ambrosio (2007).



Otras situaciones indeseadas son:

- Una fase  $\Omega$  sin reorganización de recursos y capitales.
- Una fase  $\alpha$  después de una perturbación de magnitud extrema que limite la innovación y donde cualquier esfuerzo sea recurrentemente un fracaso.
- Persistencia extrema de las fases  $r$  y  $K$ , debido al manejo, invirtiéndose todos los recursos en mantener un estado “óptimo” o de “crecimiento”, mientras se erosiona el capital.

En la Figura 55 se aprecia que conforme el sistema cambia de fase, su resiliencia varía. El sistema se vuelve más frágil cuando está en  $K$ . Cuando pasa de  $\Omega$  a  $\alpha$  es susceptible a influencia externa y tiene poca resiliencia, lo cual permite la reorganización. Es un momento propicio para el aprendizaje. No existe un estado ideal, y el cambio es continuo, en algunos casos con patrones multiescalares de por medio. Se trata de ciclos que los tomadores de decisiones deben entender y aprender a manejar.



**FIGURA 55: Variación de la resiliencia durante el ciclo adaptativo.**

FUENTE: Peterson (2000).

Walker et al. (2002) hicieron una propuesta para el análisis de la resiliencia que consiste en cuatro pasos. Estos se profundizarán durante la presente investigación:

- *¿Resiliencia de qué?:* Desarrollo de un modelo conceptual del sistema con los actores involucrados, incorporando la perspectiva histórica y realizando una evaluación preliminar de las variables claves para el abastecimiento de bienes y servicios ecosistémicos.
- *¿Resiliencia a qué?:* Identificación del rango de impredecibilidad, de las visiones a futuro de los actores, las políticas probables y todo lo que signifique generación de posibles escenarios.
- *Evaluación de la resiliencia:* Evaluación iterativa mediante modelos que replican las dinámicas del sistema considerando sólo las variables clave.
- *Manejo de la resiliencia:* Evaluación de los procesos, resultados e implicancias para cada actor.

Existen supuestos que subyacen el marco conceptual del manejo adaptativo. A continuación se mencionan los más importantes:

- Los sistemas social - ecológicos (SES) tienen umbrales y exhiben cambios a veces histeréticos (con bucles que devuelven al sistema al estado anterior) y otras veces irreversibles.
- Las distribuciones de probabilidad para las variables clave suelen ser desconocidas y evolucionan muy rápido en el tiempo.
- Las variables clave y las fuerzas motrices de los SES suelen ser pocas: cinco como máximo en cada nivel de la panarquía.
- Los manejadores necesitan tomar decisiones aún con las limitaciones de recursos e información y muchas veces ni siquiera pueden pensar en maximizar beneficios.
- Las valoraciones económicas de los componentes del sistema usualmente están distorsionadas.
- Cada actor tiene preferencias distintas y muchas veces no basta con la participación sino que es necesario desarrollar legitimidad.
- No hay mercado para la mayor parte de los bienes y servicios ambientales y por lo tanto la valoración se dificulta.
- No siempre la resiliencia es deseable, hay sistemas donde es más constructivo el reseteo (fase  $\Omega$ ).

## **2.2.2. EL ENFOQUE DE MEDIOS DE VIDA SOSTENIBLES COMO HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DEL MANEJO ADAPTATIVO**

Según Guardiola (2005), los medios de vida sostenibles están constituidos por las posibilidades, activos y actividades que la población necesita para ganarse la vida y sobrevivir. Un medio de vida es sostenible cuando puede abordar y recuperarse de tensiones y crisis, y mantener o mejorar sus capacidades y activos, tanto en el presente como en el futuro, sin socavar por ello la base de recursos naturales.

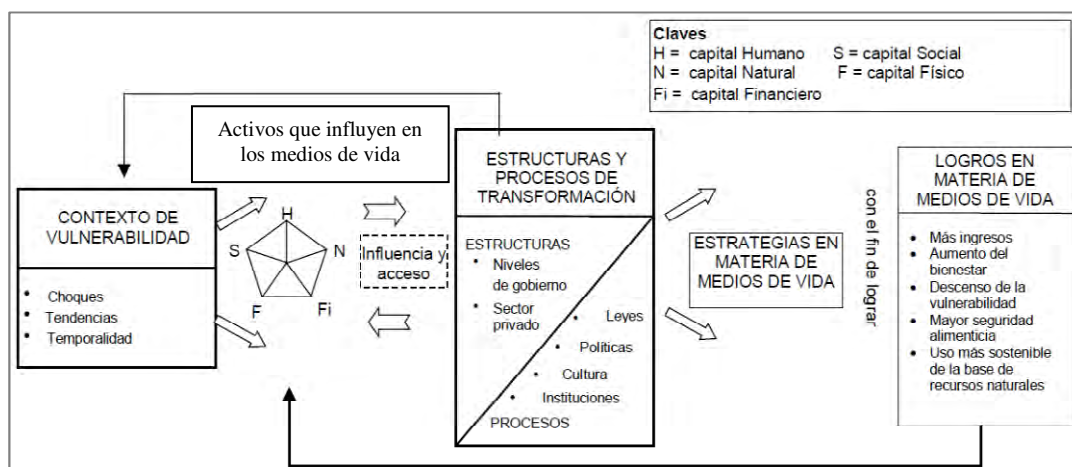
La teoría de los medios de vida sostenible proporciona un enfoque de los objetivos del desarrollo social y económico centrado en las personas. Además es muy flexible, tanto así que si bien se desarrolló en el marco de programas de lucha contra la pobreza, actualmente se considera un elemento importante de la promoción de la resiliencia en sociedades vulnerables (a desastres, a conflictos, etc). Por ello, la metodología del análisis de los medios de vida sostenibles no es estándar. Sin embargo, cuenta con los siguientes principios básicos, que deben de respetarse:

- Toma como eje central a los pueblos y a las personas.
- Realiza un enfoque global y no sectorial.
- Reconoce la existencia de múltiples actores, múltiples estrategias de medios de vida sostenibles y múltiples logros.
- Pretende captar el dinamismo de los medios de vida y las instituciones.
- Le da una gran importancia y énfasis a las relaciones macro-micro.
- Identifica los puntos fuertes y potenciales de las personas e intenta maximizarlos y sustentarlos, en lugar de minimizar los puntos negativos.

Propuesto durante los ochenta, desde 1990 el enfoque de los medios de vida fue adoptado por muchos organismos internacionales, incluidos el Banco Mundial, el DFID y el PNUD. Según la FAO (en línea) ha servido para reflexionar acerca de los objetivos, el alcance y las prioridades del desarrollo. Se centra en los múltiples recursos, habilidades y actividades que utilizan las personas para sustentar sus necesidades físicas, económicas, espirituales y sociales. Por último, constituye un intento de redefinir el desarrollo en cuanto a lo que necesitan los seres humanos y en cuanto a lo que pueden contribuir al bienestar de los demás.

Según Gottret y Hernández (en línea), la capacidad de desarrollar diferentes estrategias para fortalecer los medios de vida depende del acceso y control que tienen los actores sociales sobre los recursos. De esta manera los recursos generan valor y productividad para quienes tienen acceso a ellos y además pueden ser acumulados y transferidos. Por lo tanto, la evaluación de los capitales es fundamental en la aplicación práctica del enfoque, ya que es a partir del acceso y control que se proponen las alternativas de acción para fortalecer sus medios de vida, y asegurar su sostenibilidad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en todo contexto existe diferenciación social y la propuesta de manejo debe considerar la promoción de la equidad.

El DFID (1999) agrega que el contexto de vulnerabilidad encuadra el entorno externo en el que subsisten los pueblos. Los medios de vida y la mayor disponibilidad de activos se ven fundamentalmente afectados por tendencias críticas, choques y por el carácter de temporalidad de ciertas variables, sobre los cuales las sociedades tienen un control limitado o inexistente. La Figura 56 resume el concepto. A los cinco capitales típicos, Baumann (2000) agrega el capital político, ya que la toma de decisiones es altamente influyente en la gobernabilidad y el manejo del sistema.



**FIGURA 56: Marco conceptual de los medios de vida sostenibles.**

FUENTE: DFID (1999).

Las tendencias con frecuencia son predecibles y permiten definir las estrategias para manejar los medios de vida. Algunos aspectos cuyas tendencias son observables son el crecimiento demográfico, el acceso a recursos, la conflictividad, la economía, las políticas de gobierno y las tecnologías. Los choques o perturbaciones pueden destruir los

activos de forma directa o pueden ayudar a propiciar la resiliencia. Están vinculados a las alteraciones de la salud humana, los cambios en el manejo, los cambios económicos, las amenazas naturales que causan desastres, entre otros. Finalmente, las variables temporales como los precios, la producción, la salud, las oportunidades laborales y la seguridad alimentaria, suelen ser causa directa de privaciones y de la intensificación del ciclo vicioso de la pobreza.

Cada capital se caracteriza por diferentes variables, a continuación un listado referencial:

- El capital humano depende de la adaptabilidad de las personas, sus conocimientos y formación, sus capacidades laborales, motivación, equilibrio, salud, etc.
- El capital social depende de la redes existes, la adhesión a reglas consideradas legítimas, las relaciones de confianza, la reciprocidad y la cooperación.
- El capital natural depende del acceso y la calidad de los recursos naturales.
- El capital físico se materializa en infraestructura básica y de servicios, bienes de producción, información, energía, etc.
- El capital financiero hace referencia a los ingresos, liquidez, acceso a créditos, disposición de remesas y ahorros, etc.
- El capital político depende de la participación, la gobernanza y la capacidad de gestionar conflictos.

Según el DFID (1999) los resultados en términos de la sostenibilidad de los medios de vida se reflejan en:

- El incremento de la capacidad de responder y gestionar el riesgo productivo y comercial, incrementando la empleabilidad.
- El incremento de la capacidad de responder a cambios bruscos, o inesperados, y recuperarse. Es decir, incremento de la adaptabilidad y de la resiliencia
- El incremento de la capacidad de mantener la base de los recursos de los cuales se derivan los medios de vida.
- La reducción de la pobreza.
- El incremento del bienestar y las capacidades.

Por lo tanto, durante la evaluación de cada una de las variables que constituyen los capitales es importante analizar:

- La secuencia: ¿Es alguno de los capitales requisito para acceder a otro?
- La posibilidad de sustitución: ¿Es posible sustituir un capital por otros, y obtener iguales o mejores resultados?
- La asociación: ¿Todos tienen el mismo nivel de capital? ¿Causa esto diferenciaciones o afinidades?
- El acceso: ¿Qué características del contexto y del manejo determinan el acceso diferenciado a los capitales?
- Intercambios: Ante las diferentes estrategias de manejo, ¿cómo interactúan actores sociales de diferente nivel de acceso a capitales?
- Tendencias: ¿Cuáles son las tendencias en la disponibilidad de los recursos? ¿Qué nuevos recursos está generando el cambio?

### **2.2.3. LA ESTADÍSTICA NO CONVENCIONAL APLICADA AL MANEJO ADAPTATIVO**

#### **a) Estadística bayesiana**

Muchas veces la cantidad de grados de libertad en los ecosistemas es tan alta que utilizar estadística clásica significa sobresimplificar la realidad. Además, en muchos casos no existe un “ecosistema de referencia” adecuado, no se puede hacer tratamientos reales con sistemas complejos y/o no es posible asegurar que los procesos y variables sean independientes. Por eso, Pratto (2006) plantea que es posible realizar pseudo - experimentos para probar hipótesis usando la lógica planteada por el teorema de Bayes (ver Figura 57).

Sea  $\{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}$  un conjunto de sucesos mutuamente excluyentes y exhaustivos, y tales que la probabilidad de cada uno de ellos es distinta de cero (o). Sea B un suceso cualquiera del que se conocen las probabilidades condicionales  $P(B|A_i)$ . Entonces, la probabilidad  $P(A_i|B)$  viene dada por la expresión:

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{P(B)}$$

donde:

- $P(A_i)$  son las probabilidades a priori.
- $P(B|A_i)$  es la probabilidad de B en la hipótesis  $A_i$ .
- $P(A_i|B)$  son las probabilidades a posteriori.

**FIGURA 57: Teorema de Bayes en su forma original.**

FUENTE: Bayes (1763).

La regla de Bayes produce probabilidades inversas, en el sentido de que expresa  $P(A|B)$  en términos de  $P(B|A)$ . La estadística bayesiana requiere definir probabilidades *a priori* para evaluar escenarios futuros y salir del esquema epistemológico hipotético – deductivo de Popper y de las frecuencias de Fisher (Ver Hoef y Cressie, 1997). Esto permite aprovechar mejor los datos disponibles, y obtener conclusiones que pueden ser escaladas y pueden ser más relevantes para la toma de decisiones, siempre que haya habido una selección adecuada de la distribución inicial. Entonces, la estadística bayesiana permite introducir un análisis condicional y evaluar dos estados de los ecosistemas que pueden estar en competencia, mediante sendas hipótesis y sus correspondientes acciones de gestión. Este tipo de análisis permite identificar compatibilidades y tomar decisiones.

Las críticas más reiteradas al paradigma clásico han sido que obliga a una decisión basada en una hipótesis dicotómica y que constituye una medida que depende vitalmente de un elemento exógeno a los datos: el tamaño de muestra. Al ser así, los resultados son muy susceptibles de tener sesgos.

La diferencia esencial entre el pensamiento clásico y el bayesiano radica en que aquél se pronuncia probabilísticamente sobre los datos a partir de supuestos en tanto que éste se pronuncia (también probabilísticamente) sobre los supuestos partiendo de los datos.

Así, la inferencia bayesiana constituye un enfoque alternativo para el análisis estadístico, entre otras cosas, por la forma en que asume y maneja la probabilidad.

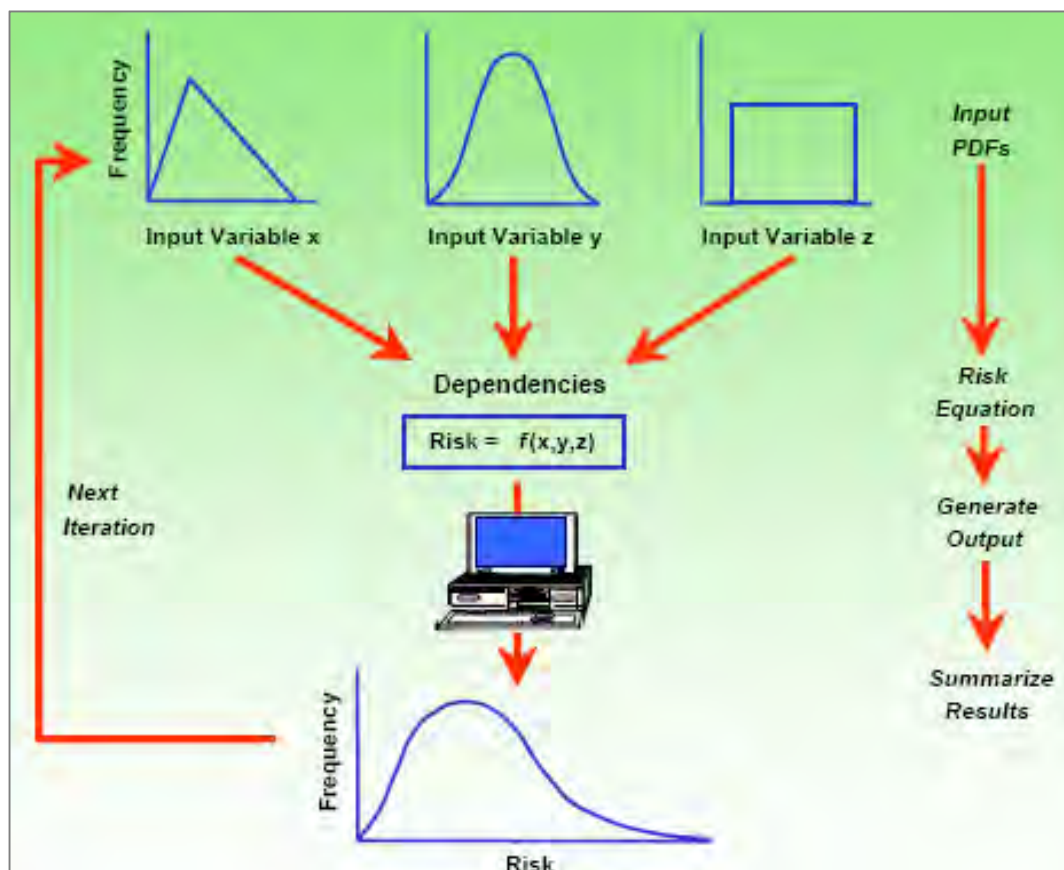
Según el manual del software Epidat 3.1 (Xunta de Galicia, en línea), existen dos definiciones de la noción de probabilidad: la objetiva y la subjetiva. La definición frecuentista considera que la probabilidad es el límite de frecuencias relativas (o proporciones) de eventos observables. Pero la probabilidad puede también ser el resultado de una construcción mental del observador, que corresponde al grado de “certeza racional” que tenga acerca de una afirmación. Como en este marco las probabilidades pueden variar de una persona a otra, se le llaman certidumbres personales, credibilidad, probabilidades personales o grados de creencia. La alternativa bayesiana está abierta a manejarse también con esta última variante.

La inducción bayesiana consiste en usar recursos probabilísticos para definir o cambiar nuestra asignación probabilística inicial o previa (haya sido ésta “objetiva” o “subjetivamente establecida”) a la luz de nuevas observaciones; es decir, condicionar el modelo. El teorema de Bayes es el puente para pasar de una probabilidad *a priori* o inicial de una hipótesis  $H$ , denominada  $P(H)$ , a una probabilidad *a posteriori* o actualizada, llamada  $P(H|D)$ , basándose en una nueva observación.

#### **b) Simulación probabilística - Montecarlo**

La simulación Montecarlo es una de las técnicas que permite aplicar la teoría de Bayes cuando existen variables aleatorias. Para ello se identifica las distribuciones de frecuencias acumuladas de las muestras y se simula, iterando el modelo que combina variables con diferentes probabilidades *a priori*, mediante la generación de números aleatorios. Como resultado se obtiene un valor probabilístico con una nueva distribución. Ver Figura 58.





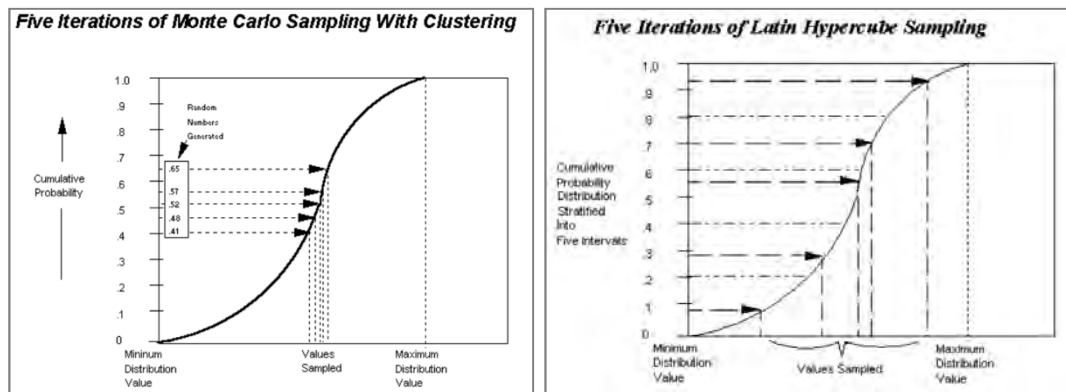
**FIGURA 58: Impacto de la introducción de probabilidades en el modelo.**

FUENTE: Palisade (en línea).

Ello agrega mayor valor a los análisis que la evaluación determinística ya que se puede extraer:

- Resultados probabilísticos, que indican no sólo lo que podría ocurrir sino cuán probable es. Si es requerido, se puede observar el comportamiento de la distribución de la probabilidad de salida y se puede identificar qué tan factible es que se exceda algún límite deseado.
- Resultados gráficos.
- Análisis de sensibilidad, para identificar las variables que tienen mayor influencia en cada uno de los resultados finales.
- Análisis de escenarios, ya que es posible identificar los resultados de cada variación en el modelo y en los datos de ingreso.
- Correlación entre las variables de entrada.

Los números aleatorios utilizados en los programas que desarrollan la simulación Montecarlo, se generan con un método de muestreo convencional y aleatorio, como el que se muestra en la Figura 59, o con un método estratificado como el latino hipercúbico, que asegura que se tomen datos que permitan caracterizar toda la función, como se observa en la Figura 60.



**FIGURAS 59 y 60: Toma de números aleatorios con muestreo Montecarlo y su variación, el muestreo latino hipercúbico.**

FUENTE: Palisade (en línea).

### c) Criterios 6 $\sigma$ para la determinación de Límites Aceptables de Cambio

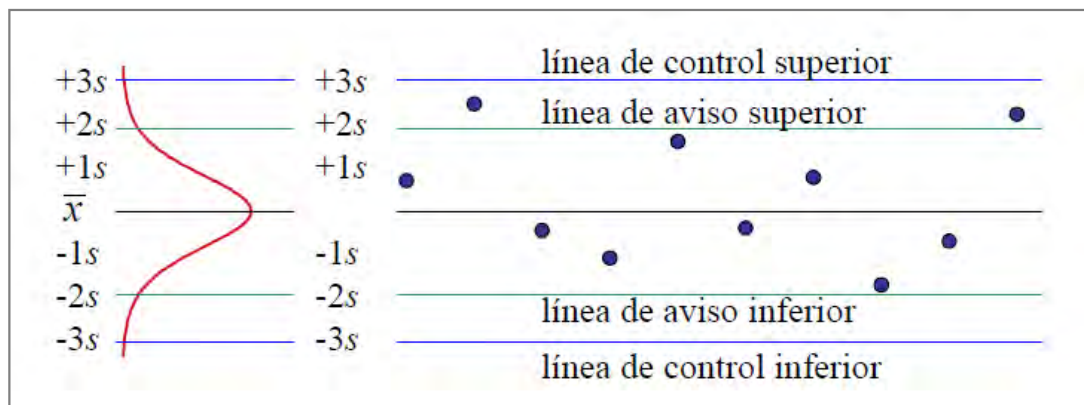
Aunque la variabilidad ha sido ampliamente estudiada mediante la estadística convencional y mediante la simulación Montecarlo, puede conocerse de manera más precisa. Pocas veces se utiliza las gráficas de control de Walter Shewhart (1931) para identificar las causas de la variación y establecer si está o no controlada, o para definir las medidas de manejo pertinentes.

La variación controlada es aquella que se presenta por causas comunes y su dinámica es estable a través del tiempo. En cambio, la variación no controlada está ocasionada por causas especiales y cambia a través del tiempo.

La variación por causa común es aquella que se da bajo condiciones normales o inherentes al proceso. Un proceso está “en control” cuando solamente causas comunes de la variación están actuando sobre éste. La variación por causas especiales es aquella que se presenta ocasionalmente y con frecuencia no es predecible, puede ser temporal, tiene

efectos importantes en la dinámica del sistema y su acción sobre el mismo puede ser diferente cada vez que aparece.

Por ello, entre los métodos de control estadístico de procesos se ha definido que es posible monitorear un proceso en base a “Límites de Control” – L.C. Por convención, dichos límites se definen a  $\pm 3$  desviaciones estándar ( $\sigma$ ) de la media ( $\bar{x}$ ), tenga el proceso una distribución normal o no. Ello se basa en que  $6\sigma$  representa un nivel adecuado de control, ya que implica sólo 3.4 desviaciones por millón de oportunidades. Por lo tanto si un proceso se encuentra dentro de los límites de control, toda su variación es por causas comunes o normales. En la Figura 61 se aprecia los elementos de una gráfica de control.



**FIGURA 61: Límites de Control.**

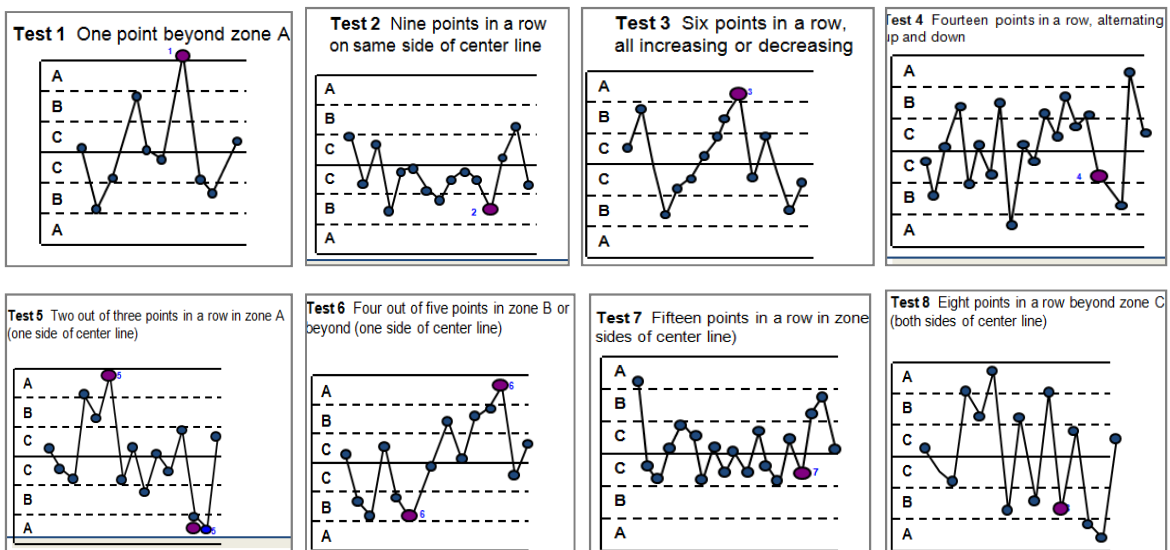
FUENTE: Riu (en línea).

Cuando las observaciones no siguen un patrón aleatorio y se encuentra causas especiales, es necesario investigar cuáles son, cómo y cuándo se presentan, cuáles serían sus efectos a corto, mediano y largo plazo, y si es necesario, eliminarlas.

Las verificaciones a tomar en cuenta para identificar causas especiales en las gráficas de control se muestran a continuación y de la Figura 62 a la 69.

- Test 1: ¿Uno o más puntos está fuera de los límites de control?
- Test 2: ¿Hay nueve puntos seguidos en el mismo lado de la línea central? Esto indica cambios en el proceso.
- Test 3: ¿Hay seis puntos o más, continuos, creciendo o decreciendo? Ello indica una tendencia. Se empieza contando en el punto en que cambia la dirección, lo cual se denomina corrida (ascendente o descendente).

- Test 4: ¿Hay catorce puntos continuos alternando arriba y abajo? Esto indica sesgo o problemas de muestreo.
- Test 5: ¿Dos de cada tres puntos están a más de  $2\sigma$  con respecto a la línea central y en el mismo lado de la gráfica?
- Test 6: ¿Cuatro de cada cinco puntos están a más de  $1\sigma$  con respecto a la línea central (mismo lado)?
- Test 7: ¿Quince puntos seguidos están dentro de  $1\sigma$  con respecto a la línea central, en cualquiera de los lados?
- Test 8: ¿Hay ocho puntos o más, seguidos, a un mismo lado de la línea central?



**FIGURAS 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, y 69: Criterios de evaluación.**

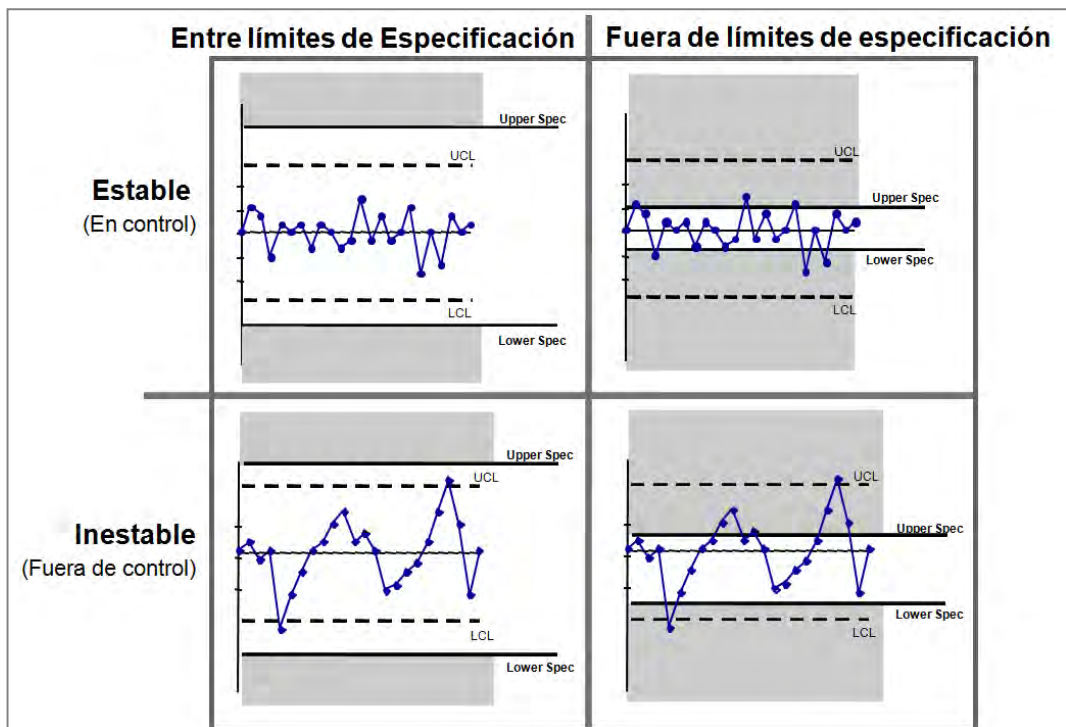
FUENTE: Arango (2012).

Los L.C. deben ser calculados con base en la variación de causa común para maximizar la probabilidad de detectar causas especiales, por lo tanto, si se detectan causas especiales en una serie de tiempo es recomendable re-calcular los límites, excluyendo los puntos que representan perturbaciones o hechos especiales. Cuantos menos datos se tenga, mayor será el efecto de retirar las causas especiales del cálculo de la desviación estándar con la cual se establecerán los límites de control.

Los L.C. entonces representan la variabilidad real de un proceso, en condiciones normales. Adicionalmente, pueden existir requerimientos por cumplir límites mayores o menores. Estos se denominan “Límites de especificación – L.E.” y los define el cliente,

una norma legal, un acuerdo legítimo o una parte interesada. Por ejemplo, en el caso del mercurio, los L.E. están definidos por las guías internacionales que establecen valores seguros en el ambiente, o bien por cálculos basados en data regional y actualizada.

La definición de si un proceso del sistema está bajo control o no, o si es estable en un período de tiempo o no, se realiza en base a la evaluación conjunta de los L.C. y L.E., con los criterios mostrados en la Figura 70.



**FIGURA 70: Criterios para monitorear la estabilidad de un proceso.**

FUENTE: Arango (2012).

En ecología, la variabilidad de los procesos no siempre es negativa, puede demostrar una alta resiliencia, pero cuando se trata de un estresor ambiental, es importante no sólo conocer los límites ideales sino los “Límites Aceptables de Cambio” – L.A.C., teniendo en cuenta la variación natural del proceso. Estos límites pueden ser iguales a los L.C. o ser definidos en base al análisis de los mismos.

Cole y Stankey (1997) nos recuerdan que los L.A.C. son estándares que definen las condiciones mínimas aceptables cuando la capacidad de carga de un ecosistema está en riesgo o hay usos del territorio en conflicto (objetivos diferentes de manejo en un mismo

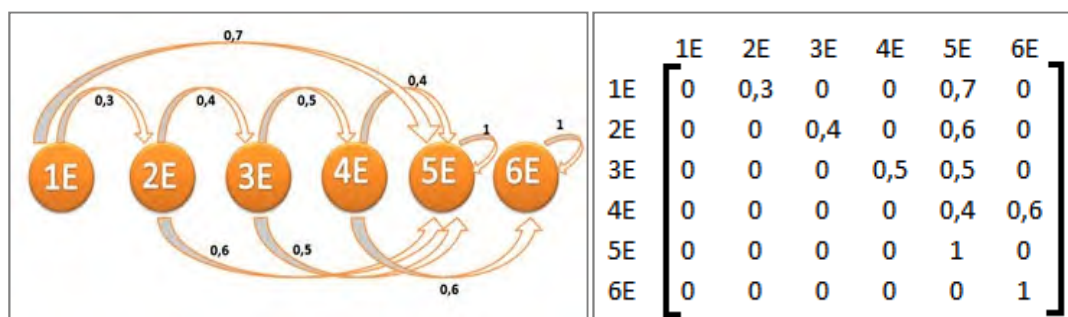
espacio). No se trata de condiciones ideales, sino de condiciones que es posible monitorear y que mantienen la dinámica de los procesos existentes.

**d) Cadenas de Markov y probabilidades de transición**

Una cadena de Markov (general) es un proceso estocástico en el que se asume que en el momento  $n$  el estado actual del proceso y todos los estados anteriores son conocidos, entonces las probabilidades de todos los estados futuros  $X_j$  ( $j > n$ ) dependen únicamente del estado actual  $X_n$  (o inmediato anterior) y no de los estados previos,  $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}$ . Las cadenas de Markov tienen memoria, y así el último evento condiciona las posibilidades de los eventos futuros.

Las cadenas de Markov se pueden graficar como relaciones de probabilidad condicionadas con redes bayesianas. En la Figura 71 los círculos representan las variables aleatorias y la ausencia de una flecha entre dos variables nos indica su independencia condicional.

Las cadenas de Markov permiten calcular matrices de transición, a través de la ecuación de Chapman-Kolmogorov. Ver Figura 72. Se conoce como “estado de transición” a aquel que aún no llega a ser absorbente ya que sus probabilidades cambian constantemente con respecto al anterior.

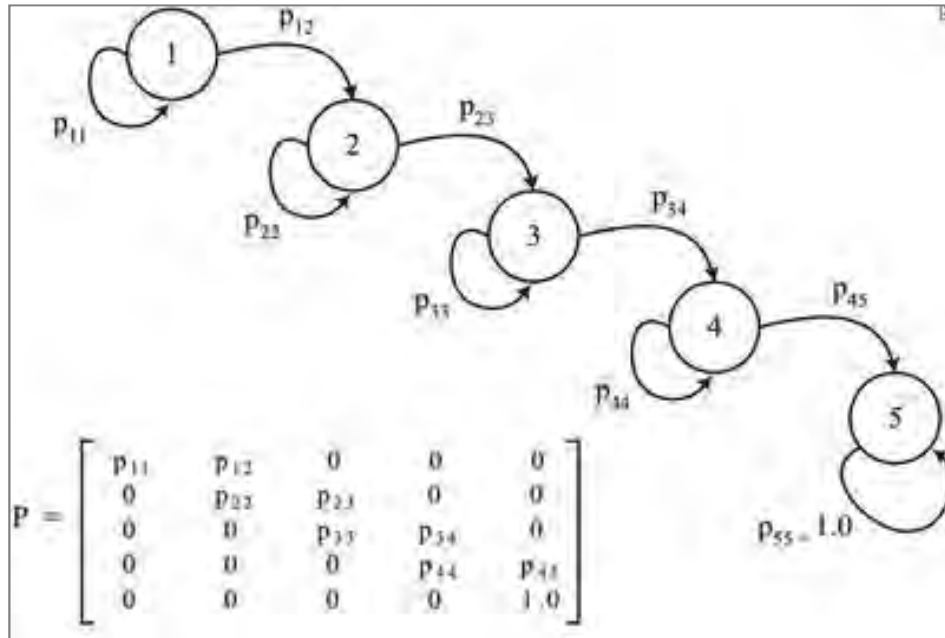


**FIGURAS 71 y 72: Representación de una cadena de Markov y su respectiva matriz de transición.**

FUENTE: Reales (2011).

Un estado absorbente es aquel al cual se llegará y en el que se permanecerá indefectiblemente si se continúa el proceso, como el estado 5 de la Figura 73. El estado 4,

en cambio, sería un estado accesible por el cual eventualmente se pasará. Si hubiesen bucles, podríamos encontrar estados recurrentes, por lo cuales sería posible pasar varias veces, así como estados transcientes, a los cuales sería improbable regresar.



**FIGURA 73: Representación de una cadena de Markov absorbente.**

FUENTE: Reales (2011).

Evaluando escenarios con un software que aplique cadenas de Markov, se puede identificar el estado o paso en el cual se logra la estabilidad. Desde la lógica de manejo adaptativo, dicho estado caracterizaría un escenario y representaría una cuenca de atracción.

Los modelos ocultos de Markov o HMM por sus siglas del inglés (*Hidden Markov Models*) representan procesos donde se conoce el comportamiento del sistema sólo de manera indirecta pues los estados del mismo permanecen ocultos para el observador. Se denominan ocultos porque existen probabilidades desconocidas que afectan al resto de estados observados.

Las cadenas de Markov se aplican claramente en los árboles de decisiones, en los modelos de sucesión, en los modelos de contagio de epidemias, etc. Existen también muchas aplicaciones en la ecología. Viovy y Saint (1994) aplicaron las cadenas de Markov

para el estudio de la dinámica temporal de la vegetación a partir de datos de teledetección. Tucker y Anand (2005) discutieron la utilidad de las cadenas, en comparación con la modelización, para detectar dinámicas ecológicas complejas. Ver Hoef y Cressie (1997) utilizaron cadenas de Markov para modelizar transectos de vegetación en pastizales, con el objetivo de definir los bordes, o puntos de cambio, entre las zonas con y sin vegetación. Una aplicación similar, con el objetivo de analizar patrones complejos en transectos de vegetación, fue llevada a cabo por Rodríguez y Bautista (2001).

#### **e) Lógica difusa y estadística posibilística**

La lógica difusa, heurística o borrosa se basa en la relatividad de lo observado. Fue propuesta por Zadeh en 1965, en el marco de una búsqueda por desarrollar sistemas expertos de control. Para él, la lógica difusa es un sistema que está dedicado a la formalización de modos de razonamiento que son aproximados y no exactos. Y es que en la vida cotidiana no solemos tomar decisiones tan exactas como se podrían tomar con la estadística probabilística. Solemos manejar conceptos de límites “borrosos”.

La incertidumbre puede derivarse de una falta de información o incluso por que exista desacuerdo sobre lo que se sabe o lo que podría saberse. La realidad social, en todos sus ámbitos y niveles está saturada de incertidumbre. Sin embargo, el concepto de incertidumbre, tiene varias acepciones. Puede reflejar duda acerca de la veracidad del resultado obtenido una vez que se han evaluado todas las posibles fuentes de error y que se han aplicado las correcciones oportunas, o simple desconfianza intuitiva.

Según Moreno (2009), la lógica borrosa, al tener todo un marco epistemológico detrás, contribuye a propiciar un pensamiento más holístico, que acepta la incertidumbre y la complejidad. Toma elementos de la lógica clásica, de la lógica binaria y del razonamiento aproximado. De este último, por ejemplo, el uso que hace de las variables, la representación de las proposiciones en términos de valores lingüísticos y el análisis de situaciones caóticas.

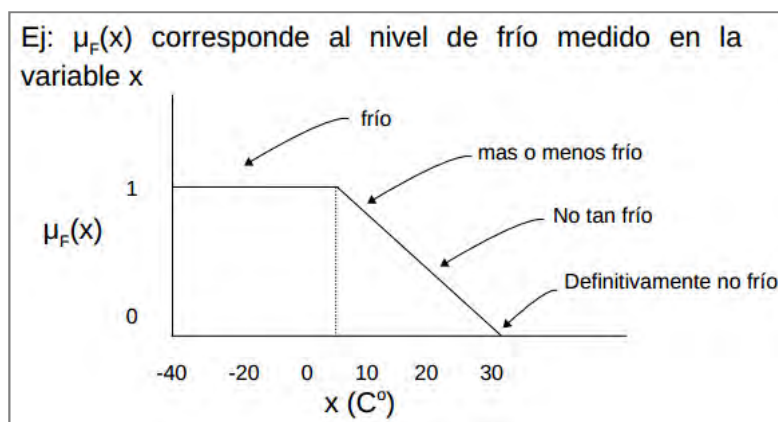
El éxito de la aplicación de la lógica difusa, sobretudo en nuevas tecnologías, es irrefutable. Y ello se basa fundamente en que ha logrado simplificar la toma de decisiones y los controles. Al identificarse reglas “borrosas” pero aplicables para controlar aquello



que podría desviarse en un proceso, se ha podido desarrollar dispositivos que actúan bajo dichas reglas y automatizan controles que han demostrado ser altamente efectivos.

Sobre la lógica difusa es importante conocer lo siguiente:

- Se adapta al lenguaje y comprende los cuantificadores: “muy”, “poco”, “mucho”, etc.
- Considera que existen conjuntos difusos, y las funciones de pertenencia de sus elementos son trapezoidales, lineales, curvas o funciones de una o más dimensiones. Ver ejemplo en la Figura 74.



**FIGURA 74: Ejemplo de una función de pertenencia.**

FUENTE: Arredondo (2012).

- Se basa en reglas condicionales, de causa – efecto (si ... entonces), que se parecen a la forma de pensar humana.
- Los métodos de inferencia se basan en reglas simples. Dichas reglas se pueden automatizar con redes neuronales y así configurar un sistema de inteligencia artificial.
- Utiliza mapas difusos para mapear la pertenencia de los elementos.
- Pueden existir restricciones difusas que limitan de manera flexible los valores resultantes de un vector.
- Para arrojar resultados no utiliza probabilidades sino que selecciona un elemento del conjunto difuso a través del método del centroide, es decir, escogiendo aquel que es el centro de gravedad.

- Se utiliza para sistemas complejos, con alta no linealidad, donde no existen modelos matemáticos precisos.

A Zadeh también se le considera el padre de la teoría de la posibilidad. En base a sus conceptos sobre lógica borrosa, en los años ochenta, se desarrolló una teoría paralela a la de probabilidades, que toma en cuenta la incertidumbre para priorizar decisiones en base a información incompleta.

La estadística posibilística utiliza fórmulas que son proposiciones lógicas de primer orden a las cuales se les asigna números entre 0 y 1, o bien elementos ordenados (Ruspini, 1991). Los pesos se denominan grados de posibilidad, certidumbre o necesidad, y expresan la medida en que la evidencia disponible sustenta la veracidad de la fórmula o bien el nivel en que son compatibles la evidencia y la proposición.

A nivel matemático se operacionaliza con la lógica difusa y sus funciones de pertenencia. Lleva a trabajar dentro del denominado “pensamiento aproximado” donde la noción de restricción difusa está referida a posibles valores cuya función de pertenencia es llamada: distribución posibilística. Esta expresa el orden de preferencia entre una serie de alternativas. En este punto es importante la semántica, ya que los valores se caracterizan lingüísticamente, con frases o adjetivos.

Para la lógica posibilística un conocimiento con cierto valor de certidumbre se define en base a un conjunto finito de fórmulas de necesidad o certidumbre. En base a las reglas de la lógica, incluso es posible calcular el grado de inconsistencia de los resultados (Dubois y Prade, 2004). Sin embargo, es importante que el modelo esté bien diseñado y que la reglas lógicas estén ordenadas, ya que ello afectará los resultados y la interpretación. Es por ello que la lógica posibilística se usa para sistemas expertos.

Algunas extensiones de la lógica posibilística han desarrollado herramientas estadísticas para trabajar algunos tipos especiales frases que son comunes en la práctica y a los que subyace información incompleta, por ejemplo:

- Frases con una calificación posibilística, o generales, como: "Es posible que no venga".

- Frases condicionales, que dependen de situaciones difusas, como: " Mientras más tarde llegue, es más seguro que haya problemas"
- Frases asociadas a previsiones con poco sustento, como: "Si la temperatura es alta, habrá pocos participantes en la conferencia".

La lógica posibilística y la probabilística, si bien usan herramientas matemáticas similares, no sirven para el mismo fin. La primera busca la simplificación y obtener resultados razonables y lo más certeros posibles con la información disponible en base a inferencia deductiva, aún en escenarios complejos y con alta incertidumbre. La segunda requiere información más estructurada y en sus ramas menos convencionales, es más compleja. Si bien es extremadamente útil, requiere que los procesos sean conocidos en cierto grado así que las pruebas y métodos tienen siempre supuestos y restricciones. Para Spohn (1988), la lógica posibilística está vinculada a la probabilística infinitesimal en los límites máximos y mínimos y para Dubois et al. (en línea) existen aún más conexiones entre ambas por investigar y desarrollar.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

Se escogió abordar la problemática de la minería aluvial en el departamento de Madre de Dios (ver Figura 75) porque existe suficiente información histórica para generar modelos dinámicos. Además, su situación fue priorizada por el Ministerio del Ambiente en la declaratoria de emergencia y existen actualmente recursos destinados a la gestión del espacio y la concertación.

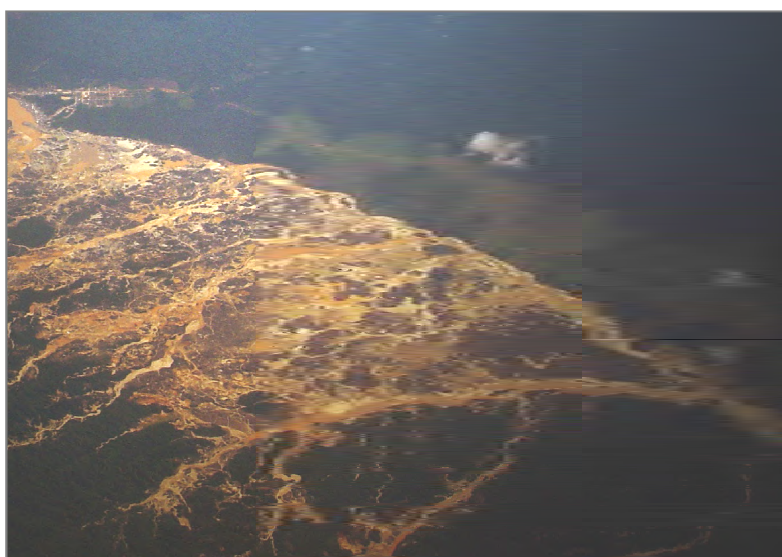


**FIGURAS 75: Mapa de ubicación de la región Madre de Dios en Perú.**

FUENTE: Mosquera et al. (2009).

Sobre la región Madre de Dios, cabe resaltar los siguientes aspectos (Pastor, 1991), que serán utilizados más adelante, para el modelamiento de escenarios:

- Se ubica en la región suroriental del Perú, compartiendo frontera con Brasil y Bolivia. Tiene una superficie total de 85182.6 km<sup>2</sup>. Al menos 10% está ocupada por la actividad minera. En la Figura 76 se puede ver un caso extremo de impacto ambiental, en el sector de Huepetuhe.



**FIGURA 76: Foto aérea del impacto de la actividad minera en Huepetuhe.**

FUENTE: Álvarez (2011).

- Alberga algunas de las zonas más biodiversas del país.
- Su clima es tropical húmedo, con estaciones bien definidas: seca entre mayo y octubre, y lluviosa entre diciembre y abril.
- La precipitación media anual es de 250 mm en la zona oriental, 400 en la zona central y 900 mm en la zona occidental.
- La temperatura promedio es 25°C, siendo la mínima 16°C (entre junio y julio, o menor en días de friaje), y la máxima 32°C entre septiembre y octubre.
- El río Madre de Dios es el más importante del sistema hidrográfico y es un tributario indirecto del río Amazonas. Su ancho varía entre 300 y 500 m., su caudal medio estimado es de 7412.5 m<sup>3</sup>/seg y su velocidad promedio es de 1 m/seg. Recibe aguas contaminadas por la minería aluvial que se desarrolla en las cuencas que lo alimentan.

### 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

En la bibliografía se muestra con detalle todas las referencias que fueron utilizadas, sin embargo, dado que en esta investigación se ha analizado y procesado información de estudios previos, cabe resaltar los siguientes documentos:

- ARRIARAN, G. y GOMEZ, C. 2006. Entre el oro y el azogue: la nueva "fiebre del oro" y sus impactos en las cuencas de los ríos Tambopata y Malinosky. En Perú: El problema agrario en debate. SEPIA XII. Industrias extractivas, agricultura y uso de recursos naturales; ganadería y sociedades pastoriles; y agricultura comercial moderna. DAMONTE G., FULCRAND, B. y GOMEZ, R. (eds).
- BARBIERI G. Evaluación de mercurio total en peces, agua y sedimento en la cuenca del Río Malinowski, Departamento de Madre de Dios, causada por la minería aurífera aluvial. Tesis (Ingeniero Pesquero). Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Pesquería. Lima. 2004. 109 p.
- DEZA - ARROYO, N. Mercury accumulation in fish from Madre de Dios, a goldmining area in the Amazon basin, Peru. Tesis (Ms.Sc.). Oregon State University. 1997. 39 pp.
- FERNÁNDEZ, L. y GONZALEZ, V. Niveles del mercurio en peces de Madre de Dios. Nov. 2009. Carnegie Institution for Science. [en línea]. <[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/eventos/mercurio/niveles\\_de\\_mercurio\\_en\\_peces.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/eventos/mercurio/niveles_de_mercurio_en_peces.pdf)> [consulta: 10 setiembre 2010].
- GUTLEB, A., SCHENCK, C. y STAIB, E. Total mercury and methylmercury levels in fish from the department Madre de Dios, Peru. IUCN Otter Specialist Group Bulletin. 1993. 8(1): 16 – 18.

- GUTLEB, A., SCHENCK, C. y STAIB, E. Giant otter (*Pteronura brasiliensis*) at risk: Total mercury and methylmercury levels in fish and otter scats, Peru. *Ambio*. 1997. 26(8): 511-514.
- MOSQUERA, C., CHAVEZ, M., PACHAS, V., MOSCHELLA, P. 2009. Estudio diagnóstico de la actividad minera artesanal en Madre de Dios. Fundación Conservación Internacional. 184 p.

En estas publicaciones se halló registros históricos sobre los impactos y dinámicas de la minería aluvial en la región así como un análisis de proceso de ordenamiento minero. Adicionalmente, en la definición de la metodología del estudio, fueron claves las siguientes publicaciones:

- DEPARTMENT FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT – DFID, UK. 1999. Hojas orientativas sobre los medios de vida sostenibles. [en línea] <<http://community.eldis.org/.59c21877/SP-GS2.pdf>> [consulta: 22 octubre 2007].
- KNIGHTES, C. y AMBROSE, R. Development of an ecological risk assessment methodology for assessing wildlife exposure risk associated with mercury-contaminated sediments in lake and river systems. Athens. USEPA. 2006.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1983. Risk assessment in the federal government: managing the process. Committee on the institutional means for assessment of risks to public health. Commission on Life Sciences. National Academy Press. Washington D.C.
- VEIGA, M. y MEECH, J. 1996. Hg Ex: An expert system for risk assessment of mercury discharge from gold mining operations. Department of Mining and Mineral Process Engineering. University of British Columbia.
- WALKER, B., CARPENTER, S., ANDERIES, J y ABEL, N. Resilience management in social-ecological systems: hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 2002. 6(1): 14. <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14>

Asimismo, fue necesario contar con una libreta de apuntes para las entrevistas y las visitas a campo, una grabadora de voz, una cámara fotográfica y una computadora con acceso a Internet y con un procesador capaz de trabajar con los softwares siguientes:

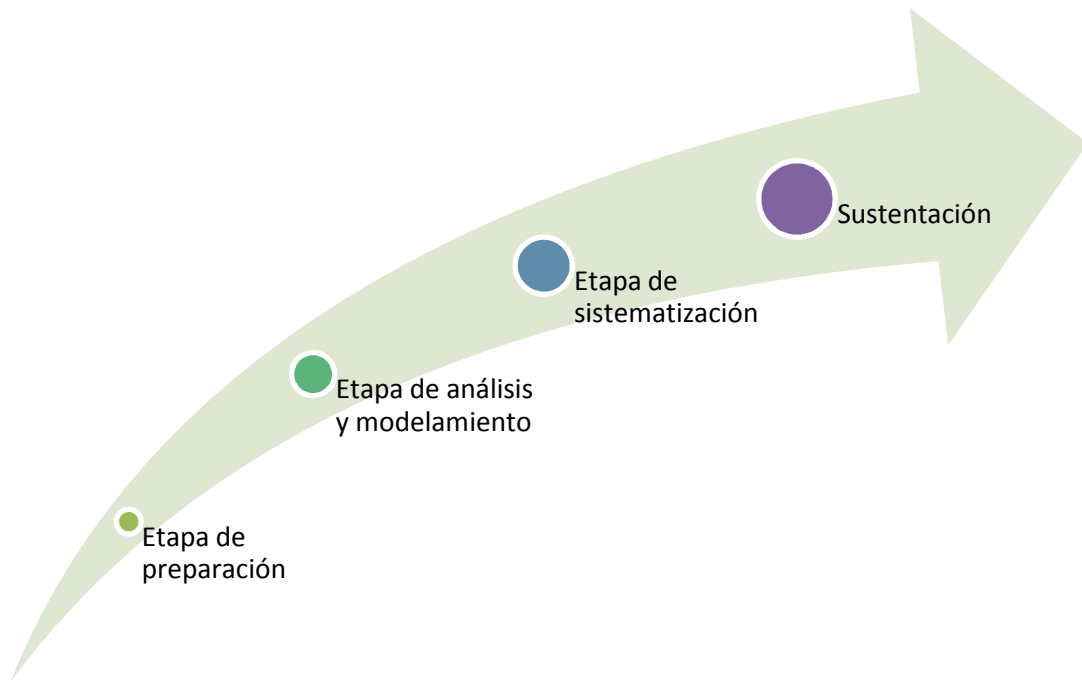
- Microsoft Office Profesional
- El sistema experto: HgEx
- @ risk de la suite Palisade Decisión Tools para Excel
- Stella
- WinQSB - Markov process
- Applet de sucesión ecológica de Piñol y Martínez-Villalta

### 3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Tal como se esquematiza en la Figura 77, ésta investigación constó de tres etapas:

- La **etapa preparatoria**, que incluyó la determinación y ajuste de los objetivos, la hipótesis y la metodología de investigación, la recopilación de información secundaria relevante, el desarrollo de entrevistas con expertos (algunas en Lima, otras en las zonas mineras de Madre de Dios), así como la obtención los programas a utilizar para desarrollar el estudio y el entrenamiento en su aplicación.
- La **etapa de análisis y modelamiento**, que contempló la organización de la información, la redacción de la revisión bibliográfica, la generación de escenarios con @Risk, SERAFM y HgEx, el análisis de la resiliencia, el desarrollo de modelos conceptuales así como la evaluación diferenciada e integral de los resultados.
- La **etapa de sistematización**, que consistió en redactar el informe final de tesis de acuerdo a los requisitos de la escuela de Post Grado, recibir retroalimentación del asesor y del comité consejero para incorporar sus sugerencias y redactar las conclusiones, recomendaciones y el resumen ejecutivo. En síntesis dejar la tesis lista para la sustentación.

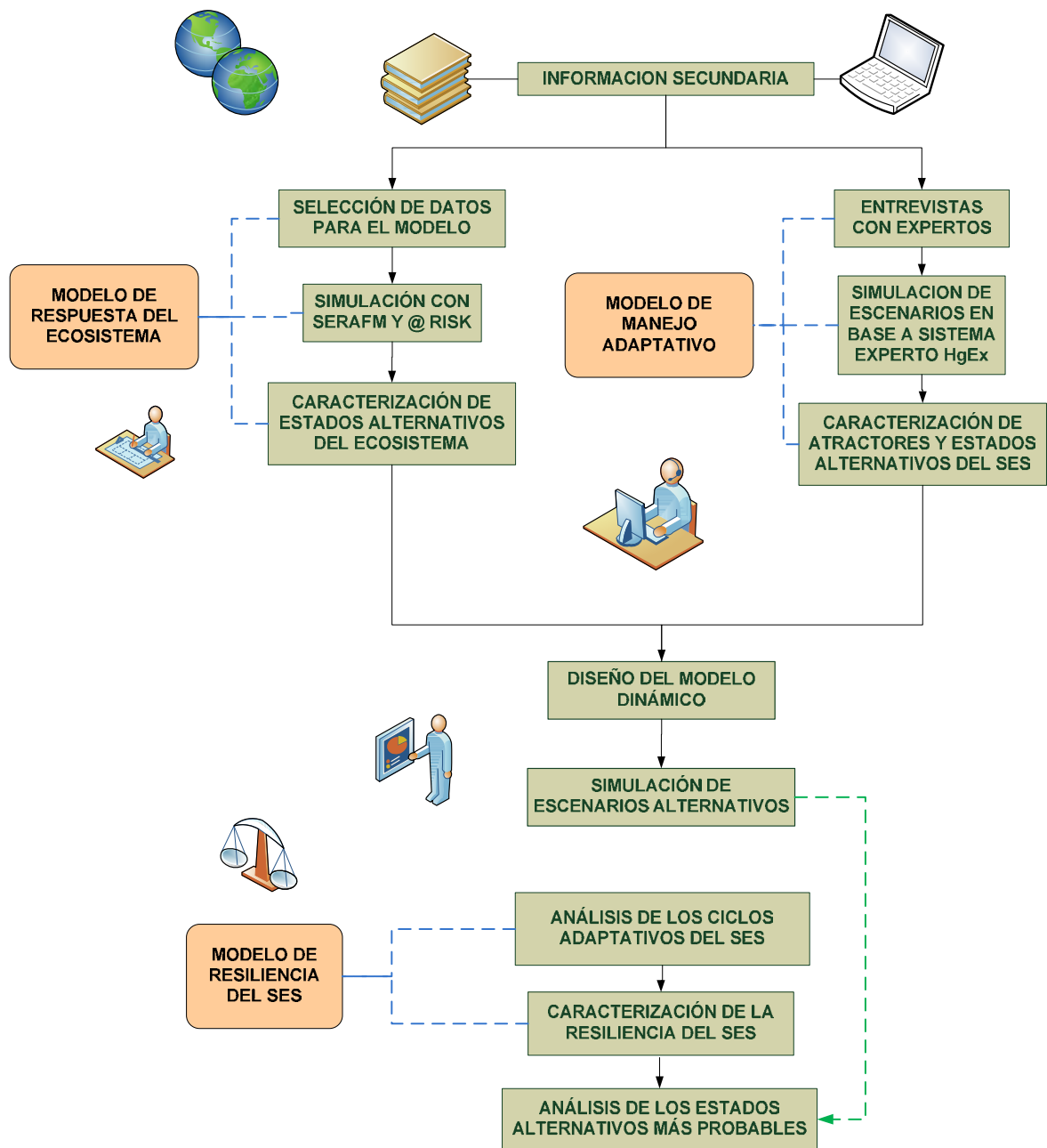




**FIGURA 77: Etapas del desarrollo de la tesis.**

FUENTE: Elaboración propia (2010).

Teniendo en cuenta los objetivos del estudio y lo propuesto en el marco conceptual de manejo adaptativo de Holling (1973) y el de investigación participativa de Walker, se realizó una modificación a la metodología AMPAC, propuesta por Pratto (2008), tal como se observa en la Figura 78.



**FIGURA 78: Metodología para el desarrollo de la tesis.**

FUENTE: Elaboración propia (2010).

Es así que las fases de “modelamiento de la respuesta del ecosistema” y de “modelamiento del manejo adaptativo” permitieron cumplir el primer objetivo específico de la tesis, es decir: “Caracterizar el escenario actual mediante el análisis de riesgos y los escenarios futuros a través de la aplicación de los modelos SERAFM con @risk, y HgEx, basados en probabilidades y lógica difusa, respectivamente”.

El “modelamiento de la resiliencia de sistema” se desarrolló según la metodología de la Alianza para la Resiliencia, tomando como base los dos primeros modelos y permitió cumplir los tres siguientes objetivos específicos:

- “Realizar el análisis de la resiliencia tomando como base la lógica del manejo adaptativo (Holling, 1973 y seguidores)”.
- “Desarrollar un modelo conceptual para la dinámica del sistema con apoyo del software Stella”.
- “Identificar escenarios alternativos con cadenas de Markov”.

Asimismo, permitió lograr el objetivo principal de la tesis: “Identificar los estados alternativos más probables del sistema social ecológico de la minería aluvial en Madre de Dios, en base a los escenarios modelados”.

A continuación se detalla la metodología seguida en cada etapa de modelamiento:

### **3.5.1. MODELAMIENTO DE LA RESPUESTA DEL ECOSISTEMA**

#### **a) Análisis de riesgos causados por el mercurio**

Realizado en base a la metodología propuesta por el National Research Council de EE.UU. (1983), pero incorporando probabilidades a través de la simulación Montecarlo con @Risk. Incluyó:

- **La revisión del modelo conceptual**

Se revisó la lógica planteada por los esquemas de toxicodinámica del mercurio en el ambiente, hallados durante el desarrollo de la revisión bibliográfica, con la finalidad de identificar los elementos que se interrelacionan y caracterizan el fenómeno en estudio.

- **El análisis de la exposición**

- *La caracterización del área en estudio en función de la exposición:* Esto se realizó a través de la revisión bibliográfica, donde se describen los niveles de contaminación, la movilidad del mercurio en el ecosistema, las características de los organismos que sirven como bioindicadores, etc.
- *La identificación de las principales rutas de exposición.* También a través de la revisión bibliográfica se detalló que las exposiciones más representativas se dan a través de la cadena trófica acuática y la atmósfera contaminada cerca los *hotspots* mineros. Las vías de ingreso al organismo y la toxicocinética del mercurio, también se describieron en los antecedentes.
- *La cuantificación de la exposición.* Consistió en determinar su magnitud, frecuencia y duración, para lo cual se estimó la **dosis de exposición o suministrada (DS)** para humanos y especies que se encuentran en el pico de la cadena trófica acuática de Madre de Dios, en este caso, por vía oral.

Dado que el metilmercurio es un cancerígeno potencial, la DS calculada puede ser llamada Dosis Diaria Vitalicia Promedio (DDVP) debido a que se supone que el efecto de la exposición a un cancerígeno es básicamente el mismo si se tiene una exposición a una alta concentración por corto tiempo o si se tiene una exposición a baja concentración por un período prolongado.

La fórmula de la DS es la siguiente:

$$D_s = CTBFD / MP$$

Donde:

- C = Concentración promedio durante el período de exposición<sup>26</sup>, definida en base a información histórica.

---

<sup>26</sup> Se utilizó el valor del límite superior de confianza, percentil 95, del promedio aritmético de las concentraciones durante el período de exposición, lo que equivale a identificar la Exposición Máxima Razonable (EMR).

- T = Tasa de contacto o cantidad de medio contactado por unidad de tiempo. Sus unidades dependen del estado físico del medio. Habitualmente: l/día (líquidos), mg/día (sólidos), m<sup>3</sup>/día (gases). En este caso se escogió evaluar la exposición por vía oral así que se incluyó la cantidad de agua y alimentos contaminados por mercurio que cada especie consume.
- B = Biodisponibilidad. % del tóxico que se absorbe. En el caso del metilmercurio, según la EPA (1997) es 95%.
- F = Frecuencia de exposición (días/año). Indica la cantidad de veces que el organismo evaluado se expone a mercurio, en este caso por ingestión o bebida. Para los pobladores ribereños se estimó tres veces por semana y para los animales una exposición diaria.
- D = Duración de exposición (años). Dado que la ingesta continua representa una exposición crónica, se consideró el tiempo promedio de vida de cada organismo.
- M = Masa corporal media del organismo durante la exposición (Kg).
- P = Tiempo de promediación (días). Es decir, los años de exposición por 365 días / año.

La dosis de exposición se comparó con la dosis de referencia<sup>27</sup> o nivel de consumo semanal permisible propuesto por la OMS (2008), que para humanos es 1.6  $\mu\text{g Hg} / \text{Kg}$  de peso por semana. La EPA, por su parte, es más conservadora y propone 0.1  $\mu\text{g Hg} / \text{Kg}$  de peso por día.

Adicionalmente, se calculó el **factor de biomagnificación (BMF)**. Este valor es un ratio de la concentración en tejidos en base a la concentración en el nivel trófico inmediato anterior. Con la información histórica disponible se pudo calcular solamente el factor de biomagnificación para el nivel trófico 4, usando la fórmula siguiente:

$$\text{BMF TL4} = (\text{Ct}, \text{TL4}) / (\text{Ct}, \text{TL3})$$

Donde:

- Ct = Concentración en tejidos de especies que ocupan cada nivel trófico.
- TL (Trophic Level) = Nivel trófico.

---

<sup>27</sup> La dosis de referencia es la dosis diaria estimada que puede ser consumida de manera segura durante todo el tiempo de vida, incluso en poblaciones sensibles.

**El factor de acumulación biota - sedimento (BSAF)** también se estimó. Este valor es un ratio de la concentración del tóxico en la biota y en sedimentos teniendo en cuenta la fracción lipídica de la biota y la fracción orgánica en el sedimento, según lo indicado en ésta fórmula:

$$\text{BSAF} = (C_f / f_l) / (C_s / f_{oc})$$

Donde:

- $C_f$  = Concentración de mercurio en la biota.
- $f_l$  = Fracción lipídica en la biota. Con frecuencia se toma en cuenta la fracción lipídica de los peces. En este caso se usó datos de tejidos de peces y de las heces de *Pteronura brasiliensis*.
- $C_s$  = Concentración del contaminante en sedimentos
- $f_{oc}$  = Fracción de carbono orgánico en sedimentos.

El cálculo del BSAF es importante porque el mercurio se acumula principalmente en capas profundas de sedimentos y se moviliza en la cadena trófica, por lo tanto el BSAF suele ser más alto que el BMF.

#### • **El análisis de la toxicidad**

En este paso se evaluó la relación entre la dosis o nivel de exposición y la severidad de los efectos. La información obtenida en los pasos anteriores, durante la fase de campo y mediante revisión bibliográfica fue analizada para interpretar las características toxicológicas del mercurio en la zona de estudio. Se tuvo en cuenta algunos parámetros ecotoxicológicos como: NOAEL, LOAEL,  $LC_{50}$ ,  $LD_{50}$ , dosis o concentración de referencia, factor pendiente, unidad de riesgo de cáncer para el caso del metilmercurio<sup>28</sup>, etc.

Primero se estimó el **cociente de riesgo (HQ)**, que es el ratio entre la máxima exposición estimada en el ambiente y aquella concentración considerada como segura (dosis de referencia) para la especie química no cancerígena. Valores menores a 1 son

---

<sup>28</sup> Según la base de datos RISCTOX no existen pruebas adecuadas de carcinogenicidad del mercurio elemental en humanos y son inadecuadas o limitadas en animales de experimentación. Sin embargo, el metilmercurio está clasificado en el grupo 2B, es decir, es posiblemente carcinógeno para los seres humanos.

aceptables porque indican que no es probable que las condiciones en estudio generen efectos adversos a la salud. Aunque es un indicador determinista, que simplifica la realidad y varía ampliamente con el espacio, el tiempo y la vía de exposición, fue considerado en el análisis por brindar información útil para la toma de decisiones. Además se pudo obtener resultados dinámicos al introducir probabilidades mediante la simulación Montecarlo con @Risk. El método de cálculo es:

$$HQ = DDVP \text{ o } DS / TRV$$

Donde:

- DDVP o DS = Dosis Diaria Vitalicia Promedio o Dosis Suministrada. Representa la máxima ingesta total o nivel de exposición.
- TRV = “Toxicity Reference Value”, Dosis Segura o de Referencia<sup>29</sup>. Se puede usar el NOAEL o el LOAEL, siendo mejor el primero.

Ambas variables deben estar expresadas en las mismas unidades y representar el mismo período y vía de exposición.

Luego, se identificó el **riesgo de cáncer por metilmercurio (RC)**. Se trata de un índice que permite determinar el incremento de la probabilidad de que un individuo desarrolle cáncer durante su vida como resultado de una dosis de agente cancerígeno. Se calcula multiplicando la dosis de exposición (Ds) y la probabilidad específica de desarrollar cáncer (factor de pendiente). El límite tolerable del incremento del riesgo de cáncer está entre  $10^{-6}$  y  $10^{-5}$ .

El factor pendiente es una constante debido a que las dosis a las que se exponen los individuos en el medio ambiente son generalmente muy pequeñas comparadas con las que se utilizan en experimentos con animales, y esto hace suponer que la relación dosis - respuesta es lineal. El factor pendiente representa cuantitativamente la relación entre la dosis de agente cancerígeno y la incidencia de tumores. Tiene las unidades de  $1/(\text{mg}/\text{Kg} \cdot \text{día})$  y se estimó con la fórmula siguiente:

---

<sup>29</sup> La dosis de referencia se define como el nivel de exposición diario de una población, durante toda la vida, para el que no existe un riesgo apreciable de efectos adversos, incluyendo las subpoblaciones sensibles. Depende de la vía de entrada del tóxico, el período de exposición evaluado y el tipo de efecto agudo observado. Así, se puede obtener valores de la dosis de referencia para exposiciones crónicas orales (DdRco), para exposiciones crónicas por inhalación (DdRci), para exposiciones subcrónicas orales (DdRso), para efectos sobre el desarrollo (DdRd), etc.

$$RC = Ds * FP$$

Donde:

- Ds = Ingesta diaria crónica promediada durante todos los años de la vida en mg/Kg x día.
- FP = Factor de pendiente. Según la U.S.E.P.A. (2001), para el metilmercurio el factor para exposición oral y dérmica es 1, por lo cual la ecuación queda como RC = DS. Esto tiene un margen de incertidumbre porque el potencial carcinogénico del compuesto aún sigue en investigación.

- **La caracterización del riesgo**

Se analizó los resultados de HQ y RC obtenidos, y se identificó los márgenes de seguridad para el mercurio total en los compartimientos ambientales: agua, sedimentos y peces.

Por otra parte, dado que no hay referencia alguna para el área de estudio sobre concentraciones de referencia para asegurar la integridad de la biota, se vio por conveniente modelar un **valor criterio de vida silvestre (WV)**. Se trata de un valor que debe asegurar que no se den efectos significativos en el crecimiento, reproducción o viabilidad de las especies silvestres a través de múltiples generaciones, de modo que no se afecte la dinámica poblacional ni ecosistémica. En este caso se tomó como bioindicadores a *Pteronura brasiliensis* y *Melanosuchus niger*. En el cálculo se utilizó información toxicológica pre-existente y datos de cada eslabón significativo de la cadena alimenticia. Según la U.S.E.P.A., la ecuación para calcularlo es:

$$WV = \frac{\frac{TD}{UF_A \times UF_S \times UF_L} \times Wt}{W + \sum (F_{TLi} \times BAF_{TLi}^{NL})}$$

Donde:

- WV (*Wildlife Value*) = Valor para la vida silvestre en miligramos de sustancia por litro (mg/l).



- TD (*Test Dose*) = Dosis de referencia en miligramos de sustancia por kilogramos por día (mg/kg-d) para la especie más vulnerable en estudio. Los valores más apropiados son los de NOAEL y en su defecto, de LOAEL.
- UF<sub>A</sub> (*Uncertainty Factor A*) = Factor de incertidumbre <sub>A</sub> para extrapolar datos de toxicidad entre especies de la misma clase taxonómica. Se seleccionó un factor específico para cada especie. Es un valor adimensional entre 1 y 100.
- UF<sub>S</sub> (*Uncertainty Factor S*) = Factor de incertidumbre <sub>S</sub> para extrapolar datos de exposiciones subcrónicas a exposiciones crónicas<sup>30</sup>. Es un valor adimensional entre 1 y 10. Se utiliza cuando las consideraciones toxicocinéticas sugieren que un bioensayo de duración limitada subestima los efectos crónicos.
- UF<sub>L</sub> (*Uncertainty Factor L*) = Factor de incertidumbre <sub>L</sub> para extrapolar datos de LOAEL a NOAEL. Es un valor adimensional entre 1 y 10.
- WT (Weight) = Peso promedio en kilogramos (kg) para la especie de interés.
- W (Water) = Volúmen promedio diario de agua consumida en litros por día (l/d) para la especie de interés.
- F<sub>TLi</sub> (*Food Consumed by Trophic Level*) = Cantidad promedio de alimento<sup>31</sup> consumido por nivel trófico en kilogramos por día (Kg/d) para la especie de interés.
- BAF<sup>WT</sup><sub>LLi</sub> (*Bioaccumulation Factor for Wildlife Food by Trophic Level*) = Factor de bioacumulación para el alimento de la vida silvestre por nivel trófico en litros por kilogramo (l/Kg).

Las siguientes ecuaciones alométricas generales permitieron estimar la cantidad de alimento y agua consumida en el caso de mamíferos (Calder and Braun, 1983)<sup>32</sup>.

$$F = 0.0687 \times (Wt)^{0.82}$$

---

<sup>30</sup> La información utilizada debe ser preferentemente de estudios en exposiciones crónicas o al menos subcrónicas, como mínimo con noventa días de observaciones en el caso de mamíferos y más de setenta días si se tratara de aves.

<sup>31</sup> Otras rutas de ingreso del tóxico sólo deben ser consideradas si la dosis diaria incorporada es similar a aquella de la vía oral.

<sup>32</sup> Wildlife Exposure. Factors Handbook. Volume I of II. December 1993. USEPA

Donde:

- $F$  (*Feeding rate*) = Tasa de alimentación para mamíferos en kilogramos por día (Kg/d) peso seco.
- $Wt$  (*Weight*) = Peso promedio en kilogramos (Kg) para la especie de interés.

$$W = 0.099 \times (Wt)^{0.90}$$

Donde:

- $W$  (*Water*) = Cantidad de agua bebida en litros por día (L/d).
- $Wt$  (*Weight*) = Peso promedio en kilogramos (Kg) para la especie de interés.

Luego se comparó los resultados de mercurio obtenidos en los diferentes compartimientos ambientales con valores aceptados como seguros en estudios internacionales, el WV calculado, así como los estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles. Estos representarían los “Límites de Especificación”.

Asimismo, se estimó “Límites Aceptables de Cambio” en base a las dinámicas anuales, mediante técnicas 6 Sigma como el uso de las gráficas de Shewarth que permiten analizar los límites de cambio y son útiles para el monitoreo de la contaminación por mercurio.

- **El análisis de sensibilidad y escenarios**

En cada cálculo donde se introdujo probabilidad, para mostrar la sensibilidad de las variables de salida (como HQ, RC y WV) a las variables de entrada del modelo aplicado, se utilizó herramientas de la suite @Risk para Excel, que grafican estas influencias en diagramas de dispersión y de correlación. Esto permitió identificar las variables más influyentes.

Adicionalmente se hizo un análisis de escenarios para identificar grupos de variables de entrada que producen un rango de valores deseados de variables de salida.

- **El análisis de incertidumbre**

Finalmente, se realizó una breve descripción de las variables y los factores de incertidumbre asociados a las mismas, a saber:

- Las incertidumbres asociadas al modelo conceptual:
  - La hipótesis.
  - Los contaminantes excluidos del análisis.
  - La fiabilidad de la información secundaria.
  - La idoneidad de parámetros,
  - Los receptores escogidos, etc.
- Las asociadas a la caracterización del lugar:
  - La representatividad de los datos de campo para la zona de estudio.
  - Las limitaciones de las técnicas de laboratorio.
  - La representatividad de la distribución espacial de la contaminación.
  - La cantidad de muestras.
  - La complejidad del sitio.
  - La calibración del modelo.
  - La representatividad temporal y espacial de los datos.
  - Los efectos de la contaminación natural o por procesos paralelos de contaminación antrópica, etc.
- Las asociadas a los efectos de los contaminantes:
  - La fiabilidad de la información secundaria sobre asuntos toxicológicos.
  - Los procesos que influyen en la biodisponibilidad.
  - La combinación de valores de toxicidad obtenidos con distinto grado de fiabilidad o que se refieren a efectos críticos de diferente significación toxicológica (diferentes tejidos diana).
  - La consideración de relaciones dosis-respuesta lineales en ausencia de mayor información sobre efectos interactivos de las sustancias.
  - La extrapolación de las dosis de referencia entre especies (sobretudo, de animales a humanos).

- La arbitrariedad de los factores de incertidumbre.
  - La hipótesis de que no existe umbral de exposición para contaminantes cancerígenos en humanos (estudios recientes parecen indicar que ciertas sustancias cancerígenas tienen umbrales y, por tanto, podrían asignárseles dosis de referencia).
  - La variación natural de los parámetros analizados en ecosistemas que no es contemplada en los estudios toxicológicos.
  - Los efectos sinérgicos, etc.
- Las asociadas al análisis de la exposición, que suelen ser las más importantes en los análisis de riesgos:
    - Las relativas a los valores que adoptan las concentraciones de exposición.
    - Las relativas a la variabilidad de las características biométricas y de comportamiento de las poblaciones expuestas (que se trata de manejar con valores estadísticamente seguros o límites de confianza).
    - La representatividad del muestreo.
    - La complejidad del modelo.
    - La estocasticidad natural.
    - El conocimiento incompleto de la realidad.
    - La variabilidad de los datos usados en el cálculo de la dosis suministrada.
    - El uso de valores supuestos para algunos parámetros.

## **b) Modelamiento con SERAFM**

SERAFM son las siglas de “Spreadsheet-based Ecological Risk Assessment for the Fate of Mercury”, una herramienta desarrollada en el 2006 por Knightes y Ambrose, de la división de investigación en ecosistemas de la U.S.E.P.A., para modelar la distribución del mercurio en el ambiente.

SERAFM recrea el ciclo del mercurio haciendo uso de información sobre las características químicas, físicas y biológicas de los procesos que gobiernan su distribución en el ambiente así como datos sobre la cuenca, el cuerpo de agua de interés, etc. Su estructura considera:

- Las condiciones del ambiente como: pH, potencial redox, clima, características del suelo, contenido de materia orgánica, etc.
- La deposición atmosférica en la cuenca y el cuerpo de agua.
- Los procesos de deposición y transporte vía escorrentía, erosión y tributarios. Para ello utiliza la RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) y coeficientes de escorrentía predefinidos según usos de suelo.
- La transformación en los cuerpos de agua por medio de:
  - Procesos fotolíticos de oxidación, reducción y degradación.
  - Oxidación bioquímica y abiótica.
  - Metilación y desmetilación.
- Los procesos de sorción y complejación, relacionados con los coeficientes de partición en suelo, sólidos, material orgánico disuelto y particulado, etc.
- El asentamiento, resuspensión y entierro de partículas en sedimentos.
- La biodisponibilidad de complejos de mercurio con hidróxidos, cloruros, sulfatos y carbono orgánico disuelto.
- La bioacumulación de metilmercurio en cada nivel trófico.
- Los procesos de transporte que afectan las concentraciones del tóxico con el paso del tiempo y el incremento de la distancia a la fuente, por ejemplo: advección, difusión, convección, etc.
- Las propiedades físico – químicas que condicionan la movilidad y persistencia de una sustancia en los distintos medios: peso molecular, solubilidad, presión de vapor, coeficientes de partición (suelo-agua, octanol-agua, carbono orgánico - agua) y vida media (constante de degradación).

El modelo comprende una serie de sub-módulos interrelacionados que permiten calcular las concentraciones en sedimentos, en agua y en la cadena alimenticia, así como cocientes de riesgo para especies indicadoras y para humanos.

Internamente resuelve ecuaciones diferenciales para condiciones estacionarias ( $\Delta$  tiempo = 0) y luego utiliza los resultados del balance de sólidos para el recálculo bajo las condiciones del cuerpo de agua de interés. Se intentó encontrar constantes para las condiciones de la zona en estudio y se buscó calibrar el modelo en base a la información disponible de campo y en base a estudios previos.

Entonces SERAFM, adaptado a la realidad local, permitió obtener otra visión de la respuesta del ecosistema ante la perturbación más importante que causa la minería aluvial: la introducción de mercurio al ambiente. Adicionalmente, el aplicativo @risk para Excel, permitió introducir estocasticidad a SERAFM, y modelar ya no un sistema estacionario, sino dinámico. Las variables de ingreso y de salida se consolidaron en sendas tablas para facilitar el análisis.

### **3.5.2. MODELAMIENTO DEL MANEJO ADAPTATIVO**

#### **a) Análisis de escenarios con HgEx**

El modelamiento de escenarios de manejo adaptativo se desarrolló con el apoyo del sistema experto HgEx desarrollado por Veiga y Meech (1996) volcando tanto la información obtenida en el modelamiento de la respuesta del ecosistema así como las creencias de los expertos que fueron entrevistados, a saber:

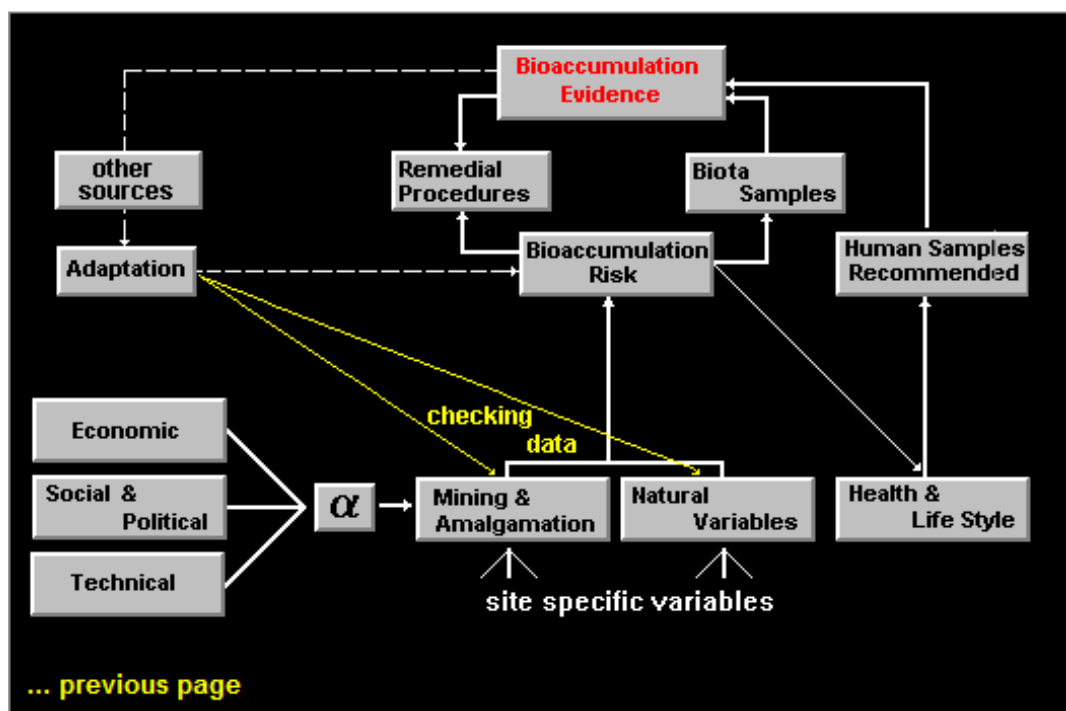
- Miembros de la comisión de ordenamiento minero.
- Mineros informales.
- Representantes de concesiones ecoturísticas, centros de investigación y de Áreas Naturales Protegidas.

HgEx fue desarrollado para apoyar las evaluaciones de riesgo relacionadas a la descarga de mercurio en operaciones mineras auríferas en la Amazonía, teniendo en cuenta la influencia de los actores sociales. Originalmente el sistema se calibró en base a información obtenida en Brasil, cuenca abajo del río Madre de Dios, donde la realidad es similar.

El sistema experto combina factores técnicos con observaciones heurísticas para diagnosticar la situación de la minería artesanal y recomendar procesos de remediación para las zonas más contaminadas. Salva las inconsistencias de las correlaciones y regresiones en la data ambiental, a través del uso de regresiones posibilísticas, y reglas tipo si → entonces. Puede incorporar además variaciones temporales y en los estados de los SES, relacionadas a factores técnicos y sociales.

El sistema permite manejar datos vagos o con incertidumbre, sin dejar de obtener resultados válidos y basados en evidencia científica. Además utiliza técnicas de lógica difusa y ecuaciones de inferencia ponderadas (basadas en ecuaciones neuronales). En lo relacionado al balance del mercurio, los niveles de confianza derivan de la combinación de data sobre equilibrio termodinámico y observaciones de campo.

El sistema integra información biológica, geoquímica, de ingeniería, médica y social para concluir acerca del riesgo de bioacumulación del mercurio. La lógica difusa permite utilizar expresiones lingüísticas sobre categorías para definir los valores discretos de una variable. HgEx se calibró para la realidad de Madre de Dios obteniendo un nuevo factor  $\alpha$  (o nivel de aceptabilidad del diagnóstico) dependiente de las condiciones económicas, sociopolíticas y técnicas de la región. En la Figura 79 se observa las interrelaciones entre los diferentes módulos del modelo.



**FIGURA 79: Estructura del sistema experto HgEx.**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).

Como se observa en la Figura 80, Hg Ex calcula un potencial de bioacumulación (o grado de creencia respecto al riesgo potencial de bioacumulación – DoB PBR) que utiliza como insumos:

- El grado de creencia en un alto factor de emisión de mercurio (DoB HEF).
- El grado de creencia en un alto factor de riesgo ambiental (DoB DEF), debido a condiciones que promueven la metilación o la biodisponibilidad del mercurio.
- El grado de creencia en un alto factor de absorción de mercurio (DoB MAF), debido a condiciones ambientales que reducen la metilación o la biodisponibilidad del mismo.
- El factor  $\alpha$ , o grado de creencia en el riesgo potencial de bioacumulación, cuya fórmula se aprecia en la Figura 81 y cuyos elementos están en la Figura 82.

The potential bioaccumulation risk which is calculated by a heuristic model, based on the equation:  $DoB_{PBR} = DoB_{HEF} + DoB_{DEF} - DoB_{MAF}$

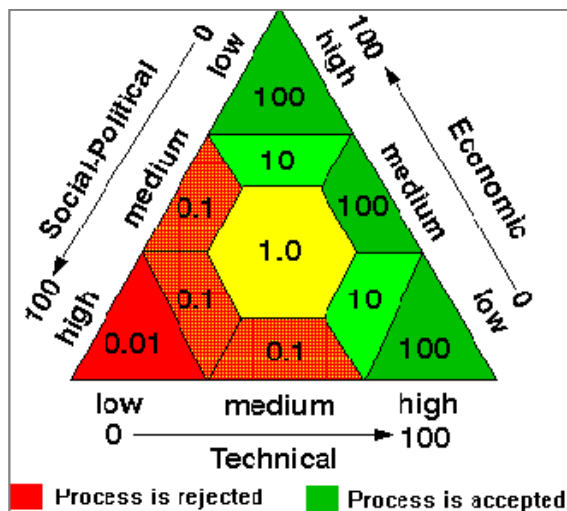
**FIGURA 80: Ecuación del potencial de bioacumulación.**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).

$$\alpha_{PBR} = \log(DoB_{PER} + (DoB_{BAE} - DoB_{PBR})/2) / \log(DoB_{PBR})$$

**FIGURA 81: Ecuación del factor  $\alpha$ .**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).



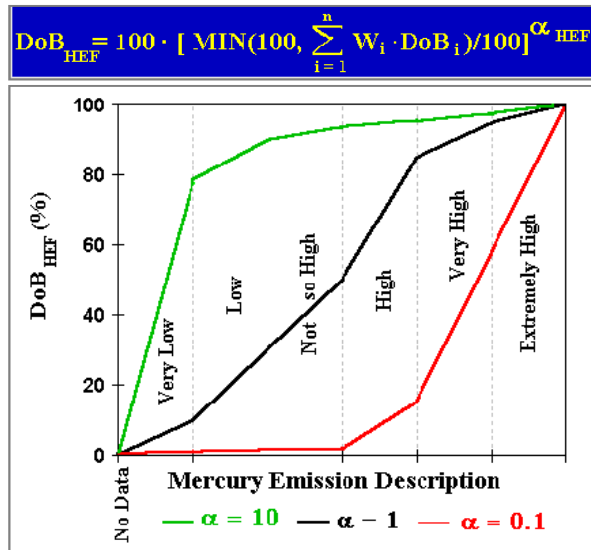
**FIGURA 82: Elementos del factor  $\alpha$ .**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).



El factor de emisión de mercurio depende de aspectos relacionados a las prácticas de extracción y amalgamación y del factor  $\alpha$ , como se observa en la Figura 83. Además, entre otros, considera las siguientes variables:

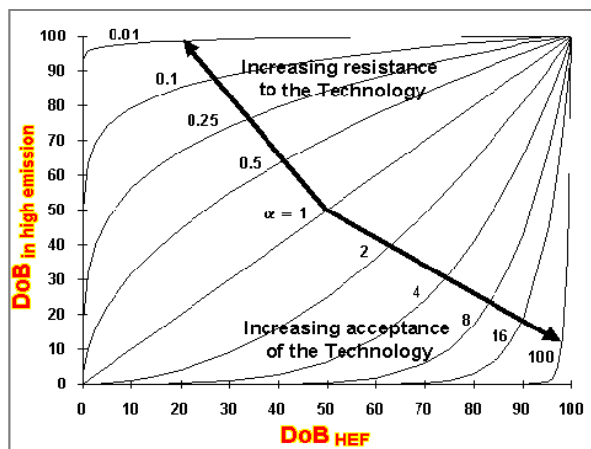
- El tamaño de la actividad (regional o local).
- Los procesos de incorporación de mercurio.
- Los métodos de separación de mercurio y oro.



**FIGURA 83: Variación del DoB HEF según factor  $\alpha$ .**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).

En la Figura 84 se puede notar que el DoB HEF también influye fuertemente en el resultado final.



**FIGURA 84: Variación del DoB PBR según DoB HEF.**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).

Por otro lado, el factor de absorción de mercurio depende de:

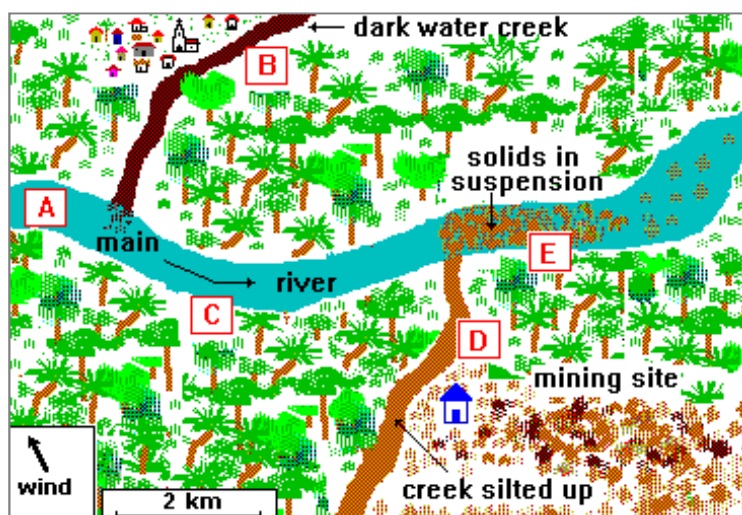
- La presencia de óxidos férricos (lo cual se evidencia en el color de los sedimentos).
- La presencia de sedimentos arcilloso.
- Los sólidos en suspensión.

Finalmente, el factor de riesgo ambiental se define en base a variables medidas en diferentes puntos de muestreo o realizando inferencias. Algunos elementos clave son:

- El color del agua y de los sedimentos.
- La conductividad del agua.
- El Eh y pH de los sedimentos.
- La biomasa.
- La presencia de *hotspots*.
- El mercurio en ambientes testigo.
- El mercurio en sedimentos, peces y personas.
- Los estilos de vida de las personas expuestas.

Al momento de ingresar las variables que influyen en el sistema acuático, HgEx solicita la definición de los siguientes puntos de control (ver Figura 85):

- Punto A: La zona de línea base. Es un sector del río principal que no está directamente afectado por la actividad minera.
- Punto B: Un río de aguas negras que no está directamente afectado por la actividad pero que recibe impactos indirectos ya que el viento sopla en esa dirección. En este lugar las personas se alimentan predominantemente de peces contaminados.
- Punto C: Es una sección del río principal que recibe influencia de aguas negras a través del afluente.
- Punto D: Es un área directamente impactada por la actividad minera.
- Punto E: Es un área del río impactada por mercurio debido a la alta prevalencia de sólidos suspendidos en el agua, provenientes de la zona minera que se ubica aguas arriba.



**FIGURA 85: Puntos de control solicitados por HgEx.**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).

Además de analizar datos del ecosistema, HgEx también permite realizar evaluaciones toxicológicas simplificadas sobre la exposición a mercurio en personas. Los datos de una encuesta de estado de salud y los resultados de mercurio en orina, sangre y cabellos se pueden introducir en el software, si se cuenta con ellos. En este caso, se introdujo sólo data histórica de mercurio en orina.

HgEx es adaptable, y revisa los datos introducidos por el usuario mediante un proceso jerárquico, que le permite repreguntar si no encuentra data suficiente para obtener una conclusión o si está ingresándose evidencias erradas o contradictorias, tal como se esquematiza en la Figura 86. Una de las razones por la cual se le denomina sistema experto es porque en cada pregunta las ventanas de ayuda tienen información técnica suficiente para facilitar la toma de decisiones sobre el grado de creencia o para dilucidar dónde buscar información para ingresar al modelo. El nivel de riesgo que se determina al final toma en cuenta el diagnóstico del SES así como la evidencia de bioacumulación. En la Figura 90 se muestra el esquema adaptativo del software.

$$(DoB_{PBR})_{new} = (DoB_{PBR})_{old} \alpha_{PBR}$$

**FIGURA 86: Ecuación del proceso de revisión del DoB PBR.**

FUENTE: Veiga y Meech (1996).

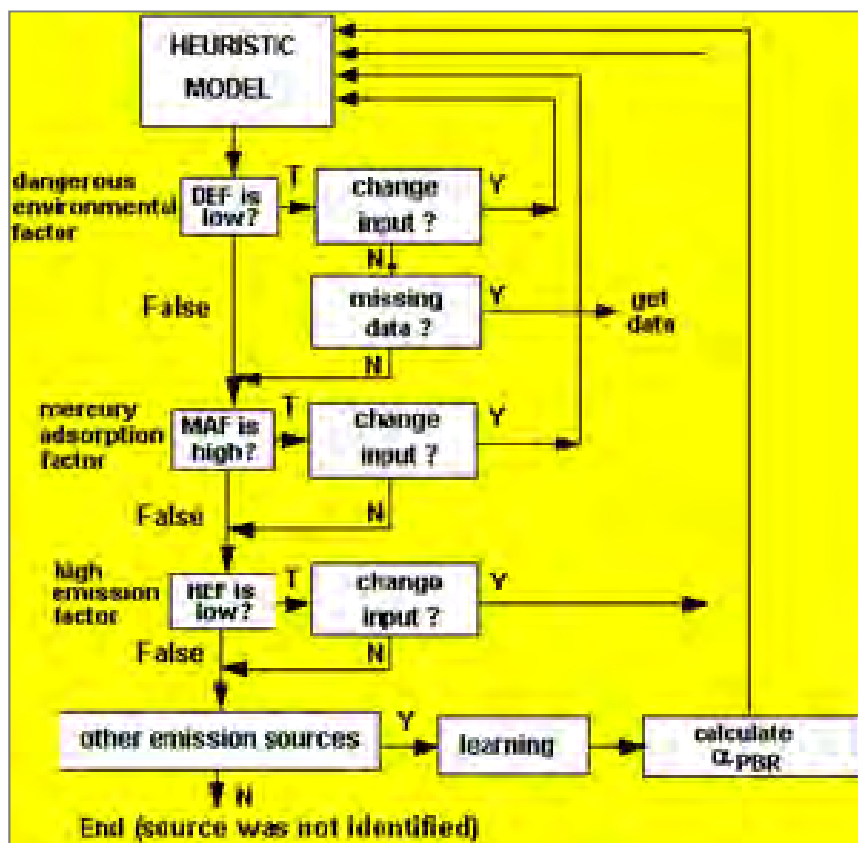


FIGURA 87: Sistema de adaptación del sistema experto HgEx.

FUENTE: Veiga y Meech (1996).

El sistema experto también incorpora un breve modelo de las emisiones de mercurio debido a la deforestación causada por incendios, el cual se puede calibrar en base a datos específicos de biomasa e indicando la frecuencia de los ciclos de roce y quema, el % del área deforestada y la superficie total de bosques. En caso dicha data no se complete, o se use la que viene con el sistema por defecto (como en el caso del presente estudio) los resultados no se ven afectados de manera significativa.

### 3.5.3. ANÁLISIS DE LA RESILIENCIA

El análisis de la resiliencia se realizó siguiendo los pasos del “*Workbook for practitioners*” versión 2012, de la Alianza para la Resiliencia, a saber:

**a) Identificación de los asuntos de interés**

Para iniciar el análisis se mapeó los asuntos que *a priori* resultaban ser los más críticos para el manejo del sistema social ecológico de Madre de Dios dado que están erosionando la resiliencia y afectando los servicios ambientales. Asimismo, se definió el período a tomar en cuenta en el análisis.

**b) Identificación de los componentes del sistema social – ecológico: ¿resiliencia de qué?**

Se identificó los usos directos e indirectos de los recursos naturales de la región, así como los stakeholders que se encuentran involucrados en cada caso (internos y externos a la región), el rol que cumplen y la interrelación que tienen.

**c) Identificación de perturbancias e incertidumbres: ¿resiliencia a qué?**

Se identificó las perturbaciones históricas, actuales y potenciales a las que está expuesto el sistema social ecológico de la región, así como su frecuencia de repetición, la magnitud de su impacto y su tendencia futura. La relación y *feedbacks* entre estas fueron analizados y descritos.

**d) Identificación de las múltiples escalas espaciales y temporales**

Se identificó los factores de escalas mayores y menores que influyen en el sistema social ecológico en estudio y se realizó un análisis de la historia de la minería aluvial por eras de manejo, explicando los eventos que configuraron la vulnerabilidad actual. Se aprovechó la línea del tiempo desarrollada por Pronaturaleza (2011) y se elaboró una evaluación multiescalar y multitemporal de la actividad para identificar los factores que motivaron cambios de época.

### **e) Desarrollo del modelo conceptual del ciclo adaptativo**

Se construyó y analizó el modelo de ciclo adaptativo, considerando todo el período de evaluación (más de cien años). Para caracterizar y entender los cambios se realizó una evaluación de los capitales del medio de vida minero por eras de manejo y fases del ciclo.

Se utilizó análisis de componentes principales, análisis de similaridad (ANOSIM) y análisis de clusters (métodos de Ward y k - medias) para corroborar el agrupamiento de las eras de manejo en cada una de las fases así como las similitudes entre cada ellas. Asimismo, se determinó las variables clave cuya oscilación habría propiciado los cambios de fases.

Finalmente, se evaluó la flexibilidad y eficiencia del sistema, y se complementó el análisis de la sostenibilidad con el apoyo de un modelo conceptual de la problemática, realizado en Stella. Igualmente, se identificó ciclos adaptativos paralelos o de otros niveles que interactuaron con el sistema.

### **f) Identificación de estados alternativos**

Se realizó un análisis histórico de las variables clave y cómo los cambios en las mismas o sus tendencias propiciaron cambios de fases en el ciclo adaptativo y configuraron, en algunos casos, nuevos atractores que llevaron al sistema a un cambio de estado. Asimismo, se determinó los dos principales estados alternativos y su topología de atractores.

Para proyectar lo que podría ocurrir en el futuro se modelaron escenarios extremos con cadenas de Markov. Se definió las condiciones iniciales o actuales del sistema y los supuestos de cada caso. Se identificó la cantidad de pasos o cambios necesarios que el sistema tendría que pasar antes que llegue a la estabilidad y se observó el efecto de los atractores en la evolución de los estados del sistema. Complementariamente se estimó las probabilidades de ocurrencia de cada estado en cada escenario y los costos de los impactos o de las oportunidades perdidas mientras se mantenían estados que erosionan los capitales.

### **g) Análisis de umbrales y transiciones**

Se evaluó la posibilidad de exceder umbrales de cambio que implicarían llevar al sistema a un estado diferente o a perder capacidad adaptativa. Los límites aceptables de cambio utilizados fueron estimados en base a la variación previa del comportamiento de las variables clave. Se explicó qué transiciones han sido abruptas y el motivo, así como la interacción entre variables lentas y rápidas, sociales y ecológicas, internas y externas.

### **h) Análisis de la interacción entre escalas**

Se analizó qué ciclos se presentan a escalas diferentes a la de la minería aluvial pero que influyen en ésta. Se evaluó si estos ciclos están propiciando la innovación, el desarrollo, o caer en trampas de manejo. Se evaluó entonces la conectividad, interacción y articulación entre los niveles de toma de decisiones en la panarquía y los puntos de mayor vulnerabilidad.

### **i) Análisis de la interacción entre umbrales y cambios de escala**

A través de un esquema, se evaluó la mutua influencia de las variables que están cerca de umbrales y la certeza actual de que éstos puedan ser traspasados. Asimismo, se identificó la variable más crítica del sistema.

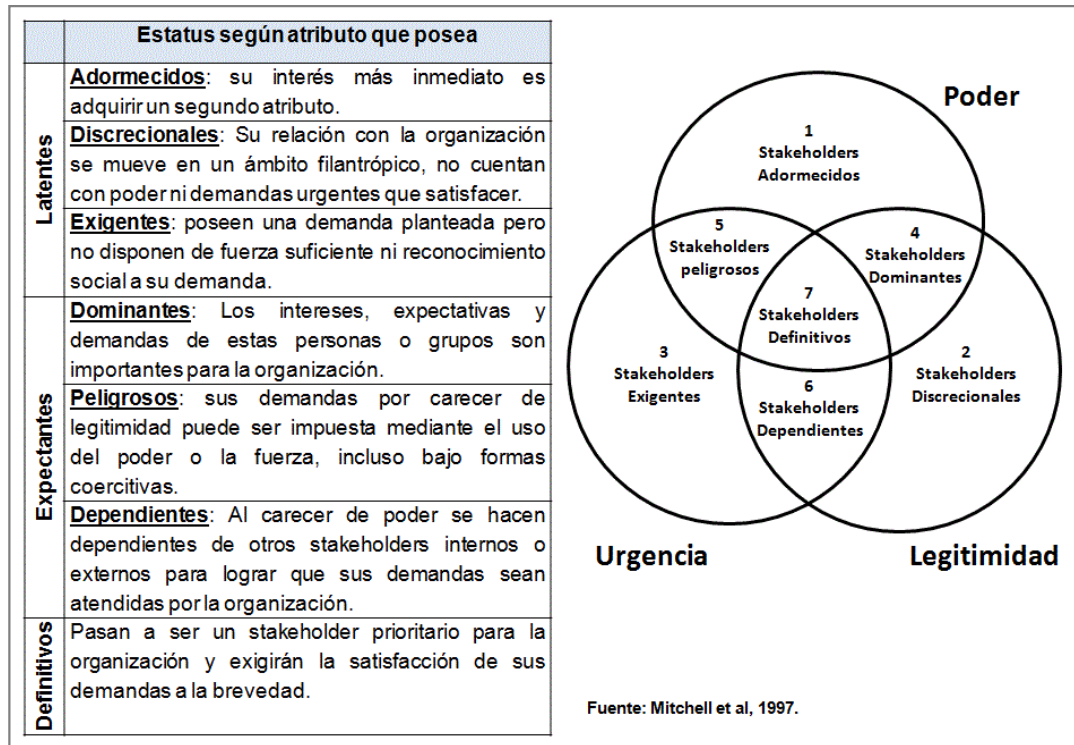
### **j) Síntesis de la resiliencia general y específica**

Para encontrar algunos elementos para manejar el sistema dentro de los componentes que determinan la resiliencia específica, se evaluó los siguientes atributos:

- Diversidad
- Apertura
- Rapidez y fortaleza de la retroalimentación
- Reservas
- Modularidad

**k) Análisis de la gobernanza y las instituciones**

Se realizó un mapeo de actores y se los caracterizó en base a la lógica de poder, legitimidad y urgencia de Mitchell et al. (1997). Este autor desarrolló una clasificación de los stakeholders que permite priorizar acciones hacia los que resultan críticos, a saber:



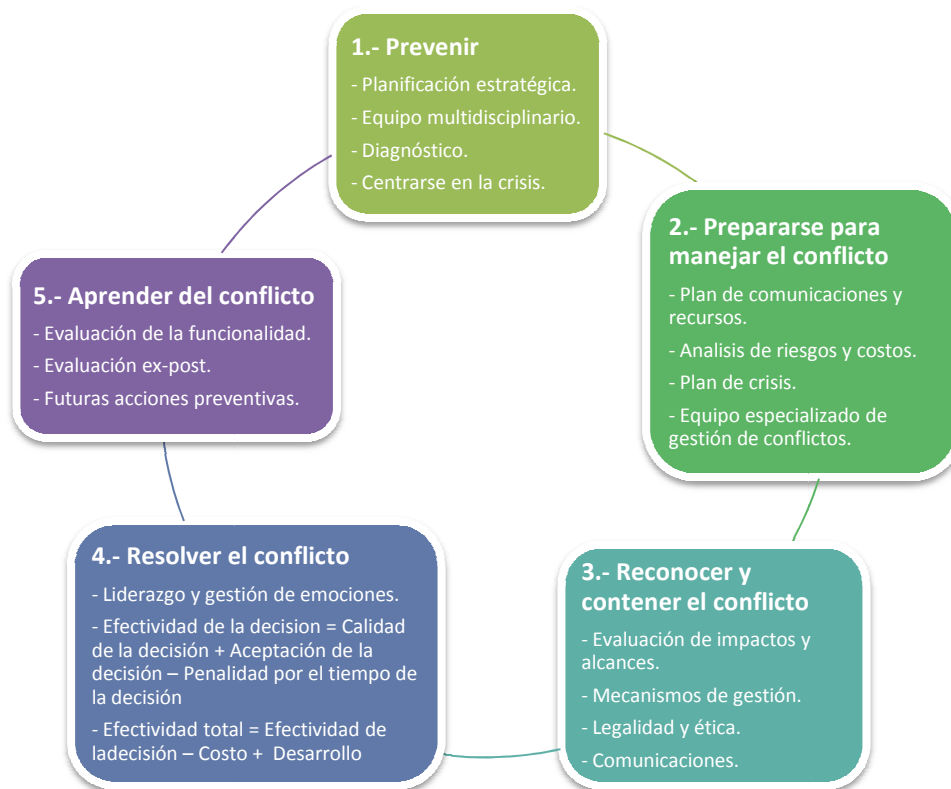
**FIGURA 88: Clasificación de stakeholders.**

FUENTE: Mitchell et al. (1997).

También se analizó la flexibilidad en la toma de decisiones sobre los asuntos críticos de manejo, y se identificó el nivel político que influye en cada una de las variables clave del sistema. Luego, se evaluó el cumplimiento normativo en el marco de la problemática de la minería informal.

A continuación se realizó un análisis de las etapas del conflicto y de la efectividad del manejo hasta la fecha en base al modelo de Noriega (2012) que se sintetiza en la Figura 89. Esto se complementó con el mapeo de las relaciones de poder de los actores más importantes y de los conflictos existentes entre ellos. Para cada caso se planteó alternativas de manejo.





**FIGURA 89: Modelo de gestión de conflictos.**

FUENTE: Noriega (2012).

#### **D) Análisis de las redes sociales entre actores**

Las redes fueron mapeadas con base a la lógica de pequeños mundos interconectados. Los actores vinculados se caracterizaron y los que tenían pocas relaciones fueron descritos. Se evaluó la cohesión y la posibilidad de llegar a mejores acuerdos dado el escenario actual de interrelaciones.

#### **m) Síntesis del análisis de la resiliencia**

A través de un mapa conceptual se resumió los hallazgos principales del análisis, tanto a nivel de impactos sociales y ecológicos, servicios ecosistémicos, relaciones de stakeholders, respuestas institucionales, controles externos, como de variables clave. Con esta información se planteó estrategias para incrementar la resiliencia y objetivos para los programas de manejo.

## **n) Evaluación de la transformación**

En las diferentes escalas de la panarquía se identificó los aspectos en los que sería más constructiva una transformación del sistema y en base a los escenarios modelados en la etapa anterior, se planteó medidas para controlar la nueva trayectoria, minimizar la resistencia al cambio y fortalecer los capitales.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1. RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DE LA RESPUESTA DEL ECOSISTEMA**

Tal como se ha explicado anteriormente, la minería aluvial genera impactos por deforestación, alteración de sistemas acuáticos, erosión, fragmentación de hábitats, pérdida de biodiversidad, alteración de las dinámicas sociales, vulneración de los derechos humanos, etc. Sin embargo, todos estos impactos tienen causas compartidas con otras perturbaciones que afectan la Amazonía como: la apertura de nuevas y mejores vías de acceso, el tráfico de especies y de madera, la migración, etc. Sólo la bioacumulación de mercurio en la cadena trófica es un impacto sobre el ecosistema cuyo incremento puede asociarse directamente a la influencia de actividad minera ya que las concentraciones naturales, aún después de extensas prácticas de roce y quema, no llegan a ser peligrosas para la salud pública y la integridad ecológica. En cambio, las descargas de la actividad minera han ido en aumento los últimos años propiciando una exposición crónica al mercurio en todos los componentes del ecosistema.

En el Anexo W se observa los resultados de la evaluación de la respuesta del ecosistema. En primer lugar se muestra un panorama de las concentraciones de mercurio y metilmercurio en agua, peces y sedimentos por año. Es posible observar que en los monitoreos realizados en 1992 y el 2007 se obtuvieron los valores más altos en peces del nivel trófico 3. En los años 1995 y 2009 también se encontraron valores muy altos en peces piscívoros (nivel trófico 4). Sólo en el monitoreo de 1993 la concentración máxima en peces fue menor al valor de referencia propuesto por la U.S.E.P.A. (0.5 ppm). En todos los otros años dicho nivel fue superado. Mientras tanto, los niveles máximos de mercurio en sedimentos se triplicaron cada quinquenio.

Los promedios multianuales de las medianas y de las medias de mercurio total en el nivel trófico 3 aún se encuentran dentro del límite establecido (0.5 ppm), pero lo exceden en el nivel trófico 4. El mercurio total en agua también supera 1 ppb. por la influencia de los altos valores hallados en los monitoreos de 1995 y 1996. Sin embargo, en promedio se suele encontrar cuerpos de agua con concentraciones de mercurio dentro del límite. Tanto

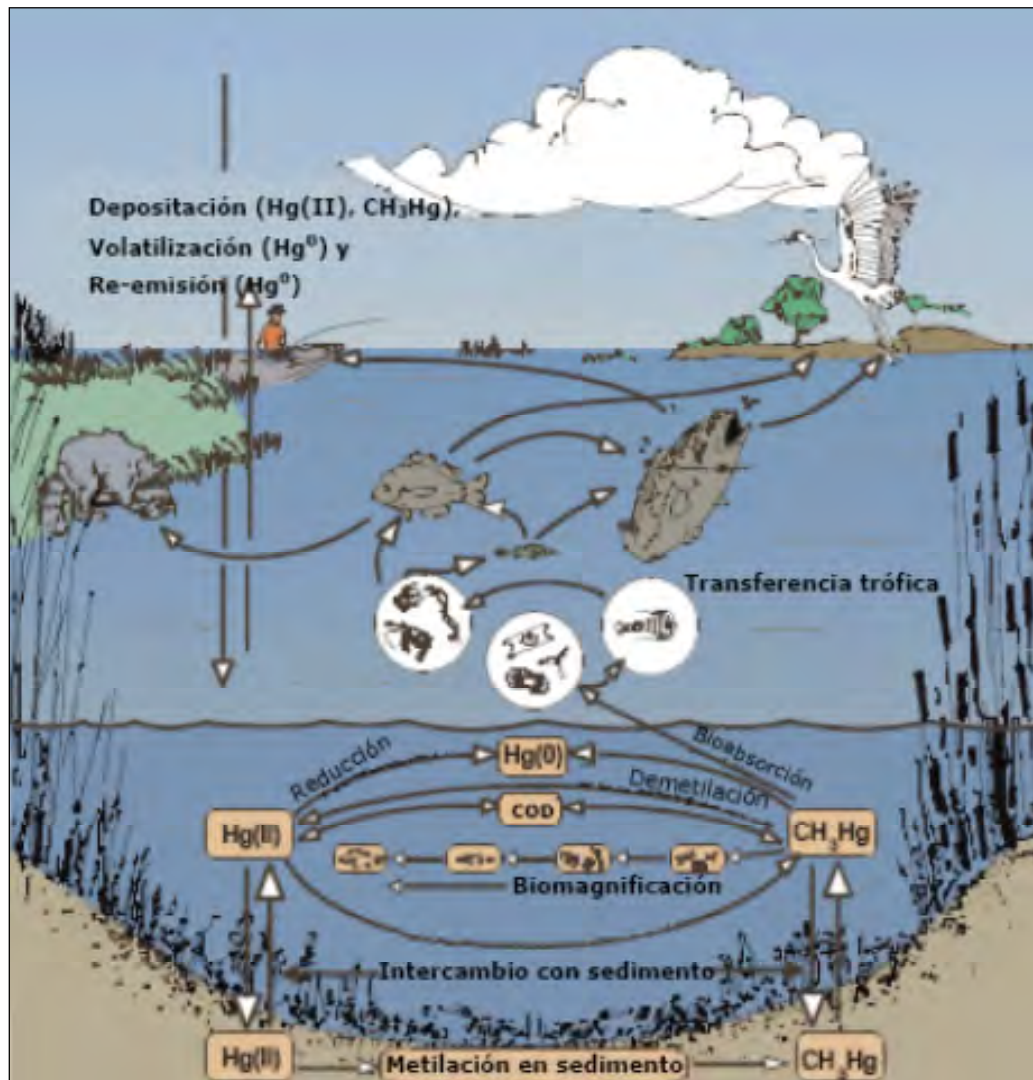
la mediana como la media del nivel de HgT en sedimentos se ha venido incrementando y los niveles detectados evidencian que este compartimiento está funcionando como sumidero.

#### **4.1.1. ANÁLISIS DE RIESGOS CAUSADOS POR EL MERCURIO**

- **Revisión del modelo conceptual**

En la Figura 90 se aprecia cómo el mercurio utilizado por los mineros puede volatilizarse y re-emitirse como Hg (0) o bien depositarse e ingresar a los cuerpos de agua como Hg (II). Luego este elemento se metila en los sedimentos, es absorbido por plantas acuáticas y además es liberado nuevamente a la columna de agua, por lo cual ingresa en la cadena trófica por ingestión o bioabsorción. Se acumula entonces en el fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y peces. Conforme se incrementa el nivel trófico, la bioacumulación es mayor. Cuando los animales superiores y las personas consumen recursos hidrobiológicos éstos ya contienen altos niveles del tóxico. En función a las características del agua, los iones, los sólidos suspendidos y el contenido de materia orgánica, el mercurio puede volver a desmetilarse Hg (0) e incluso reducirse a Hg (II). La biodisponibilidad también depende de los factores fisicoquímicos del ambiente.

El ciclo descrito se cumple en la Amazonía de Madre de Dios, con la particularidad adicional que el equilibrio es diferente en ambientes lóticos y lénticos y que existen muchos afluentes de aguas negras, es decir, cargados de abundante materia orgánica, con alta acidez y baja productividad.



**FIGURA 90: Ciclo biogeoquímico del mercurio en un ecosistema acuático.**

FUENTE: Jara (2007).

- **Análisis de la exposición**

Dado que se estima que la exposición al mercurio es alta y creciente en la cadena trófica y que sus impactos trascienden las áreas mineras, se evaluó la dosis suministrada tanto en peces, en humanos, como en especies bioindicadoras de la región, que se encuentran en el tope de la cadena trófica acuática y cuyo nivel de exposición podría ser una alerta temprana: *Pteronura brasiliensis* y *Melanosuchus niger*.

En el Anexo W se observa los datos utilizados para el cálculo de la dosis suministrada para cada organismo. El total es la suma de la dosis suministrada por

los alimentos y el agua. Para los animales se ha asumido un consumo diario de pescado y para los humanos, tres veces por semana. En la duración de la exposición se ha considerado la esperanza de vida media. La masa se ha obtenido de la revisión bibliográfica y la tasa de contacto se ha determinado en base a ecuaciones alométricas e información secundaria.

Es posible observar que en todos los años la dosis total supera el valor propuesto por la U.S.E.P.A. (1 ppb /día), sin embargo, la exposición es menor en humanos que en animales. Debido a su tamaño y la alta dependencia de los peces como alimento principal, *Pteronura brasiliensis* se encuentra más expuesta al mercurio total y es seguida por los peces del nivel trófico 4 y finalmente el caimán negro *Melanosuchus niger*. Esto demuestra que el lobo de río *Pteronura brasiliensis* es el mamífero más sensible de la cadena trófica acuática.

Al realizar la evaluación probabilística se asumió una distribución normal para la tasa de contacto, para la duración de la exposición y para la masa corporal. Luego de la simulación Montecarlo con @risk se obtuvo valores esperados un 50% más bajos que los hallados con el análisis determinístico pero que igualmente superaron el límite planteado por la U.S.E.P.A. Los valores que más contribuyeron a elevar la media de la dosis suministrada son aquellos del 2007, cuya variabilidad y magnitud son más altas.

Las gráficas que muestran el rango de valores posibles y la media  $\pm 3\sigma$ , evidencian una tendencia similar de la dosis de exposición en peces, *Pteronura brasiliensis* y *Melanosuchus niger*, con picos en 1992 y el 2007. Sin embargo, la dosis suministrada en humanos aunque es menor, tiene un máximo poco variable a pesar de la influencia de los datos anuales.

Las gráficas de los coeficientes de correlación y el análisis de sensibilidad en el percentil 90 de los escenarios nos muestran que la concentración en peces del nivel trófico 3 es determinante y explicativa de la dosis suministrada en los peces del nivel trófico 4, en *Pteronura brasiliensis* y *Melanosuchus niger*. En cambio la dosis de exposición en humanos está correlacionada y depende fundamentalmente de la concentración en peces piscívoros. Asimismo, en todos los organismos

humanos la correlación con el nivel de mercurio en agua es alta, pero no se ha encontrado una relación explicativa para la mayoría de escenarios. En animales la significancia de la concentración en agua es baja. Por otra parte, factores como la masa y la duración se encuentran correlacionados inversamente con la dosis suministrada.

En lo que respecta al metilmercurio se ha encontrado niveles de exposición moderados a altos, que superan el límite seguro propuesto por la U.S.E.P.A. La variabilidad y magnitud ha sido significativamente menor en el monitoreo del 2009, fundamentalmente por la época del año en que se obtuvieron las muestras (húmeda) y porque se analizó peces comprados el mercado de Puerto Maldonado (no capturados cerca a las zonas mineras).

Se aprecia también que la exposición a metilmercurio en humanos tiene un rango más estrecho que la exposición a HgT, siendo la tendencia altamente influenciada por los datos del 2007. Los datos muestran que el nivel de exposición de todos los organismos evaluados se ha ido incrementando, aunque con variabilidad poco predecible. Para la exposición de MeHg, la influencia de las concentraciones en peces y agua es similar que en el caso del HgT.

Se obtuvo factores de bioacumulación para peces de los niveles tróficos 3 y 4, siendo estos significativamente más altos en el 2007. La media multianual del BAF para el mercurio total resultó ser 175.6 para peces del nivel trófico 3 ( $N_{t3}$ ) y 248.6 para peces del nivel trófico 4 ( $N_{t4}$ ), con un nivel de biomagnificación de 1.4 entre ambos niveles. Para el metilmercurio el factor de bioacumulación multianual resultó ser 978.6 para peces  $N_{t3}$  y 1532.3 para peces  $N_{t4}$ , habiéndose duplicado estos factores en el 2007. El factor de biomagnificación resultó ser 1.6.

Al realizar la simulación probabilística de los factores de bioacumulación estos se incrementaron significativamente debido a la gran variabilidad de las concentraciones de mercurio en peces y agua. Ello evidencia que el ecosistema es altamente sensible a pequeñas variaciones y que los niveles de mercurio existentes tienen el potencial de permitir altos niveles de bioacumulación. Después de correr la simulación Montecarlo, el BAF  $N_{t3}$  HgT alcanzó inclusive  $9 \times 10^6$  para el año

1992 y el BAF  $Nt_4$  HgT alcanzó  $3.5 \times 10^5$  para el año 2007, con una media de  $4.9 \times 10^4$ . El factor de biomagnificación llegó entonces a 1800 aunque la media más alta estuvo alrededor de 80. En los otros años, la media del factor de biomagnificación fue más baja.

Mientras tanto, para el metilmercurio los BAFs resultaron inclusive más elevados, llegando a  $6 \times 10^8$  en el 2007 para el nivel trófico 3, y a  $3 \times 10^8$  en el nivel trófico 4, dando como resultado un BMF promedio de 70, donde el factor más influyente fue la concentración del tóxico en el nivel trófico más alto (4).

El factor de bioacumulación biota-sedimentos es uno de los indicadores más útiles para evidenciar la capacidad de absorción de la contaminación que tiene el ecosistema. Debido a que está altamente influenciado por la fracción lipídica de la biota (que facilita la bioacumulación del mercurio), se calculó BSAFs tanto para peces grasos, semigrasos como magros de los niveles tróficos 3 y 4, así como un BSAF utilizando la concentración en heces de *Pteronura brasiliensis*. Para la evaluación probabilística se consideró que la fracción lipídica tiene una distribución normal. Se trató de combinar concentraciones halladas en ambientes similares y de fechas cercanas.

Se encontró que la bioacumulación se da principalmente en peces grasos, cuyo BSAF fue 3 veces más alto que aquel de peces semigrasos y 15 veces mayor que el de peces magros, así como 4 veces mayor que en heces de nutria gigante. Esta relación es aplicable a cualquiera de los niveles tróficos.

Dado que en la mayoría de casos el BSAF fue mayor a 1, se concluye que el mercurio suele movilizarse en la cadena trófica con gran rapidez y predomina en sedimentos sólo cuando existen períodos de abundancia de peces, en época húmeda o cuando suceden eventos que minimizan las concentraciones de mercurio en peces y por lo tanto en la biota en general. Por ejemplo, en los monitoreos de 1993, 1995 y 2009, las concentraciones en sedimentos fueron más altas que en peces magros.

Al evaluar el metilmercurio se encontró BSAFs mucho más altos que los de HgT y ellos evidencian que el mercurio metilado se moviliza y mantiene a través de



la cadena trófica, y cuando está en sedimentos no se mantiene mucho tiempo metilado sin que sea absorbido por algún organismo. Sólo los peces del nivel trófico 3 en el año 2009 tuvieron menores niveles de mercurio que aquellos encontrados en sedimentos. La evaluación probabilística introdujo un alto nivel de estocasticidad a los resultados pero aún así los BSAF de metilmercurio resultaron ser mayores a 1 y altos en comparación a los resultados hallados para el HgT.

En las gráficas de cajas y bigotes, y en las de tendencia ( $\pm 3 \sigma$ ) se puede observar que aunque los valores más altos son del 2007, los BSAF de HgT del Nt<sub>3</sub> tienen una alta variabilidad en todos los años, excepto en el 2009. Los resultados se explican fundamentalmente por la influencia de la concentración en peces y la fracción de carbono orgánico.

Para el Nt<sub>4</sub> la menor variabilidad proviene de datos de HgT en peces de 1993 y sedimentos de 1997. En el Nt<sub>4</sub> la concentración en sedimentos está inversamente correlacionada con el BSAF final. Para las heces el caso es similar, pero el BSAF promedio resultó aproximadamente 3.05, aproximadamente la mitad de lo calculado de manera determinística. En el caso del metilmercurio, se observa que el carbono orgánico es el factor más influyente en el BSAF resultante. En el Nt<sub>4</sub> el nivel de mercurio en peces es también un factor influyente en el resultado.

- **Análisis de la toxicidad**

Para el cálculo del cociente de riesgo, se buscó dosis de referencia basadas en NOAEL, de modo que fueran lo más seguras posibles para los organismos. Los detalles de los cálculos para el HgT y el MeHg se encuentran en el Anexo W. Si bien el HQ es un indicador que puede variar ampliamente en tiempo y espacio, al utilizar el análisis probabilístico se intentó simular la variación natural de dicho indicador.

Después de realizar la evaluación determinística, se encontró que sólo el lobo de río *Pteronura brasiliensis* se encontraría en riesgo toxicológico, ya que su HQ HgT multianual es tres veces mayor que el nivel aceptable. Este resultado está influenciado por los resultados obtenidos en los años 1992, 1995, 2002 y sobretodo

2007 (cuando el cociente llegó a 7.44). Sin embargo, en el 2007, también se encontraron HQ elevados para peces carnívoros y *Melanosuchus niger*. El valor esperado probabilístico sólo resultó ser superior a 1 para *Pteronura brasiliensis*.

Se obtuvo un cociente de riesgo para el mercurio metilado, el cual evidenció que tanto personas como peces, lobos de río y caimanes estarían en peligro, siendo estos últimos los que tienen mayor capacidad de tolerar las altas concentraciones debido a su gran tamaño. Un sesgo importante es que se extrapoló el NOAEL de mamíferos para estos reptiles, dado que existen pocos estudios en estos últimos. A nivel multianual y usando valores esperados probabilísticos, todos los organismos se encontrarían en alto riesgo toxicológico ante el metilmercurio, siendo la secuencia como sigue: Peces Nt<sub>4</sub> > bebés > Niños > *Pteronura brasiliensis* > Adultos > *Melanosuchus niger*.

En las gráficas obtenidas con @risk es posible notar que los HQ que superan 1 se presentan en los años 1992 y 2007, y en su mayoría se trata de *outliers* o valores extremos, influenciados en el percentil 90 de los escenarios, por la concentración de mercurio en peces del Nt<sub>3</sub>. Además, tienen una correlación negativa y baja con la masa así como positiva y baja con el nivel de mercurio en agua y la tasa de contacto. Aunque no superan 1 para los humanos, los HQ del 2007 son significativamente más altos que los de años anteriores. Para el metilmercurio el comportamiento del HQ fue similar pero con niveles que exceden 1, lo que representa una alerta. La tendencia del HQ del MeHg es creciente, y su media multianual se aproxima al nivel de riesgo existente en el año 2002.

El riesgo de cáncer por metilmercurio (RC) no se tuvo que calcular debido a que según la U.S.E.P.A. el factor pendiente para ésta sustancia es 1 para exposiciones orales y dérmicas. Por lo tanto, el RC es igual a la dosis suministrada o DDVP. Se encontró entonces que todos los valores superan el límite de riesgo de 10<sup>-5</sup>, ya que el valor más bajo hallado, en la simulación probabilística fue 10<sup>-4</sup>. Por lo tanto, la población está en riesgo de desarrollar cáncer por la exposición continua a metilmercurio. El riesgo es mayor para menores de edad, especies sensibles como *Pteronura brasiliensis* y pobladores que habitan áreas cercanas a zonas mineras o

que obtienen la mayor parte de sus alimentos de los principales ríos que están afectados por la minería.

- **Caracterización del riesgo**

Según los resultados obtenidos para HQ y RC, el riesgo toxicológico generado por la actividad minera es significativo, principalmente debido a la exposición a altos niveles de mercurio metilado a través de la cadena trófica. Las concentraciones en sedimentos sugieren un alto nivel de bioacumulación en la biota y moderada a alta capacidad de resiliencia del ecosistema, mientras que las concentraciones en peces evidencian la movilidad del mercurio y están directamente asociadas a la bioacumulación y los niveles de exposición crónica.

Por otra parte, las concentraciones de especies de mercurio en agua, dado que cambian de manera más lenta, sugieren cambios estructurales en el ecosistema cuando evidencian gran variación respecto a sus niveles normales o históricos. Esto es lo que se ha notado en las áreas contaminadas, principalmente en los años 1992, 2002 y 2007.

Las concentraciones en agua varían geográfica y temporalmente y además permiten calcular valores criterio de protección más exigentes. A continuación se muestra los resultados de los valores de protección para la vida silvestre, extrapolando el método para peces Nt<sub>4</sub>, humanos, lobos de río y caimanes negros. El WCV más exigente ha sido el de los peces, y es el tomado de referencia para definir las condiciones de un escenario ideal.

El WCV hace referencia a un valor de mercurio (total o metilado) en agua que supone que en el ambiente las condiciones siempre serían seguras para los organismos. El WCV multinacional para peces es 2.2 ppb y es más alto que el estándar establecido por la OMS para agua de bebida y el ECA establecido en el DS 002-2008-MINAM para la conservación del ambiente acuático en la selva (0.0001 mg/l). Al realizar la evaluación probabilística, el valor esperado del WCV se incrementa, haciéndose más flexible. De acuerdo a la data histórica se evidencia que es posible tener niveles de mercurio más bajos que ello, pero en los últimos

años los *hotspots* mineros están causando un aumento significativo del mercurio en agua, generando efluentes de incluso más de 0.002 mg/l de HgT (LMP para la actividad minera).

Al evaluar el WCV para el metilmercurio se encontró niveles de aproximadamente  $10^{-7}$  ppm. Si bien la proporción de metilmercurio en la columna de agua suele ser baja, este WCV podría ser fácilmente excedido.

A través de las gráficas probabilísticas, se puede observar que los años en que las concentraciones promedio de mercurio en el ambiente se redujeron, el WCV resultó ser más laxo (valores más altos) y con mayor variabilidad. Sin embargo, la franja donde se encuentran la mayor parte de los resultados ( $x \pm 3\sigma$ ) es muy estrecha.

Si bien existe correlación del WCV con los datos ingresados para mercurio en agua y en peces, sólo el nivel de HgT en peces del último nivel trófico podría explicar los resultados en al menos 25% de los escenarios. En el caso del metilmercurio, ninguna de las variables de entrada resultó influyente en el WCV.

A continuación se muestra la interpretación de las gráficas de control del Anexo W. En ellas se identifica los límites de la variación muestral normal en agua, peces y sedimentos, con la finalidad de hallar causas especiales y límites de cambio.

En agua se observó que al menos el 80% de mediciones fueron menores a 0.001 ppm, que es el límite seguro establecido para consumo humano. Sin embargo, estableciendo los límites de control con datos multianuales, se observaron causas especiales en la medición de Huepetuhe en 1995. Esta variación puede deberse al punto de monitoreo, que probablemente fue un *hotspot* minero. Desde esta perspectiva el rango natural entre el cual debería variar el mercurio en agua es de 0 a 0.0165 ppm.

En la segunda gráfica se agrupó los datos según su variabilidad, encontrándose que entre 1995 y el año 2000 el mercurio en agua varió entre 0 y

0.000076 ppm, entre el 2001 y el 2002 varió de forma natural entre 0 y 0.000105 ppm y de allí en adelante el límite fue 0.0126 ppm. Este método de estratificar el cálculo de los límites de control permitió estrecharlos, y evidenció que hay causas especiales en el monitoreo en la fuente del año 1995, así como en la estación Caychive el año 2005. Todos los demás valores, aun cuando muestran mayor variabilidad en las zonas cercanas a la fuente, están dentro de los límites de control. Sin embargo, a pesar de la estabilidad y predecibilidad del proceso, los niveles de mercurio en agua cerca de las zonas mineras superan los límites de especificación o límites seguros.

Al observar las gráficas de cada año se observa que sólo en el monitoreo del 2006 las concentraciones halladas en agua estuvieron bajo el nivel de especificación y dentro de los límites de control. Generalmente los puntos de monitoreo ubicados en cuerpos de agua directamente afectados por minería estacional incrementaron la variabilidad. Es interesante mencionar que inclusive en lugares aparentemente alejados de zonas mineras se encontró concentraciones anormales de mercurio, por ejemplo, en Boca Manu. Ello puede deberse a la estacionalidad, movilidad y dispersión de la actividad.

En la gráfica que utiliza sólo datos promedio anuales, los límites de control excedieron los de especificación sólo para 1995, 1996 y 2005. Esto indica que en esos años los niveles encontrados fueron significativamente mayores pero fue posible recuperar la calidad del agua promedio debido a los procesos fisicoquímicos de dispersión, reducción y absorción que se dan en los ecosistemas.

En peces se ha encontrado causas especiales en el año 2007, relacionadas a altos niveles de contaminación identificados en peces parásitos (como el “canero”) y algunos detritívoros que movilizaron el mercurio depositado en la zona bentónica del lago Sandoval. Los límites multianuales de control de la variabilidad natural van de 0 a 2.4 ppm, lo cual supera ampliamente el límite de especificación de 0.5 ppm. Al intentar estratificar los límites de control por año, se observó que todos los niveles de mercurio se encontraban dentro del rango esperado, por lo cual la aproximación no resultó muy útil. Sin embargo, evidenció que la variabilidad en el

monitoreo del 2007 fue más de 3 veces mayor a aquella de la línea base: años 1992 – 1993.

De las gráficas anuales es interesante mencionar que en el 2009 se observa una tendencia creciente de los niveles de contaminación en peces. Los datos más influyentes en la media general de mercurio fueron aquellos del 2007, cuyos valores eran más altos dado que las muestras se compraron directamente a pescadores locales, de ambientes cercanos a los puntos de contaminación.

En sedimentos se encontró un valor extremo en Puerto Capitanía en el 2007. Dicha concentración superó todo pronóstico para un área que no tenía minería informal a menos de 10 Km. a la redonda. También en Puerto Infierno se encontró concentraciones altas y es que la contaminación generada aguas arriba puede sedimentarse kilómetros abajo. Los límites de control multianuales van de 0 a 4.8 ppm, lo cual excede ampliamente el límite de 0.1 ppm planteado por la OMS para ecosistemas íntegros. Al estratificar por años se encontró límites entre 0 y 0.91 ppm para 1997, entre 0 y 0.36 ppm para el 2002 y entre 0 y 6.77 ppm para el 2007. La gran variación entre rangos evidencia que ha habido impactos significativos en los últimos años, que han ampliado la variación natural del mercurio en sedimentos en 2 veces en promedio y hasta en 6 veces como máximo. Además la variabilidad de los datos ha sido mayor en el 2007.

En los tres compartimientos evaluados (agua, peces y sedimentos), los límites de control máximos superan los límites de especificación y dado que en la mayoría de casos los procesos son estables, se evidencia que hay una alta probabilidad de exceder los estándares establecidos. Sólo regresando a las condiciones de los años 90s se podría reducir los niveles de mercurio en agua a un rango aceptable, sin embargo, ello no sería suficiente para reducir los rangos de las concentraciones en peces ni sedimentos. Para alcanzar los límites de especificación en peces y sedimentos se requeriría adicionalmente acciones de remediación ambiental.

Sin embargo, en base a las evaluaciones multianuales se estima que los límites de cambio naturales de las concentraciones de mercurio en agua están entre

0 y 0.016ppm, entre 0 y 2.4 ppm para peces, y entre 0 y 4.84 ppm para sedimentos. No se puede decir que dichos límites sean aceptables, pues si bien el ecosistema los tolera y se adapta, conllevan afectaciones importantes a la salud poblacional e integridad ambiental, tal como se evidencia a través en el análisis de riesgos precedente. Por lo tanto, para parámetros con significancia toxicológica, la teoría de los “Límites Aceptables de Cambio” debe ser utilizada simplemente como una herramienta para identificar la brecha probable entre las concentraciones de protección deseadas y las concentraciones viables en un ecosistema con emisiones bajo control. La brecha actual es aún muy grande.

- **Análisis de sensibilidad y escenarios**

Se observa que la introducción de probabilidades aleatorias mediante la técnica de Montecarlo ha permitido evaluar qué tanta variabilidad podrían tener las principales variables de salida, que caracterizan el nivel de riesgo causado por el mercurio. En la mayoría de casos, la evaluación probabilística sólo comprueba la conclusión determinística, pero generalmente aporta mayores alcances sobre los límites de validez de los resultados.

Como se aprecia en el Anexo W, en la mayoría de casos, se escogió escenarios con más de 90% de probabilidades de ocurrir, para minimizar la probabilidad de error.

- **Análisis de incertidumbre**

Durante la realización de la estimación del nivel de riesgo por mercurio y metilmercurio se buscó minimizar las fuentes de incertidumbre descritas en el capítulo anterior. Sin embargo, durante el desarrollo del estudio las que resultaron más relevantes y de difícil manejo fueron:

- La representatividad de los datos de entrada, ya que en algunos casos, los monitorios reportaban un número bajo de muestras por lugar.
- La variabilidad agregada por las condiciones climáticas y meteorológicas durante el período de muestreo.

- La falta de estudios toxicológicos previos sobre *Pteronura brasiliensis* y *Melanosuchus niger*, en el país.
- La arbitrariedad de los factores de incertidumbre en el cálculo del valor criterio para la vida silvestre, seleccionados en base a referencias bibliográficas.
- La falta de certeza científica sobre las dosis de referencia y valores de referencia del mercurio utilizados en los cálculos, ya que el mercurio y sus especies químicas aún se encuentran en investigación.
- La variabilidad intraespecífica.
- La incertidumbre sobre las condiciones de muestreo de la data secundaria disponible.

#### **4.1.2. MODELAMIENTO CON SERAFM**

Con el apoyo de la hoja de cálculo SERAFM, se simuló tres condiciones:

- Escenario actual o real, con datos que representan promedios históricos, donde la actividad minera es intensiva y creciente, pero localizada.
- Escenario optimista, con los datos de entrada más bajos identificados en los registros históricos y con pocas prácticas de liberación de mercurio en la actividad minera.
- Escenario pesimista, con los datos de entrada más altos identificados en los registros históricos y que representa la dominancia de actividad minera en la cuenca.

La modelación con SERAFM y @risk mostró que los factores más influyentes en las dinámicas del mercurio en la zona de estudio son la concentración en el epilimnion (agua superficial), en sedimentos, el tiempo de residencia hidráulico y el volumen de agua en la cuenca. A pesar de que otros factores hidrológicos, climáticos, de pérdida de suelo, de contenido de iones y de materia orgánica también influyen en el resultado, éste no es tan sensible ante ellos.

En el escenario actual se pudo observar que las concentraciones promedio simuladas en peces resultaron ser: 0.76 ppm en el Nt<sub>3</sub> y 1.4 ppm. en el Nt<sub>4</sub>. En lo que respecta al HQ del metilmercurio, resultó elevado más allá del límite aceptable en todos los



organismos evaluados. Por su parte, el HQ del mercurio sólo excede 1 para *Pteronura brasiliensis*, lo cual es congruente con los resultados de la evaluación de riesgos previa y demuestra que el modelo está bien calibrado.

Para realizar la evaluación probabilística se introdujo estocasticidad al modelo indicando la distribución de la concentración de mercurio en sedimentos y en agua. Las distribuciones se seleccionaron en base a los resultados obtenidos en la evaluación de riesgos para el percentil 95 de los datos. Las distribuciones de todos los resultados muestran una cola hacia la derecha. La media y el rango validan los resultados del escenario determinístico. Sin embargo, se aprecia que el HQ de los caimanes también puede exceder el límite de riesgo tolerable si se dan pequeñas variaciones en las concentraciones de agua y sedimentos.

Por otra parte, aunque debido a la forma de la distribución sería poco probable que ocurra, es posible que los valores de mercurio total en peces lleguen a 3.7 ppm en el Nt<sub>3</sub> y a 2.3 ppm en el Nt<sub>4</sub>, y que las concentraciones en agua se estabilicen en una media de 0.005 ppm. Dichos niveles superan los estándares internacionales de referencia.

Todas las tablas y hojas de cálculo del modelo SERAFM se muestran en el Anexo W para el escenario actual, a manera de ejemplo. Para el resto de casos se ha registrado sólo las tablas de resultados relevantes.

El escenario real actual (obtenido en base a promedios multianuales) también se evaluó asignando la distribución normal a los datos de entrada: concentración de mercurio en agua y en sedimentos. Es decir, asumiendo que el valor máximo de sedimentos en agua podría llegar a 0.009 ppm y a 4.4 ppm en el caso de sedimentos. Los resultados determinísticos fueron iguales, pero en la evaluación probabilística la diferencia fue que no se obtuvo evidencia del riesgo al que estarían expuestos los caimanes negros. En la simulación se obtuvo que la máxima concentración de mercurio esperada está alrededor de 2.7 ppm para el Nt<sub>3</sub> y 1.7 ppm para el Nt<sub>4</sub>, y que las concentraciones promedio serían 2.1 ppm para el Nt<sub>3</sub> y 1.3 ppm para el Nt<sub>4</sub>. Mientras tanto, para el agua, la media esperada es 0.0049 ppm, el mínimo 0.0033 ppm y el máximo 0,0065 ppm. Como ya se mencionó, todos estos valores superan los estándares.

En el escenario optimista se asumió los mismos parámetros de calibración que en el caso anterior pero se consideró como variables de entrada a los niveles más bajos de mercurio registrados históricamente. Por lo tanto, se estableció 0.00009 ppm en el agua de los afluentes de la cuenca y un promedio de 0.3 ppm en sedimentos. Ello generó que el promedio de mercurio en agua en toda el área de estudio esté en 0.0001ppm. Con la simulación Montecarlo se identificó que en condiciones extremadamente optimistas este nivel incluso podría llegar a  $10^{-5}$ .

La evaluación determinística arrojó que la media de mercurio total en peces del Nt<sub>3</sub> sería 0.027 ppm y 0.016 ppm en el Nt<sub>4</sub>. Estos niveles son aceptables e incluso menores a los encontrados a inicios de la década de los noventas (línea base). Realizando la evaluación probabilística se observó la influencia de la distribución asignada al HgT en agua (normal) en detrimento de la distribución asignada al HgT en sedimentos (log logística), ya que los niveles de HgT en peces se distribuyen normalmente. Ello sugiere además, que las concentraciones en agua son más influyentes en el resultado final. Los valores mínimos y máximos de mercurio en peces fueron: 0.017 ppm y 0.035 ppm en el Nt<sub>3</sub> así como 0.01 ppm y 0.02 ppm en el Nt<sub>4</sub>, respectivamente.

El cociente de riesgo en el escenario optimista mostró siempre un nivel aceptable para todos los organismos excepto para el metilmercurio en bebés, cuyo promedio fue 1.51 con un mínimo de 0.95 y un máximo de 1.99. Ello indica que los menores de dos años son particularmente sensibles al mercurio metilado.

En el escenario pesimista se asumió que en el afluente la concentración era 0.038 ppm de HgT y en sedimentos 6.3 ppm, es decir los niveles más altos encontrados en los registros históricos. En otras palabras, se consideró que toda la cuenca tenía los niveles de contaminación de *hotspot*. Como resultado, se obtuvo que en ese escenario el promedio de mercurio en agua sería 0.0265 ppm con un mínimo probabilístico de 0.018 ppm y un máximo de 0.036 ppm.

Los niveles resultantes de mercurio en peces también fueron extremos: para aquellos del nivel trófico 3 el promedio fue 11.24 ppm con un rango probabilístico de 7.55 ppm a 15.06 ppm, mientras que para el nivel trófico 4 fue 6.87 ppm con un rango de 4.61 ppm a 9.2 ppm.

Mientras tanto, el HQ HgT resultó aceptable para todos los organismos humanos (adultos, hombres, mujeres, bebés y niños) pero superó el límite de riesgo para *Pteronura brasiliensis* y *Melanosuchus niger*, fundamentalmente debido al nivel de exposición, ya que estas especies se alimentan diariamente de peces. Sin embargo, los niveles de HQ del metilmercurio resultaron preocupantes, ya que evidenciaron que todos los organismos de la biota que fueron evaluados estarían en grave riesgo intoxicación. Observando los resultados de la simulación Montecarlo se ratifica esta interpretación. Para la simulación probabilística se asumió distribuciones normales para mercurio en afluentes y en sedimentos.

En resumen, los escenarios muestran que las condiciones actuales ya están poniendo en riesgo toxicológico a los organismos superiores, que se encuentran en la cima de la cadena trófica, fundamentalmente debido a las altas concentraciones de mercurio metilado. En los *hotspots* esta situación se exagera. El escenario optimista evidencia que es posible llegar a niveles controlables de mercurio en el ambiente, pero en la práctica la descontaminación sería un proceso muy largo y costoso. Los ecosistemas de la Amazonía tienen, sin embargo, la posibilidad de mitigar naturalmente los impactos ambientales y de adaptarse a las perturbaciones, en este caso a través de la acumulación del mercurio en capas profundas de los sedimentos y la aparición de *hotspots* con especies pioneras que rehabilitan para ecosistemas degradados. Ello no asegura que los niveles de mercurio en la cadena trófica se reduzcan a niveles aceptables pero podría reducir la exposición si los vertimientos también se redujesen.

#### **4.2. RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DEL MANEJO ADAPTATIVO**

Para observar la influencia de diferentes condiciones de manejo en la respuesta del ecosistema afectado por la minería aluvial, se modelaron y analizaron cuatro escenarios.

- Escenario actual.
- Escenario pesimista, asumiendo controles totalmente nulos o inefectivos, así como la presencia de factores sociopolíticos, económicos y tecnológicos que promueven los *booms* extractivos.
- Escenario optimista, asumiendo un estado avanzado de madurez en la gestión de la actividad minera, donde la mayor parte de involucrados están formalizados y

aplican las mejores tecnologías y procedimientos disponibles para minimizar impactos.

- Escenario alternativo, que supone que la actividad minera ya no es tan atractiva, ya sea por la caída del precio del oro o por el creciente interés en desarrollar actividades económicas distintas. Además, se asumió que las concentraciones de mercurio bioacumuladas en los compartimientos ambientales serían bajas o estarían contrarrestadas por fenómenos naturales como la deposición, la reducción, o la formación de complejos con compuestos antagonistas.

#### 4.2.1. ANÁLISIS DE ESCENARIOS CON HgEx

Las condiciones asumidas, y definidas en base a información secundaria y opinión de expertos, se pueden observar en el Anexo X. El factor  $\alpha$  define el nivel de aceptación que tiene la amalgamación en la sociedad. Para el escenario actual HgEx encontró que esta práctica es moderadamente aceptada y los factores sociopolíticos tienen mayor importancia relativa (38%), seguidos por los económicos (33%) y los técnicos (27%). El Cuadro 8, resume los hallazgos en cada uno de estos aspectos.

**CUADRO 8: Evaluación de aspectos sociales en el escenario actual.**

| Factor económico   | Factor sociopolítico   | Factor tecnológico  |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Existen algunas áreas con nuevos descubrimientos de oro y la minería es considerada una actividad importante.</li> <li>- El mercurio es barato y los costos operativos están subvencionados. La única infraestructura costosa son los equipos, que se pagan con las ganancias de la actividad.</li> <li>- La situación económica es complicada, el salario mínimo es bajo y aunque los ingresos en la minería superan los de otras actividades, el nivel de exposición a riesgos es mayor.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aunque actualmente el gobierno no da incentivos directos para la actividad, históricamente sí lo hizo, de modo que la “mística” atrás de la explotación de oro se ha mantenido.</li> <li>- La mayor parte de involucrados tienen un bajo nivel educativo y pocas oportunidades de desarrollo en sus lugares de origen.</li> <li>- Aunque existen movimientos ecologistas, estos no tienen gran poder político.</li> <li>- Los medios de comunicación informan los aspectos críticos o llamativos de la actividad pero no son analíticos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La amalgamación con mercurio es considerada una alternativa viable y efectiva para desarrollar la actividad, aunque no se logra un nivel alto de recuperación.</li> <li>- Las iniciativas de mejora tecnológica son mayormente externas y ha sido difícil lograr la aceptación de nuevas técnicas, a pesar que existen canales para brindar soporte técnico a los mineros.</li> <li>- Los mineros no son totalmente concientes de los impactos de la actividad.</li> </ul> |

El modelo arrojó el siguiente diagnóstico: “Con un nivel de certeza del 100% el riesgo de bioacumulación en Madre de Dios es alto y en efecto, los peces están contaminados. Se recomienda tomar más muestras de peces, principalmente carnívoros, así

como de invertebrados como parte de un programa de monitoreo a largo plazo e implementar medidas de remediación”. Los factores sinérgicos que contribuyen a la persistencia de este nivel de riesgo son:

- Que la emisión de mercurio es extremadamente alta (certeza 100%) y por lo tanto, también su dispersión.
- Que las condiciones naturales son relativamente peligrosas y favorecen la metilación y bioacumulación (posibilidad al 72%). Ejemplo: baja conductividad del agua, poca transparencia, existencia de *hotspots* con altas concentraciones, moderada cantidad de óxidos férricos hidrosos en los sitios contaminados, existencia de algunos afluentes de aguas negras, etc.
- Que el el proceso de adsorción del mercurio en los sedimentos es posible debido al tipo de sedimentos (grado de confianza 50%), y representa un factor antagonista que controla la biodisponibilidad del tóxico, pero se equilibra con la desorción, cuya posibilidad es alta.

Algunas medidas que plantea para minimizar la bioacumulación, que sugiere el sistema experto, son:

- Reducir el transporte de mercurio en la cuenca evitando su dispersión mediante el uso de retortas y filtros de aire.
- Incrementar el efecto dilución del mismo y/o limitar su biodisponibilidad a través de compuestos como el selenio, que al liberarse en el ambiente en cantidades moderadas pueden proteger a la biota al ingresar en la cadena trófica.
- Cubrir los sedimentos altamente contaminados con laterita o sulfatos para limitar la desorción del mercurio y propiciar la fertilización de los ecosistemas acuáticos y con ello lograr mayor productividad y menor bioacumulación. Este método requiere un período de prueba.
- Promover la desmetilación a través de bacterias.
- Evaluar la aplicabilidad de los *wetlands* artificiales para retener mercurio.
- Evaluar la introducción de sedimentos limpios (o tratados) a un área contaminada para promover la absorción natural e inhibir la ingestión de mercurio por la biota.
- Dragar los sedimentos de áreas altamente contaminadas y aplicar procesos hidrometalúrgicos más efectivos, como la flotación, pero evaluando el uso de sustancias menos peligrosas para el ecosistema. Luego implementar medidas

complementarias para controlar la liberación de mercurio durante la remoción de sedimentos.

- Usar aditivos que propicien la formación de agregados de mercurio que luego sean retirados del ecosistema.
- Cementar los *hotspots* con scraps de hierro para lograr la precipitación del mercurio y la estabilización del mismo.
- En caso de continuar con la amalgamación de mercurio, incrementar el tiempo de contacto para mejorar la recuperación.
- Realizar bioensayos antes de implementar medidas de remediación a nivel piloto.

Para el programa de monitoreo, sugiere:

- Dar seguimiento a las concentraciones de mercurio en sangre y orina en los trabajadores de las tiendas de oro y en los mineros que refoguean la amalgama.
- Evaluar las áreas que podrían convertirse en *hotspots*, como las pozas abandonadas, márgenes de cursos de agua cercanos a la actividad minera, etc. Establecer suficientes puntos de muestreo para evaluar el alcance y evolución de las mismas.
- Evaluar testigos de sedimentos para caracterizar la exposición de las diferentes áreas afectadas, para decidir las mejores medidas de mitigación a emplear.
- Dar seguimiento a la aceptabilidad de las buenas prácticas de manejo del mercurio y a la aplicación de cambios tecnológicos en áreas piloto.

En el escenario pesimista la certeza de bioacumulación también resulta ser 100%, con un factor de emisión extremadamente alto y 84% de posibilidades de que las condiciones naturales sean peligrosas. En esta situación la posibilidad de absorción es menor, 40%, y existe una alta probabilidad de desorción. Además, se infiere que el mercurio metálico podría ser estable en ambientes acuáticos. También se estima que las concentraciones de mercurio en la biota serían extremadamente elevadas, mayores incluso que los valores extremos ingresados al modelo.

Lo que diferencia a este escenario es el nivel de aceptación que tiene la amalgamación: el factor  $\alpha$  resulta 100%. El nivel de influencia de los aspectos sociopolíticos es 0%. En este contexto las variables económicas resultan más determinantes (55%), seguidas de los aspectos técnicos (43%) que facilitan la minería

informal. Es decir, la minería se convierte en la actividad gravitante de la región, se descubren nuevas áreas para explotar, la infraestructura es accesible, y las condiciones de la economía nacional son lo suficientemente motivadoras como para propiciar mayor migración, mientras los países siguen comprando oro para compensar la inflación. Además, se utiliza el mercurio sin precaución ni mejoras tecnológicas. Las nuevas tecnologías no son aceptadas y en vez de eso se introducen técnicas más contaminantes como el uso complementario de ácidos. La conciencia sobre los impactos se nubla por la rentabilidad del medio de vida, el cual a su vez, es fácilmente accesible.

En este escenario se mantienen los subsidios a los bienes de capital e insumos productivos de la actividad minera, las capacidades locales son bajas y los grupos de interés tienen poca capacidad de respuesta y de influencia. Los medios no son confiables y el nivel cultural y educativo se mantiene bajo. En resumen los impactos se vuelven sistemáticos y se cae en un atractor del cual sería difícil salir. A pesar de las diferencias en el manejo, los niveles de impacto no distan mucho de los que se presentan en el sistema actual. Las recomendaciones para la remediación y el monitoreo son iguales que en el “escenario actual”, pero se agrega la relevancia de fortalecer la institucionalidad que ejerce influencia sobre el sistema.

Al correr el modelo desde una perspectiva optimista, donde se asumió que la minería que existe está formalizada, el riesgo de bioacumulación sigue teniendo una posibilidad de materializarse bastante alta: 82%. Lo que ocurre es que a pesar de los controles administrativos, existe total certeza de una emisión elevada de mercurio. Sin embargo, es posible propiciar un manejo de las condiciones naturales, al punto que su peligrosidad se puede reducir hasta un 32%. La absorción sigue siendo posible en 50% y ya no habría certeza sobre los procesos de desorción, lo cual implicaría una potencial oportunidad de manejo del contaminante.

La decisión de instalar centros mineros lejos de áreas sensibles y cuerpos de aguas negras reduce el nivel de riesgo ambiental. El agua tendría mayor conductividad, más productividad y menos materia orgánica, condiciones que reducen la probabilidad de metilación del químico y su ingreso en la cadena trófica. En esta situación, si bien los peces podrían tener concentraciones de mercurio como las que se registraron en las

décadas pasadas, algunas de ellas dentro de los límites aceptables según estudios toxicológicos, el nivel de bioacumulación sería moderado, es decir, continuaría existiendo.

La particularidad de este escenario es que la organización es alta y el factor sociopolítico juega un rol preponderante en la determinación del factor  $\alpha$ . Es 94% y por ello  $\alpha = 0.008$ . En cambio, la influencia de los factores económicos y técnicos es baja. Aunque esta situación es muy poco probable, muestra que por más esfuerzos que se realicen para administrar la actividad de mejor manera y se implementen barreras económicas y políticas e incluso se incremente el nivel de conciencia, aún sería posible que se den impactos importantes. El sistema experto HgEx, sin embargo, no tiene la capacidad para evaluar el efecto de las innovaciones tecnológicas, pues si bien asume que la amalgamación sería una práctica a evitar, no estima cuánto se reduciría la emisión de mercurio a consecuencia de un cambio tecnológico.

En el escenario alternativo, donde la actividad minera ya no es tan representativa en la región, el nivel de bioacumulación posible aún es alto: 92%. Sin embargo, existe sólo una certeza del 32% de la existencia de condiciones ambientales que propicien la minería. Además, es posible que 40% del mercurio sea absorbido en sedimentos. Las salidas son similares al caso anterior: aún siendo bajas las concentraciones en biota, el riesgo de bioacumulación está latente. El factor  $\alpha$  es nuevamente 0.008, debido a que está influenciado por el factor sociopolítico o de manejo.

### **4.3. ANÁLISIS DE LA RESILIENCIA**

#### **4.3.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS ASUNTOS DE INTERÉS**

Dentro del sistema social ecológico, los asuntos más relevantes a tomar en cuenta en el análisis de la resiliencia son los que se muestran a continuación. Para realizar el análisis se ha considerado relevantes los hechos ocurridos los últimos cien años.



**CUADRO 9: Resumen de temáticas clave en el sistema evaluado.**

| Asunto                                | Atributos que son valorados en el sistema  | Principal(es) actor(es) interesado(s)  | Manejo actual |
|---------------------------------------|--|--|---------------|
| 1.- Formalidad de la actividad minera | Gobernanza interinstitucional<br>Pago de impuestos<br>Seguridad social y laboral<br>Control viable<br>Eliminación de sistemas que promueven la violación de los derechos humanos (trata de personas, explotación, prostitución, trabajo infantil).<br>Respeto a las decisiones de los nativos sobre uso del territorio | Sociedad<br>Estado<br>Trabajadores<br>Estado<br>Sociedad a todo nivel<br>Nativos | Inefectivo    |
| 2.- Reducción del impacto ambiental   | Peces sin mercurio<br>Integridad de la biodiversidad<br>Control de sedimentos y cauces<br>Compensación por daños   | Estado<br>Concesiones ecoturísticas<br>Pobladores aguas abajo y de la región.    | Inefectivo    |

Fuente: Elaboración propia, 2012.

#### **4.3.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA SOCIAL ECOLÓGICO: ¿RESILIENCIA DE QUÉ?**

A continuación se identifica las funcionalidades del sistema social ecológico que son relevantes en la región. Es importante tener claro este panorama ya que existen interrelaciones entre escalas y entre sistemas. La manera en la que el sistema provee de bienes y servicios determina cómo los diferentes actores perciben el espacio.

**CUADRO 10: Actores y usos directos de los recursos naturales en Madre de Dios.**

| Usos de los recursos naturales que son de interés para los principales stakeholders del sistema social ecológico | Mineros informales (artesanales, pequeños, medianos, dueños de plantas de procesamiento y tiendas de oro, asociados o no). | Mineros formalizados (propietarios de concesiones o peñoneros, asociados o no) | Gobierno central | Comisión multisectorial para el ordenamiento de la minería informal | Inversionistas y compradores del mercado negro | Autoridades regionales (Gov. Reg., DIRESA, DPEM, etc.) | Autoridades locales o comunales | Madereros | Recolectores de castaña y otros recursos de la biodiversidad | Empresarios forestales | Empresas petroleras y de gas | Pescadores | Concesionarios ecoturísticos | Turistas | Pobladores ribereños de subsistencia | Comunidades de origen nativo (asociadas o no). | Comerciantes | Pobladores de las urbes | Concesionarios de transporte | SINANPE | Organismos Internacionales | Brasil y otros países con los que hay intercambio comercial | Academia y organismos de investigación | Empresas químicas y farmacéuticas | Organizaciones de la sociedad civil | Medios de comunicación |
|--|--|--|------------------|---|--|--|---------------------------------|-----------|--|------------------------|------------------------------|------------|------------------------------|----------|--------------------------------------|--|--------------|-------------------------|------------------------------|---------|----------------------------|---|--|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Actividad económica: obtención de oro  | X  | X  | X                | X   | X  | X  | X                               |           |  |                        |                              |            |                              |          |                                      | X  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     |                        |
| Actividad económica: obtención de madera   |  |  |                  | X   |  | X  | X                               | X         |  | X                      |                              |            |                              |          |                                      | X  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     |                        |
| Actividad económica: obtención de castaña y otros productos de la selva o de la biodiversidad                    |  |  |                  | X   |  | X  | X                               | X         | X  |                        |                              |            |                              | X        | X                                    |  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     |                        |
| Actividad económica: obtención de hidrocarburos  |  |  |                  | X   |  | X  | X                               |           |  | X                      |                              |            |                              |          |                                      |  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     |                        |
| Actividad económica: obtención de recursos hidrobiológicos (pesca y afines)                                      |  |  |                  | X   |  | X  | X                               |           |  | X                      |                              | X          |                              |          |                                      | X  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     |                        |
| Actividad económica: ecoturismo  |  |  |                  | X   |  | X  | X                               |           |  | X                      |                              | X          | X                            | X        | X                                    |  |              |                         |                              |         | X                          |   |  |                                   |                                     |                        |
| Medio de vida de subsistencia: obtención de agua y alimentos (peces, animales y plantas).                        | X  | X  |                  |   |  | X  | X                               | X         |  |                        |                              | X          |                              |          | X                                    | X  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     | X                      |
| Medio de vida de subsistencia: agricultura ribereña y ganadería  | X  | X  |                  |   |  | X  | X                               | X         |  |                        |                              |            |                              |          | X                                    | X  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     | X                      |
| Cultural: mantenimiento de la historia nativa a través del territorio  |  |  |                  |   |  | X  | X                               | X         |  | X                      |                              |            |                              | X        | X                                    | X  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     | X                      |
| Actividad económica: el río como medio de transporte   | X  | X  | X                |   | X  | X  | X                               | X         | X  | X                      | X                            | X          | X                            | X        | X                                    | X  | X            | X                       | X                            |         |                            |   |  |                                   |                                     | X                      |
| Actividad económica: carretera interoceánica para intercambio comercial  | X  | X  | X                |   | X  | X  | X                               | X         | X  | X                      |                              |            |                              |          | X                                    | X  | X            | X                       | X                            | X       |                            |   |  |                                   |                                     | X                      |
| Áreas de conservación  |  |  |                  | X   |  | X  | X                               | X         | X  | X                      |                              |            |                              | X        | X                                    | X  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     | X                      |

Fuente: Elaboración propia, 2012.

**CUADRO 11: Actores y usos indirectos de los recursos naturales en Madre de Dios.**

| Usos de los recursos naturales que son de interés para los principales stakeholders del sistema social ecológico | Miembros informales (artesanales, pequeños, medianos, dueños de plantas de procesamiento y tiendas de oro, asociados o no). | Mineros formalizados (propietarios de concesiones o peñeros, asociados o no) | Gobierno central | Comisión multisectorial para el ordenamiento de la minería informal | Inversionistas y compradores del mercado negro | Autoridades regionales (Gov. Reg., DIRESA, DREM, etc). | Autoridades locales o comunales | Madereros | Recolectores de castaña y otros recursos de la biodiversidad | Empresarios forestales | Empresas petroleras y de gas | Pescadores | Concesionarios ecoturísticos | Turistas | Pobladores ribereños de subsistencia | Comunidades de origen nativo (asociadas o no). | Comerciantes | Pobladores de las urbes | Concesionarios de transporte | SINANPE | Organismos Internacionales | Brasil y otros países con los que hay intercambio comercial | Academia y organismos de investigación | Empresas químicas y farmacéuticas | Organizaciones de la sociedad civil | Medios de comunicación |
|--|---|--|------------------|---|--|--|---------------------------------|-----------|--|------------------------|------------------------------|------------|------------------------------|----------|--------------------------------------|--|--------------|-------------------------|------------------------------|---------|----------------------------|---|--|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Usos Indirectos  |   |  |                  |   |  |  |                                 |           |  |                        |                              |            |                              |          |                                      |  |              |                         |                              |         |                            |   |  |                                   |                                     |                        |
| Reserva de carbono   |   |  |                  |   |  |  |                                 |           |  | X                      |                              | X          |                              |          |                                      |  |              |                         |                              | X       | X                          |   | X                                      | X                                 |                                     |                        |
| Regulación hídrica   |   |  |                  |   |  |  |                                 |           |  |                        |                              |            |                              |          | X                                    |  |              | X                       |                              | X       | X                          | X   | X                                      | X                                 | X                                   | X                      |
| Regulación microclimática  |   |  |                  |   |  |  |                                 |           |  |                        |                              |            |                              |          | X                                    | X  |              | X                       |                              | X       |                            | X   | X                                      |                                   |                                     |                        |
| Control de erosión   |   |  |                  |   |  | X  | X                               |           |  |                        |                              |            |                              |          | X                                    | X  |              | X                       |                              | X       |                            | X   | X                                      | X                                 | X                                   | X                      |
| Reserva de biodiversidad (incluyendo variabilidad genética)  |   |  | X                |   |  | X  | X                               | X         | X  |                        |                              | X          | X                            | X        | X                                    | X  |              | X                       | X                            | X       | X                          |   | X                                      | X                                 | X                                   | X                      |
| Refugio de especies en extinción   |   |  | X                |   |  |  |                                 |           |  | X                      |                              | X          | X                            | X        | X                                    | X  |              | X                       | X                            |         |                            |   |  |                                   | X                                   | X                      |
| Mantenimiento de la diversidad cultural, el conocimiento y los valores ancestrales                               |   |  |                  |   |  |  | X                               | X         | X  |                        |                              | X          | X                            | X        | X                                    |  |              | X                       | X                            |         | X                          | X   | X                                      | X                                 | X                                   | X                      |
| Fuente de insumos bioquímicos y farmacéuticos  |   |  | X                |   |  | X  | X                               | X         | X  |                        |                              |            |                              |          | X                                    | X  |              | X                       | X                            |         | X                          | X   | X                                      | X                                 | X                                   | X                      |
| Belleza escénica   |   |  | X                |   |  | X  | X                               | X         | X  |                        |                              | X          | X                            | X        | X                                    | X  |              | X                       | X                            |         | X                          | X   | X                                      | X                                 | X                                   | X                      |
| Generación de suelo y nutrientes   |   |  |                  |   |  |  |                                 |           |  |                        |                              |            |                              |          | X                                    |  |              | X                       |                              |         |                            | X   |  |                                   |                                     |                        |
| Lugar de desove / Ecosistema funcional para las especies amazónicas  |   |  |                  |   |  |  |                                 |           |  |                        |                              | X          | X                            | X        |                                      |  |              | X                       | X                            | X       | X                          | X   | X                                      | X                                 | X                                   | X                      |

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Se ha identificado al gobierno central, regional y local como actor interesado en la obtención o preservación de la mayoría de bienes y servicios descritos, sin embargo, en la práctica aunque su mandato puede estar asociado a la promoción de los mismos, centra sus esfuerzos en sólo algunos de ellos. En lo que respecta a la sociedad civil y los medios de comunicación, han sido considerados como partes interesadas relevantes para casi todos los casos, asumiendo que se trata de un conglomerado de entes vigilantes, conscientes y que realizan la importante labor de mantener vigentes y comunicados los asuntos relevantes en la provisión de bienes y servicios clave para el sistema.

Se puede observar que la provisión de bienes es la función más valorada en el sistema, lo cual está relacionado a la antigua concepción de la Amazonía como “fuente inagotable de recursos”, y a que son pocos los actores sociales que comprenden las dinámicas de socioecológicas del sistema y que se sienten identificados con él. Gran parte de los usuarios o beneficiarios de los bienes son migrantes o entidades de origen externo.

La dependencia de recursos es alta y la provisión de servicios ambientales no es comprendida a cabalidad y por ende valorada. El sistema es visto fundamentalmente desde la perspectiva de medio de vida a través de actividades económicas. Las coincidencias fundamentales entre los actores son: el interés agua, alimentos y vías de comunicación.

Hay que tener en cuenta que los actores se han definido de manera general, si se desagrega cada uno se encontrará enorme variabilidad de percepciones e intereses entre los sub-grupos. Así, existen mineros informales que están conscientes de la importancia de preservar áreas de conservación y de la necesidad de evitar los impactos a largo plazo en la salud humana y ambiental, pero predominan aquellos que sólo están interesados en la actividad económica y la ganancia en el corto plazo. Existen asociaciones nativas interesadas en realizar minería informal bajo la lógica de soberanía sobre los territorios originarios, así como grupos menos contactados que prefieren mantener sus costumbres y medios de vida de autosubsistencia, lo cual concilia con los objetivos de las áreas de conservación y de las dependencias ambientales del Estado.

Los organismos internacionales y la academia están interesados en el análisis de todas las dinámicas que se puedan presentar, sin embargo, no necesariamente están

vinculados directamente a las decisiones de manejo. Al interior del Estado, los intereses también dependen de posiciones políticas y voluntades personales.

Una de las causas fundamentales de los conflictos socioambientales en el sistema es la superposición de propiedades de diferente tipo: concesiones y petitorios mineros, áreas de conservación, concesiones forestales (asignadas sin planes de manejo y sin fiscalización), territorios indígenas, concesiones de explotación de hidrocarburos, concesiones viales, municipios, comunidades y terrenos de individuales (por derecho de propiedad o posesión). En ese marco, la actividad que más fuerza ejerce y más ganancia percibida ofrece, es la que prevalece. La actividad minera informal resulta la más accesible y fácil de realizar, al margen de cualquier ordenamiento existente o propuesto. Las decisiones de manejo deben tomar en cuenta factores estructurales como este, ya que de no resolverse, cualquier intervención formal podría carecer de efectividad.

#### 4.3.3. IDENTIFICACIÓN DE DISTURBACIONES E INCERTIDUMBRES: ¿RESILIENCIA A QUÉ?

A continuación se sintetiza las características de las principales perturbaciones a las que ha estado expuesto el sistema en estudio y aquellas que son potenciales:

**CUADRO 12: Mapeo de perturbaciones actuales o históricas del sistema social-ecológico.**

| Perturbación (presente o pasada)       | Tipo       | Frecuencia de ocurrencia | Tiempo de recuperación entre ocurrencias | Componentes más afectados  | Magnitud del impacto | Tendencia: ¿Ha cambiado los últimos años o décadas? |
|--|------------|--------------------------|--|--|----------------------|---|
| Intensificación tecnológica en minería | De presión | Continúa                 | 0  | - Cauces<br>- Bosques y sus servicios ambientales<br>- Uso del espacio<br>- Comercio | Severo               | Más intensa   |
| Contaminación por mercurio             | De presión | Continúa                 | 0  | - Salud<br>- Integridad de la biodiversidad  | Severo               | Más intensa   |
| Deforestación                          | De presión | Continúa                 | 3 - 6 meses                              | - Bosques y sus servicios ambientales<br>- Uso del espacio<br>- Comercio             | Severo               | Más intensa   |

| Perturbación<br>(presente o<br>pasada)  | Tipo          | Frecuencia de<br>ocurrencia | Tiempo de<br>recuperación<br>entre<br>ocurrencias | Componentes más afectados   | Magnitud<br>del impacto | Tendencia: ¿Ha<br>cambiado los<br>últimos años o<br>décadas?  |
|---|---------------|-----------------------------|---|---|-------------------------|---|
| Sequías                                 | De pulso      | Estacional                  | 6 meses,<br>1 o 2 años                            | - Seguridad alimentaria<br>- Pesca<br>- Agricultura de subsistencia<br>- Especies sensibles.<br>- Intensificación de contaminación. | Moderado                | Más intensas y<br>menos<br>pronosticables                     |
| Tormentas e<br>inundaciones             | De pulso      | Estacional                  | 6 meses,<br>1 o 2 años                            | - Seguridad alimentaria<br>- Pesca<br>- Agricultura de subsistencia<br>- Uso del espacio  | Moderado                | Más<br>destructivas y<br>menos<br>pronosticables              |
| Friajes                                 | De pulso      | Anual                       | 1 año   | - Seguridad alimentaria<br>- Pesca<br>- Agricultura de subsistencia<br>- Distribución y migración de<br>especies.                   | Moderado                | Más aleatorios<br>en el tiempo                                |
| Roza y quema                            | De pulso      | Triannual                   | 1 - 3 años  | - Bosques y sus servicios ambientales<br>- Uso del espacio  | Moderada                | Más aceptada y<br>frecuente                                   |
| Iniciativas de<br>formalización         | De pulso      | Decadal                     | 10-20 años  | - Uso del espacio.<br>- Nivel de conflictividad.  | Moderada                | Más exigentes   |
| Intervención<br>militar en<br>minería   | De pulso      | Eventual                    | Según<br>situación,<br>6 meses                    | - Nivel de conflictividad.  | Severa                  | Más probable  |
| Incremento de<br>los precios del<br>oro | De<br>presión | Decadal                     | 10 - 20 años                                      | - Actividades económicas<br>predominantes.<br>- Comercio.<br>- Tasa de migración.<br>- Valores de la población.                     | Severo                  | Mayor<br>incremento, por<br>crisis<br>económicas<br>mundiales |

Fuente: Elaboración propia, 2012.

**CUADRO 13: Mapeo de perturbaciones previstas, potenciales o futuras del sistema social-ecológico.**

| Perturbación (futura o potencial) | Tipo       | Frecuencia de ocurrencia | Tiempo de recuperación entre ocurrencias                            | Componentes más afectados  | Magnitud del impacto | Tendencia: ¿Ha cambiado los últimos años o décadas? |
|-----------------------------------|------------|--------------------------|---|--|----------------------|---|
| Variabilidad climática exacerbada | De presión | Continúa                 | Según manifestación de alteración de ciclo, puede ser menor a 1 año | - Seguridad alimentaria<br>- Pesca<br>- Agricultura de subsistencia<br>- Distribución y migración de especies. | Moderada             | Más intensa   |
| Narcoterrorismo                   | De presión | Continúa                 | Según atentado o manifestación, puede ser menor a 1 mes             | - Bosques y sus servicios ambientales<br>- Nivel de conflictividad   | Severo               | Más probable  |

Fuente: Elaboración propia, 2012.

De todas las perturbaciones listadas, están siendo manejadas las siguientes:

- La intensificación tecnológica. El Estado regula los equipos que pueden utilizarse según nivel de actividad minera, sin embargo, debido al fácil acceso a equipos, maquinarias y accesorios a través de las nuevas vías de comunicación, no se ha logrado controlar la intensificación de la minería informal, al margen de algunos eventos en los que se ha logrado decomisar materiales.
- La contaminación por mercurio. Si bien es poco lo que se ha podido lograr en la reducción de vertimientos y emisiones contaminantes, el Estado y la sociedad civil promueven el desarrollo de investigaciones para analizar los impactos de la contaminación en los peces (alimento de la población) y en los organismos de los mineros con exposición crónica al tóxico y con ello el incremento de la toma de conciencia.
- La deforestación. Aunque de manera muy limitada, se controla el movimiento de madera a través de las estaciones de control en carreteras y vías fluviales.
- Las inundaciones. Los pobladores ribereños reconocen que están expuestos a constantes variaciones en el nivel de los cuerpos de agua, por lo cual las construcciones son realizadas de manera preferente en zonas altas y/o sobre pilares. Además, los cultivos utilizados resisten estos regímenes. En lo que respecta a otros

fenómenos naturales como sequías y friajes, e incluso respecto a la exacerbación de la variabilidad climática, la respuesta hasta el momento ha sido más reactiva que adaptativa.

- Las prácticas de roce y quema. Si bien se acepta la quema controlada, a nivel nacional está prohibida la quema de bosques existiendo inclusive pena de cárcel para quienes la desarrollan.
- La formalización de los mineros. Se ha venido desarrollando instrumentos para la formalización y fiscalización de mineros artesanales y de pequeña envergadura, sin embargo, los procedimientos aún son engorrosos y los avances limitados. El proceso de formalización generó rechazo debido a que no estuvo adecuadamente instrumentalizado.
- La intervención militar en minería informal. El Estado ha destruido dragas y campamentos mineros informales, que forman parte de los clusters. En respuesta, la población desplazada ha incrementado la conflictividad de la región Madre de Dios y el desorden en la actividad.
- El narcoterrorismo. A nivel nacional se ha visto un incremento creciente de las actividades de movimientos sociales que hacen uso del terror y Madre de Dios es una región propensa a albergarlos. En otras partes del país, la respuesta del Estado ha sido declarar la guerra directa a través de intervención militar con la consiguiente pérdida de la integridad de los ecosistemas que rodean las zonas afectadas y el legado traumático para los pobladores locales.

Mientras se dan estas dinámicas, los altos precios del oro ejercen un *feedback* positivo en la minería informal. Estos no son controlables a nivel nacional y dependen fundamentalmente del mercado internacional y del contexto político-económico.

Las medidas coactivas para frenar el avance de las actividades informales, si bien son necesarias, también incrementan la vulnerabilidad del sistema dado que no existen rutas alternativas de desarrollo para la población involucrada y propician la conflictividad. En consecuencia la presión sobre los recursos se podría intensificar y re-localizar.

La perturbación generada por prácticas de roce y quema ha cambiado la estructura del ecosistema, incrementando significativamente las áreas de agricultura y de bosque



secundario a lo largo de las décadas, en detrimento de los bosques primarios. Esto ha ido acompañado de la deforestación ilegal para contrabando de madera.

Asimismo, la dispersión de la minería informal y el potenciamiento de la red vial han facilitado la colonización de migrantes y la apertura de nuevas rutas de acceso a los bosques, inclusive en áreas protegidas, y ello ha incrementado la tasa de deforestación y el cambio de uso del espacio. En décadas anteriores esto inclusive desencadenó serios conflictos con comunidades nativas.

Las perturbaciones más graves a nivel ecosistémico son la contaminación por mercurio y la deforestación, sin embargo, a nivel social lo más grave es que en la región se vulnera los derechos humanos y existe un creciente nivel de conflictividad, sin que los actores principales sean conscientes de los impactos de sus actividades. Ello se debe al cambio de valores y percepciones sobre el ecosistema, a la falta de identidad y la diseminación de prácticas degenerativas transmitidas de generación en generación como: la explotación de personas y del ambiente, el trabajo infantil, la trata de personas, etc.

#### 4.3.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS MÚLTIPLES ESCALAS ESPACIALES Y TEMPORALES

A continuación se sintetiza algunos procesos y fenómenos que ocurren a escalas mayores y menores que el sistema en estudio. Muchos de ellos forman parte de ciclos adaptativos que influyen en la actividad.

**CUADRO 14: Factores de escalas mayores y menores que influyen en la minería aluvial.**

|              | Dimensiones sociales que influyen en el sistema en estudio  | Dimensiones ecológicas que influyen en el sistema en estudio   |
|--------------|---|--|
| Escala menor | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitada infraestructura, calidad educativa y de servicios de salud en clusters mineros. Bajo IDH, desnutrición, deserción escolar e inadecuado saneamiento.</li> <li>- Prostitución, trabajo infantil, trata de personas y mecanismos varios de explotación en asentamientos mineros.</li> <li>- Trabajo altamente inseguro con alta probabilidad de enfermedades ocupacionales y muertes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incendios forestales esporádicos y localizados.</li> <li>- Fragmentación de ecosistemas e incrementos de claros de bosque y ecotonos, según localidad.</li> <li>- Alteración de cuerpos de agua en <i>hotspots</i> mineros.</li> <li>- Acumulación de mercurio en capas profundas de los sedimentos en cuerpos de agua lénticos (disponible para organismos bentónicos).</li> </ul> |

|              | Dimensiones sociales que influyen en el sistema en estudio  | Dimensiones ecológicas que influyen en el sistema en estudio   |
|--------------|---|--|
|              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambio progresivo de la estructura social e identidad en etnias involucradas en la minería.</li> <li>- Falta de preparación técnica para hacer efectiva la exploración y explotación minera.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incremento continuo de sólidos en suspensión.</li> <li>- Incremento del riesgo de cáncer en localidades altamente expuestas.</li> </ul>   |
| Escala mayor | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fiebres extractivas periódicas en la Amazonía (caucho, cascarilla de arroz, madera, etc.) por incremento de la demanda internacional.</li> <li>- Crisis económicas periódicas en el mundo.</li> <li>- Migración en búsqueda de un medio de vida más rentable: colonización de la selva.</li> <li>- Desplazamiento por violencia política (80's).</li> <li>- Fácil acceso a concesiones y posesión de la tierra.</li> <li>- Superposición de concesiones por falta de articulación entre organismos del Estado.</li> <li>- Limitado control del mercado negro de insumos y productos de la minería informal.</li> <li>- Carencia y/o ineffectividad de fuentes formales de financiamiento minero.</li> <li>- Promoción reciente de políticas públicas vinculadas a: seguridad en trabajo, gestión de riesgos y protección ambiental.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incremento de la conciencia ambiental internacional en las últimas décadas.</li> <li>- Reciente fortalecimiento de autoridades ambientales debido a los tratados de libre comercio.</li> <li>- Identificación de <i>hotspots</i> de biodiversidad en Madre de Dios.</li> <li>- Incremento de bosques secundarios debido a la agricultura de subsistencia.</li> <li>- EIA de la carretera interoceánica no consideró impactos indirectos y sinérgicos por horizontes temporales y espaciales, teniendo en cuenta las lecciones de las aperturas de vías en Brasil.</li> <li>- Promoción del biocomercio a nivel nacional e internacional.</li> <li>- Migración continua de peces a nivel de toda la cuenca amazónica. Intercambios de materia y energía que trascienden países.</li> <li>- Incremento de la variabilidad climática.</li> </ul> |

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Para analizar la resiliencia, es fundamental conocer la historia de la minería en Madre de Dios. A continuación el resumen de los principales eventos, organizados en cinco eras de manejo:

#### a) Era de la configuración (1900-1929)

Este período se caracterizó por el establecimiento de asentamientos colonos e ideologías que se han mantenido a través del tiempo. La fiebre del caucho (1885-1915) fue determinante. Su origen data del descubrimiento de la vulcanización en los años 1850.

La configuración de la geopolítica del territorio actual fue forjada a inicios del siglo XX ya que se fundaron las ciudades y centros poblados más importantes de la región. Vale la pena mencionar que existía aún dentro del imaginario del migrante, la imagen de la selva como “paititi” místico o “tierra de tesoros sin igual” que prevaleció durante la

conquista y la colonia, y que en la época de la república se traduciría en la comprensión de la Amazonía como “despensa inagotable”.

Para extraer caucho no sólo se afectó importantes hectáreas de bosque primario, sino que se estableció una relación conflictiva entre colonos y nativos, dado que los primeros instauraron un régimen de explotación, esclavitud y chantaje para lograr que los segundos produjesen el recurso por ellos. Todo esto se hizo con violencia y con apoyo del Estado, quien fomentó la migración al correr con los gastos de traslado de algunos “caucheros”.

Por otra parte, el concepto de unión con el territorio, que es fundamental en la cosmovisión indígena, fue resquebrajado debido a que se concentró a los nativos en misiones dominicas, las cuales buscaban evangelizarlos y educarlos en la fe. En estos espacios inclusive etnias que tenían conflictos se vieron mezcladas, la gran mayoría se aculturaron y algunas perdieron parte de su identidad. En las misiones, los indígenas cambiaron su medio de vida tradicional y por ello las principales actividades económicas fueron: agricultura de subsistencia y minería artesanal.

Fitzcarrald fue un actor importante en la época, ya que dirigió importantes esfuerzos en la búsqueda de un medio de interconexión de la amazonía de Madre de Dios con el polo norte de desarrollo, en Iquitos. Finalmente halló el istmo de Fitzcarrald para agilizar los intercambios comerciales entre la selva, fortalecer el cluster cauchero peruano y con ello contrarrestar a la competencia brasilera y boliviana. Es un importante precedente en lo que a vías de transporte y comunicación se refiere.

Aproximadamente hacia 1914, la primera guerra mundial propició que el auge extractivo diera un giro, los compradores de caucho se volvieron más exigentes respecto a la calidad de la goma y entonces dejó de ser un negocio rentable. Asimismo, se incrementó la competencia de quienes realizaban plantaciones *ex situ* de manera más costo-efectiva y eficiente. En cambio, el comercio de castañas fue el nuevo y efímero *boom*, ya que los países requerían importar alimentos no perecibles y fáciles de conservar.

Aunque se sabía de la ocurrencia de devastadoras fiebres por el oro en otras partes del mundo (por ejemplo en EE.UU. y Canadá), en aquellos años no era tan atractiva su

extracción en la selva debido a que el mercado estaba muy regulado, la comercialización no era sencilla y los precios de los metales preciosos no eran tan altos como los de metales básicos (que se producían a través de la minería convencional).

#### **b) Era del descubrimiento (1930-1960)**

En 1929 se inició “la gran depresión” en Estados Unidos. Para entonces éste ya era el país que tenía las reservas de oro más grandes del mundo y exigía que toda la deuda internacional le sea pagada en este metal o en mercancías con la finalidad de mantener el “patrón oro”. Al entrar en crisis exigió aún más a sus deudores y el precio del oro se elevó. A pesar de ello, las reservas no cubrían el dinero circulante y se cambió al patrón dólar. Sin embargo, la mayoría de países decidieron mantener sus reservas en oro y la demanda del metal precioso aumentó.

Es entonces que se reinició la migración hacia las zonas de Tambopata y el Manu, pero ahora con la finalidad de realizar minería informal y así aprovechar el alza internacional del precio del metal. Los yacimientos se localizaron principalmente cerca de las misiones y contaron con la participación de indígenas. En esta época los mineros fueron desarrollando metodologías para la exploración y para la extracción, y además establecieron su centro de operaciones en Puerto Maldonado.

Dado que la minería informal es una actividad fundamentalmente estacional, muchos colonos regresaban con frecuencia a sus tierras de origen, principalmente: Cusco, Arequipa y Puno. En consecuencia, debido a las dinámicas de la actividad y a la alta movilidad de la población, los flujos comerciales se incrementaron.

En este período la minería informal gradualmente pasó a ser una actividad representativa en la región, pero a nivel nacional aún seguía siendo subestimada. Adicionalmente, no estaba regulada.

Entre 1939 y 1945, la segunda guerra mundial propició un nuevo auge del caucho y por ende fortaleció el movimiento migratorio hacia la selva. Se vio entonces la necesidad de construir mejores vías de comunicación para esta parte del país.

### **c) Era de la organización (1961-1990)**

Hacia 1960, la población en Madre de Dios casi se había cuadruplicado respecto a 1930 y se inauguró el aeropuerto de Puerto Maldonado, el cual facilitó aún más el intercambio comercial. Asimismo, se construyeron carreteras que terminaron de conectar Cusco con Puerto Maldonado y las principales misiones. El Estado comenzó a interesarse seriamente por el potencial minero y en 1964 realizó una prospección geológica de la región, en la cual se encontró importantes placeres auríferos.

En el año 1969 en el Perú se inició el proceso de la reforma agraria, el cual venía gestándose desde 1963, tomando como piloto al valle de La Convención, en Cusco. Esto generó un gran cambio a nivel nacional en la propiedad de la tierra y respondía a los constantes movimientos de reivindicación social de la población rural. Los grandes hacendados fueron expropiados y con la finalidad de mantener las economías de escala, los terrenos fueron adjudicados a comunidades campesinas y cooperativas (como las CAP - Cooperativas Agrícolas de Producción, y las SAIS - Sociedad Agrícolas de Interés Social). Sólo una pequeña parte se entregó a individuos.

La gran debilidad de esta reforma fue que no vino acompañada de un programa de apoyo para el período de transición. Sin gestión estratégica, técnica y gerencial, muchas de las cooperativas fracasaron y pronto se produjo el parcelamiento de tierras y el minifundio, lo cual desencadenó una crisis económica a nivel nacional, que se produjo entre 1975 y 1990.

Esta reforma no afectó directamente a la selva, pero a consecuencia de su mal manejo muchos campesinos de la costa y de la sierra migraron hacia la Amazonía en búsqueda de alternativas ante la pobreza porque notaron que sus medios de vida eran inviables de manera parcelada y muy poco rentables con la escasa infraestructura existente y el limitado acceso a mercados. Ellos se convirtieron en colonos y en muchos casos, entraron en conflicto con los pobladores locales por el uso de recursos.

Entre 1972 y 1973, a manera de iniciativa para ordenar la minería, se implementó el Banco Minero, el cual tenía el monopolio en la compra y posterior comercialización del oro. Esto trajo consigo un primer intento por formalizar la actividad, el cual consistió en un

empadronamiento, la suspensión de nuevos denuncios mineros por cinco años y la declaración de toda la región como área de reserva.

Casi de manera paralela, los indígenas de las misiones regresaron a sus lugares de origen después del retiro de los dominicos, en 1970. Sin embargo, ahora muchos de ellos tenían interés en producir oro. En 1974 el gobierno militar promulgó la Ley 20653 sobre comunidades nativas y promoción agraria en la selva alta y baja, la cual regulaba el acceso a la tierra en la región amazónica. Esta ley reconocía todos los derechos nativos pero no concebía la tierra como territorio y por lo tanto afectaba el usufructo del espacio que podían hacer los pueblos originarios (generalmente trashumantes y con identidad configurada en función al uso del espacio). Los conflictos entre colonos mineros y nativos no tardaron en intensificarse.

Por otra parte, al promulgarse la ley de promoción aurífera de 1978 (DL 22178) se exoneró a la minería de algunos impuestos por ser de interés nacional. Aunque la ley decía que aquellos mineros “formalizados” que tenían contratos con el Banco Minero tendrían derechos preferenciales, en la práctica no fue así, por lo tanto el Estado perdió credibilidad y casi todos los mineros pasaron a ser “informales”. Entonces la actividad empezó a realizarse de manera desordenada y se presentaron un sin número de invasiones.

La migración se incrementó desde 1976 y se exacerbó en los 80s debido al auge del terrorismo y la violencia política, que se focalizó en la sierra del país. Poblados sin planificación territorial como Laberinto, Huepetuhe y Mazuco, que habían sido formados en los 60s, se convirtieron en los enclaves de asociaciones de mineros y empresarios que con el pasar del tiempo emplearon prácticas cada vez más destructivas, en un entorno social que denigraba a los grupos más vulnerables y propiciaba la explotación. A partir de 1977 la informalidad se hizo más evidente y los cauces antiguos de los ríos así como las terrazas de inundación fueron explotados.

En los 80s, tanto los mineros nativos como los colonos crearon asociaciones para emitir opinión y defender sus derechos. Además, debido a la crisis económica que vivió el país entre 1985 y 1990, muchos denuncios fueron abandonados y luego invadidos.

Al ser inefectivo y poco rentable el Banco Minero, la mayor parte de extractores prefirió vender su oro en el mercado negro o informal. Esto se dio hasta la liquidación del Banco en 1991, cuando se decretó la libre comercialización del oro mediante el DS 005-91-EM-VMM. Ello fortaleció las redes de comercio pre-existentes y fomentó la aparición de cientos de intermediarios.

#### **d) Era de la legalización (1991- 2002)**

En los 90s el perfil extractivista de la minería fue cuestionado ya que la comunidad internacional y actores de la sociedad civil empezaron a defender las riquezas de las áreas de conservación y se masificó la conciencia sobre los servicios ambientales del bosque, el potencial de desarrollo turístico y el alineamiento del país con los compromisos internacionales adquiridos por ejemplo, en la Cumbre de la Tierra llevada a cabo en Río de Janeiro (1992), donde se firmó el Convenio de Diversidad Biológica. Asimismo, el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) inició la regulación ambiental de la actividad minera.

Mientras tanto, la extracción de recursos era intensiva y cada vez la cadena de valor del oro crecía más. Paralelamente las tecnologías de la información avanzaron extremadamente rápido y fue cada vez más fácil y rápido encontrar información sobre lo que acontecía en la región así como analizar y comunicar el estado de degradación de los recursos naturales en la selva.

En 1992 se promulgó la nueva Ley General de Minería (pensada para favorecer la inversión de capitales extranjeros a gran escala) y empezaron a desarrollarse instrumentos legales para controlar la minería artesanal, con obligaciones como la realización de estudios de impacto ambiental semi-detallados, los mismos que eran impracticables por su alto costo y por los bajos niveles educativos de los mineros. Además, el Estado aún no contaba con instituciones descentralizadas, con suficientes recursos y administración ágil, para ejercer un adecuado control.

En el año 1993 cambió la Constitución, lo que hizo más fácil la realización de actividades económicas en terrenos de comunidades y pueblos indígenas, ya que los mecanismos para aprobación de las servidumbres, ventas de terrenos e imposiciones se

hicieron más sencillos. Y, con el afán de promover la inversión privada en el país para lograr una mayor liquidez y estabilidad macroeconómica, el Estado promulgó la Ley 29164 en 1996 (de carácter nacional) y la Ley 27037 en 1998 (para la Amazonía). Esta última exoneró de impuestos a los intercambios económicos que se realizasen al interior de la selva.

En 1999 los conflictos entre colonos y nativos fueron extremos, y llevaron a los indígenas a solicitar que se les protegiese de la invasión a través de la reserva Amarakaeri (que fue instaurada en el año 2000).

En estos años, el Estado y la cooperación internacional, implementaron varios proyectos y programas para evaluar la actividad minera y promover que se realice de manera sostenible, a saber:

- 1994-1995: “Proyecto análisis, planeamiento y ejecución de políticas - PAPI”, realizado con apoyo de USAID<sup>33</sup>, en el que se analizó los problemas técnicos y socioeconómicos de las cuatro principales zonas mineras y se planteó líneas de intervención.
- 1996-2000: Proyecto “Minería artesanal y pequeña minería – MAPEM”, dirigido por el Ministerio de Energía y Minas, cuya finalidad fue lograr un desarrollo ordenado de la actividad. Sus ejes de trabajo fueron:
  - La formalización de las actividades. Para ello se valió del DL 851, que otorgó derechos preferenciales para formular petitorios a los mineros que estaban trabajando áreas libres. Esto logró “formalizar” al 80% a los mineros. Asimismo, se dio en el marco del DL 868 que introdujo diferenciaciones entre las operaciones de minería aluvial según la capacidad instalada de producción.
  - La minimización de los impactos en seguridad y medio ambiente, a través de la promoción de las retortas y métodos seguros de trabajo.
  - La capacitación sobre aspectos normativos, técnicos, de seguridad y de medio ambiente, lo cual se realizó principalmente a través de sus oficinas en Puerto

---

<sup>33</sup> USAID son las siglas en inglés de United States Agency for International Development.



Maldonado. Al culminar el proyecto se abrió una oficina de la Dirección General de Minería en Madre de Dios para seguir apoyando a los mineros.

- 2001-2004: Proyecto “Gestión ambiental en minería artesanal – GAMA”, financiado por COSUDE<sup>34</sup>. Si bien Madre de Dios no fue su área prioritaria de intervención, desarrolló importantes análisis sobre la minería informal y propició el desarrollo de mejores mecanismos de control y fiscalización.
- 1992 en adelante: “Programa para la eliminación del trabajo infantil, IPEC”. Patrocinado por la OIT<sup>35</sup>, otorgó financiamiento a varias organizaciones no gubernamentales para desarrollar procesos de sensibilización, mejoramiento de infraestructura de servicios educativos y de salud, fortalecimiento de organizaciones sociales, etc. Una de sus primeras lecciones aprendidas fue que se necesita un cambio cultural y estructural en los medios de vida de los mineros para lograr mejores condiciones de vida para los niños que habitan en sus campamentos.
- 2001 en adelante: “Programa comunidades y minería en pequeña escala, CASM” del Banco Mundial, que pretende facilitar los procesos nacionales para controlar la actividad a través de la formación de redes, el intercambio de experiencias y la identificación de fuentes de financiamiento para el desarrollo de proyectos piloto.

#### **e) Era de la transformación (2002 en adelante)**

En el 2002 se promulgó la ley 27651, sobre formalización y promoción de la pequeña minería y minería artesanal, con lo cual los mineros que no contaban con concesiones tuvieron muchas más facilidades para la realización de la actividad. Esta ley cubrió varios vacíos y estableció procedimientos, facultades y compromisos a ser cumplidos tanto por los extractores como por diversos entes estatales. Definió las reglas de juego para relaciones de mineros formales con informales y para concesiones en áreas naturales protegidas. Dado que fue promulgada gracias a la incidencia de las asociaciones

---

<sup>34</sup> COSUDE son las siglas de la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo.

<sup>35</sup> OIT son las siglas de la Organización Internacional del Trabajo, de Naciones Unidas.

de mineros, dicha ley las favoreció, otorgándoles el derecho preferencial sobre cualquier otro uso del territorio en áreas consideradas de libre denunciabilidad.

Con ello, la actividad nuevamente se intensificó y mediante estudios multi-temporales se ha visto que a partir de dicho año la deforestación se incrementó logarítmicamente. Las comunidades nativas, al ver sus espacios amenazados, hicieron una propuesta de ley para regular la minería en sus territorios (2003). Mientas tanto, se mantuvieron suspendidas varias concesiones mineras por estar en conflicto entre colonos y nativos.

En el año 2005 se realizó la evaluación ex - post de algunos de los proyectos ya mencionados, por ejemplo GAMA, y se vio la importancia de fortalecer la gestión local y regional, así como afrontar la problemática desde el punto de vista legal y de gobernanza insterstitucional. Casi de manera paralela se dio más poder a la Dirección Regional de Minería, la cual recibió la atribución de decidir la asignación de los derechos mineros.

Entre el 2002 y el 2005 los denuncios mineros se incrementaron. Más aún, en el período 2006 – 2008 se logró que al menos 90% de los mineros se acogieran a la norma. El poseer un denuncia implicaba realizar estudios ambientales, pero con frecuencia estos no se tramitaban o no se aprobaban. Sin embargo, por el simple hecho de formalizar los petitorios o denuncios y pagar las tasas para mantenerlos a través del tiempo, muchos de los mineros fueron considerados “formales”.

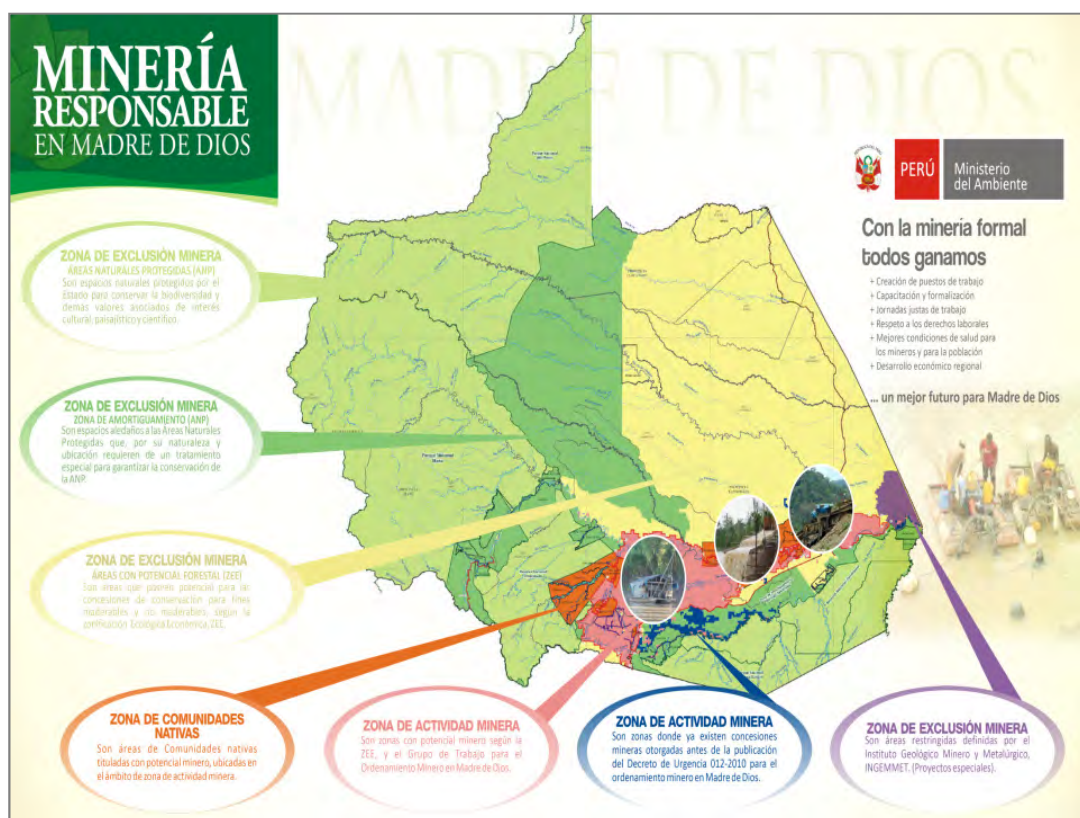
Con el fortalecimiento de los sistemas de información geográfica en la primera década del siglo XXI, se pudo observar la gran superposición de denuncios (titulados y en trámite), concesiones de diferentes tipo (petroleras, mineras, forestales, viales, ecoturísticas, etc), comunidades indígenas y áreas naturales protegidas. Estas consideraciones se tomaron en cuenta en la Zonificación Ecológico Económica de la región (2008), la principal herramienta de ordenamiento territorial a nivel macro que se realizó con participación y acuerdo interinstitucional.

Como se había indicado al inicio del documento, hacia el 2009 la complejidad de la problemática de la minería informal ya era pública a nivel internacional. Y además, se venía repitiendo en varios países de Latinoamérica. Asimismo, existían investigaciones que

demostraban los graves efectos que la actividad estaba teniendo en la salud, en los ecosistemas y en el desarrollo humano.

Es entonces que el recientemente creado Ministerio del Ambiente decidió priorizar a Madre de Dios en la agenda nacional e inició mesas de trabajo con los actores involucrados en la minería para proponer un mejor ordenamiento. Para inicios del 2010 ya había construido redes de diálogo inclusive con representantes indígenas.

En febrero del 2010 se publicó el decreto de urgencia 012, del cual se desprende el mapa con la propuesta de ordenamiento minero que se muestra a continuación. Desde entonces se suspendieron los petitorios, se prohibieron las dragas y se definieron las áreas de exclusión minera. Es más, se creó una fiscalía especializada para asuntos mineros. Ante el nuevo panorama, en abril del 2012 se desencadenaron las primeras protestas contra el Estado.



**FIGURA 91: Mapa de ordenamiento de la minería en Madre de Dios.**

FUENTE: Decreto de urgencia 012-2010-MINAM.

El proceso de ordenamiento tuvo un plazo inicial de un año, sin embargo, luego fue extendido. En este período se difundieron tecnologías alternativas de producción (sin uso de mercurio), así como estudios que evaluaban la contaminación por mercurio. Adicionalmente se firmaron convenios para recuperar algunas áreas afectadas por la minería y se reactivó la Comisión Ambiental Regional – CAR, asignando recursos y declarando como zonas de emergencia algunas áreas de protección donde la ilegalidad era extrema (por ejemplo: el sector La Pampa).

El rechazo que causó el ordenamiento en algunos grupos de mineros, hizo que muchos dejaran de pagar sus derechos y por tanto entraron nuevamente al espectro de la “informalidad”, al punto que al 2011, 99% de los mineros eran informales. Por otra parte, el Estado empezó a re-organizarse y buscar la generación de normas más apropiadas a la realidad.

Mientras tanto, la migración no cesó. Los precios del oro siguieron elevados, especialmente después que varios países entraron en crisis económica. Incluso mineros asiáticos y centroamericanos vinieron a Perú en busca de oportunidades.

En noviembre del 2011 se promulgó el decreto de urgencia 007, y en un trabajo coordinado de varias instituciones se inició la destrucción de la infraestructura de gran parte de los mineros ilegales (dragas y campamentos en cabeceras de cuenca, principalmente). Ello implicó la intervención de la Marina y la Policía Nacional durante al menos 6 meses. Paralelamente y desde entonces, un equipo dirigido por la Presidencia del Consejo de Ministros está planteando un programa de formalización a cinco años para eliminar las causas que hacen que la minería se mantenga desregulada.

Las protestas y paros de los afectados por la destrucción de la infraestructura productiva no se hicieron esperar y han llegado a presentarse escenas de extrema violencia contra terceros y contra construcciones. El caso del asentamiento minero La Pampa, fue particularmente simbólico, ya que al menos 5000 familias mineras se vieron desplazadas de la zona de amortiguamiento de la reserva Tambopata y a consecuencia de ello, están buscando dónde re-asentarse y trabajan a escondidas. Mientras tanto, las fuerzas armadas y la policía siguen vigilantes.

En febrero del 2012 se promulgaron los decretos supremos 1100, 1101, 1102 y 1103, en los cuales se establece que:

- Las atribuciones de fiscalización quedarán en manos del gobierno regional (GORE), la Dirección General de Capitanías y Guardacostas del Perú (DICAPI) y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).
- La minería ilegal está prohibida y al detectarse deberán decomisarse o destruirse sus activos.
- Los instrumentos ambientales del sector se simplificarán y adecuarán a la realidad.
- Se creará un fondo para que la empresa estatal “Activos Mineros S.A.C.” rehabilite áreas impactadas.
- Se controlará el comercio de hidrocarburos e insumos químicos fundamentales para la minería.
- La actividad minera ilegal tendrá pena de cárcel.

Ante ello, las asociaciones mineras han dividido sus posturas pero casi todos se oponen a las medidas tomadas por una razón fundamental: la minería es hoy en día el medio de vida principal en la región y el sustento de por lo menos 25000 personas. Inclusive los representantes de las comunidades nativas han participado del paro nacional que ha significado la pérdida no sólo de vidas humanas sino de S/. 1.5 millones al día para los pobladores. El paro terminó en marzo del 2012 y desde entonces se ha aperturado una mesa de diálogo.

La posición de la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM) es apoyar a los mineros informales que actúan en el marco de la legalidad para que realicen actividades sostenibles en el corredor asignado para la minería. Para ello:

- Brindará asesoría técnica intensiva a través de la DREM.
- Identificará programas complementarios de desarrollo y de reforestación.
- Implementará un plan intensivo de comunicaciones para fomentar la formalización.

En abril se ha publicado además:

- El decreto legislativo 1104, que modifica la legislación sobre pérdida de dominio y permite que al identificarse delitos ambientales y minería ilegal la titularidad de los bienes y ganancias de la actividad pasen al Estado.

- El decreto legislativo 1105, que establece condiciones y procedimientos para la formalización de los mineros que ejercen en áreas permitidas, crea un fondo para el mismo fin, promueve el apoyo de la minería formal a la informal, y crea una comisión interinstitucional permanente sobre el tema.
- El decreto legislativo 1106, que establece la normatividad procesal para los delitos vinculados a la minería ilegal.

En este contexto de generación de nuevas normas y de resistencia al cambio, el Estado aceptó la ampliación del plazo de formalización, de 1 a 2 años.

En la Figura 92, se presenta la perspectiva histórica desarrollada por Pro-Naturaleza (2011) que resalta las normas relevantes para la actividad así como los acontecimientos institucionales que afectaron la respuesta de los actores sociales en los últimos años. En la Figura 96 se puede apreciar una línea de tiempo que compara los eventos representativos ocurridos desde 1900 hasta la fecha, a nivel regional, nacional e internacional, y que influyeron en la evolución de la minería aluvial.



FIGURA 92: Línea de tiempo considerando conflictos con enfrentamiento y variaciones de la normativa.

FUENTE: Pronaturaleza (2011).



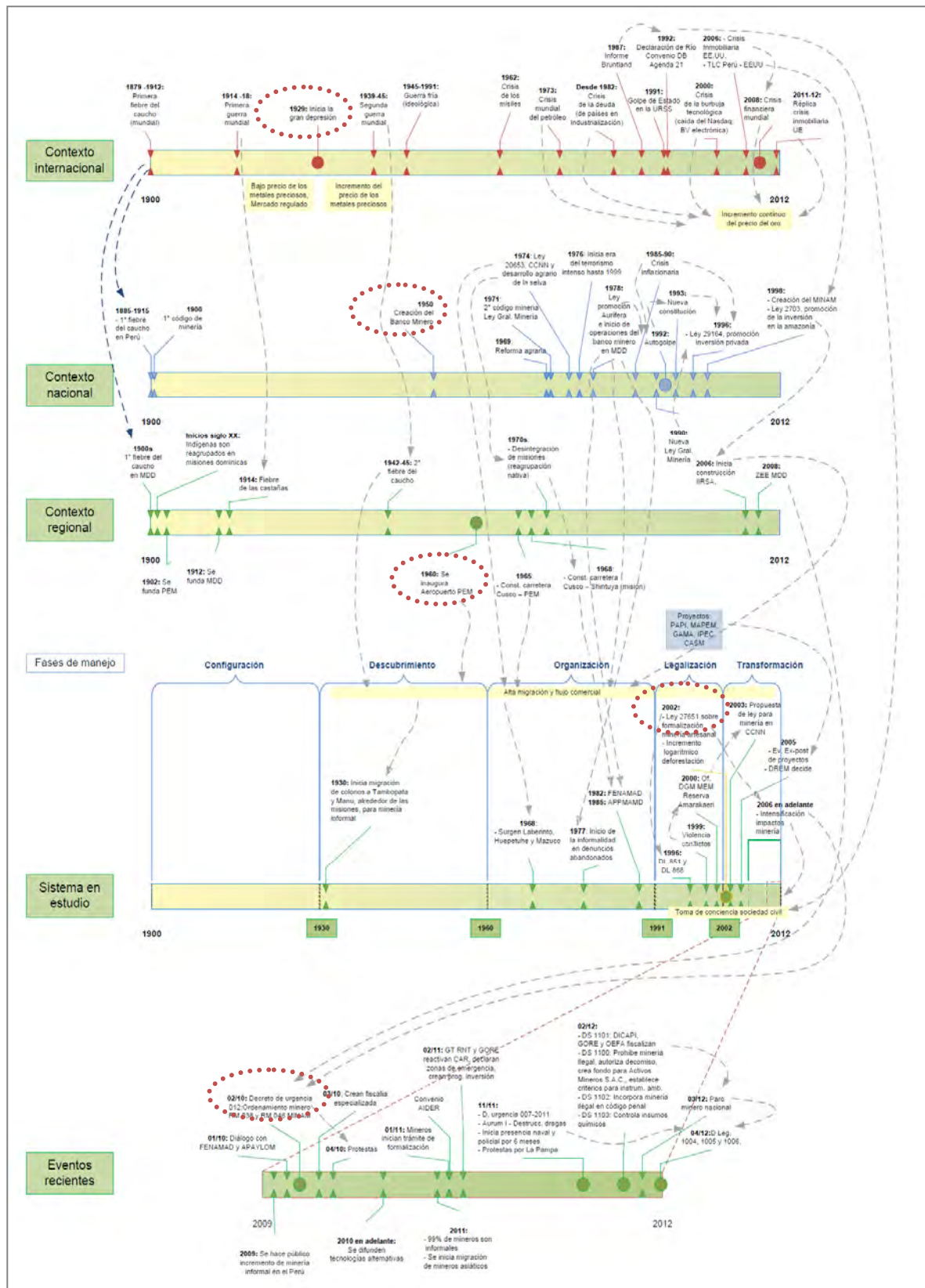


FIGURA 93: Evaluación multi-temporal y multi-escalar del caso.

FUENTE: Elaboración propia (2012).



A continuación se resume los principales factores que desencadenaron los cambios de eras de manejo:

A escala internacional:

- El incremento del precio del oro, que a su vez ha sido ocasionado debido a las guerras y a las principales crisis económico-financieras mundiales.
- El incremento de la conciencia ambiental promovido a partir de las cumbres de Naciones Unidas.

A escala nacional:

- Los vaivenes de la regulación que afectan la actividad minera (códigos de minería, ley de promoción aurífera, leyes de formalización y de regulación ambiental, de comunidades nativas, etc.)
- Los incentivos económicos (legales como el Banco Minero, e ilegales como el mercado negro del oro y la cadena de comercialización de insumos).
- La migración de la población hacia Madre de Dios, en búsqueda de medios de vida alternativos (en el caso del terrorismo) y/o más rentables (en el caso de los *booms* extractivos).

A escala regional:

- El creciente acceso a mejores medios de comunicación (reconocimiento de rutas fluviales, carreteras, aeropuerto, tecnologías de la información).
- El nivel de intensificación de la minería (dependiente de la maquinaria y determinante del volumen de producción y del impacto ambiental).

Se puede apreciar que la primera era inició hacia 1900 dado que a inicios de siglo se promulgó el primer Código de Minería donde se establecía que el propietario de un terreno era dueño también de los recursos minerales del subsuelo. Además en estos años, el *boom* del caucho llegó a Madre de Dios con fuerza y afectó tanto la conectividad como la idiosincrasia de los pobladores la región.

La segunda era se inició hacia 1930 cuando muchos colonos llegaron a trabajar en los lavaderos de oro por el sistema de enganche, debido al incremento del valor del oro en el mercado internacional, dada la gran depresión norteamericana.

La tercera era inició con la apertura del aeropuerto en Puerto Maldonado, que permitió la intensificación de la minería e incrementó la migración y la creación de los actuales clusters mineros. Llegó a su clímax en 1978 con la ley de promoción aurífera.

En 1990 comenzó la era de la legalización cuando se promulgó una nueva Ley General de Minería que dio derecho pleno de explotación a los concesionarios mineros. Así, desde 1991 se inició una nueva etapa en la historia de la minería aluvial. Cambios en la constitución, mayor conciencia ambiental y grandes conflictos sociales caracterizaron esta época, en la cual se legisló a favor de la actividad, aunque estableciendo trámites casi inviables de implementar. Mientras tanto, el precio del oro se mantuvo como un factor profundamente atractivo para los mineros.

En el 2002 empezó la era de la transformación, la Ley de Formalización generó cambios en la estructura de administración de las concesiones mineras, y por lo tanto la actividad se intensificó de manera desordenada. El oro incrementó su precio exponencialmente y los impactos de la actividad extractiva también aumentaron. A partir del 2010 la transformación se agudizó por la intervención interinstitucional del gobierno.

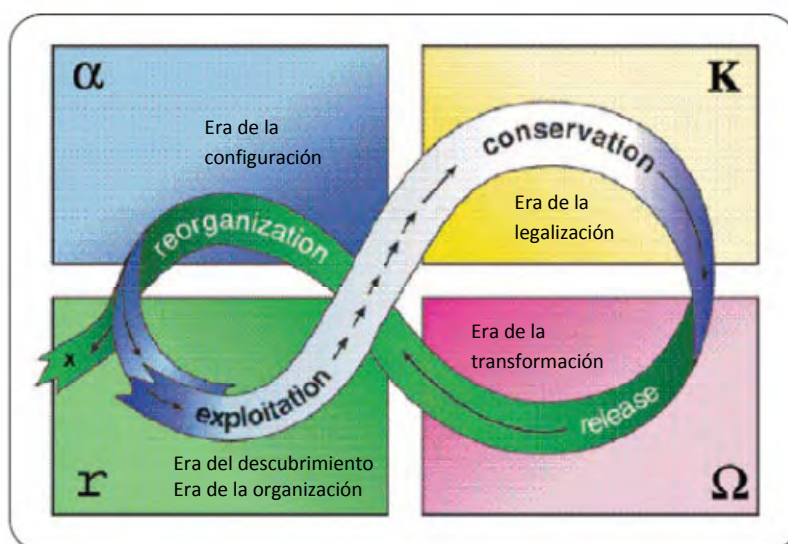
Se puede observar que el principal incentivo para la actividad se controla a nivel internacional (el precio del oro) y depende de la estabilidad de los mercados internacionales, por lo cual lo más probable es que siga en incremento hasta que ocurra una crisis global que genere un cambio del patrón de las reservas.

Además, los factores que generaron cambios en el sistema han provenido mayoritariamente de escalas mayores: internacionales o nacionales. Los eventos locales solo han sido determinantes en la configuración de los conflictos socioambientales específicos y en el nivel de intensificación de la actividad. El factor más influyente y que cruza escalas ha sido la migración hacia la región.

#### 4.3.5. DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL DEL CICLO ADAPTATIVO

Al analizar la historia de la minería aluvial en Madre de Dios desde la perspectiva de los ciclos adaptativos, se observa que las eras de manejo coinciden con las siguientes fases:

- Fase de crecimiento: Corresponde a la era del descubrimiento y la era de la organización (de 1930 a 1990), en las cuales la mayor parte de los recursos estaban disponibles.
- Fase de mantenimiento: Aunque inició a fines de la era de la organización, se potenció en la era de la legalización (entre 1991 y el 2002).
- Fase del colapso: Equivale a la era de la transformación, iniciada el 2002 y que se ha intensificado desde el 2010, cuando se emitió el decreto de urgencia que definió las áreas de exclusión minera, lo cual hizo visible la intervención del Estado.
- Fase de reorganización: Se vivió una reorganización después de la fiebre del caucho, a inicios del siglo XX, durante la era de la configuración del *boom* de la minería informal. Actualmente el sistema se mueve hacia una nueva reorganización que posiblemente demore entre 2 y 5 años (dado que este es el plazo establecido por los actores políticos para formalizar y controlar la actividad minera en la región).



**FIGURA 97: Ciclo adaptativo del sistema social – ecológico afectado por la minería informal en Madre de Dios.**

FUENTE: Elaboración propia en base a propuesta de Gunderson y Holling, (2002).

Desde esta perspectiva es posible identificar un ciclo adaptativo completo en la historia de la minería aluvial en Madre de Dios. Sin embargo, cabe mencionar que con más datos de variables clave se podría describir ciclos de menor escala, dentro cada fase.

Respecto al ciclo principal, en los últimos años se ha evidenciado que el sistema muestra síntomas de la trampa de la pobreza, es decir, ha perdido en gran parte su capacidad de recuperación y no logra pasar de  $\Omega$  a  $\alpha$  y mantenerse. Ello debido a la influencia de los sistemas de menor escala, que cuya reconfiguración necesitaría cambios estructurales. Aunque existe información histórica que es posible rescatar para tomar mejores decisiones de manejo, el sistema también muestra algunos signos de la trampa de la rigidez. Inercia, resistencia a la innovación y baja capacidad adaptativa caracterizan a varios de los actores sociales.

El ciclo adaptativo del sistema social ecológico abarca más un siglo, en el cual el “boom del oro” se generó, se desarrolló y modificó el hábitat, los medios de vida y capitales del sistema. Se puede apreciar que las eras que forman parte del *loop* positivo demoraron 72 años, mientras que las de *loop* inverso han sido abruptas y cortas. Por ejemplo: la era de la transformación data de apenas una década y ya ha generado cambios significativos en la organización de los actores involucrados en la minería informal. La era de la configuración, que se dio a inicios de siglo, duró tres décadas, debido a lo poco interconectada que se encontraba la región en dicha época. En la actualidad una etapa de re-configuración, una vez controladas las trampas de la pobreza y la rigidez, probablemente tomaría un período mucho menor, dependiendo de la intensidad de las fuerzas motrices que determinan las conductas de los actores sociales (precio de los minerales, migración, disponibilidad de medios de vida alternativos, entre otras).

Se puede observar que la era de la legalización ha sido muy corta (apenas una década) e inclusive es posible interpretarla como una fase de pre-colapso. Si bien permitió el mantenimiento e intensificación del sistema de explotación minera, también desencadenó cambios importantes en la opinión pública y en la organización del Estado peruano, lo cual propició que en la era de la transformación se tomase la decisión de priorizar la problemática de Madre de Dios e intervenir la actividad. El sistema ha tendido a no desarrollar una fase de conservación o ésta ha sido efímera, ello ratifica que se encuentra afectado por la trampa de la pobreza y evidencia que es altamente dinámico y

sensible a las perturbaciones. Además, ya en la etapa de legalización muestra un declive significativo de los capitales natural, social y humano.

Se ha evaluado los capitales del sistema social ecológico en cada una de las eras de manejo. La valoración ha seguido los siguientes criterios:

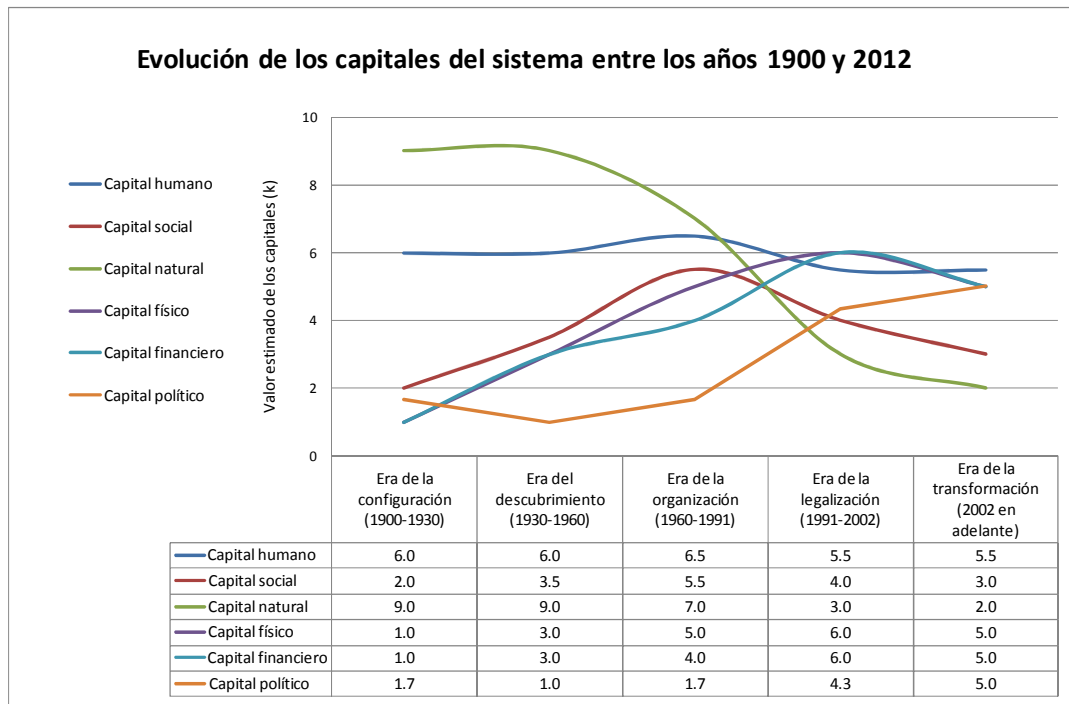
- Capacidad muy alta, desarrollada = 9 = MA
- Capacidad alta = 7 = A
- Capacidad baja = 3 = B
- Capacidad muy baja o muy poco desarrollada = 1 = MB

Los resultados cuantitativos se muestran en el Cuadro 15 y la Figura 94. No existe valoración intermedia (5) para que se evidencie la tendencia real del sistema. En el Cuadro 16, la cuantificación de cada capital es el promedio de las variables que lo componen. El promedio de todos los capitales en cada era representa el nivel de sostenibilidad de la minería aluvial, siendo 1 = insostenible y 9 = muy sostenible.

**CUADRO 15: Valoración cuantitativa de los capitales identificados con el enfoque de medios de vida sostenibles (MVS).**

| Capital              | Variables de cada capital             | Fase $\alpha$                       | Fase r                             |                                    | Fase k                             | Fase ?                                      |
|----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
|                      |                                       | Era de la configuración (1900-1930) | Era del descubrimiento (1930-1960) | Era de la organización (1960-1991) | Era de la legalización (1991-2002) | Era de la transformación (2002 en adelante) |
| Capital humano       | Adaptabilidad                         | 9                                   | 9                                  | 7                                  | 3                                  | 3   |
|                      | Conocimientos y formación             | 1                                   | 1                                  | 3                                  | 7                                  | 9   |
|                      | Capacidades laborales                 | 7                                   | 7                                  | 9                                  | 9                                  | 9   |
|                      | Salud                                 | 7                                   | 7                                  | 7                                  | 3                                  | 1   |
|                      | <b>Total</b>                          | <b>6.0</b>                          | <b>6.0</b>                         | <b>6.5</b>                         | <b>5.5</b>                         | <b>5.5</b>                                  |
| Capital social       | Redes                                 | 3                                   | 7                                  | 9                                  | 9                                  | 9   |
|                      | Adhesión a reglas legitimadas         | 1                                   | 1                                  | 3                                  | 3                                  | 1   |
|                      | Relaciones de confianza               | 1                                   | 3                                  | 3                                  | 1                                  | 1   |
|                      | Reciprocidad y cooperación            | 3                                   | 3                                  | 7                                  | 3                                  | 1   |
|                      | <b>Total</b>                          | <b>2.0</b>                          | <b>3.5</b>                         | <b>5.5</b>                         | <b>4.0</b>                         | <b>3.0</b>                                  |
| Capital natural      | Acceso a RR.NN.                       | 9                                   | 9                                  | 7                                  | 3                                  | 3   |
|                      | Calidad de los RR.NN.                 | 9                                   | 9                                  | 7                                  | 3                                  | 1   |
|                      | <b>Total</b>                          | <b>9.0</b>                          | <b>9.0</b>                         | <b>7.0</b>                         | <b>3.0</b>                         | <b>2.0</b>                                  |
| Capital físico       | Infraestructura básica                | 1                                   | 3                                  | 3                                  | 3                                  | 3   |
|                      | Bienes de producción                  | 1                                   | 3                                  | 7                                  | 9                                  | 7   |
|                      | <b>Total</b>                          | <b>1.0</b>                          | <b>3.0</b>                         | <b>5.0</b>                         | <b>6.0</b>                         | <b>5.0</b>                                  |
| Capital financiero   | Ingresos                              | 1                                   | 3                                  | 7                                  | 9                                  | 9   |
|                      | Liquidez (ahorros, créditos, remesas) | 1                                   | 3                                  | 1                                  | 3                                  | 1   |
|                      | <b>Total</b>                          | <b>1.0</b>                          | <b>3.0</b>                         | <b>4.0</b>                         | <b>6.0</b>                         | <b>5.0</b>                                  |
| Capital político     | Participación                         | 3                                   | 1                                  | 3                                  | 7                                  | 7   |
|                      | Gobernanza                            | 1                                   | 1                                  | 1                                  | 3                                  | 7   |
|                      | Capacidad gestionar conflictos        | 1                                   | 1                                  | 1                                  | 3                                  | 1   |
|                      | <b>Total</b>                          | <b>1.7</b>                          | <b>1.0</b>                         | <b>1.7</b>                         | <b>4.3</b>                         | <b>5.0</b>                                  |
| <b>Total General</b> |                                       | <b>3.4</b>                          | <b>4.3</b>                         | <b>4.9</b>                         | <b>4.8</b>                         | <b>4.3</b>                                  |

FUENTE: Elaboración propia, 2012.



**FIGURA 94: Evolución de los capitales durante el ciclo adaptativo de la “fiebre del oro”.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).

El capital humano se ha mantenido casi constante a través de la historia, aunque mostró una leve reducción a partir de la era de la legalización. Sin embargo, al observar la evolución de las variables que lo componen, se puede notar grandes cambios. Tanto las capacidades laborales como los niveles de conocimiento se han incrementado en las últimas décadas debido al incremento de los flujos de información. Sin embargo, la salud de la población se ha visto seriamente afectada debido a la exposición crónica a ambientes y alimentos contaminados. La adaptabilidad se ha ido reduciendo porque los mineros migrantes han desarrollado pocas capacidades para actividades alternativas y muchos de ellos están vinculados a la minería mediante sistemas de “enganche” o de explotación.

El capital social tuvo un pico en era de la organización, pero desde los años 90s se ha venido reduciendo, fundamentalmente a raíz de la agudización de conflictos o desavenencias entre actores. Si bien cada vez hay más redes y conexiones entre los mineros y su cadena de valor, se han ido perdiendo las relaciones de confianza y por lo tanto la cooperación y reciprocidad que existía en las pequeñas agrupaciones. En el mundo de la mediana minería informal. Las reglas casi no existen, y las únicas que han sido legitimizadas están en función de la organización social de cada cluster minero o de cada

asociación. En los últimos años, la interacción entre asociaciones y clusters se ha ido perdiendo debido que cada uno está defendiendo sus propios intereses.

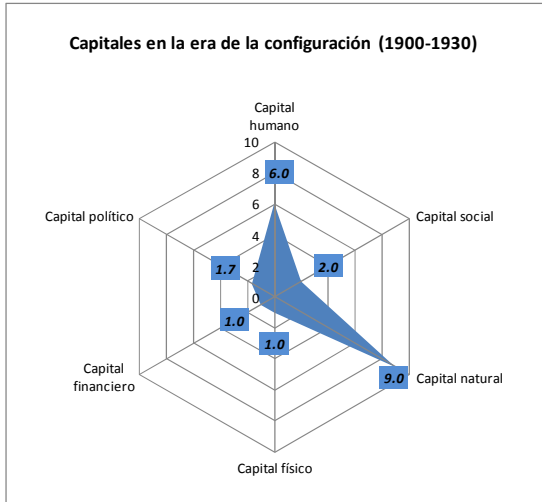
Se puede apreciar que con el pasar del tiempo el capital natural se ha ido reduciendo en lo que respecta a calidad y acceso a recursos naturales. Así, a partir de la era de la organización, los servicios ambientales se empezaron a ver afectados, y en la actualidad el daño es sistemático y de largo plazo.

El capital físico se fue incrementando hasta mediados de la década pasada debido a que los mineros aprovecharon la desregulación estatal y los beneficios tributarios existentes en la Amazonía para aprovisionarse con bienes de producción. Sin embargo, al no existir un manejo comunitario de los fondos ni pago de impuestos, los ingresos de la minería informal no se invirtieron en infraestructura para el desarrollo (salud, educación, energía, telecomunicaciones). Además, las recientes intervenciones del Estado para destruir el capital de trabajo de los mineros asentados en áreas vulnerables, han reducido el capital físico.

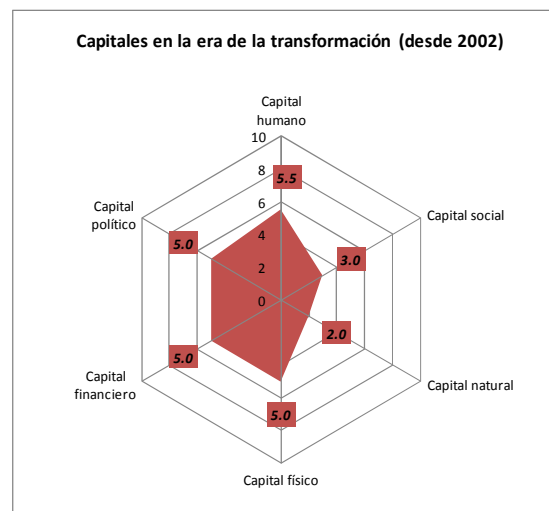
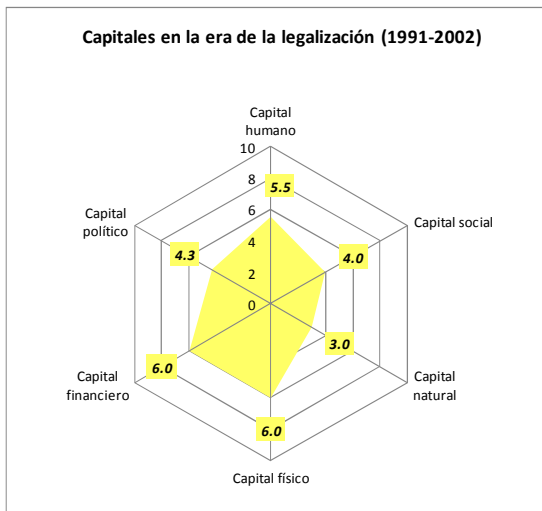
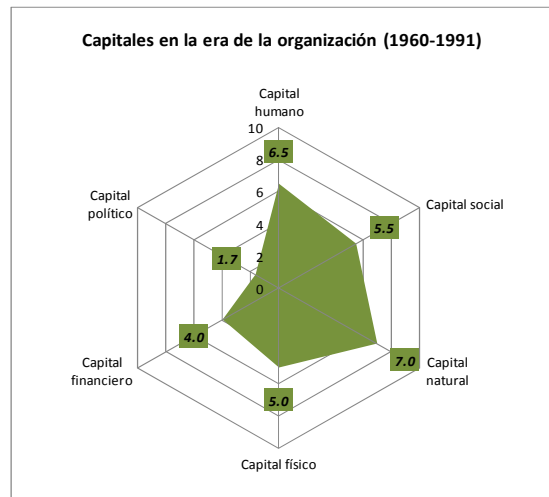
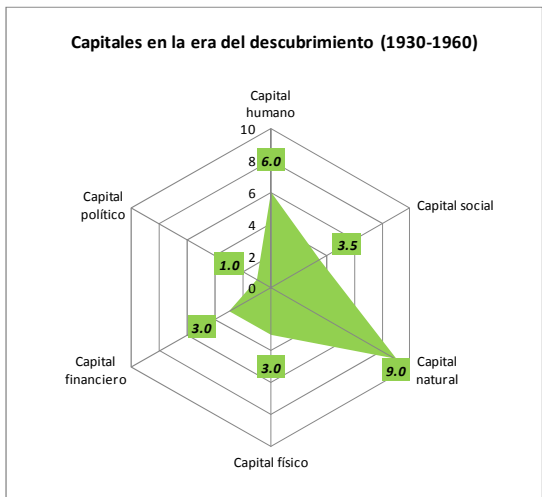
El capital financiero ha ido en aumento, tal como el precio del oro en el mercado internacional, a pesar de los vaivenes del Banco Minero. Sin embargo, en la etapa de transformación, las limitaciones en el acceso a créditos y subsidios así como las trabas creadas para la provisión de insumos han hecho más costosa la actividad y por lo tanto, han reducido su rentabilidad y el nivel de liquidez de los mineros. Esto se ha visto compensado por el crecimiento exponencial del valor de los metales preciosos tanto el mercado formal como en el mercado negro.

El capital político se mantuvo bajo hasta inicios de los 90s, sin embargo, en las últimas tres décadas la participación de los mineros y comunidades nativas en las decisiones políticas y en los procesos de incidencia legal se han evidenciado claramente. Asimismo, nuevos actores han aparecido, generando una masa crítica de opinión pública que cuestiona la informalidad de la actividad. Por su parte, la capacidad de manejar asertivamente los conflictos sigue siendo muy baja, debido a que desde la primera intervención de la minería en la selva de la región Madre de Dios se dieron enfrentamientos entre los poseionarios de los territorios y los migrantes, y luego entre comunidades y colonos, entre entidades del Estado, entre concesionarios de

actividades alternativas y mineros, etc. A pesar de todo ello, el nivel de gobernanza se ha incrementado en los últimos años y existe actualmente una mejor articulación interinstitucional y voluntad política de lograr un cambio.



**FIGURAS 95, 96, 97, 98 y 99:**  
**Estado de los capitales en cada una de las eras de manejo del sistema social ecológico afectado por la minería aluvial.**



FUENTE: Elaboración propia (2012).



En resumen, la sostenibilidad de la actividad ha sido siempre baja a muy baja. Durante la configuración, los bajos niveles de capital físico, social y financiero hacían de la minería un emprendimiento de alto riesgo. En la era del descubrimiento, la sostenibilidad se incrementó porque estos tres capitales se estabilizaron en niveles moderados. Sin embargo, tácitamente se estableció un sistema típico de trabajo, donde se propiciaba que la actividad minera fuese itinerante, estacional y poco organizada.

En la era de la organización se incrementó el capital humano y sobretodo el capital social al crearse clusters y asociaciones de mineros, que fueron adquiriendo cada vez más bienes de producción. En la era de la legalización las finanzas y el capital político mejoraron, pero el capital natural empezó a mostrar evidencias de impactos y la conciencia sobre las condiciones de explotación aumentó la desconfianza y por tanto redujo el capital social. En fase actual, que corresponde a la transformación, tanto el capital social como el natural siguen reduciéndose pero adicionalmente, se está intentando controlar la intensificación de la actividad eliminando capital físico.

**CUADRO 16: Valoración cualitativa de los capitales identificados con el enfoque de medios de vida sostenibles (MVS).**

| Capital              | Variables de cada capital             | Fase $\alpha$                       | Fase r                             |                                    | Fase k                             | Fase $\Omega$                               |
|----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
|                      |                                       | Era de la configuración (1900-1930) | Era del descubrimiento (1930-1960) | Era de la organización (1960-1991) | Era de la legalización (1991-2002) | Era de la transformación (2002 en adelante) |
| Capital humano       | Adaptabilidad                         | MA                                  | MA                                 | A                                  | B                                  | B   |
|                      | Conocimientos y formación             | MB                                  | MB                                 | B                                  | A                                  | MA  |
|                      | Capacidades laborales                 | A                                   | A                                  | MA                                 | MA                                 | MA  |
|                      | Salud                                 | A                                   | A                                  | A                                  | B                                  | MB  |
| Capital social       | Redes                                 | B                                   | A                                  | MA                                 | MA                                 | MA  |
|                      | Adhesión a reglas legitimizadas       | MB                                  | MB                                 | B                                  | B                                  | MB  |
|                      | Relaciones de confianza               | MB                                  | B                                  | B                                  | MB                                 | MB  |
|                      | Reciprocidad y cooperación            | B                                   | B                                  | A                                  | B                                  | MB  |
| Capital natural      | Acceso a RR.NN.                       | MA                                  | MA                                 | A                                  | B                                  | B   |
|                      | Calidad de los RR.NN.                 | MA                                  | MA                                 | A                                  | B                                  | MB  |
| Capital físico       | Infraestructura básica                | MB                                  | B                                  | B                                  | B                                  | B   |
|                      | Bienes de producción                  | MB                                  | B                                  | A                                  | MA                                 | A   |
| Capital financiero   | Ingresos                              | MB                                  | B                                  | A                                  | MA                                 | MA  |
|                      | Liquidez (ahorros, créditos, remesas) | MB                                  | B                                  | MB                                 | B                                  | MB  |
| Capital político     | Participación                         | B                                   | MB                                 | B                                  | A                                  | A   |
|                      | Gobernanza                            | MB                                  | MB                                 | MB                                 | B                                  | A   |
|                      | Capacidad gestionar conflictos        | MB                                  | MB                                 | MB                                 | B                                  | MB  |
| <b>Total General</b> |                                       |                                     |                                    |                                    |                                    |   |
| % MA (Muy Alto)      |                                       | 18%                                 | 18%                                | 12%                                | 24%                                | 24%   |
| % A (Alto)           |                                       | 12%                                 | 18%                                | 41%                                | 12%                                | 18%   |
| % B (Bajo)           |                                       | 18%                                 | 35%                                | 29%                                | 59%                                | 18%   |
| % MB (Muy Bajo)      |                                       | 53%                                 | 29%                                | 18%                                | 6%                                 | 41%   |

FUENTE: Elaboración propia, 2012.

Con la finalidad de identificar si existen diferencias significativas entre las eras de manejo y entre las fases del ciclo adaptativo en función al desarrollo de los capitales, se replicó la valoración a términos cualitativos (ver Cuadro 16) y se realizó análisis de componentes principales, análisis de similitud y análisis de clusters en base al porcentaje de capitales que se encontraron en los rangos: Muy Alto, Alto, Bajo y Muy Bajo. Los resultados se detallan en el Anexo Y.

El análisis de componentes principales muestra que el primer componente explica el 74% de la varianza y el segundo el 24%, sin embargo analizando los autovalores sólo el primero es significativo. Los diagramas de influencia, estimados tanto en base a coeficientes de regresión como en base a correlaciones, muestran que el primer componente está significativamente relacionado con estados poco sostenibles del sistema social ecológico (gran cantidad de capitales valorados como bajos o muy bajos).

La gráfica de componentes evidencia que aunque son diferentes entre si, las etapas de descubrimiento y organización tienen en común que están dominadas por un nivel alto o muy alto en los capitales, en cambio las eras de configuración y transformación son similares por tener una muy baja resiliencia y sostenibilidad.

La gráfica de cajas y bigotes evidencia que existe mayor variabilidad entre las variables de los capitales que tienen un nivel de desarrollo bajo o muy bajo. El ANOSIM (o análisis de similitud) que utilizó la distancia de Bray – Curtis. No encontró diferencias significativas entre los estados del sistema en las diferentes eras de manejo, por lo que se deduce que existe cierto grado de similitud entre los capitales. En el análisis de clusters se hace evidente que las mayores semejanzas se dan entre variables valoradas como de desarrollo “alto” o “muy alto” y entre las etapas de: transformación y configuración, y de descubrimiento y organización. Las evaluaciones de clusters con K medias y con el método de Ward, ratifican que las eras del descubrimiento y de la organización pueden considerarse parte de una misma fase.

A continuación se resume las variables clave de los capitales, cuya variación habría propiciado los cambios de fase en el ciclo adaptativo:

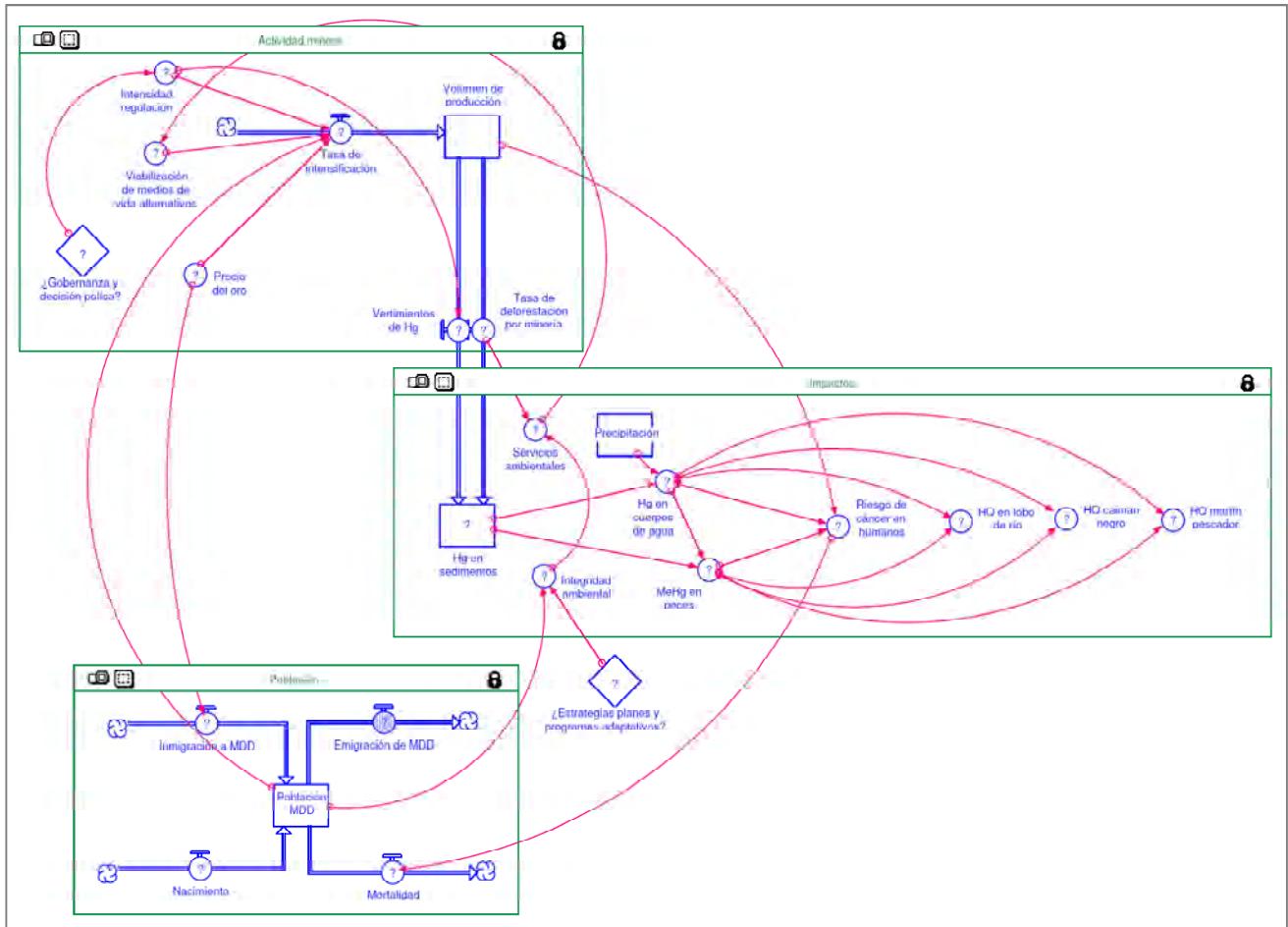
- De la “fase  $\Omega$ ” del ciclo anterior (fiebre del caucho) a la “fase  $\alpha$ ” (era de la configuración):

- Acceso a los recursos naturales
- Adaptabilidad
- De la “fase  $\alpha$ ” a la “fase r” (era del descubrimiento):
  - Acceso a los recursos naturales
  - Adaptabilidad
  - Disponibilidad de bienes de capital e infraestructura
- De la “fase r” a la “fase k”’:
  - Calidad de los recursos naturales
  - Disponibilidad de bienes de producción
  - Nivel de ingresos
  - Nivel de participación en la toma de decisiones
- De la “fase k” a la “fase  $\Omega$ ”’:
  - Calidad de los recursos naturales
  - Disponibilidad de bienes de producción
  - Nivel de conocimientos
  - Gobernanza

Se evidencia claramente que tanto el libre acceso a explotar los recursos naturales (debido a la desregulación Estatal) así como la calidad de los mismos son variables que experimentan cambios de largo plazo y que afectan el estado del sistema, propiciando incluso transiciones. En la medida en que la calidad del capital natural, la salud, la capacidad laboral y la adaptabilidad del capital humano se mantengan, la reorganización después de una fase omega es viable. Sin embargo, variables como el nivel de intensificación de los bienes de producción, los conocimientos y la gobernanza, pueden definir cambios en la trayectoria del sistema.

Tanto la eficiencia como la flexibilidad del sistema dependen de la disponibilidad de recursos naturales (tierras, minerales, alimentos) y de la rentabilidad de la actividad minera. Si la actividad no fuese fácil de ejecutar en casi todo el territorio de Madre de Dios y no generase ingresos diferenciados respecto a otros medios de vida, dejaría de ser interesante para los productores. Queda claro que la dinámica de explotación está ocasionando que cada vez existan menos recursos disponibles para actividades alternativas. Sin embargo, la flexibilidad laboral de los mineros se mantiene fundamentalmente gracias a las actividades comerciales.

Para complementar el análisis de la sostenibilidad del medio de vida, a continuación se muestra un modelo conceptual construido con las variables medibles que más han afectado la trayectoria del sistema en el tiempo:



**FIGURA 100: Mapa conceptual de la dinámica e impactos de la minería.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).

El esquema se ha dividido en 3 partes:

- Dinámica de la actividad minera:

La gobernanza y la decisión política son entradas clave para determinar la intensidad de la regulación y por ende tanto la cantidad de vertimientos de mercurio al ambiente como la tasa de intensificación de la actividad. La intensificación también determina si habrá incrementos en el volumen de producción y por ende, en la tasa de deforestación causada por ésta actividad.

La intensificación tecnológica sin embargo, depende fuertemente de los ingresos que se puedan obtener y ello está asociado al precio del oro en la cadena de valor. Se puede reducir sólo en caso los mineros tengan alternativas para invertir su dinero en bienes de producción para medios de vida alternativos, viables y rentables.

- Dinámica de los impactos ambientales:

En el mediano y largo plazo, los accesos que los mineros abren hacia áreas poco habitadas facilitan la explotación de los recursos naturales de la zona y con frecuencia, el incremento de la deforestación. Ello afecta los servicios ambientales del bosque y la integridad ambiental en todos sus componentes. La pérdida o reducción de los servicios ambientales genera un *feedback* negativo sobre la actividad minera, ya que los pobladores encuentran cada vez menos actividades productivas sostenibles.

Por su parte, el uso del mercurio no sólo afecta a los usuarios directos sino a todo el ecosistema. Así, éste elemento termina depositándose en los sedimentos, se introduce en la cadena trófica a través de los peces y lograr permanecer en el ambiente indefinidamente.

Mientras las concentraciones de mercurio en agua pueden variar según la época del año (en períodos de estiaje la concentración es mayor debido a que los volúmenes de agua son menores), las especies metiladas de mercurio se bioconcentran en los organismos vivos y se biomagnifican en el tiempo hasta generar un riesgo significativo de cáncer para humanos y especies sensibles, y/o daños graves a la salud.

La integridad ambiental no se construye ni se deteriora en períodos cortos. Los impactos más graves son los que trascienden décadas y afectan el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas, incluyendo a especies y poblaciones claves. En la medida que no existan estrategias, planes y programas adaptativos para abastecer de recursos de manera sostenible a la creciente población y evitar las entradas de contaminantes persistentes al ecosistema, la integridad ambiental seguirá reduciéndose, dado que la capacidad adaptativa del ecosistema está siendo rebasada.

- Dinámica de la población:

Los altos flujos migratorios causados por el elevado precio del oro y la disponibilidad de vías de comunicación han sido determinantes en la masificación de la actividad minera en Madre de Dios. La inmigración se ha mantenido más alta que la emigración por varias décadas y la tasa de natalidad del departamento es alta. Si bien también existe una tasa de mortalidad significativa, causada en parte por los efectos en la salud que tiene la actividad minera, el saldo final es que la población ha ido creciendo exponencialmente en la región, con la particularidad adicional que no es estable, ya que los habitantes se encuentran en continuo *itinerare*. Ello también ha tenido impactos en la calidad ambiental y en la tasa de intensificación de la actividad minera.

Aunque no se ha corrido matemáticamente el modelo, se ha identificado las principales tendencias de las variables. Para el caso de las que corresponden a la dinámica minera, las tendencias son:

- Precio del oro: Crecimiento logarítmico a través del tiempo.
- Gobernanza y decisión política: Comportamiento discreto (sí / no).
- Intensidad de la regulación: Casi uniforme históricamente, con incremento exponencial desde la era de la legalización.
- Tasa de intensificación de la actividad, volumen de producción, vertimientos y tasa de deforestación: Crecimiento logarítmico desde los años sesenta y exponencial desde inicios del 2000.
- Viabilización de medios de vida alternativos: Crecimiento lineal desde mediados de los años noventa. Tasa de crecimiento moderada a baja.

Las variables que sintetizan los impactos han tenido la siguiente tendencia:

- Mercurio en sedimentos y riesgo de cáncer: Crecimiento exponencial en el tiempo, sobretudo las últimas dos décadas.
- Mercurio en agua: Crecimiento lineal en las últimas décadas.
- Integridad ambiental y servicios ambientales: Decrecimiento lineal.
- Precipitación: Componente aleatorio y estacional, con tendencia a incrementar su variabilidad.

- Estrategias adaptativas: Comportamiento discreto (sí / no), dependiente de la gobernabilidad y los capitales de los medios de vida.

Las tendencias de las variables de la población son:

- Población total, inmigración y natalidad: Crecimiento logarítmico.
- Mortalidad: Crecimiento lineal, dependiente del riesgo de cáncer para humanos.
- Emigración: Decrecimiento lineal.

De todas las variables que han sido incluidas, se considera que aquellos factores clave que han determinado la dinámica del sistema son:

- El precio del oro.
- La tasa de migración.
- El nivel de gobernanza.
- El nivel de intensificación de la actividad.
- El nivel de contaminación por mercurio generado por la actividad.

Como se ha mencionado anteriormente, existen otros ciclos adaptativos que ocurren de manera paralela, fuera del sistema, pero que lo han venido afectando. Por ejemplo:

- Los ciclos adaptativos de la economía global, con sus crisis continuas.
- Los ciclos políticos en el país, que han propiciado mayor o menor apertura y conectividad con otros mercados.
- El ciclo de la conciencia ambiental global y sus consecuencias en políticas y regulaciones nacionales y locales.
- El ciclo generacional de los mineros. Actualmente muchos de los mineros jóvenes son personas que se han criado en dicho contexto y consideran que la actividad no genera grandes impactos.

#### **4.3.6. IDENTIFICACIÓN DE ESTADOS ALTERNATIVOS**

En el Cuadro 17 se muestra el análisis de la evolución histórica de estados alternativos del sistema en función a las variables clave seleccionadas. Se describe las principales características y tendencias en cada estado y en cada período de transición. Los períodos de transición seuxtaponen 3-5 años con las fases anterior y posterior. Las fases

de transición pueden considerarse también como etapas  $\Omega$  de otras escalas, en las cuales el sistema cambió de estado y atractor, pero no se transformó.



**CUADRO 17: Evolución de estados alternativos del sistema.**

| Variables clave  | Tasa de cambio  | Asuntos relacionados  | Transición 1   | Fase α                              |  | Fase r       |   | Transición 3 | Fase k   |                                    | Transición 4   | Fase Ω                                      |  | Transición 5 | Observaciones  |   |  |   |   |   |
|--|---|---|--|-------------------------------------|--|--------------|---|--------------|--|------------------------------------|--|---|--|--------------|--|---|--|---|---|---|
|  |   |   |  | Era de la configuración (1900-1930) |  | Transición 2 | Era del descubrimiento (1930-1960)  |              | Era de la organización (1960-1991)   | Era de la legalización (1991-2002) |  | Era de la transformación (2002 en adelante) |  |              |  |   |  |   |   |   |
|  |   |   |  |                                     |  |              |   |              |  |                                    |  |   |  |              |  |   |  |   |   |   |
| El precio del oro  | Gradual pero abrupta en las últimas décadas (crecimiento exponencial)   | Ciclos adaptativos de la economía internacional. Capital financiero (nivel de ingresos)   | Hacia 1900 la producción y el precio del oro a nivel mundial estaban incrementándose a una tasa de 3% anual.   | R ↔                                 | En este período el precio de oro se encontraba relativamente estable, y la producción se encontraba en una meseta.   | ↑            | A partir de 1930 el precio del oro inició una nueva escalada, incrementándose en promedio 6% anual.   | R ↗          | Durante este período el precio del oro fluctuó mucho pero con tendencia al alza, con picos de producción en 1942 y 1970.   | R ↔                                | El precio del oro se mantuvo alrededor de \$13/g.  | ↑↑↑   | Luego de una ligera caída a inicios del nuevo milenio, en el 2002 el precio del oro inició un crecimiento exponencial, nunca antes visto.  | ↑            | El precio del oro se incrementó aproximadamente en \$ 5/g. al año.   | ↔ | Después de llegar a un pico de \$ 60/g. en agosto del 2011 el precio del oro muestra una oscilación amortiguada que tiende a estabilizarse hacia los \$ 50/g.  | Fuentes:<br>- Análisis de "Los ciclos de la producción de oro" de Thomas Chaise (on line).<br>- Gráficas actualizadas de Infomine (ver abajo).  |   |   |
| La tasa de migración   | Gradual pero abrupta cuando la legislación favoreció la actividad minera.   | Capital humano (adaptabilidad) y capital social (redes)   | El boom del caucho propició la migración hacia Madre de Dios. Muchas etnias indígenas fueron reagrupadas en misiones.  | ↑                                   | Entre 1990 y 1921 el departamento se fue poblando de colonos. Se fundó Puerto Maldonado y las pocas haciendas pre-existentes facilitaron las expediciones de penetración.  | ↑            | Los colonos inician la migración hacia Tambopata, el Manu y las áreas alrededor de las misiones, con la finalidad de asentarse para realizar minería. | ↑            | La migración se mantuvo creciente con picos originados por olas de migración causadas por: la reforma agraria boliviana (en los 40s), la apertura de la carretera Cusco-Puerto Maldonado (1965), la reforma agraria peruana (1969) y la violencia política de los 80s. | ↑                                  | Con una población cercana a los 70 mil habitantes, a inicios de los noventa Madre de Dios alcanzó una densidad poblacional de 0.8 hab/Km2, lo cual duplicó lo identificado en el censo de 1981 y triplicó la densidad de 1972.                   | ↑   | Por lo menos unas 3000 personas migraron a Madre de Dios anualmente, siendo la tasa de inmigración 1.6 veces mayor a la de emigración. La tasa de migración fue 22.7%, en promedio.  | ↑↑           | La inmigración se incrementó con la ley de formulación de la minería y la tasa de inmigrantes llegó a ser 3.3 mayor que la emigrantes.   | ↑ | La tasa de migración fue en promedio 41%. 12% de la población se dedica directamente a la minería, 17% a la agricultura y 14% al comercio. Sin embargo, las actividades mineras están articuladas a estas dos últimas propiciando gran parte del movimiento comercial.             | Actualmente la densidad poblacional de la región es 1.5 hab/Km2, una de las más bajas del país pero sustancialmente mayor a densidad de 5 décadas atrás.  | Fuentes:<br>- Análisis del compendio INEI - Madre de Dios 2009.<br>- Metodología de monitoreo de actividades humanas en la amazonía (Vasquez y Barrena, 1990).<br>- INEI 2011.<br>- Web de "La revista agraria.org" |   |
| El nivel de gobernanza   | Abrupta desde el 2010, con la conformación del equipo interinstitucional para la gestión del conflicto por la minería aluvial | Capital político (nivel de participación los actores locales en la toma de decisiones, nivel de articulación)                                     | El Estado consideraba a la Amazonía como una despensa. A inicios de siglo creó las Juntas Fluviales y propició la colonización de Madre de Dios. En la planificación de la actividad minera en el país no tomó en cuenta a la minería aluvial. | ↓                                   | El Estado permitió que los primeros colonos, hacendados y misioneros configuran la región. No estableció controles. La participación de los actores locales fue baja. Se generaron los primeros enfrentamientos. | ↓            | La migración y establecimiento de colonos no fue controlado por el Estado.  | R ↓          | A mediados del período, ya una vez mejorada la conectividad de la región, se creó el Banco Minero, se aprobó el segundo código minero y se promocionó la minería de oro. Se promulgó legislación sobre comunidades nativas sin participación de las mismas.            | ↑                                  | Se reconfiguró la escena política nacional con autogolpe y la reforma constitucional.<br>Se promulgó una nueva ley general de minería que facilitó la inversión pero no se establecieron procedimientos viables para regular la minería aluvial. | ↑   | Los actores sociales (p.e. las asociaciones mineras, comunidades nativas, ONGs) mostraron mayor interés por participar de la toma de decisiones. La desarticulación del Estado se hizo pública.  | ↑            | La ley sobre formulación de la minería artesanal planteó el reto de fortalecer la presencia del Estado.  | ↑ | La presión por el uso del espacio desencadenó una mayor conflictividad y propició que las organizaciones busquen lograr mayor incidencia política. Las entidades de gobierno empiezan a entender su responsabilidad en el desorden de la actividad minera en Madre de Dios.        | A partir del 2010 el MINAM lidera los esfuerzos por lograr acuerdos entre actores y minimizar los impactos socioambientales de la minería informal. Se conforma un equipo de trabajo interinstitucional con planificación a mediano plazo, hecho nunca antes visto. | Fuentes:<br>- Plan nacional para la formalización de la minería artesanal (2011).<br>- Metodología de monitoreo de actividades humanas en la amazonía (Vasquez y Barrena, 1990).                                    |   |
| El nivel de intensificación de la actividad                      | Gradual pero abrupta cuando la legislación favoreció la actividad minera.   | Capital físico (disponibilidad de bienes de producción)   | Bajo nivel tecnológico. Subsídios estatal de los bienes de producción para los colonos.  | R ↔                                 | Minería de subsistencia, artesanal.  | ↑            | Ingreso de maquinaria y equipos rústicos.   | ↑            | Perfeccionamiento de técnicas. Intercambio transferirero de tecnologías. Acceso a fuentes de financiamiento de bienes de capital.  | ↑                                  | Inyección de capital comunitario. Desarrollo de asociaciones.  | R ↑   | Intensificación en cadena en las diferentes microcuencas.  | ↑            | Inyección de capital empresarial de alto riesgo debido a la rentabilidad de la actividad. Re-inversión.  | ↑ | Intensificación tecnológica exponencial, sin evaluación previa de impactos. Incremento de dragas y sistemas de explotación altamente destructivos.   | ↓   | Destrucción de maquinarias y equipos informales y destructivos. Mejora de la regulación.  | Fuentes:<br>- Mosquera et al. Diagnóstico de la minería en Madre de Dios (2009).<br>- Portal web del MINAM sobre la minería informal: sección prensa.   |
| El nivel de contaminación por mercurio generado por la actividad | Gradual pero abrupta en las últimas décadas   | Capital natural (acceso a la explotación de recursos naturales, variación de la integridad ambiental y de los servicios ambientales en el tiempo) | Acceso a recursos naturales a través de los ríos.  | R ↔                                 | Concentraciones de mercurio no detectables. Booms extractivos no afectaron la resiliencia de los servicios ambientales del bosque.   | ↗            | Se difundió la técnica de explotación minera con uso de mercurio entre los nuevos colonos.  | R ↔          | El mercurio local y exportado de otras cuencas, tiende a depositarse en capas profundas del sedimento.   | R ↗                                | Se empezó a masificar el uso de otras técnicas de producción que requieren mercurio en mayores cantidades.   | ↑   | Se reconoció la toxicidad del mercurio. Se realizaron investigaciones sobre las retortas para minimizar su uso y volatilización. La comunidad internacional empezó a tomar acuerdos para minimizar la emisión de mercurio al ambiente. Los primeros estudios sobre el mercurio en Madre de Dios evidenciaron que la concentración promedio en el ambiente venía incrementándose. | ↑            | La actividad minera se incrementó y por consiguiente la emisión de mercurio y la proporción de áreas afectadas por la actividad (sin regulación y con sobreposiciones). Naciones Unidas publica la evaluación mundial sobre el mercurio. | ↑ | Se hizo pública la intensificación de impactos de la minería aluvial. Los valores de mercurio disponible en el ambiente empezaron a aumentar, llegando a superar los límites aceptables para alimentación, en los peces. Las áreas deforestadas se incrementaron exponencialmente. | ↗   | Se prohibió la libre compra de mercurio y otros insumos químicos utilizados en la minería aluvial. Se estableció un corredor exclusivo para la minería aluvial (compatible con el ordenamiento territorial).        | Fuentes:<br>- Decreto de urgencia 012-2010-MINAM.<br>- Gómez y Arriarán, 2007. La fiebre del oro y sus impactos en las cuencas de Madre de Dios.<br>- Gutleb, 1997. Mercurio en heces de lobo de río.<br>- UNEP, 2002. Evaluación mundial sobre el mercurio.<br>- DS 1103-2012. Control de insumos químicos para la minería informal. |

FUENTE: Elaboración propia, 2012.

Como se puede apreciar, para cada período de transición se ha graficado con una flecha la tendencia de la variable: creciente ( $\uparrow$ ), medianamente creciente con altibajos ( $\nearrow$ ), estable o sin cambios significativos ( $\leftrightarrow$ ), decreciente ( $\downarrow$ ). También, en base al análisis del contexto, se indica si existe o no una probabilidad significativa de reversibilidad en las transiciones, es decir que el sistema regrese al estado anterior o cambie su trayectoria (R = cambio reversible) o continúe el cambio (I = cambio irreversible o poco probable).

Se puede observar que lo que favoreció la era de configuración (fase  $\alpha$ ) fue la migración de nuevos colonos y la falta de políticas sobre ordenamiento del territorio y respeto a las comunidades locales. El precio del oro estaba subiendo pero aún el *boom* del oro y sus efectos, eran reversibles.

El incremento de la migración aunado a la intensificación de la actividad hicieron de la fase r del ciclo adaptativo, un atractor difícil de evitar, sobretodo porque el precio del oro se mantenía en incremento y algunas normas brindaban facilidades para la explotación del mineral. Sin embargo, los impactos aún no eran tan severos ya que el ecosistema estaba aislando la contaminación por mercurio a través de los sedimentos, haciendo uso de su capacidad de carga.

Si se hubiesen dado normas adecuadas en esa época, junto a una planificación del territorio que contemple sus verdaderas potenciales y la concertación entre actores, no se hubiera llegado a la situación actual. El precio del oro, si bien tendía a crecer, también tuvo grandes caídas. Por lo tanto, el aliciente principal para la migración eran las crisis que ocurrían en otras regiones del Perú y en países vecinos. El factor que desencadenó irreversiblemente la migración fue la mayor conectividad dada por las carreteras, aeropuerto y otros medios de comunicación.

En la era de la legalización (fase k), el nivel de concientización cambió de manera irreversible. La comunidad científica empezó a analizar los impactos de la minería. Se empezó a regular la actividad y las asociaciones empezaron a buscar mecanismos para intervenir en la toma de decisiones. Se formaron clusters mineros y se presentaron hechos de violencia por el uso del territorio.

La actividad minera se diseminó a otras microcuencas de la región, incrementándose paulatinamente el nivel de intensificación. Además de los mineros asentados en clusters, los pobladores locales que no estaban involucrados en la actividad empezaron a considerarla un medio de vida estacional.

Detener el flujo migratorio a inicios de los noventa era muy difícil, sobretodo por la violencia política y crisis económica que había sufrido el país durante varios años. El precio del oro, aunque estable, era atractivo para productores agropecuarios y comerciantes de otras regiones.

La era de la transformación o colapso ( $\Omega$ ) del sistema inició hacia el 2002, cuando la demanda de oro aumentó y por lo tanto su precio creció exponencialmente. Esto propició mayor migración e intensificación. Además, la normatividad que buscaba la formalización de la actividad sólo logró desordenarla y hacerla más visible. Los efectos ambientales empezaron a hacerse evidentes, inclusive en la salud pública. Ya no era suficiente con la capacidad de absorción del ecosistema.

En vista que en la fase r no se estableció controles oportunos para la actividad y las causas estructurales de la misma, el estado del sistema tenía límites muy precarios y era evidente que la trayectoria más probable del sistema haría que éste cayese en un atractor de minería intensiva, insostenible y sin planificación, tal como ocurrió con los anteriores *booms* extractivos. La diferencia de este *boom* con la fiebre del caucho, de la cascarilla o del oro en otros países, es que ha tenido un mayor tiempo de incubación y el riesgo de que se mantenga es alto porque la actividad tiene pocas sustitutas y su principal motor (el precio del oro en el mercado internacional) tiende a seguir incrementándose.

La fase  $\Omega$  muestra un atractor muy profundo (de alta resistencia) pero su latitud es corta. Es decir, no es posible cambiar tanto el ecosistema amazónico sin que éste pierda resiliencia o capacidad de recuperación en algunos de sus componentes, principalmente en aquellos asociados a la calidad de los recursos naturales. Además la cantidad de actores involucrados pero poco articulados y la presión por recursos causó una crisis extrema de gobernabilidad.



**FIGURA 101: Atractores en la dinámica de la minería aluvial.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).

Por ello, el colapso del sistema ha sido rápido. La intervención estatal ha marcado el inicio de una transición a un sistema con mayor gobernanza e impactos ligeramente atenuados, pero el riesgo es que las normas no sean legitimizadas ni adecuadamente instrumentalizadas y que se regrese al atractor anterior, reduciéndose aún más la resiliencia del sistema.

Se puede apreciar que todas las variables claves seleccionadas han mostrado un cambio gradual en el tiempo, pero en determinado punto de la historia han tenido cambios abruptos. Fueron precisamente éstos los que desencadenaron que el sistema se mueva hacia otros atractores.

Se prevé que en futuro próximo las variables lentas sigan su tendencia:

- Precio del metal ( $\leftrightarrow$ ), por lo menos hasta que se produzca otra crisis que incremente nuevamente el precio del oro.
- Nivel de contaminación ( $\nearrow$ )
- Tasas de migración ( $\nearrow$ )

Por su parte, la gobernabilidad es una variable con capacidad de catalizar cambios rápidos. Actualmente está incrementándose ( $\uparrow\uparrow$ ), pero corre muchos riesgos, sólo en la medida que se mantenga en el tiempo será posible reorganizar el sistema y moverlo hacia

un atractor que promueva desarrollo sostenible. Para ello se requerirá que los mineros lleguen a acuerdos entre si, con las comunidades nativas y con las entidades estatales.

Si bien normalmente la intensificación de la actividad es un proceso lento, dados los niveles actuales de ingresos que tienen los mineros es posible que su tasa de cambio sea más rápida. Sin embargo, la destrucción de bienes de producción que ha realizado el gobierno muestra que adicionalmente se trata de una variable que le da gran vulnerabilidad al sistema.

En este análisis se ha considerado que las fases del ciclo adaptativo configuran estados alternativos y por ende campos de atracción caracterizados por cada una de las variables descritas. Sin embargo, para proyectar lo que podría ocurrir en el futuro es necesario caracterizar más estados alternativos. Los más probables están dominados por:

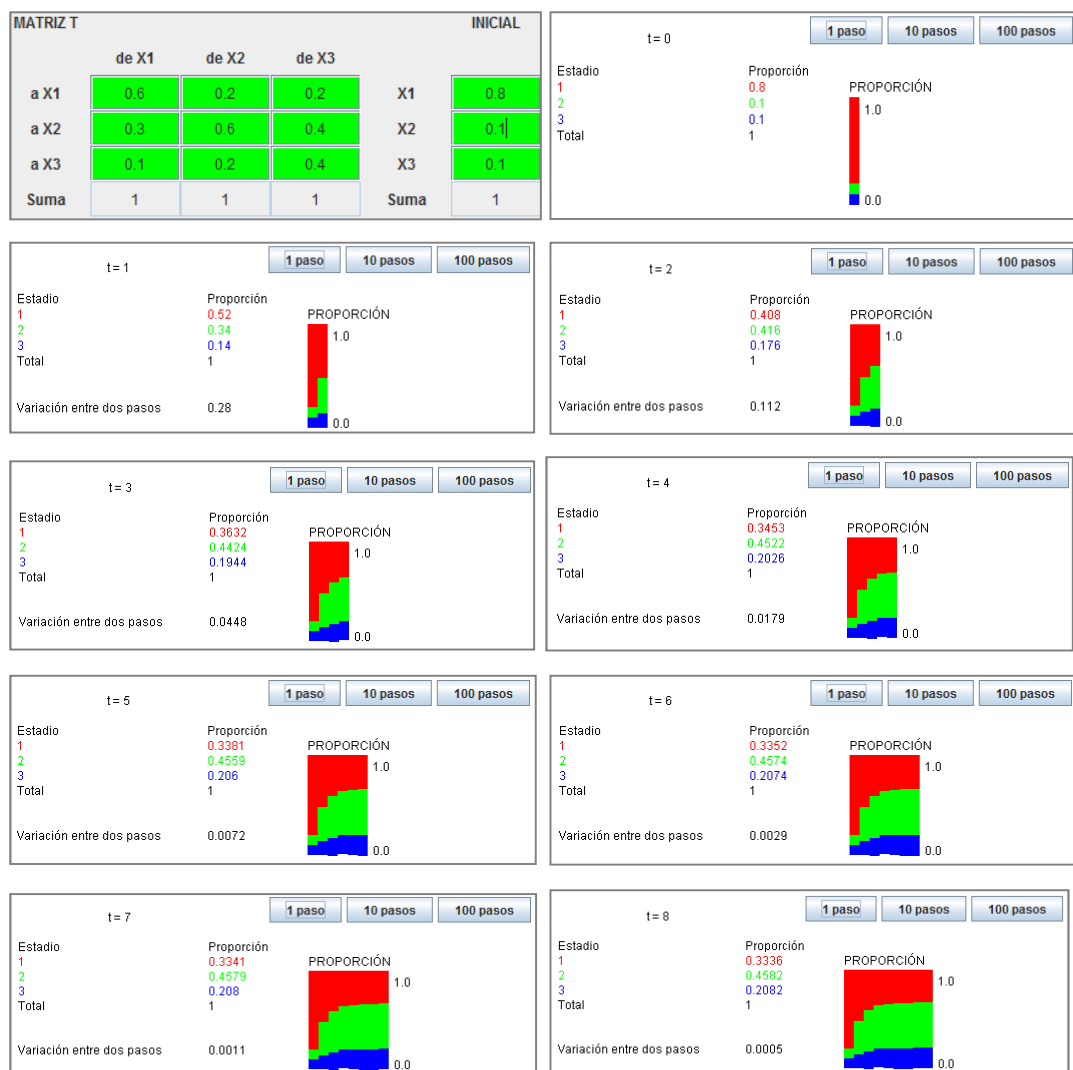
- $X_1$ : Minería informal con afectación de la integridad ambiental y la salud pública a corto plazo. Es decir una continuación e intensificación del estado actual.
- $X_2$ : Minería formal con impactos mitigados, el estado que pretende lograr el gobierno al definir un corredor minero.
- $X_3$ : Otros medios de vida, sustentables y no dependientes de la minería.

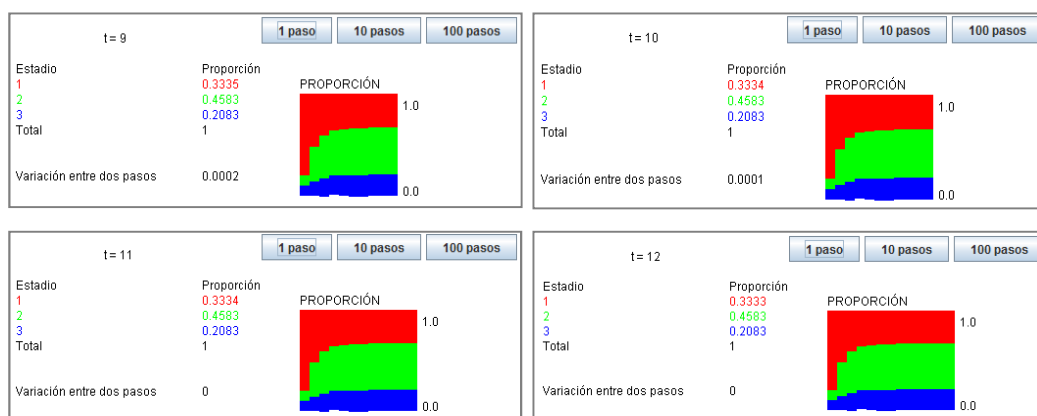
En la vida real es altamente improbable que un estado domine el 100% del territorio y sobretodo durante el período de transición. Por ello, los escenarios que se evalúan a continuación se han establecido en base a combinaciones probabilísticas de los tres estados descritos.

El análisis de los tres escenarios se ha realizado con cadenas de Markov. Este análisis supone demoras de respuesta de 1 lag y un atractor puntual, lo cual no siempre ocurre pero representa una buena referencia para la toma de decisiones. Para ello se ha evaluado la tendencia de las variables clave y se ha asumido tanto probabilidades de transición entre estados como probabilidades iniciales de ocurrencia. Estas últimas se han considerado iguales para los tres casos, de modo que sean comparables. Es decir, se ha asumido que actualmente el sistema tiene:

- 80% de minería informal pues aunque muchos mineros se encuentren registrados no pagan impuestos, no cumplen los requisitos del Estado para operar y no tienen acceso a fuentes formales de financiamiento.
- 10% de minería formal o rumbo a la formalización.
- 10% de de mineros que también están involucrados en actividades alternativas que sí son sostenibles (sobre todo en las asociaciones de mineros de subsistencia y las comunidades nativas).

El escenario conservador asume que las medidas para formalizar la minería y controlar sus impactos serán medianamente efectivas en el corto plazo y que se promoverá el desarrollo de medios de vida sostenibles (como ecoturismo, plantaciones forestales, agroforestería, biocomercio, entre otros). Sin embargo, considera también que el precio del oro seguirá al alza y por lo tanto existirá siempre un mercado informal.



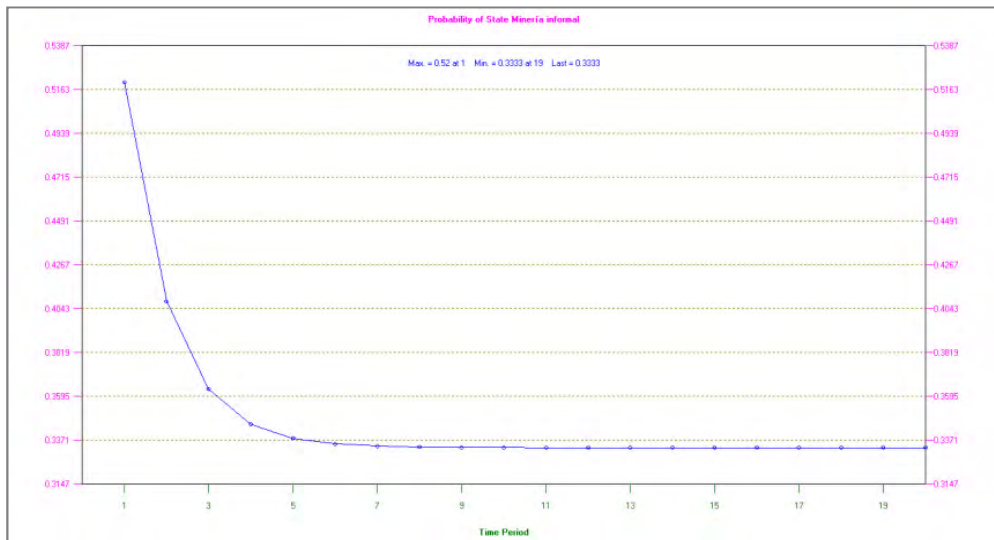


**FIGURAS 102 a la 115: Evaluación del escenario conservador mediante cadenas de Markov.**

FUENTE: Elaboración propia, con el Applet de sucesión ecológica de Piñol y Martínez-Villalta (2012).

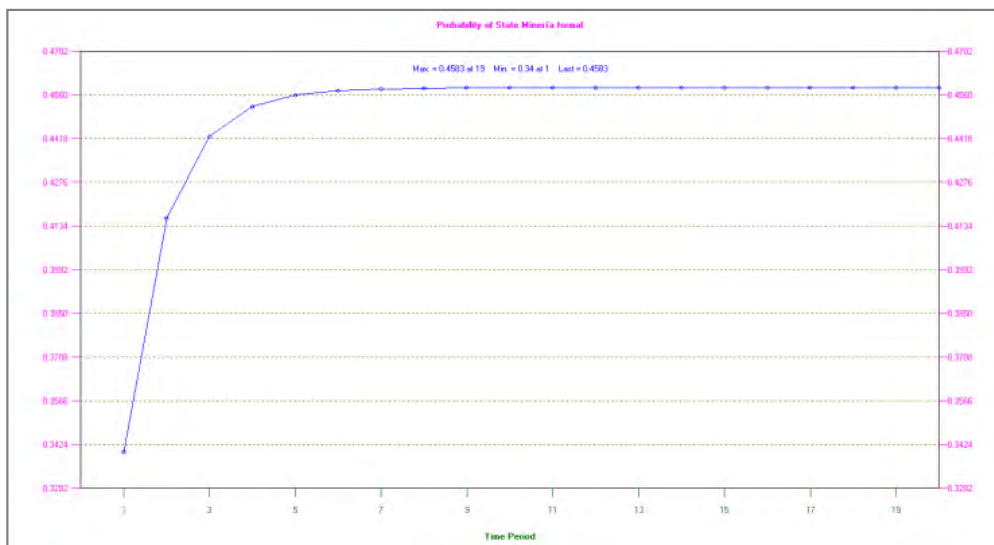
Se puede observar que en este escenario el sistema se estabiliza en el doceavo período, y si consideramos que cada período podría demorar un año, muestra que si las variables clave mantienen su tendencia, para el 2024 la probabilidad de hallar minería formal será 0.45, la probabilidad de que la población minera haya optado por medios de vida sostenibles será 0.2 y la de encontrar minería informal en Madre de Dios será 0.33.

En las Figuras 116, 117 y 118 se observa la variación de la probabilidad de ocurrencia de cada estado en el tiempo. Es posible apreciar que la reducción significativa de la minería informal y el incremento de los medios de vida sostenibles y la minería formal se darían en los primeros 5 años. Esto sería el equivalente a una fase de transición hacia la reconfiguración del sistema. Luego de ello se requeriría un período de al menos 7 años manteniendo los controles para que la situación se estabilice.



**FIGURA 116: Ev Probabilidad de ocurrencia de minería informal en el escenario conservador.**

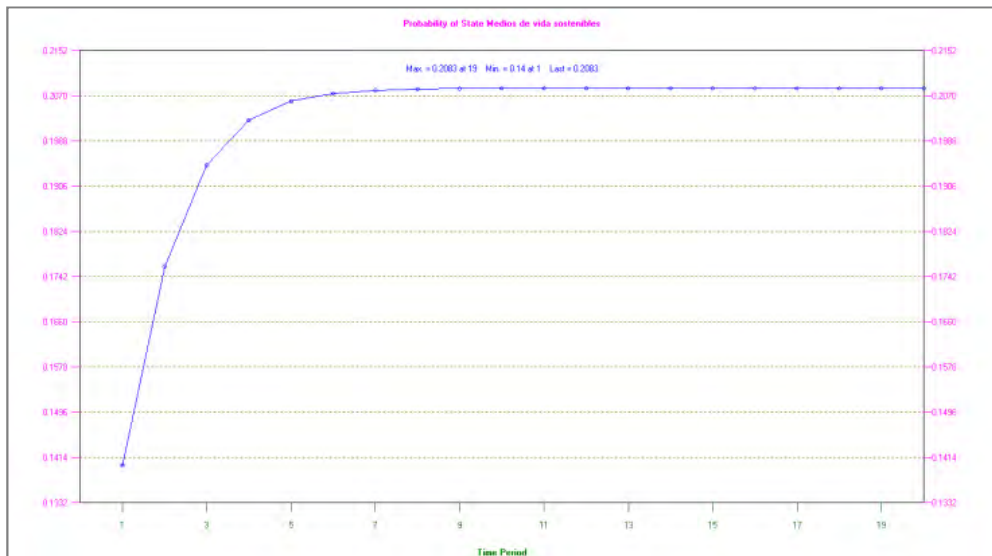
FUENTE: Elaboración propia, con el software Markov Process (2012).



**FIGURA 117: Probabilidad de ocurrencia de minería formal en el escenario conservador.**

FUENTE: Elaboración propia, con el software Markov Process (2012).





**FIGURA 118: Probabilidad de ocurrencia de medios de vida sostenibles en el escenario conservador.**

FUENTE: Elaboración propia, con el software Markov Process (2012).

En la modelación se ha asumido que todas las actividades humanas tienen un costo para el ecosistema, la relación estimada ha sido 1:5:50, así mientras la implementación de medios de vida alternativos genera impactos socioambientales que son mitigables, la minería formal podría generar al menos 5 veces más impactos y la minería informal podría desencadenar perturbaciones irreversibles con una magnitud estimada 50 veces mayor.

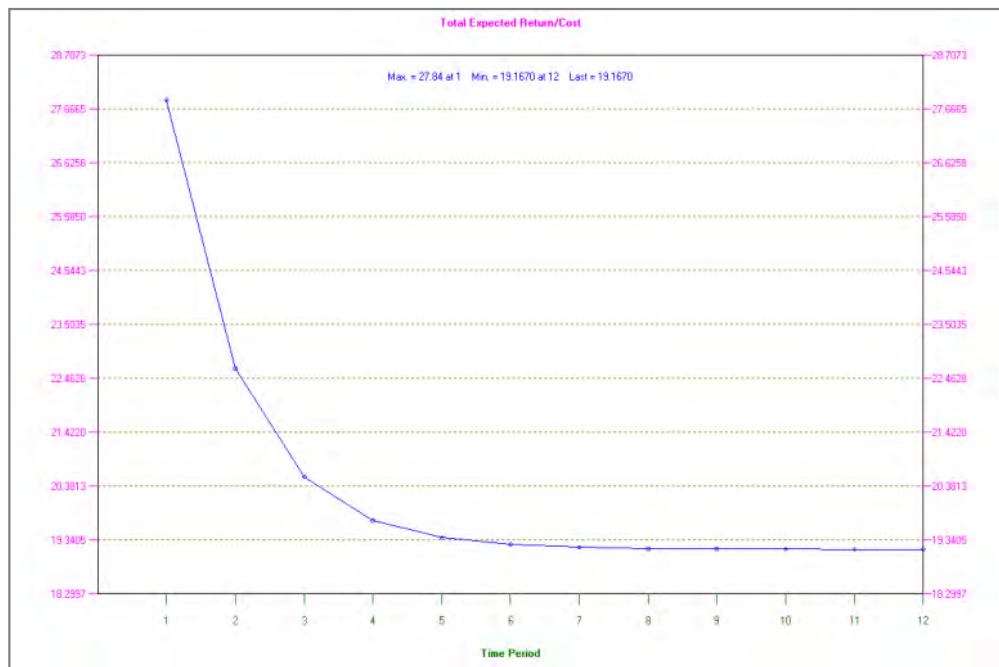
**CUADRO 18: Relación estimada del costo e impacto ambiental en medios de vida alternativos.**

| Estado   | Factor de unidades de impacto |
|--|-------------------------------|
| Medios de vida sostenibles                               | 1                             |
| Minería formal   | 5                             |
| Minería informal (similar a la era de la transformación) | 50                            |

FUENTE: Elaboración propia (2012).

El software Markov Process permite evaluar el costo de mantenerse en uno u otro estado. Para cada escenario se ha especificado la relación 1:5:50 unidades de impacto.

La Figura 119, que se muestra a continuación, evidencia que en el escenario conservador hay que asumir anualmente un costo por las actividades humanas que se desarrollan y que este es de 27.8 unidades de impacto en el primer año, pero paulatinamente decrece hasta que se estabiliza alrededor de 19 unidades de impacto en el sexto año. Si bien se trata de una reducción importante, este resultado confirma que gran parte de los impactos no se podrán evitar mientras se sigan desarrollando actividades extractivas.



**FIGURA 119: Variación del costo de la actividad humana en el escenario conservador.**

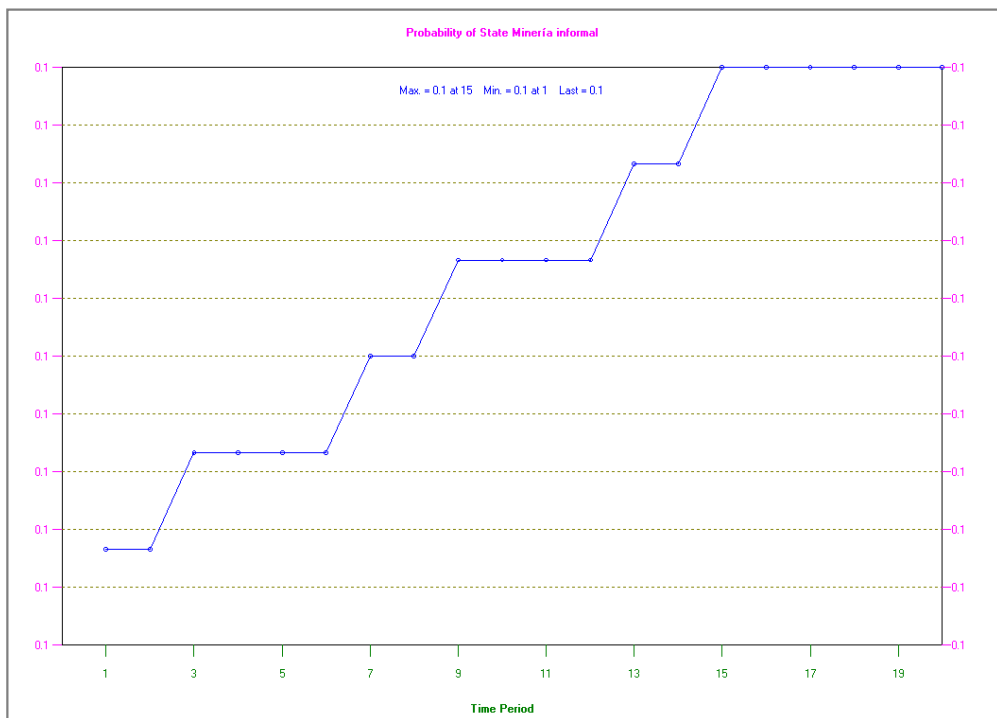
FUENTE: Elaboración propia, con el software Markov Process (2012).

En el escenario optimista se estima que es altamente probable que la minería informal se regule (al 80%, por lo menos) y que 10% de los mineros empiecen a dedicarse a actividades sostenibles. Asimismo, se estima que del total de mineros que se dedican paralelamente a otros medios de vida, 80% desarrollará todo el potencial de los mismos, sólo 10% volverá a la minería informal, y 10% optarán por la minería formalizada en caso requieran ingresos adicionales. Ver Figuras 120 a 124.



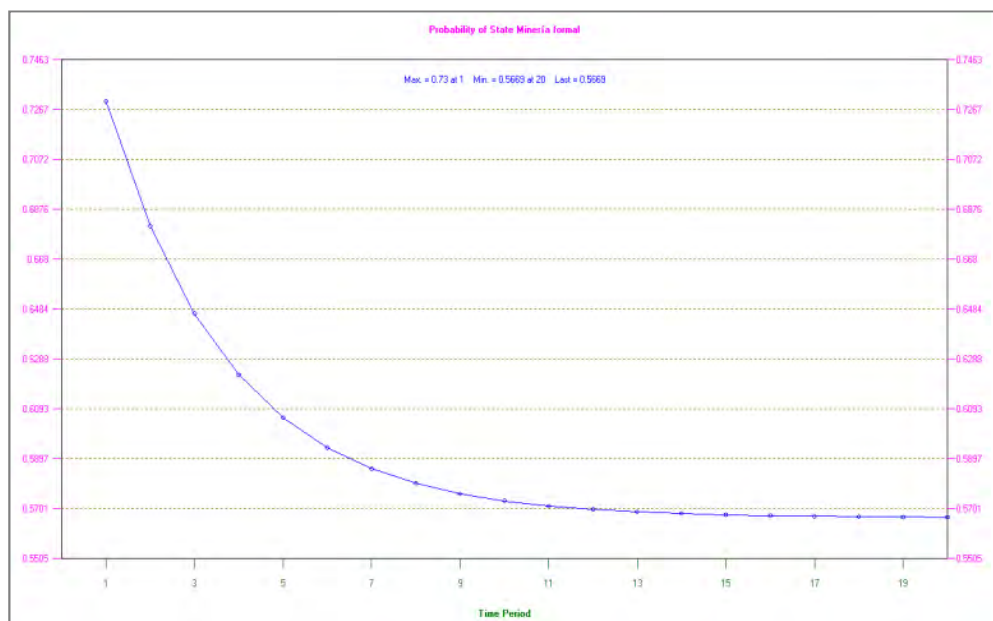
**FIGURA 120 y 121: Evaluación del escenario optimista mediante cadenas de Markov.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).



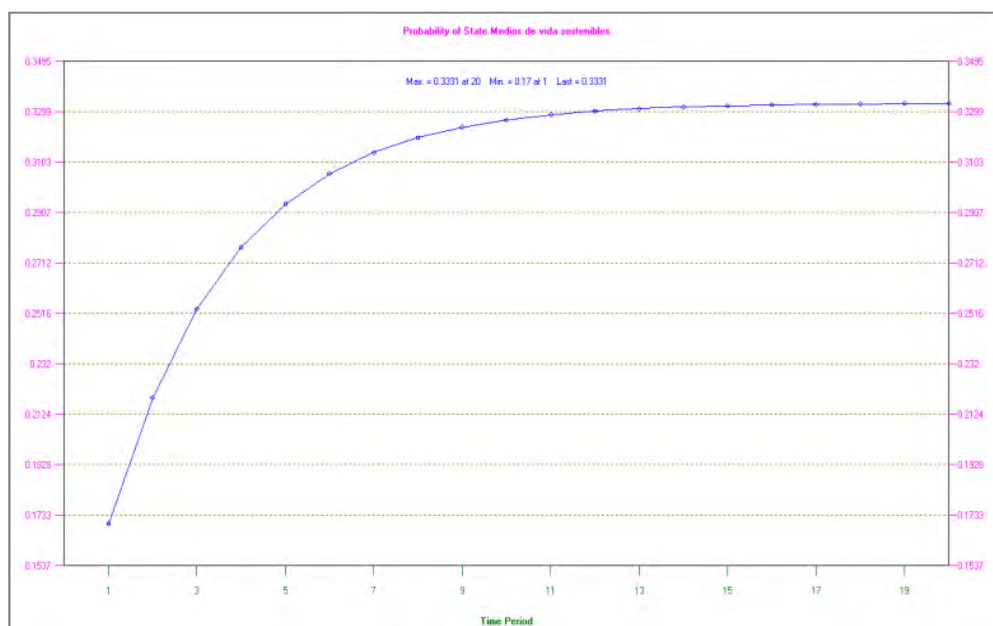
**FIGURA 122: Probabilidad de ocurrencia de minería informal en el escenario optimista.**

FUENTE: Elaboración propia, con el software Markov Process (2012).



**FIGURA 123: Probabilidad de ocurrencia de minería formal en el escenario optimista.**

FUENTE: Elaboración propia, con el software Markov Process (2012).



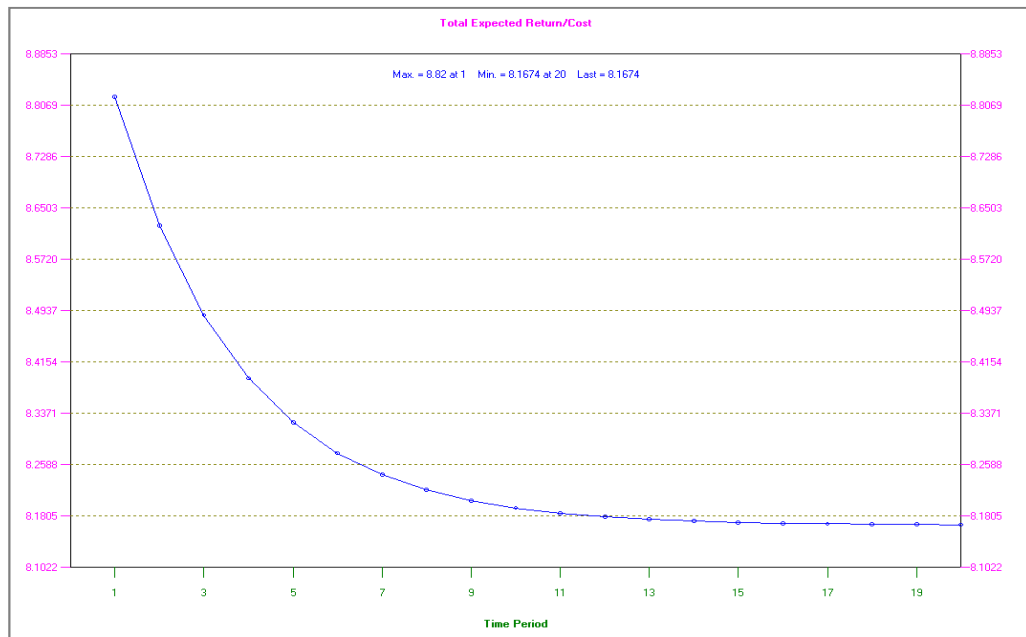
**FIGURA 124: Probabilidad de ocurrencia de medios de vida sostenibles el escenario optimista.**

Fuente: Elaboración propia, con el software Markov Process (2012).

En este escenario el sistema se estabiliza en un período mayor, de aproximadamente 20 años. Aunque la tendencia de la minería informal fluctúa alrededor

de 10% desde el segundo año, la de los medios de vida alternativos y de la minería formal se estabiliza a los 12 años. Bajo esta lógica el 57% de los mineros informales pasará a la formalidad, 33% optarán por otros medios de vida y 10% seguirán siendo informales.

A continuación se puede observar que en este escenario se empieza generando 8.8 unidades de impacto y al doceavo año estas se estabilizan en 8.1 unidades anuales.



**FIGURA 125: Costo de las actividades humanas en el escenario optimista.**

FUENTE: Elaboración propia, con el software Markov Process (2012).

En el escenario pesimista, se estima que 80% de los mineros formales y de aquellos que tienen medios de vida alternativos pasarían a la informalidad. Ver Figuras 126 y 127.



**FIGURAS 126 y 127: Evaluación del escenario pesimista mediante cadenas de Markov.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).

En este escenario no habría ninguna variación en el tiempo. El nivel de formalización podría llegar sólo al 10% y otro 10% de mineros optaría por tener medios de vida sostenibles como alternativa. El costo sería 40.6 unidades de impacto todos los años. Esto refleja las consecuencias mínimas de no hacer nada.

Es importante acotar que la suposición de que cada período de cambio demora un año es arbitraria y simplemente tiene la finalidad de facilitar la interpretación de resultados. En la práctica, cualquiera de los escenarios podría desencadenarse más rápido o más lento en función a la velocidad con la que cambien las variables clave del sistema.

#### 4.3.7. ANÁLISIS DE UMBRALES Y TRANSICIONES

Dado que actualmente el sistema se encuentra en una fase crítica, se ha evaluado la probabilidad de exceder los umbrales de cambio y sus efectos en las variables clave:

**CUADRO 19: Análisis de la probabilidad de exceder umbrales.**

| Variable                                 | Valor promedio en el estado actual  | Límites aceptables de cambio – LAC o umbrales        | Tendencia | Probabilidad exceder LAC | Transición esperada | Estado resultante  |
|--|---|--|-----------|--------------------------|---------------------|--|
| Precio del oro                           | \$ 50.6 / gramo   | \$ 50 – 60 / g. para mantener la rentabilidad actual | Oscilante | Moderada                 | Gradual             | Minería informal, gradual  |
| Tasa de migración y población            | Crecimiento poblacional de 2.04 % al año. Actualmente se estima que son casi 128 mil habitantes con una densidad de 1.5 hab/km <sup>2</sup> . | 1 – 1.8 hab /Km <sup>2</sup>                         | Creciente | Alta                     | Gradual             | Minería informal, gradual  |
| Nivel de gobernanza                      | 80% de los actores sociales han articulado sus acciones   | 90% – 100% actores articulados                       | Creciente | Baja                     | Abrupta             | Minería formal   |
| Nivel de intensificación de la actividad | Se evidencia en el crecimiento exponencial de la deforestación: $y = 807.81e^{0.606x}$  | No más del 80% del corredor minero deforestado       | Creciente | Alta                     | Abrupta             | Minería informal. Pero con control estatal se podría propiciar un control gradual de la intensificación tecnológica. |
| Nivel de contaminación por mercurio      | Mercurio en peces: 0.76 ppm (nivel trófico 3) y 1.4 (nivel trófico 4).<br>Mercurio en sedimentos: 1.83 ppm                                    | 0 – 0.5 ppm<br>0 – 1 ppm                             | Creciente | Alta                     | Gradual             | Minería insostenible. Búsqueda de medios de vida alternativos  |

FUENTE: Elaboración propia (2012).

Nótese que los límites aceptables de cambio que se indican en cada caso dependen del comportamiento de las variables clave. El rango propuesto para el precio del oro proviene del análisis de la tendencia de los últimos dos años. Por otro lado, el rango aceptable para mercurio en peces y sedimentos es el sugerido por estudios toxicológicos refrendados por la Organización Mundial de la Salud.

Actualmente el sistema ha cruzado el umbral en lo que respecta a concentraciones aceptables de mercurio, lo cual da indicios de daños irreversibles en el ecosistema, generados por la exposición crónica a este elemento. Asimismo, la intensificación de la actividad está causando que las áreas afectadas rebasen los límites del corredor minero. Ello sólo ha sido pausado por la intervención violenta de los organismos del Estado, la cual no representa una intervención sostenible.

La gobernanza es lo único que podría permitir que la intensificación de la actividad y por ende sus impactos ambientales y sociales se controlen. Para ello se requiere que más actores estén articulados, no sólo los que representan al Estado. Se requiere principalmente participación de los actores locales, conciencia, responsabilidad sobre los impactos actuales y compromiso.

Es evidente que la transición de una variable desencadena que otra también cruce el umbral. Ya se ha explicado que la fuerza motriz más importante ha sido el precio del oro. Actualmente, se debe optar por hacer que la gobernanza sea la fuerza motriz que lleve al ordenamiento del sistema y a evitar que el nivel de intensificación de la actividad y los niveles de afectación al ecosistema crucen los límites. Sin embargo, los sistemas de monitoreo actualmente no consideran estas variables.

No se tiene un observatorio para analizar la evolución de la minería en el tiempo. Sólo estudios que integran diversas fuentes han permitido tener una visión histórica. Con apoyo de los sistemas de información geográfica del gobierno regional y del MINAM, la policía de carreteras, la DICAPI, la DIRESA, las ONGs locales y los servicios de áreas naturales protegidas, se puede configurar un sistema de monitoreo en tiempo real de las áreas explotadas y de los métodos utilizados, así como de los impactos en especies sensibles, en la salud humana y en el bienestar social. Esto permitiría localizar las intervenciones, espacial y temporalmente y tener un panorama de la evolución del sistema.

Actualmente los sectores donde se cuenta con métodos intensivos de explotación son Huepetuhe, Caychive, Puquiri, Colorado, Delta 1, Malinowsky, Laberinto, Tres Islas, Inambari, entre otros. Es en estos puntos que el sistema tiende a mantenerse en la minería informal, lo cual está afectando no sólo a la región sino a las cuencas de las que hace parte.

#### **4.3.8. ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN ENTRE ESCALAS**

Como se mencionó anteriormente, los hechos que ocurren a diferentes escalas también influyen en el sistema social-ecológico en análisis. Los ciclos económicos por ejemplo, han ocasionado que el precio del oro se incremente y ello ha traído consecuencias a todo nivel, a modo de efecto dominó.

Es importante resaltar que los ciclos que se producen a escalas mayores, como los *booms* extractivos, se han venido repitiendo. El ecosistema amazónico se ha adaptado a la perturbación tras perturbación, mostrando gran resiliencia a través de la historia. El conocimiento se ha transmitido más rápido desde el *boom* de las tecnologías de la información y por el efecto de los movimientos mundiales que propician la concientización y regulación.

Muchos de los ciclos que ocurren a escalas temporal y espacialmente menores, siguen repitiéndose como: la fragmentación de bosques, y las prácticas de roza y quema que promueven la ampliación de la frontera agrícola. Esto afecta y reduce gradualmente la resiliencia general de la región.

Existen ciclos que están atrapados en la trampa de la pobreza, por el ejemplo aquellos relacionados a la re-inversión en desarrollo (infraestructura, educación, salud, seguridad, alimentaria), y otros que se van replicando cada vez en más grupos sociales, por ejemplo: la aculturación de etnias y la formación de enclaves mineros. Estos últimos han promovido cambios importantes en la dinámica del sistema y en la medida que propician la identificación con un nuevo medio de vida, han propiciado la innovación aunque no el desarrollo sostenible. Quizás el aprendizaje más valioso que dejan es que los grupos humanos se adaptan incluso a las condiciones de vida más difíciles cuando existen creencias compartidas y medios de vida rentables.

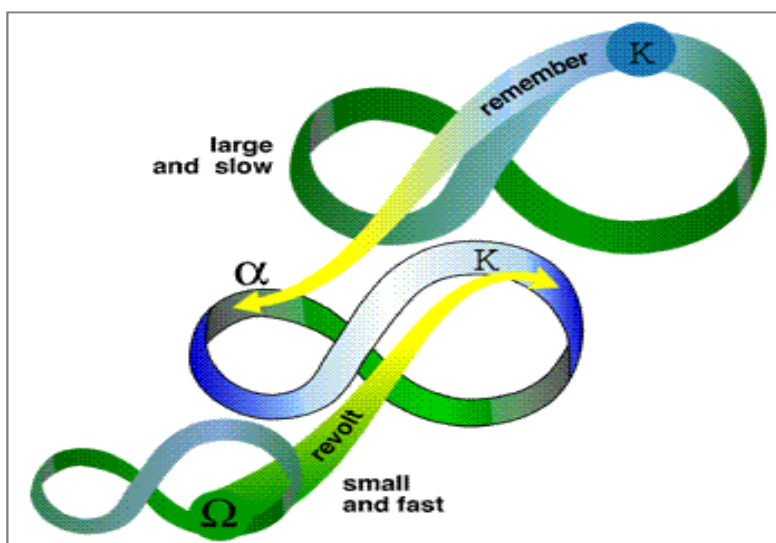


A nivel de políticas públicas debe considerarse controles para los fenómenos que podrían desencadenar en una fase  $\Omega$  en el corto o mediano plazo y que a largo plazo quitarían resiliencia al sistema, por ejemplo: los sistemas de explotación de personas, la aculturación de etnias y el riesgo de cáncer poblacional por exposición a mercurio.

Actualmente, la conectividad entre escalas es alta. La minería aluvial ocurre a nivel regional (y ahora nacional) y por lo tanto la intervención y regulación del Estado y de movimientos internacionales, la afectan directamente. Las escalas menores también influyen en la evolución de los capitales del sistema, fundamentalmente el natural y el social. La mayor vulnerabilidad está a nivel de las escalas menores, sin embargo, las principales causas estructurales del problema están a escalas mayores.

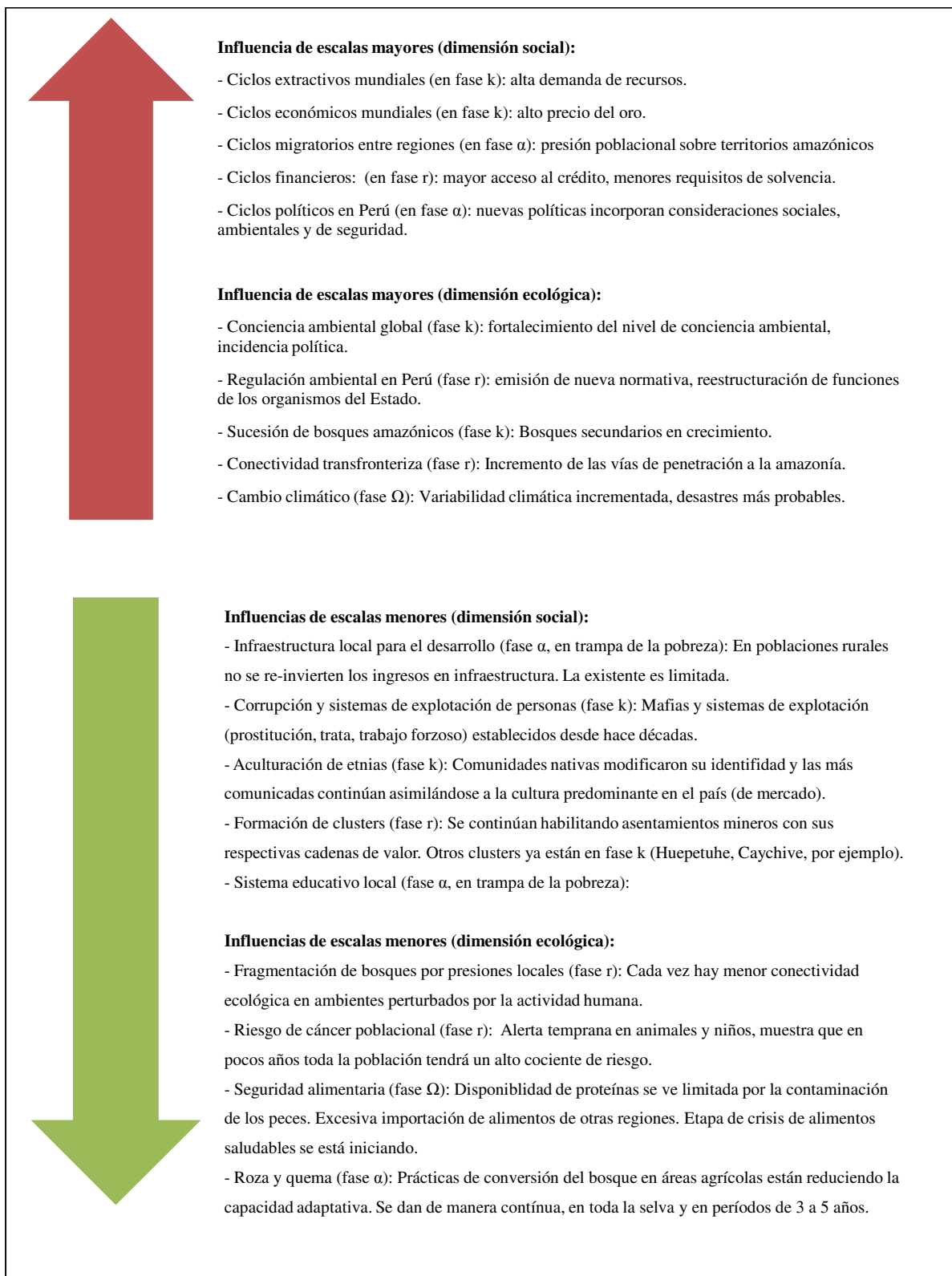
La interacción y articulación regional - nacional aún debe mejorar más. Se requiere mayor coherencia entre políticas y acciones así como herramientas efectivas para lograr la formalización y ejercer control. El sistema es flexible a los cambios y tiene gran capacidad adaptativa pero se requiere revisar la trayectoria de los cambios y por lo tanto su eficiencia. Normalmente la adaptación no ha generado desarrollo.

La Figura 128 recuerda los efectos de las relaciones panárquicas en el sistema en estudio. Y, la Figura 129 resume los principales ciclos y procesos que se dan tanto a escalas mayores como menores y que influyen la minería aluvial.



**FIGURA 128: Efectos de la panarquía en el sistema estudio.**

FUENTE: Resilience Alliance (en línea).



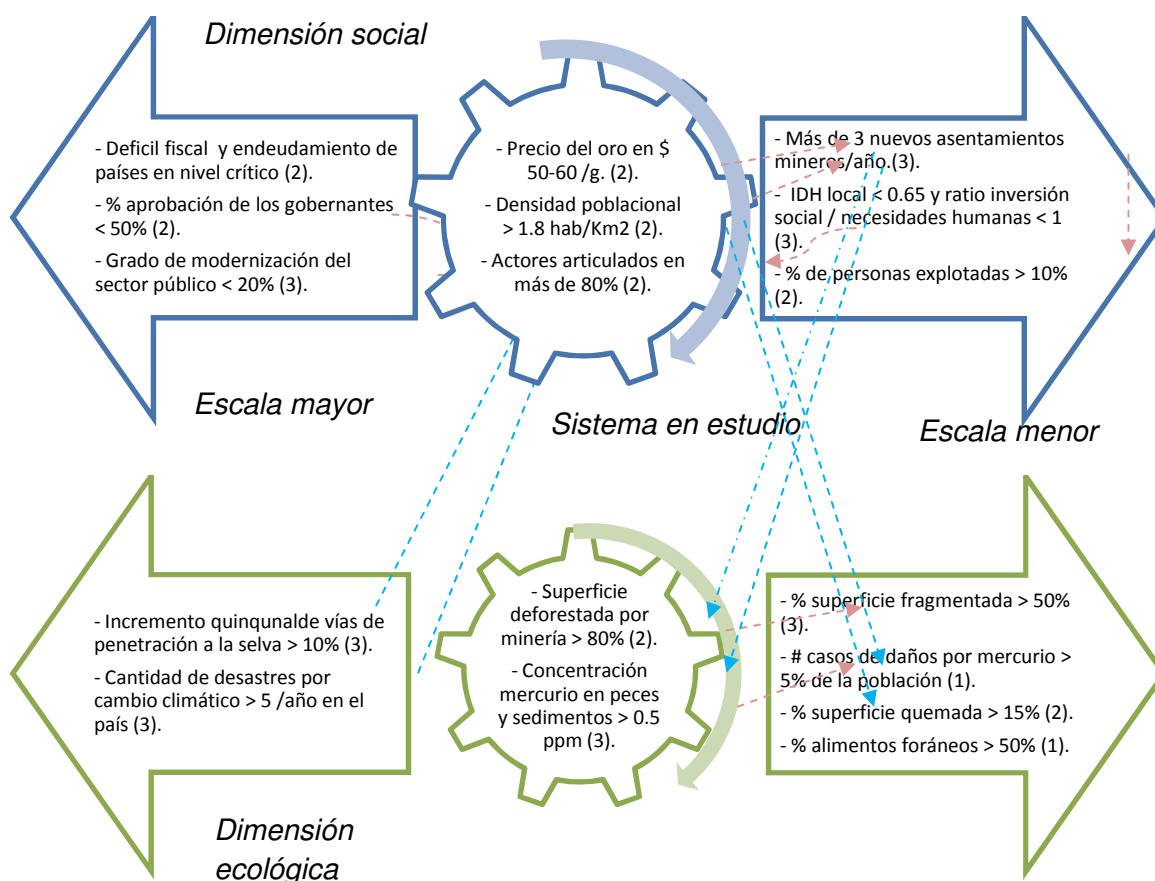
**FIGURA 129: Mecanismos principales de influencia de en ciclos adaptativos de otras escalas.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).

### 4.3.9. ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN ENTRE UMBRALES Y CAMBIOS EN CASCADA

Existe una relación directa entre el precio del oro en el mercado internacional y la expansión de la minería informal. Sin embargo, los efectos ecológicos de las dinámicas de mercado y las carencias de gobernabilidad se ven con un retraso de 1 a 5 años en los ecosistemas amazónicos. Este período de “lag”, ha ido variando a través de la historia según la intensidad del cambio de la variable, así cuando el incremento de precios ha sido abrupto o cuando ocurrieron crisis en otras regiones que promovieron la migración hacia la selva, el retardo del impacto fue menor debido a la intensidad de la perturbación.

A continuación se analiza la interacción entre los umbrales de cambio de las variables clave del sistema en estudio y de los principales ciclos panárquicos.



**FIGURA 130: Análisis de interacción entre variables clave de los umbrales de cambio.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).

En la Figura 130 el número entre paréntesis indica certeza de cruzar pronto los límites, así:

- Certeza alta = 3.
- Certeza moderada = 2.
- Certeza baja = 1.

Cabe notar que en la mayor parte de casos se tiene la certeza que ya se está sobrepasando o pronto se excederá el límite indicado o bien el valor de referencia que se debería conservar para que el sistema no reduzca su resiliencia de manera significativa.

Las fechas punteadas muestran la interacción entre umbrales de diferentes escalas y dimensiones. Al traspasar un umbral o acercarse a él se propicia que también otro umbral se traspase. Es posible notar que los procesos más importantes de gran escala inducen la migración y el mayor asentamiento poblacional en la región y a partir de ello los clusters mineros se fortalecen. Estos continúan existiendo y expandiéndose por la demanda internacional de oro. Actualmente muchos países se encuentran en crisis y para proteger su economía aseguran tener su moneda respaldada en oro.

En la medida que el sistema no cruce el umbral de la gobernanza seguirá predominando la minería informal. Pero, si se logra mayor articulación, se podrá formalizar parcialmente la actividad y entonces algunos de sus impactos podrían ser controlados (sobre todo aquellos propiciados por la intensificación tecnológica y por la creación de nuevos asentamientos mineros que transforman el ecosistema amazónico). Al mantener un nivel alto de gobernanza, aún con el precio de oro y la migración en aumento, se podría retardar o evitar el cruce de otros umbrales, que quitarían resiliencia y redundancia al sistema.

#### **4.3.10. SÍNTESIS DE LA RESILIENCIA GENERAL Y ESPECÍFICA**

Si bien este análisis evalúa la medida en que el sistema social-ecológico de la minería aluvial en Madre de Dios está perdiendo resiliencia y por ende cambiando de estado, es importante analizar la resiliencia específica de sus componentes ya que allí se encuentran las claves de la modificación de la resiliencia general.

**CUADRO 20: Análisis de la resiliencia según atributos del sistema.**

| Atributos del sistema                       | ¿Resiliencia de qué?  | ¿Resiliencia a qué?  | Situación actual   | Tendencia   |
|---|---|--|--|---|
| Diversidad                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Medios de vida</li> <li>- Cosmovisiones</li> <li>- Diversidad genética</li> <li>- Diversidad de especies</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensificación minería.</li> <li>- Aculturación.</li> <li>- Destrucción de relictos.</li> <li>- Modificación de hábitats.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor diversidad implica menor capacidad de respuesta ante fenómenos inesperados (por. ej. desastres).</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Homogenización de hábitats.</li> <li>- Aparición de nuevos <i>hot spots</i> biodiversos.</li> <li>- Pérdida de redundancia.</li> </ul>   |
| Apertura                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Asociaciones de mineros.</li> <li>- Entidades del Estado.</li> <li>- Comunidades nativas.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intereses particulares.</li> <li>- Volatilidad de profesionales y lineamientos.</li> <li>- Incomprensión intercultural.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La negociación entre el Estado, los mineros y las comunidades se ha reiniciado, pero aún no se tiende puentes para el diálogo efectivo.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambio abrupto de posturas y nivel de apertura de los actores según los cambios de la voluntad política.</li> </ul>  |
| Rapidez y fortaleza de la retroalimentación | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actores directos.</li> <li>- Población afectada por mercurio.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Retraso en la toma de decisiones.</li> <li>- Comunicación tardía de alertas tempranas.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La comunicación y educación insuficiente sobre los impactos de la minería informal han propiciado que prospere durante décadas.</li> <li>- Las alertas tempranas ya se han dado a la población.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actualmente la información fluye de manera más efectiva pero existen paradigmas y hábitos que permiten que la minería se mantenga en la informalidad.</li> <li>- Mayor difusión de estudios sobre impactos en la salud.</li> </ul>   |
| Reservas del sistema                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cultura ancestral y conocimiento sobre medios de vida alternativos.</li> <li>- Hábitats de especies funcionales.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de identidad y conocimientos por cambios de medios de vida.</li> <li>- Alteración de la dinámica de ambientes protegidos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aún se mantienen reservas de conocimiento ancestral pero cada vez son menos. La aculturación promueve además la pérdida de idiomas.</li> <li>- Los mineros están siendo retirados de las áreas de exclusión minera.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rescate cultural a través de iniciativas locales.</li> <li>- Re-invasión de áreas protegidas. Dependencia del control externo.</li> </ul>  |
| Modularidad                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conectividad entre clusters.</li> <li>- Conectividad entre cuencas.</li> <li>- Conectividad entre el manejo de conflictos socio-ambientales en el país.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conflictos entre asociaciones de mineros.</li> <li>- Exportación e intercambio de impactos por especies migratorias y dinámicas ambientales.</li> <li>- Inoportuna identificación de lecciones aprendidas y optimización de procesos para la prevención de conflictos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Algunas asociaciones tienen posiciones encontradas pero existe comunicación entre ellas. Las plataformas mínimas de tecnologías de la información están disponibles vía satelital.</li> <li>- Se está impactando toda la cuenca amazónica.</li> <li>- El Estado aún no tiene una estrategia clara para la prevención y manejo de conflictos, menos aún por minería informal.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor diálogo entre asociaciones de mineros. Lenta desaparición de las mismas.</li> <li>- Impacto irreversible y a largo plazo podría mitigarse con una adecuada estrategia de control de la minería aluvial.</li> <li>- Centralización de la intervención en conflictos socioambientales. Articulación interinstitucional.</li> </ul> |

FUENTE: Elaboración propia (2012).

Es posible apreciar que el sistema está perdiendo diversidad en varios de sus componentes y ello es lo que propicia que esté en una etapa de cambio. Por otra parte, la gobernanza es fundamental para manejar el sistema, sin embargo la apertura de los actores es voluble y ello implica una gran vulnerabilidad.

Salvo los *feedbacks* ecológicos, que pueden tener retrasos importantes, la retroalimentación de la toma de decisiones por la comunicación entre actores es efectiva. En lo que respecta a reservas, el sistema afectado por la minería aluvial está perdiendo conocimientos tradicionales, especies y hábitats funcionales, sin embargo ello puede minimizarse si se desarrolla medios de vida sostenibles en las zonas de amortiguamiento de las áreas de conservación y por ende se establece una barrera que limite la expansión de los impactos directos de la minería.

Hay que tener en cuenta que los ecosistemas amazónicos son muy modulares, interdependientes y tienen gran conectividad. A pesar que se puede intentar minimizar los impactos locales y directos de la minería, siempre existen efectos indirectos y que se manifiestan a mediano y largo plazo. En cambio, la modularidad en la gestión de conflictos socioambientales en el país aún no es muy alta. En la medida en que se logre articular acciones, capitalizar los aprendizajes y entender la historia, las acciones podrán ser efectivas.

#### **4.3.11. ANÁLISIS DE LA GOBERNANZA Y LAS INSTITUCIONES**

A continuación se aprecia el listado de los principales actores que intervienen en el sistema. Aquellos que son locales pueden tener más influencia en decisiones de corto plazo y de gran impacto. En cambio, cuando son internacionales o de gran escala pueden tener mayor influencia en la trayectoria del conflicto y su resultado a largo plazo.

La Figura 131 se ha elaborado en base a la clasificación de stakeholders de Mitchell et al. (1997) y en ella se puede apreciar que los mineros, el Estado, los intermediarios y la población local son actores definitivos. Además, predominan los actores con urgencia de atención y poder local. Es decir, del último nivel espacial e internos al conflicto. La legitimidad del Estado y de los mineros colonos es moderada a baja. Sin embargo, son

actores críticos. La sociedad civil, la prensa, las organizaciones internacionales y la academia tienen legitimidad y alta reputación, sin embargo, son actores expectantes.



**FIGURA 131: Actores en el sistema social-ecológico afectado por la minería aluvial.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).

En el Cuadro 21 se detalla los temas sobre los cuales diferentes instituciones tienen la capacidad de tomar decisiones y se evalúa si la posición que muestran promueve o restringe la flexibilidad del sistema. A continuación (Cuadro 22) se indica los niveles de escala en los cuales se toman decisiones. Nótese que las decisiones productivas y que afectan directamente a las redes sociales y al ecosistema se toman a nivel local, mientras que las decisiones regulatorias se toman a nivel nacional e internacional. Hay poca articulación entre ambos niveles. En el Cuadro 23 se indica el nivel de cumplimiento normativo actual y las mejoras sugeridas para incrementarlo.

**CUADRO 21: Análisis de la flexibilidad generada por la toma de decisiones.**

| Tema  | Instituciones   | ¿Promueve flexibilidad? | ¿Restringe flexibilidad? |
|---|---|-------------------------|--------------------------|
| Organización productiva, cadena de valor y áreas de producción.                 | Asociaciones de mineros<br>Mineros individuales (formales e informales).<br>Inversionistas de la minería informal<br>Proveedores<br>Compradores del mercado negro<br>Intermediarios | No                      | Sí                       |
| Áreas de exclusión, mecanismos de vigilancia y control.                         | Comisión PCM <sup>36</sup>  | Sí                      | En ocasiones, sí         |
| Alerta temprana, análisis del conflicto, evaluación de impactos y alternativas. | ONGs (nivel local, nacional e internacional).   | Sí                      | No                       |
| Profundización sobre el análisis de los impactos.                               | Organismos científicos<br>Universidades   | No                      | No                       |
| Intercambio de información  | Medios de comunicación  | No                      | Sí                       |
| Cesión de tierras para la minería   | Dirección regional del MINEM<br>Gobierno local<br>Concesionarios de otras actividades   | Sí                      | No                       |

FUENTE: Elaboración propia (2012).

**CUADRO 22: Evaluación de los niveles de toma de decisiones.**

| Tema   | Nivel de toma de decisiones | ¿Nivel apropiado dadas las escalas de los procesos? | Mejoras sugeridas   |
|--|-----------------------------|---|---|
| Regulación de la minería aluvial y/o informal                      | Nacional                    | Sí, pero puede mejorar.                             | Mejorar el proceso de participación de los actores locales en la emisión de dichas normas porque actualmente éstas no contemplan mecanismos viables para operacionalizar lo regulado.<br>Existe una gran influencia de los inversionistas de la minería informal, que han adquirido poder político y ralentizan los procesos de regulación de la actividad. |
| Otorgamiento de concesiones de diferente tipo y petitorios mineros | Nacional                    | No  | Debería controlarse a nivel regional, con veeduría nacional y bajo lineamientos de organismos centrales. Debería tenerse un sistema de información geográfico continuamente retroalimentado que de soporte a la toma de decisiones.   |

<sup>36</sup> Cabe resaltar que la comisión de la PCM está conformada por las siguientes instituciones: MINAM, MINAG, MEF, MINEM, MTPE, PRODUCE, INGEMMET, DICSCAMEC, DIGESA, GORE, FEDEMIN y FENAMARPE, con el INEI, SERNANP y el CONGRESO como invitados. No están presentes todos los sectores aunque pueden asistir como invitados, siendo evidente la ausencia del MINEDU.



| Tema                                  | Nivel de toma de decisiones | ¿Nivel apropiado dadas las escalas de los procesos? | Mejoras sugeridas  |
|---------------------------------------|-----------------------------|---|--|
| Métodos de explotación                | Local                       | No  | Si bien es cierto que cada productor tiene la libertad de escoger su metodología de producción, teniendo en cuenta los impactos que éstas tienen, algunas deben estar restringidas teniendo en cuenta áreas sensibles, las épocas del año en las que son más dañinas, etc. |
| Precio del oro                        | Internacional               | Sí  | Se trata de una variable externa, que no es posible controlar ni siquiera como país.   |
| Estrategias y programas de desarrollo | Regional y local            | Sí, pero puede mejorar                              | Deben estar articulados a iniciativas nacionales, teniendo en cuenta las necesidades de los pobladores, las capacidades del espacio y los riesgos.   |
| Ordenamiento territorial              | Regional y Nacional         | No  | Se tiene una zonificación ecológico económica de la región y un mapa de las áreas de exclusión para la minería pero se requiere complementar el ordenamiento territorial a nivel micro y articular las estrategias de desarrollo.  |

FUENTE: Elaboración propia (2012).

### CUADRO 23: Evaluación del cumplimiento normativo.

| Tema  | ¿Cumplimiento efectivo?  | Mejoras sugeridas   |
|---|--|---|
| Áreas de exclusión minera   | Aún no, aún existen áreas en litigio.  | Analizar los mecanismos que generan que esas áreas sean ocupadas. Atender las causas y no los síntomas del problema.  |
| Trámites para estudios ambientales  | No, son engorrosos y no están pensados para la minería informal.                               | No sólo simplificar los trámites sino dar acompañamiento. Los impactos ambientales y sociales ya han sido estudiados. Concentrar energía en los efectos sinérgicos de las nuevas operaciones, el plan de manejo, monitoreo participativo y cierre progresivo. Asociar a los productores por microcuencas.             |
| Control de insumos químicos   | No, existen muchos mecanismos para ingreso ilegal de los insumos al país.                      | Coordinar con los países proveedores de insumos químicos para establecer mayores controles en la producción y distribución de los mismos.   |
| Control de intermediarios   | No, las empresas simplemente pasan a la ilegalidad y encuentran otros mecanismos de operación. | Aplicar la pena privativa de libertad en caso de reincidencia.  |
| Vigilancia de áreas protegidas  | No, se carece de suficiente personal.  | Desarrollar alianzas con las comunidades locales para vigilar de manera efectiva. También, con organismos de la sociedad civil y entidades científicas para hacer uso de la teledetección. Realizar monitoreo continuo de los impactos indirectos, comunicarlos a la prensa y sugerir controles al Gobierno Regional. |
| Eliminación de bienes de producción altamente destructivos como las dragas. | Sí, mediante las fuerzas policiales  | Analizar los efectos de los desalojos y las posibles respuestas de los mineros, identificando las nuevas áreas donde probablemente se re-asienten.  |

| Tema                               | ¿Cumplimiento efectivo?              | Mejoras sugeridas  |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Pago de impuestos                  | No, pago es parcial.                 | Establecer mecanismos de formalización efectivos y sistemas para darle seguimiento a los pagos. Incorporarlos en el sistema bancario para mejorar el control.  |
| Penal privativa de libertad        | Parcialmente                         | Aplicarla de manera efectiva, sobretodo en casos de dolo comprobado. Asegurar que los vacíos legales y problemas de jurisprudencia se hayan resuelto con la normativa actual.  |
| Rehabilitación de áreas degradadas | Parcialmente, sólo proyectos piloto. | Asignar a la rehabilitación un alto porcentaje del canon y las regalías mineras que el país no utiliza de manera efectiva y devuelve al Estado al final de cada año fiscal. Asegurar que se maneje indicadores de integridad ambiental y que las intervenciones sean sostenibles a largo plazo. Incorporar centros de investigación en el proceso. |

FUENTE: Elaboración propia (2012).

El conflicto socioambiental en Madre de Dios se ha manifestado con grandes hechos de violencia en los últimos años y las dinámicas de toma de decisiones han cambiado, sobretodo por la intervención de los medios de comunicación y el Estado, y por la conciencia de que los niveles de degradación y contaminación han llegado a niveles que ponen en peligro la salud pública y la biodiversidad.

Hasta la fecha el conflicto ha sido analizado desde casi todas sus aristas (aspectos ideológicos, sociológicos, tecnológicos y físicos), pero la toma de decisiones no ha considerado la integración de visiones y perspectivas diferentes. Se requiere un enfoque transdisciplinario para entender todas las posiciones e intereses que subyacen el conflicto.

Se ha observado respuestas negativas de agresión desviada hacia objetos. Sin embargo, a nivel local ha sido más frecuente la agresión diferida. Por otra parte, los mineros han racionalizado su postura al tratar de justificar la actividad autoconvenciéndose que es necesaria y no es tan dañina.

Realizando una evaluación con el modelo de gestión de conflictos de Noriega, se puede observar éste es totalmente disfuncional porque no contribuye a la búsqueda de alternativas viables que agreguen valor a todos los grupos de interés. En varias ocasiones el diálogo se ha visto interrumpido en las mesas de negociación establecidas en Madre de Dios por falta de representatividad de todos los grupos de interés, y por presión negativa de algunos de ellos. Ha faltado una estrategia de negociación predefinida que contemple:

sensatez, eficacia y mantenimiento de óptimas relaciones. Por otra parte, al cambiar al negociador, el Estado ha ido perdiendo legitimidad y control del conflicto.

El liderazgo del Estado inició recientemente y tuvo un corte participativo. Sin embargo, en vista de los limitados resultados, la comisión de la PCM optó por un estilo autoritario. Dicha comisión, donde participan todas las entidades del Estado que están vinculadas al problema, busca lograr la formalización de la minería a mediano plazo.

La efectividad de la decisión de ordenar y formalizar se ha visto restringida por:

- La calidad moderada de la decisión, porque si bien se ha planteado una alternativa de manejo territorial, no contempla su impacto en otras dinámicas y escalas.
- La aceptación parcial de los actores.
- El alto costo de oportunidad, sobretodo teniendo en cuenta los servicios ambientales y las concesiones superpuestas.
- La demora en la decisión.

La principal lección es que la prevención del conflicto no ha sido oportuna, ya que teniendo información histórica y alertas tempranas, la intervención del Estado recién se dio a partir de la creación del MINAM.

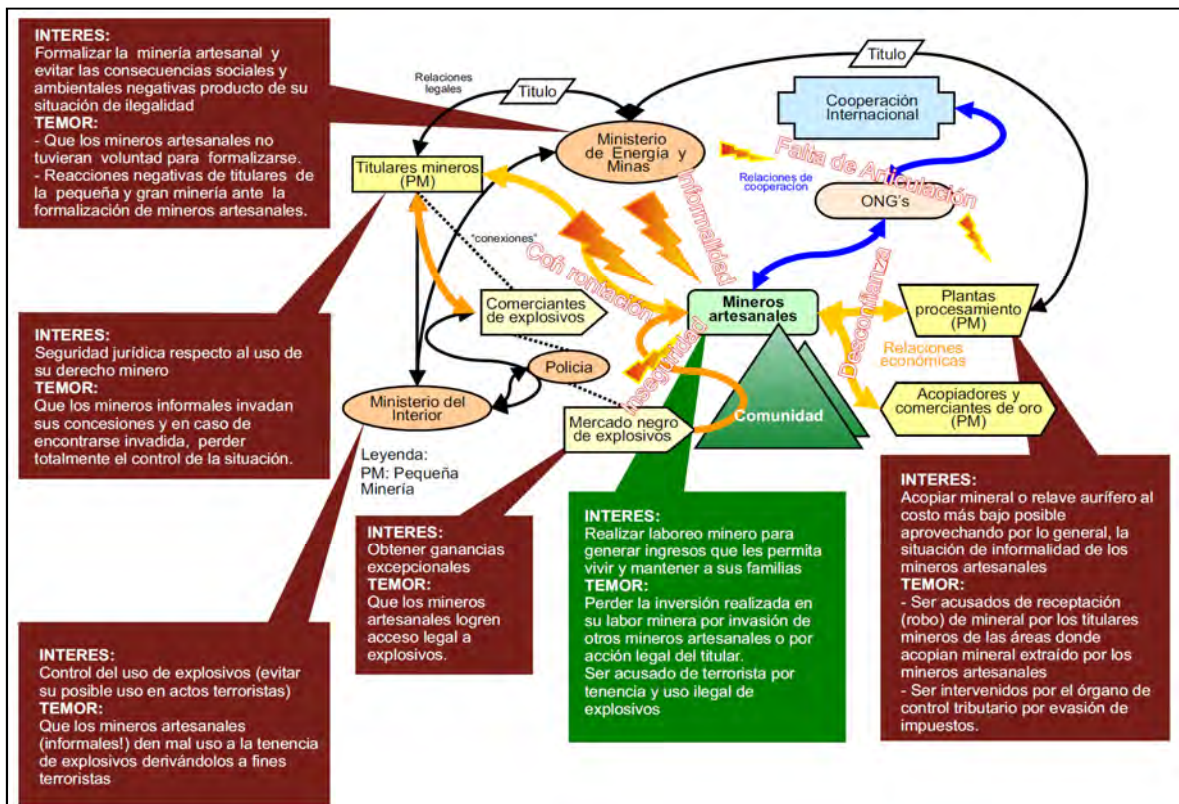
La preparación para el conflicto ha sido insuficiente. No se tiene hasta ahora un plan de crisis ni de manejo de contingencias. Las comunicaciones en cambio, sí han sido manejadas de mejor manera, debido al apoyo de la sociedad civil en general.

El reconocimiento del conflicto ha sido realizado por entes externos al Estado hasta antes del 2010. A partir del 2011 el Estado desarrolló una adecuada sistematización de la problemática. Se trata de uno de los problemas socioambientales más graves y complejos del país. Genera pérdidas millonarias anuales así como impactos de largo plazo cuya valoración aún no se ha estimado.

El conflicto hasta la fecha no está resuelto. Las medidas tomadas aún no han sido efectivas, aunque existen pequeñas asociaciones mineras convencidas de la necesidad de un cambio. La efectividad total del manejo por el momento da un saldo negativo ya que la decisión no ha sido efectiva, el costo de las decisiones tomadas ha sido alto y el desarrollo

generado a consecuencia de la intervención es aún es incipiente. Es importante que en esta etapa se logre enrumbar el sistema social-ecológico hacia un contexto donde los actores busquen un ganar-ganar, un desarrollo compartido.

Para lograrlo un primer paso es reconocer los intereses, posiciones, temores, expectativas y alternativas de los actores. Sobretudo todo hay que tener presente el MAAN o “mejor alternativa a un acuerdo negociado” de cada Stakeholder, principalmente de los actores que promueven que el sistema se mantenga en el Estado actual, como los inversionistas con poder político, los intermediarios y en general, los actores con intereses económicos. A continuación el resumen del análisis de intereses que efectuó el proyecto GAMA como consecuencia de su intervención en la minería artesanal peruana. Si bien para el sistema de Madre de Dios no aplica el tema del uso de explosivos, el resto del análisis es aún valedero. Este tipo de evaluaciones deberían profundizarse, inclusive a escala local, para plantear alternativas funcionales para el manejo del sistema.



**FIGURA 132: Intereses y temores de los principales actores de la minería artesanal.**

FUENTE: Medina et al. (2005).

En el Cuadro 24 se detalla los actores que están envueltos en el conflicto y su nivel de poder.

**CUADRO 24: Mapeo de relaciones de poder y conflictos.**

| Stakeholder                                      | Poder formal | Poder informal | En conflicto con...   | Mecanismos de resolución de conflictos  |
|--|--------------|----------------|---|---|
| Comisión PCM                                     | Alto         | Bajo           | Conflicto interno. Hay organizaciones cuyos procesos aún están desarticulados o son contradictorios (ej: INGEMMET y SERNANP). | Análisis de procesos y enfoques en todas las organizaciones. Simplificación de procesos y asegurar que se evite la duplicación de roles.                                |
| Gobierno regional                                | Alto         | Bajo           | Gobierno central por asignación de recursos.  | Mejorar la coordinación y el trabajo conjunto.  |
| Gobiernos locales                                | Alto         | Moderado       | Gobierno central, porque muchos apoyan la minería informal.   | Desarrollo de lineamientos país sobre el tema, dirigidos a los gobiernos locales.   |
| FENAMAD (nativos que realizan minería)           | Moderado     | Alto           | Asociaciones de mineros y entidades de gobierno.  | Reconocimiento y ordenamiento de áreas de comunidades nativas.  |
| Asociaciones de mineros con concesión            | Bajo         | Alto           | Asociaciones de mineros informales, FENAMAD.  | Mesa de diálogo.  |
| Asociaciones de mineros informales               | Bajo         | Moderado       | Asociaciones de mineros con concesión.  | Establecimiento de medidas para la promoción de las asociaciones de microempresas.<br>Mesas de diálogo.   |
| Concesionarios de otros usos del espacio.        | Bajo         | Moderado       | Asociaciones de mineros.  | Reconocimiento de concesiones.<br>Mesa de diálogo.  |
| Dueños de plantas de beneficio y tiendas de oro. | Bajo         | Alto           | Entidades de gobierno.  | Regulación.   |
| Inversionistas de la minería informal            | Bajo         | Alto           | Entidades de gobierno.<br>Medios de comunicación.   | Desarrollar mecanismos para la lucha contra la corrupción y el tráfico de influencias.<br>Denunciar los casos de influencia política de los grupos de poder económicos. |
| Comerciantes de insumos.                         | Bajo         | Moderado       | -   | -   |
| Compradores (intermediarios del mercado negro)   | Bajo         | Alto           | -   | -   |
| Pobladores ribereños                             | Bajo         | Bajo           | -   | -   |
| Sociedad civil organizada                        | Bajo         | Bajo           | -   | -   |
| Medios de comunicación                           | Bajo         | Alto           | -   | -   |
| Universidades y org. de investigación            | Bajo         | Bajo           | -   | -   |

| Stakeholder                | Poder formal | Poder informal | En conflicto con... | Mecanismos de resolución de conflictos |
|----------------------------|--------------|----------------|---------------------|--|
| Organismos internacionales | Bajo         | Moderado       | -                   | -                                      |

FUENTE: Elaboración propia (2012).

Se puede observar que sólo los organismos del Estado y los líderes de las comunidades nativas tienen poder formal. En cambio, aquellos actores con más influencia en la actividad como los mineros con concesiones, los compradores, los intermediarios que poseen plantas de beneficio y tiendas de oro, los inversionistas de la minería informal (con poder político) así como los medios de comunicación y la FENAMAD son los que tienen un alto nivel de poder *de facto*, que ejercen de manera continua para proteger sus intereses. Mientras más cerca está un stakeholder de la cadena de comercialización, más posibilidad tiene de influir en la conducta de otros.

Como mecanismos de resolución de conflictos actualmente sólo se ha trabajado las mesas de diálogo, la institución de la comisión de la PCM y algunas herramientas regulatorias. Sin embargo, se requiere lograr que todos los actores participen del diálogo para llevar a acuerdos más sostenibles. Además es necesario realizar una evaluación profunda de la efectividad de las acciones que se están planteando, de la capacidad real para llevarlas a cabo y de sus riesgos.

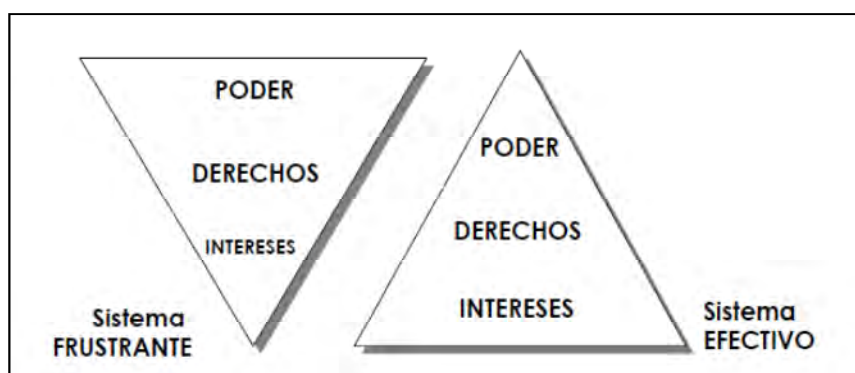
La voluntad de trabajar de manera colaborativa es voluble y en la medida que no se encuentre puntos de interés común, esto podría seguir ocurriendo. Por el momento la capacidad de decisión formal se ha concentrado en las entidades del Estado (aunque aún tienen diferencias internas que resolver) y la *de facto* en los mineros. Esto genera el riesgo de manejar un doble discurso. Es necesario que todas las escalas de toma de decisiones estén alineadas en sus perspectivas a futuro. Sólo así se podrá lograr una mejor gobernanza.

No se debe buscar participación sino colaboración mutua, tomando aprendizajes de la historia y de un profundo análisis social, económico y ambiental del caso. Es necesario reconocer que el ecosistema no se podrá recuperar de inmediato y se requiere plantear

estrategias adaptativas, que deben ser revisadas continuamente y reformuladas si cambia la trayectoria de alguna variable clave o si no son efectivas.

Es fundamental que la prensa se involucre más, informando ya no sólo acerca de los impactos de la actividad, sino de las alternativas de manejo, las buenas prácticas, la rentabilidad de medios de vida alternativos, la probabilidad de ocurrencia de cambios a otras escalas que afecten el sistema, la vulnerabilidad local, los cambios de umbrales, las innovaciones para lograr una producción más limpias, la manera cómo interaccionan diversas escalas de gobierno para aportar al manejo del problema, etc. Ello permitirá que la discusión sobre el tema esté presente en el espacio público y se genere una atmósfera de confianza en vez de un ambiente conflictivo.

Todo sistema que es manejado sólo en base al poder es altamente vulnerable y cambiante. La mejor manera de lograr acuerdos sostenibles y asegurar la gobernabilidad es mediante un sistema de toma de decisiones que tome en cuenta los intereses, percepciones y derechos de los actores.



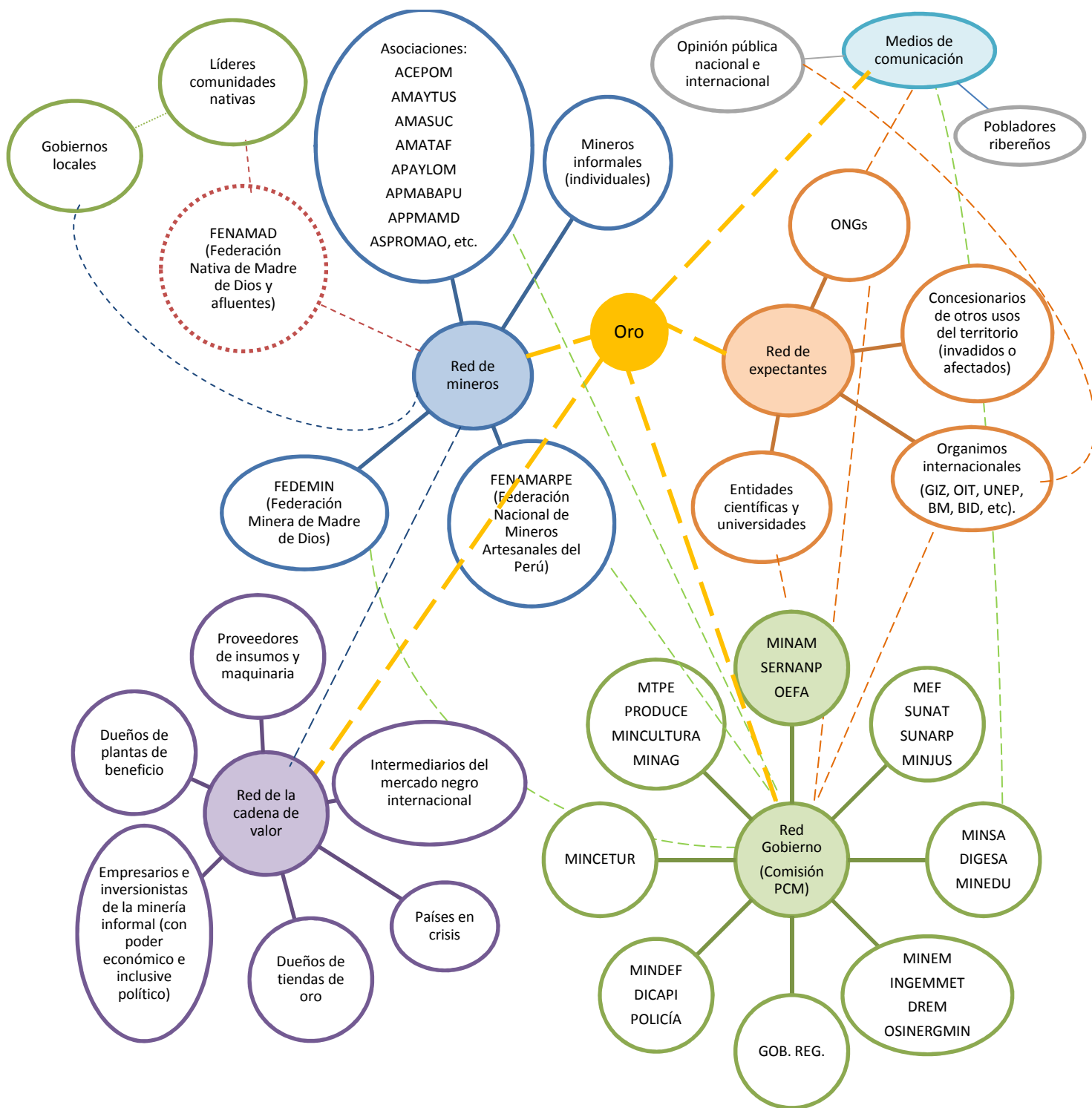
**FIGURA 133: Maneras de focalizar la resolución de conflictos.**

FUENTE: Ury et al. (1989).

#### **4.3.12. ANÁLISIS DE LAS REDES SOCIALES ENTRE ACTORES**

Las redes sociales son las que determinan la evolución del capital social y finalmente dan la pauta en la toma de decisiones. A continuación se muestra un mapeo de las redes sociales a nivel macro. Los involucrados en las mesas de concertación deberían actualizar constantemente este mapeo y agregarle detalles sobre escalas menores.





**FIGURA 134: Análisis de las redes sociales y relaciones entre stakeholders.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).

La Figura 134 muestra que el oro es el elemento que une las diferentes redes sociales, ya sea por intereses que responden a la competencia, la regulación o el conocimiento. Haciendo un *zoom* a cada pequeño mundo se podría observar que la red de



mineros está dirigida por los dirigentes de los clusters, la red de expectantes está dirigida por las organizaciones internacionales (de las cuales, actualmente la cooperación alemana – GIZ, es la más activa), la red de medios de comunicación está dominada por la prensa virtual, la red de la cadena de valor está manejada por los inversionistas de la minería informal y por los intermediarios del mercado negro del oro. Finalmente la red del gobierno está controlada por la comisión para la formalización de la minería artesanal de la PCM.

Existe una relación importante de los actores de la cadena de valor entre ellos y con los mineros, sin embargo, poca o ninguna vinculación con el gobierno y sus regulaciones. Los gobiernos locales son actores que han estado poco presentes en las rondas de concertación y están poco vinculados con la comisión de la PCM. Muchos de ellos inclusive promueven la minería aluvial porque dinamiza sus localidades. En algunos casos tienen acuerdos con los líderes de comunidades nativas y en otros casos están en directo conflicto con ellos.

La FENAMAD, Federación de Mineros Artesanales es un actor *sui generis*, porque tiene derechos diferentes al resto de mineros y no está tan articulada a ellos. Incluso mantiene una relación muy conflictiva con algunos concesionarios y mineros individuales.

La comisión de la PCM es un actor central y ha logrado involucrar a FEDEMIN, FENAMAD y FENAMARPE, sin embargo aún existen mineros informales y asociaciones sin representación. Es importante mencionar que cada asociación maneja sus propias reglas y representa subgrupos altamente cohesionados.

Las ONGs y las organizaciones internacionales están ejerciendo influencia en la comisión de la PCM, proponiendo lineamientos, difundiendo estudios y marcos de actuación. Además, también influyen en la opinión pública. Las entidades científicas están más involucradas con el MINAM y sus organismos de apoyo.

Los medios de comunicación son el vínculo entre la población local y el resto de actores, entre la opinión pública y la realidad. En algunos casos brindan información parcializada o limitada a los impactos y en otros casos incluso han permitido identificar redes políticas de corrupción alrededor de la actividad.

Existen actores que están poco vinculados, como los pobladores ribereños que no forman parte de la cadena de valor de la minería, los concesionarios de otros usos del territorio y los países en crisis que compran oro para fortalecer su moneda, etc. Los dos primeros están dejando en manos del gobierno el manejo de la situación, pero deberían tener representantes en las mesas de diálogo ya que sus intereses podrían verse subestimados. El ministerio de relaciones exteriores podría establecer acuerdos (con apoyo de los organismos internacionales) para controlar la cadena de valor de la minería informal y evitar la compra del mercado negro.

Una de las barreras para lograr una gobernanza cooperativa es la falta de un relacionamiento constructivo entre la cadena de valor de la minería y el Estado. Para lograr el desarrollo de una minería más controlada, se requiere una cadena de valor más responsable, que aporte su *expertise*. Por lo tanto habría que dar mayor atención a este nodo, que debería transformar su modo de operar para contribuir a la solución del problema. Adicionalmente, es fundamental la lucha contra la corrupción en ambos grupos de actores.

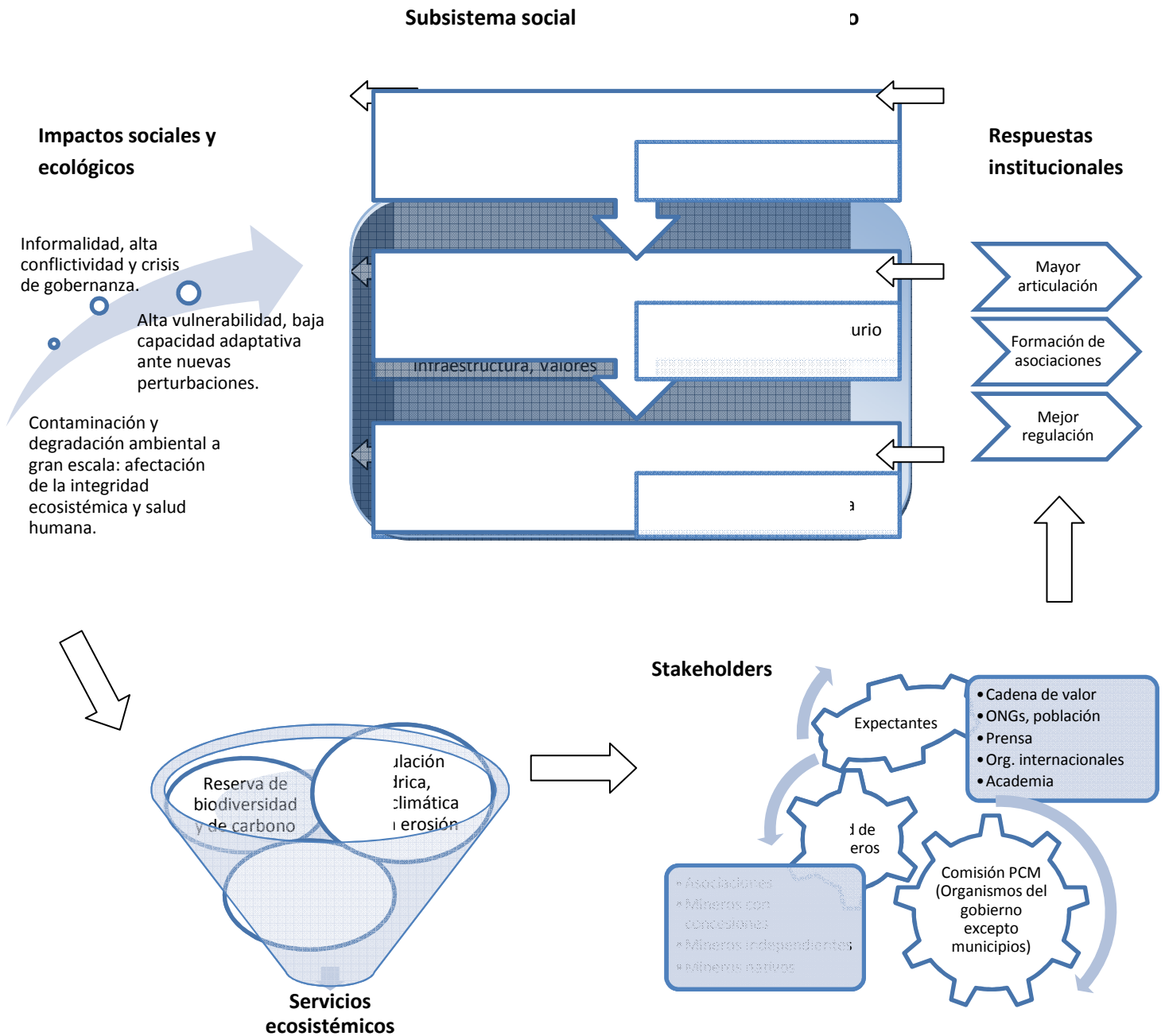
Asimismo es necesario que las buenas prácticas identificadas en proyectos pilotos de rehabilitación de áreas degradadas y minería con nuevas tecnologías sean validadas por el Estado y difundidas por la prensa y por los gobiernos locales.

Hay que resaltar que el panorama actual se muestra mucho más cohesionado que el de eras anteriores de manejo. Los hechos clave han sido la formación de la comisión interinstitucional en el gobierno que integra actores de varias escalas, y el fortalecimiento de las asociaciones. Falta aún desarrollar vínculos más estrechos y de largo plazo, pero es posible encaminar un cambio positivo partiendo de la topología de la red social actual. Una buena estrategia para vincular más a los actores y que podría liderar el gobierno sería el desarrollo de microempresas interrelacionadas. Aunque ello no resuelve la problemática ecológica, permitiría incrementar la gobernanza.

#### **4.3.13. SÍNTESIS DEL ANÁLISIS DE LA RESILIENCIA**

A continuación se resume los hallazgos del análisis en un mapa conceptual que incorpora las principales variables, actores, impactos y respuestas que afectan el sistema en

estudio. Se debe tener en cuenta que este mapa puede variar en el tiempo ya que los sistemas social-ecológicos son altamente dinámicos. Es más, actualmente los procesos que subyacen a la minería informal en Madre de Dios se encuentra en proceso de cambio.



**FIGURA 135: Mapa conceptual del funcionamiento del sistema social-ecológico.**

FUENTE: Elaboración propia (2012).

Chapin et al. (2009) sugieren que para incrementar la resiliencia de un sistema se debe seguir por lo menos cuatro estrategias. En el Cuadro 25 se describe medidas específicas para cada una de ellas, aplicables al caso en estudio.

**CUADRO 25: Estrategias para incrementar la resiliencia.**

| Estrategias   | Objetivos para programas y planes   |
|---|---|
| Promover la diversidad biológica, económica y cultural                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conservar ecosistemas clave.</li> <li>- Investigar acerca de la capacidad adaptativa de ecosistemas degradados pero resilientes.</li> <li>- Rehabilitar áreas degradadas buscando restaurar y/o compensar la diversidad funcional.</li> <li>- Difundir a través de la prensa los conceptos clave de la cosmovisión indígena, colona y de las asociaciones de mineros, buscando tender puentes entre ellas y lograr mayor empatía.</li> <li>- Realizar convenios con otros países que tienen problemáticas similares para el intercambio de aprendizajes.</li> <li>- Subsidiar la implementación de medios de vida sustentables que tiendan a reemplazar la actividad minera informal.</li> </ul>   |
| Promover una combinación de retroalimentaciones estabilizantes con renovaciones creativas | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Asegurar que se mantenga alta la adaptabilidad del capital humano.</li> <li>- Establecer un programa de remediación y monitoreo que permita minimizar el impacto del mercurio en el ambiente.</li> <li>- Identificar los tiempos de respuesta del ecosistema.</li> <li>- Analizar los impactos de la intensificación de la actividad minera en áreas no adyacentes.</li> <li>- Regular de manera efectiva la provisión de recursos y de bienes de producción.</li> </ul>   |
| Promover el aprendizaje social a través de la experimentación e innovación                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollar análisis más profundos sobre las expectativas, capacidades, intereses y motivaciones de los actores, para identificar esquemas alternativos para resolver los conflictos y desarrollar propuestas colaborativas de manejo adaptativo.</li> <li>- Desarrollar evaluación de escenarios con representantes de los diferentes actores sociales.</li> <li>- Realizar simulaciones para identificar las posibles consecuencias de diferentes opciones de manejo.</li> <li>- Obtener aprendizajes de las respuestas y dinámicas socio-ecológicas en cada localidad donde se aplique manejo adaptativo.</li> </ul>  |
| Adaptar la gobernanza a las condiciones cambiantes  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Asegurar la sostenibilidad y eficiencia de la propuesta de la comisión de la PCM, complementando a las instituciones con los recursos requeridos, haciendo reingeniería de procesos y operacionalizando las políticas y regulaciones de manera efectiva, con profesionales estables y comprometidos.</li> <li>- Asegurar que exista suficiente apoyo e interrelación de funciones entre los diversos actores para que se tenga una cuota mínima de redundancia en la implementación de mejores prácticas.</li> <li>- Desarrollar las mesas de concertación en un clima de confianza, cumpliendo los acuerdos y siguiendo estrategias de negociación desarrolladas por expertos.</li> <li>- Reconocer los derechos tanto de las comunidades nativas, los mineros como de la población de las cuencas afectadas.</li> <li>- Desarrollar plataformas de comunicación entre actores, facilitando su inclusión en redes sociales especializadas.</li> </ul> |

FUENTE: Elaboración propia (2012).

#### 4.3.14. EVALUACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN

Al describir las eras de manejo se explicó que la última, la era actual, es denominada “de transformación”. Con esta era inició una fase  $\Omega$ , lo cual no sólo podría generar un cambio de estado, sino de trayectoria y por ende una reorganización total del sistema. Todo depende de las medidas y acuerdos que se tomen. En términos generales se puede indicar que el sistema requiere transformarse respecto a los siguientes puntos:

- A escala nacional: En la estructura de intervención en los conflictos socioambientales, la articulación interinstitucional y la visión estratégica de sistemas complejos.
- A escala regional: En la asignación de recursos y la planificación del territorio.
- A escala local: En lo que respecta al liderazgo y la construcción de redes de innovación para el desarrollo.

Una transformación del ecosistema podría tener consecuencias inimaginables pero en un escenario extremo implicaría aceptar, por ejemplo, que las áreas mineras se degraden de manera irreversible, cambiándose así el uso del espacio (lo cual podría beneficiar económicamente a algunos actores de la cadena de valor). En el escenario positivo la transformación implicaría sustituir la minería por otras actividades que sí son sostenibles, o cambiar su modo de operación de tal manera que su impacto sea mínimo (lo cual beneficiaría a la mayor parte de actores). Como se concluyó en el análisis de escenarios, lo más probable es que se de una transformación hacia otros medios de vida sólo en un 30% del sistema, mientras en el resto de la región se reorganiza la actividad o se mantiene informal.

Controlar la trayectoria de una transformación implica mejorar la gobernanza, confianza y liderazgo. Las siguientes son algunas prácticas aplicables al sistema en estudio, para fortalecer los capitales y manejar la transformación:

- Invertir recursos estratégicos en asegurar la integridad de bienes y servicios clave.
- Incorporar el conocimiento tradicional y ecológico a las instituciones que toman decisiones.
- Crear o mejorar las redes sociales y ecológicas.
- Identificar diferentes fuentes de aprendizajes y soluciones innovadoras.

- Proveer incentivos ganar-ganar para los actores más colaborativos.
- Reconocer los vacíos de conocimiento con los cuales se toman las decisiones y minimizarlos en aquellos temas que sean estratégicos.
- Sistematizar aprendizajes y desarrollar capital humano especializado en el manejo de sistemas social-ecológico complejos. Asegurar que los líderes tengan pensamiento sistémico y visión estratégica.
- Tender puentes entre la academia y la política.
- Cambiar la percepción pública negativa y usar el marketing para convencer que es posible cambiar la trayectoria del sistema al estado deseado.
- Lograr que los diferentes actores visualicen su rol, impacto e interacción mediante los medios de comunicación. Considerar la implementación de comunicación intercultural.
- Desarrollar plataformas para retroalimentar constantemente a los actores, sobretodo aquellos que participan en la concertación.
- Lograr apoyo político sostenible.

## **V. CONCLUSIONES**

### **5.1. ACERCA DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

5.1.1. Si el sistema se mantiene en la trayectoria actual es posible que se sobrepasen umbrales y no sólo se consoliden estados degenerativos sino que se transforme la funcionalidad del sistema. Controlar la trayectoria de la transformación implica mejorar la gobernanza, la confianza, el respeto y el liderazgo así como fortalecer los capitales de los medios de vida alternativos y sostenibles. Es decir, incrementar la resiliencia y reducir la corrupción.

### **5.2. ACERCA DEL OBJETIVO PRINCIPAL DE LA INVESTIGACIÓN**

5.2.1. El estado alternativo más probable conlleva que el sistema se mantenga varios años en la transición hacia una reconfiguración pero atrapado en la trampa de la pobreza, es decir una extensión poco saludable de la era de la “transformación”. La tendencia de las variables clave y la parsimonia indican que naturalmente el sistema evolucionaría tarde o temprano hacia un escenario pesimista, donde los impactos y sus costos asociados serían muy altos, y donde el estado del sistema estaría caracterizado por bajos niveles de capitales y por ende, baja sostenibilidad.

5.2.2. En la medida que se ralenticen algunas de las presiones más importantes para la dinámica del sistema, como el precio del oro y la migración, sería posible un cambio de atractor. Medidas colaborativas para incrementar la gobernanza también son fundamentales para minimizar los impactos del escenario actual e incrementar la resiliencia. A pesar que el proceso de formalización tiene cierta posibilidad de tener éxito en un mediano plazo, este no asegurará el control de la actividad ni de sus impactos.

### 5.3. ACERCA DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### a) Caracterización de escenarios con SERAFM, @risk y HgEx

- **Modelamiento de la respuesta del ecosistema**

5.3.1. En base a los registros históricos de mercurio en el ambiente, se encontró que:

- Las concentraciones máximas de mercurio en peces superaron el valor de referencia propuesto por la U.S.E.P.A. (0.5 ppm), todos los años excepto en el monitoreo de 1993.
- Los sedimentos evidencian una tendencia creciente a acumular mercurio, lo cual pone de relieve su función como sumidero ambiental.
- La concentración de mercurio en agua suele encontrarse dentro del límite de 1 ppb. salvo en las áreas mineras.

Si bien las concentraciones halladas son válidas para un lugar y momento determinado, la cantidad de muestras y la amplia distribución de las mismas hacen que los resultados puedan generalizarse para la región.

5.3.2. El análisis de los riesgos causados por mercurio evidencia que:

- Las dosis de exposición superan las guías internacionales y los animales que están en la cima de la cadena trófica acuática están más expuestos que los humanos.
- La bioacumulación de mercurio metilado es alta, pero a la vez muy variable, dependiendo de la estación del año, el nivel tecnológico y la intensidad de la exposición.
- Los niveles de mercurio se incrementan en promedio 1.5 veces entre el nivel trófico 3 y el nivel trófico 4.
- El mercurio disponible en sedimentos está pasando rápidamente a la biota, sobretudo en la forma de metilmercurio, principalmente en peces grasos.
- Todos los organismos evaluados se encuentran en alto riesgo toxicológico ante el metilmercurio (HQ >1), sobretudo en los enclaves mineros.
- Todos los habitantes de Madre de Dios tienen un alto riesgo de cáncer por la exposición continua al metilmercurio (RC >10<sup>-5</sup>). La sensibilidad es mayor en especies que tienen a los peces como componente fundamental de la dieta.



- Los estándares que maneja nuestra legislación aún son valederos y conservadores, ya que son más exigentes que los valores criterio de protección (WCV) calculados.

5.3.3. El límite superior ( $x+3\sigma$ ) del rango de variación del mercurio en agua supera el valor guía propuesto por la USEPA y su variación temporal muestra que se ha ido incrementando exponencialmente con el paso de los años. El límite superior de mercurio en peces (2.4 ppm) también ha superado el límite de especificación y presenta gran variabilidad en ambientes contaminados. En sedimentos, el límite superior del rango de variación ha excedido hasta en 48 veces el límite de 0.1 ppm planteado por la OMS para ecosistemas íntegros.

5.3.4. La modelación con SERAFM y @risk mostró que los factores más influyentes en las dinámicas del mercurio en la zona de estudio son la concentración de mercurio en el epilimnion (agua superficial), en sedimentos, el tiempo de residencia hidráulico y el volumen de agua en la cuenca.

5.3.5. En el escenario actual modelado con SERAFM las concentraciones de mercurio en agua y peces sobrepasan los estándares internacionales de referencia y en caso se mantenga la tendencia de incremento del mercurio en sedimentos y agua, los animales de la cima de cadena trófica serán más susceptibles. El escenario optimista arrojó concentraciones inclusive más bajas que las consideradas “línea de base” o de “ambientes testigo”, con un nivel de riesgo aceptable. El logro de niveles de mercurio similares a los de este escenario requiere de un proceso sistemático de descontaminación que potencie y complemente la capacidad de regeneración natural del ecosistema. En el escenario pesimista la media de mercurio en agua (0.0265 ppm) fue al menos 5 veces mayor a la del escenario actual, y 265 veces mayor que aquella del escenario optimista. El mercurio en peces resultó extremadamente elevado y el HQ resultó inaceptable para todas las especies animales y una alerta temprana para humanos. Este escenario retrata la situación de los clusters mineros donde existen *hotspots* de contaminación.

- **Modelamiento de los escenarios de manejo adaptativo**

5.3.6. En todos los escenarios (actual, pesimista, optimista y alternativo) se tiene una certeza alta de bioacumulación en peces y contaminación ecosistémica. En el pesimista hay más posibilidades de metilación de mercurio y menos controles sociopolíticos. En todos los casos el sistema experto sugiere implementar un monitoreo a largo plazo y medidas de remediación. El reto es convertir el escenario actual (que no dista mucho del pesimista) en un escenario optimista o alternativo (con medios de vida menos extractivos vinculados por ejemplo al ecoturismo, la agroforestería, etc), donde la contaminación no se reduzca totalmente pero se pueda implementar controles administrativos para minimizar el alcance de los impactos.

**b) Resiliencia del sistema**

5.3.7. En el sistema social ecológico de Madre de Dios los asuntos más relevantes para el análisis de la resiliencia giran en torno a los hechos ocurridos los últimos cien años en relación a la formalidad de la actividad minera y su impacto ambiental.

5.3.8. Los ecosistemas de Madre de Dios tienen una gran cantidad de usos productivos y directos, que están siendo aprovechados de manera intensiva, pero la provisión de servicios ambientales aún no es comprendida a cabalidad y por ende valorada. De todos los medios de vida identificados, la actividad minera informal resulta la más accesible y fácil de realizar.

5.3.9. Las principales perturbaciones a las que está expuesto el sistema social ecológico son: la intensificación tecnológica, la contaminación por mercurio, la deforestación, la variabilidad climática con desastres, las prácticas de roce y quema, las iniciativas de formalización, la intervención militar y el incremento de los precios del oro. Como disturbancias potenciales figuran el narcoterrorismo y el cambio climático.

5.3.10. El sistema ha tenido cinco eras de manejo, a saber:

- a) Era de la configuración (1900-1929)
- b) Era del descubrimiento (1930-1960)

- c) Era de la organización (1961-1990)
- d) Era de la legalización (1991- 2002)
- e) Era de la transformación (2002 en adelante).

Los cambios y las presiones en el sistema se han intensificado durante los últimos años. Los principales factores que desencadenaron los cambios de eras de manejo han sido:

- A escala internacional: el precio del oro y el incremento de la conciencia ambiental, los cuales han sido determinantes en la evolución del sistema.
- A escala nacional: los vaivenes de la regulación, los incentivos económicos y la migración a la región, siendo este último el más influyente.
- A escala regional: el creciente acceso a mejores medios de comunicación y el nivel de intensificación de la actividad.

5.3.11. El principal ciclo adaptativo del sistema está compuesto por:

- La fase  $\alpha$ , que coincide con la era de la configuración y con los últimos años de la era de la transformación, en la que se está intentando pasar a una reorganización, aún sin éxito.
- La fase  $r$ , que coincide con la era del descubrimiento y con la era de la organización. Ambas tienen en común que están dominadas por un nivel alto o muy alto en los capitales de los medios de vida. Esto se evidencia con el análisis de clusters.
- La fase  $k$ , que coincide con la era de la legalización
- La fase  $\Omega$ , que coincide con la era de la transformación.

El sistema se encuentra en la trampa de la pobreza. Ha perdido en gran parte su capacidad de recuperación y no logra pasar de  $\Omega$  a  $\alpha$  y mantenerse. Ello debido a la influencia de los sistemas de menor escala. Una reconfiguración necesitaría cambios estructurales. Las retroalimentaciones negativas del sistema han propiciado cambios de eras de manejo de manera abrupta y corta, a diferencia de las retroalimentaciones positivas.

5.3.12. Los capitales de los medios de vida son determinantes para identificar las fases del ciclo adaptativo y los diferentes estados alternativos. Se encontró que:

- El capital humano se ha mantenido casi constante a través de la historia, aunque mostró una leve reducción a partir de la era de la legalización.

- El capital social tuvo un pico en la era de la organización, pero desde los años 90s se ha venido reduciendo, fundamentalmente a raíz de la agudización de conflictos.
- Con el pasar del tiempo el capital natural se ha ido reduciendo en lo que respecta a calidad y acceso a recursos naturales.
- El capital físico se fue incrementando hasta mediados de la década pasada debido a que los mineros aprovecharon la desregulación estatal y los beneficios tributarios existentes en la Amazonía para aprovisionarse con bienes de producción. Sin embargo, en los últimos años han sido destruidos por los intentos de formalización y control del Estado.
- El capital financiero ha ido en aumento, tal como el precio del oro en el mercado internacional
- El capital político se mantuvo bajo hasta inicios de los 90s, sin embargo, en las últimas tres décadas la participación de los mineros y comunidades nativas en las decisiones políticas y en procesos de incidencia legal se han evidenciado claramente.
- La sostenibilidad de la actividad minera en la selva de Madre de Dios ha sido siempre baja a muy baja. Ello se ratifica con el análisis de similaridad, del que se extrae que existe cierta similitud entre los diferentes estados del sistema.

5.3.13. Las variables que propiciaron cambios de fase en el ciclo adaptativo fueron:

- De la “fase  $\Omega$ ” del ciclo anterior (fiebre del caucho) a la “fase  $\alpha$ ” (era de la configuración): acceso a los recursos naturales y adaptabilidad.
- De la “fase  $\alpha$ ” a la “fase r” (era del descubrimiento): acceso a los recursos naturales, adaptabilidad y disponibilidad de bienes de capital e infraestructura.
- De la “fase r” a la “fase k”): calidad de los recursos naturales, disponibilidad de bienes de producción, nivel de ingresos y nivel de participación en la toma de decisiones.
- De la “fase k” a la “fase  $\Omega$ ”): calidad de los recursos naturales, disponibilidad de bienes de producción, nivel de conocimientos y gobernanza.

5.3.14. Ciclos adaptativos de diferentes escalas han ocurrido de manera paralela, afectando el sistema. Los más importantes son los referidos a las crisis económicas mundiales, los *booms* extractivos, los ciclos políticos del país, el ciclo internacional de la conciencia

ambiental y el ciclo generacional de los mineros. Tanto a escalas mayores como menores, algunos ciclos han demostrado ser repetitivos. A pequeña escala varios de ellos están atrapados en la trampa de la pobreza y erosionan la resiliencia del sistema. Sin embargo, las principales causas estructurales del problema están a escalas mayores y suelen ser desencadenantes de una mayor migración hacia las áreas mineras.

5.3.15. Existe una relación directa entre el precio del oro en el mercado internacional y la expansión de la minería informal. Sin embargo, los efectos ecológicos de las dinámicas de mercado y las carencias de gobernabilidad se ven con un retraso de 1 a 5 años en los ecosistemas amazónicos. Este “lag” ha ido variando a través de la historia según la intensidad del cambio de la variable.

5.3.16. Los principales atributos que configuran la resiliencia del sistema tienen las siguientes tendencias:

- Diversidad: Tiende a perderse redundancia debido a la homogenización que provocan las actividades humanas.
- Apertura: Varía abruptamente según voluntades políticas.
- Rapidez y fortaleza de la retroalimentación: Actualmente hay más conocimiento difundido sobre la problemática pero ha sido poco internalizado por los actores. No propicia cambio conductuales.
- Reservas del sistema: Están perdiéndose dado que se está afectando las culturas locales y las áreas protegidas.
- Modularidad: Actualmente hay mayor diálogo y articulación interinstitucional, aunque a nivel nacional aun no se integran las acciones para capitalizar los aprendizajes sobre manejo de conflictos y entender la historia.

5.3.17. Según el mapeo de actores predominan los que tienen urgencia de atención y poder local. La sociedad civil, la prensa, las organizaciones internacionales y la academia tienen legitimidad y alta reputación, sin embargo, son expectantes. Las decisiones que afectan directamente a las redes sociales y al ecosistema se toman a nivel local y por actores directamente vinculados a la actividad minera (inversionistas, intermediarios, extractores, comerciantes, etc), mientras que las decisiones regulatorias se toman a nivel nacional e internacional. Hay poca articulación entre ambos niveles.

5.3.18. Según el modelo de gestión de conflictos de Noriega, el de Madre de Dios es totalmente disfuncional porque no contribuye a la búsqueda de alternativas viables que agreguen valor a todos los grupos de interés. La efectividad de la decisión de ordenar y formalizar se ha visto restringida por:

- La calidad moderada de la decisión, porque si bien se ha planteado una alternativa de manejo territorial, ésta no contempla su impacto en otras dinámicas y escalas.
- La aceptación parcial de los actores.
- El alto costo de oportunidad, sobretodo teniendo en cuenta los servicios ambientales y las concesiones superpuestas.
- La demora en la decisión, que también está asociada a la corrupción y desarticulación de actores.

5.3.19. Del análisis del poder de los stakeholders se obtiene que mientras más cerca está un actor de la cadena de comercialización, más posibilidad tiene de influir en la conducta de otros. Y aquellos con poder *de facto* son más influyentes que aquellos con poder formal.

5.3.20. El oro es el elemento que une las diferentes redes sociales, ya sea por intereses que responden a la competencia, la regulación o el conocimiento. Los líderes de los pequeños mundos son: los dirigentes de los clusters mineros, las organizaciones internacionales, la prensa virtual, los intermediarios y los inversionistas del mercado negro del oro y la comisión para la formalización de la minería artesanal de la PCM.

### c) Modelo conceptual de la dinámica del sistema

5.3.21. El modelo conceptual de la dinámica e impactos de la minería en Madre de Dios está conformado por los siguientes tres componentes:

- La *actividad minera*, que incluye variables como: precio del oro, gobernanza y decisión política, intensidad de la regulación, viabilización de medios de vida alternativos, tasa de intensificación de la actividad, volumen de producción y de vertimientos.
- Los *impactos ambientales*, que se evidencian en el nivel de mercurio en sedimentos y en agua, la tasa de deforestación, el riesgo de cáncer, la integridad

ambiental y los servicios ambientales y las estrategias adaptativas. También varía según parámetros ambientales como la precipitación.

- Los *efectos poblacionales*, que dependen de la inmigración, emigración, y de las tasas de natalidad y mortalidad.

De todas las variables incluidas, las que son clave para el sistema son:

- El precio del oro.
- La tasa de migración.
- El nivel de gobernanza.
- El nivel de intensificación de la actividad.
- El nivel de contaminación por mercurio generado por la actividad.

5.3.22. Todas las variables claves han mostrado un cambio gradual en el tiempo, pero en determinados puntos de la historia han tenido cambios abruptos que propiciaron que el sistema se mueva hacia otros atractores. Se prevé que en futuro próximo las siguientes variables lentas seguirán su tendencia:

- Precio del metal ( $\leftrightarrow$ ), por lo menos hasta que se produzca otra crisis que incremente nuevamente el precio del oro.
- Nivel de contaminación ( $\nearrow$ )
- Tasa de migración ( $\nearrow$ )

Sin embargo, la gobernabilidad es una variable con capacidad de catalizar cambios rápidos. Actualmente está incrementándose ( $\uparrow\uparrow$ ), pero sólo en la medida que se mantenga en el tiempo, será posible reorganizar el sistema y moverlo hacia un atractor que promueva desarrollo sostenible.

#### **d) Análisis de escenarios alternativos con cadenas de Markov**

5.3.23. Se evidenció que:

- De seguir la tendencia actual, el estado del sistema se estabilizaría en el doceavo período o año, y entonces la probabilidad de hallar minería formal será 0.45, que la población minera haya optado por medios de vida sostenibles será 0.2 y la de encontrar minería informal en Madre de Dios será 0.33. Mientras tanto el costo de la actividad se estabilizaría alrededor de 19 unidades de impacto en el sexto

año. Y es que gran parte de los impactos no se podrán evitar mientras se sigan desarrollando actividades extractivas.

- En el escenario optimista se estimó que es altamente probable que la minería informal se regule (al 80%, por lo menos) y que 10% de los mineros empiecen a dedicarse a actividades sostenibles. En este escenario el sistema se estabiliza en un período mayor, de aproximadamente 20 años, y a los 12 años se llega a una media de 8.1 unidades anuales de impacto.
- En el escenario pesimista el nivel de formalización podría llegar sólo al 10% y otro 10% de mineros optaría por tener medios de vida sostenibles como alternativa. El costo sería 40.6 unidades de impacto todos los años. Esto refleja las consecuencias de no hacer nada. Donde actualmente la minería es muy intensiva el sistema tiende a mantenerse en la minería informal.

5.3.24. Los períodos de transición entre estados alternativos del sistema se yuxtaponen 3-5 años con las fases anterior y posterior. Se pueden considerar también como etapas  $\Omega$  de otras escalas, en las cuales el sistema cambia de estado y atractor, pero no se transforma.

5.3.25. Actualmente el sistema ha cruzado el umbral en lo que respecta a concentraciones aceptables de mercurio, lo cual da indicios de daños irreversibles en el ecosistema, generados por la exposición crónica a este elemento. La probabilidad de exceder los umbrales también es alta respecto a la tasa de migración y el nivel de intensificación de la actividad.



## VI. RECOMENDACIONES

6.1. Reconocer que el ecosistema no se podrá recuperar de inmediato y que se requiere plantear estrategias adaptativas, que deben ser revisadas continuamente, y reformuladas si cambia la trayectoria de alguna variable clave o si no son efectivas. La prensa debe jugar un rol clave en la difusión y concientización para el cambio de conductas. Se podría aplicar técnicas de marketing social para involucrar a los actores.

6.2. Implementar un programa de monitoreo a largo plazo de las condiciones del sistema, priorizando las variables clave identificadas en el análisis de la resiliencia, pero sin perder de vista la evolución de los sistemas de diferentes escalas que afectan a la actividad minera. Considerar también el seguimiento al nivel de contaminación mediante la medición del mercurio en el ambiente y cálculo de los índices: HQ, RC, BAF, BMF y BSAF. Además de medir mercurio en humanos, evaluar el impacto en organismos sensibles que pueden servir como alerta temprana: macroinvertebrados, peces, lobos de río y caimanes. En cada monitoreo, tomar muestras que permitan identificar el porcentaje de mercurio metilado en los compartimientos ambientales, teniendo en cuenta la variabilidad geográfica y temporal.

6.3. Comunicar de manera efectiva a la población, a los pescadores y a los mineros, el riesgo de cáncer al cual se encuentran expuestos, y los incrementos que se han dado en las últimas décadas en los rangos de variabilidad del mercurio en agua, sedimentos y peces.

6.4. Continuar limitando el uso de tecnologías que supongan la remoción de sedimentos y por lo tanto la liberación del mercurio acumulado en capas profundas así como el incremento de los sólidos en suspensión en los cuerpos de agua.

6.5. Establecer políticas públicas que promuevan la remediación ambiental y luego desarrollar objetivos específicos por localidad, con vigilancia del Estado. Tomar en cuenta las mejores prácticas propuestas por el sistema experto HgEx. Evaluar la viabilidad y efectividad de un manejo público – privado de las acciones de remediación ambiental.

6.6. Entre las prioridades de investigación y desarrollo de la región y del país, incluir el perfeccionamiento y escalamiento de tecnologías de producción más limpia, de preferencia que no utilicen mercurio.

6.7. Desarrollar estrategias para que los sistemas de menor escala que se encuentren atrapados en la trampa de la pobreza puedan salir de ella de manera sostenible.

6.8. Realizar un análisis profundo y detallado de los actores involucrados y sus relaciones, e identificar sus intereses, derechos, posiciones, temores, expectativas y alternativas, para tender “puentes de oro” en la negociación y propiciar alternativas que promuevan un desarrollo compartido y la gobernabilidad. Al mismo tiempo, realizar un análisis participativo de las causas estructurales de los conflictos para no atacar sólo los síntomas. No buscar participación sino colaboración mutua, tomando aprendizajes de la historia.

6.9. Caracterizar a los líderes o personajes influyentes de las diferentes redes de actores, establecer mecanismos para controlar la corrupción en la toma de decisiones e involucrar a los personajes clave en acciones más sostenibles. De ser necesario, intervenir la cadena de suministro y financiamiento de la actividad para reducir la resistencia del atractor de la minería informal.

6.10. Asegurar que los actores con mayor poder y urgencia se involucren en las mesas de negociación y en la comisión de la PCM, de modo que ésta logre incluir mayor representatividad de stakeholders. Asignar los recursos necesarios para que se implementen las medidas definidas y se puedan mantener en el tiempo, inclusive después del plazo otorgado para la formalización. Desarrollar objetivos de resultado, de proceso y de impacto para la intervención de la comisión de la PCM en el sistema.

6.11. Revisar la coherencia entre los planes de desarrollo nacional, regional y locales, y reorientar recursos para implementar cambios estructurales en la administración pública que faciliten el control efectivo de la actividad minera y minimicen la aparición de la misma mediante un mejor acceso a la educación y en general a los capitales que caracterizan los medios de vida sostenibles.

6.12. Implementar las recomendaciones detalladas en los Cuadros 22, 23, 24 y 25.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### A

ADIMA. Recuperação de Áreas Degradadas. [en línea] <[http://www.adima.org.br/index\\_arquivos/recuperacao\\_arquivos/agrobiologia.htm](http://www.adima.org.br/index_arquivos/recuperacao_arquivos/agrobiologia.htm)> [consulta: 27 noviembre 2008].

AKAGI, H., MALM, O, BRANCHES, F., KINJO, Y., KASHIMA, Y., GUIMARAES, J., OLIVEIRA, R., HARAGUCHI, K., PFEIFFER, W., TAKIZAWA, Y. y KATO, H. 1995. Human exposure to mercury due to goldmining in the Tapajos River basin, Amazon, Brazil: Speciation of mercury in human hair, blood and urine. *Water, Air and Soil Pollution*. 80: 85-94.

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR). Reseña Toxicológica del Mercurio. Atlanta. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. 1999. [en línea]. <[http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs46.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs46.html)> [consulta: 13 agosto 2007].

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR). 2003. Reseña Toxicológica del Selenio. Atlanta. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. [en línea]. <[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts92.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts92.html)> [consulta: 7 noviembre 2007].

ÁLVAREZ, J., SOTERO, V., BRACK, A. Y IPENZA, C. 2011. Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: una bomba de tiempo. INSTITUTO DE DE LA AMAZONIA PERUANA (IIAP) y MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). Lima. 54 p.

AMBROSIO, M. Elementos institucionales en las zonas rurales: una propuesta metodológica para su identificación y valoración en comarcas de Andalucía y Nicaragua. Tesis doctoral. Departamento de gestión empresarial y métodos cuantitativos. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (ETEA). Universidad de Córdoba. 2007. 183 p.

AMDUR, M., DOULL, J. y KLAASSEN, C. Casarett and Doull's Toxicology- The Basic Science of Poisons. New York. McGraw-Hill. 1991.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. Valores límite para sustancias químicas y agentes físicos en el ambiente de trabajo. España: La Conferencia, 1995. p. 37.

ARANGO, J. Control estadístico de procesos. Material de entrenamiento de cinturones verdes Lean Six Sigma. ISA. 2012.

ARCTIC MONITORING AND ASSESSMENT PROGRAMME. Chapter 7: Heavy metals. En: Assessment report: Arctic Pollution Issues. Oslo. AMAP. 1998. 81 p. [en línea].

<<http://www.amap.no/documents/index.cfm?dirsub=/AMAP%20Assessment%20Report%20-%20Arctic%20Pollution%20Issues>> [consulta: 25 agosto 2007].

ARREDONDO, T. 2012. Introducción a la Lógica Difusa. Universidad de Chile. [en línea] <<http://profesores.elo.utfsm.cl/~tarredondo/info/soft-comp/Introduccion%20a%20la%20Logica%20Difusa.pdf>> [consulta: 22 octubre 2007].

ARRIARAN, G. y GOMEZ, C. 2006. Entre el oro y el azogue: la nueva "fiebre del oro" y sus impactos en las cuencas de los ríos Tambopata y Malinosky. En Perú: El problema agrario en debate. SEPIA XII. Industrias extractivas, agricultura y uso de recursos naturales; ganadería y sociedades pastoriles; y agricultura comercial moderna. DAMONTE G., FULCRAND, B. y GOMEZ, R. (eds).

ASCORRA, C. Consecuencias de la contaminación por mercurio en el ambiente y en la salud humana. Puerto Maldonado. Cáritas Madre de Dios. 2006. [en línea]. <[http://www.redesma.org/boletin/bol\\_2006/bol\\_8\\_15/mercurio.pdf](http://www.redesma.org/boletin/bol_2006/bol_8_15/mercurio.pdf)>

ASCORRA, C. y DÁVILA, A. 2008. Diagnóstico Ambiental Integral de Madre de Dios: un enfoque pensando en las personas. Defensoría del Pueblo – Oficina Defensorial Madre de Dios. 84 p. 2008.

AUSTRALIA NEW ZEALAND FOOD AUTHORITY. Food Standards Code: Standards A11- Specifications for Identity and Purity of Food Additives, Processing Aids, Vitamins, Minerals and Other Added Nutrients (as amended and current as of December 2001). ANZFA. 1987.

AUTORIDAD ALIMENTARIA DE AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA (ANZFA). Código de estándares alimenticios: Estándar A11 – Especificaciones para la identificación y pureza de aditivos alimenticios, ayudas de procesamiento, vitaminas, minerales y otros nutrientes añadidos. 2001.

## B

BAKER, R., y ALLARD, P. 2002. Assessment of Sediment Mercury Contamination in Pinchi Lake, BC. Final report prepared by EVS and Azimuth Consulting Group for Teck Cominco Metals Ltd. Vancouver, BC. 45 p.

BARBIERI G. Evaluación de mercurio total en peces, agua y sedimento en la cuenca del Río Malinowski, Departamento de Madre de Dios, causada por la minería aurífera aluvial. Tesis (Ingeniero Pesquero). Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Pesquería. Lima. 2004. 109 p.

BARBOSA, A., DE SOUZA, J., DÓREA, J., JARDIM, W. y FADINI, P. Mercury Biomagnification in a Tropical Black Water, Rio Negro, Brazil. [en línea]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2003. Vol. 45, No. 2. Pp. 235-246. <<http://www.springerlink.com/content/05n6nbk5x46txqnf/>> [consulta: 10 setiembre 2007].

BARRETO, L. Contaminación en la cuenca del río Nanay por efecto de la actividad minera. [en línea]. *Ambiente Ecológico*. 2003. [en línea]. <<http://www.springerlink.com/content/05n6nbk5x46txqnf/>> [consulta: 10 setiembre 2007].

BARTHEM, R., M. GOULDING, B. FOSBERG, C. CAÑAS y ORTEGA, H. Aquatic ecology of the river Madre de Dios, Scientific bases for Andes-Amazon Headwaters. Lima. Conservation Asociacion para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA) / Amazon Conservation Association (ACA) y Gráfica Biblos S.A. 2003. 117 pp.

BASU, N., SCHEUHAMMER, A., EVANS, R., BRIEN, M. y CHAN, H. Cholinesterase and monoamine oxidase activity in relation to mercury levels in the cerebral cortex of wild river otters. *Human & Experimental Toxicology*. 26 (3): 213-220. 2007.

BASU, N., SCHEUHAMMER, A., GROCHOWINA, N., EVANS, D., O'BRIEN, M., CHAN, H. Effects of mercury on neurochemical receptors in wild river otters (*Lontra canadensis*). *Environmental Science & Technology*. 39 (1): 3585-3591. 2005.

BASU, N., SCHEUHAMMER, A., ROUVINEN-WATT, K., EVANS, D., GROCHOWINA, N. y CHAN, H. The effects of mercury on muscarinic cholinergic receptor subtypes (M1 and M2) in captive mink. *Neurotoxicology*. 29 (1): 328-334. 2008.

BASU, N., SCHEUHAMMER, A., ROUVINEN-WATT, K., GROCHOWINA, N., EVANS, R., O'BRIEN, M. y CHAN, H. Decreased N-methyl-D-aspartic acid (NMDA) receptor levels are associated with mercury exposure in wild and captive mink. *Neurotoxicology*. 28(3): 587-593. 2007.

BASU, N., STAMLER, C., LOUA, K., CHAN, H. An interspecies comparison of mercury inhibition on muscarinic acetylcholine receptor binding in the cerebral cortex and cerebellum. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 205: 71-76. 2005.

BAUMANN, P. 2000. Working paper 136: Sustainable livelihoods and political capital, arguments and evidence from decentralisation and natural resource management in India.

[en línea]

<<http://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDAQFjAB&url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.198.3890%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&ei=YBZWUMK6JZTa8wS9uYHoBA&usq=AFQjCNHGgvYClqEqKEaDPbx-WcHxmW-Zgw>> [consulta: 22 octubre 2007].

BAYES, T. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 53 (1): 370 – 418. 1763.

BJORNBERG, A., HAKANSON, L. y LUNDBERGH, K. A theory on the mechanisms regulating the bioavailability of mercury in natural waters. *Environmental Pollution*. 49(1): 53-61. 1988.

BRUMBAUGH, W., KRABBENHOFT, D., HELSEL, D., WIENER, J. y ECHOLS, K. A national pilot study of mercury contamination of aquatic ecosystems along multiple gradients: bioaccumulation in fish. USGS. 2001. 25p.

BURBACHER, T., RODIER, P., WEISS, B. Methylmercury developmental neurotoxicity: a comparison of the effects in humans and animals. *Neurotoxicology and Teratology*. 12 (1):191-202. 1990.

BURGER, J. Ecological effects and biomonitoring for mercury in tropical ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*. 97(3-4): 265-272. 1997.

BURGESS, N., O'BRIEN, M y HOBSON, K. Differences in mercury, selenium, and stable isotope ratios between freshwater and saltwater river otters in Nova Scotia. 21st Annual Meeting of the Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 12-16 Nov 2000. Nashville. 2002.

## C

CAMPBELL, J., WATERS, M., TARTER, A. y JACKSON, J. Heavy metal and selenium concentrations in liver tissue from wild american alligator (*Alligator mississippiensis*) livers near Charleston, South Carolina. *Journal of Wildlife Diseases*. 46 (4): 1234 - 41. 2010.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. Canadian Environmental Quality Guidelines. 1999. [en línea]. <<http://www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/English/ceqg/default.cfm>> [consulta: 24 junio 2008].

CAVALLI, S. y CARDELLICCHIO, N. Direct determination of seleno-amino acids in biological tissues by anion-exchange separation and electrochemical detection. [en línea]. *Journal of chromatographie applied*. 1995. Vol. 706. No. 1 - 2. Pp. 429-436. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7640774>> [consulta: 5 setiembre 2007].

CENTRO DE CONSERVACIÓN TROPICAL. Duke University. [en línea]. <<http://www.parkswatch.org/parkprofile.php?l=spa&country=per&park=tabs&page=thr>> [consulta: 5 julio 2008].

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, 1989. Poconé Project. Annual Report, Rio de Janeiro, Brazil, 210p.

CHANIN, P. Ecology of the European Otter. [en línea]. Conserving Natura, Rivers Ecology Series. 2003. Peterborough. Vol. 10. No. 1. <[www.english-nature.org.uk/lifeinukrivers/species/otter.pdf](http://www.english-nature.org.uk/lifeinukrivers/species/otter.pdf)> [consulta: 10 julio 2007].

CHAIZE, T. Dr. Thomas Chaize Energy and Mining Newsletter. [en línea]. The world gold production 1/3: Analysis of the cycles. <<http://www.dani2989.com/gold/productionandcyclesgb26072004.htm>> [consulta: 10 julio 2007].

CHEN, C. , STEMBERGER , R., KAMMAN , N., MAYES ,B. y FOLT, C . 2005. Patterns of Hg bioaccumulation and transfer in aquatic food webs across multi-lake studies in the northeast US. *Ecotoxicology* 14:135–148.

CHESAPEAKE BAY PROGRAM. River otter. [en línea]. <<http://www.chesapeakebay.net/otter.htm>> [consulta: 8 junio 2007].

MORTON, M. y CLARKSON, T. 1983. Mercury, Mercurials, and Mercaptans. University of Minnesota. 386 p.



CODEX. Nivel directivo para el metilmercurio en el pescado. Ginebra. Programa de Seguridad Alimentaria. [en línea]. 1995. Comisión Codex sobre aditivos y contaminantes alimenticios - OMS. 50 p. < <http://www.codexalimentarius.net/search/advancedsearch.do>> [consulta: 10 julio 2007].

COLE, D. y STANKEY, G. 1997. Historical development of limits of acceptable change: conceptual clarifications and possible extensions. En: MCCOOL, S. y COLE, D. Proceedings - limits of acceptable change and related planning processes: progress and future directions. Workshop held at the University of Montana's Lubrecht Experimental Forest. [en línea] <<http://leopold.wilderness.net/pubs/320.pdf>> [consulta: 22 octubre 2007].

CONROY, J., YOXON, P. y GUTLEB, A. Proceedings of the first otter toxicology conference. [en línea] International otter survival fund. Broadford. 2000. <<http://www.otter.org/toxicology%20report%201.pdf>> [consulta: 10 agosto 2007].

CONSERVACION INTERNACIONAL. Corredor de conservación Vilcabamba-Amboró: mitigación de amenazas mineras. [en línea] Critical Ecosystems Partnership Fund. 2003. <[http://www.cepf.net/ImageCache/cepf/content/pdfs/final\\_2eci\\_2ethreatsva\\_2epdf/v1/final.ci.threatsva.pdf](http://www.cepf.net/ImageCache/cepf/content/pdfs/final_2eci_2ethreatsva_2epdf/v1/final.ci.threatsva.pdf)> [consulta: 7 julio 2006].

CONVENCIÓN SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS DE FAUNA Y FLORA SILVESTRE – CITES. Apéndices I, II y III. [en línea] <<http://www.cites.org/esp/app/appendices.shtml>> [consulta: 7 julio 2006].

COMMITTEE ON THE TOXICOLOGICAL EFFECTS OF METHYLMERCURY, BOARD ON ENVIRONMENTAL STUDIES AND TOXICOLOGY y NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Toxicological Effects of Methylmercury. [en línea] Washington DC. National Academy Press. 2000. 368 p. <[http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=9899](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=9899)> [consulta: 10 julio 2007].

CUVIN-ARALAR, F y FURNESS R. Mercury and selenium interaction: a review. *Ecotoxicol Environ Saf.* 21(3):348-64, 1991.

## D

DAVENPORT, L. Fotos en Cocha Cashu. [en línea]. <<http://picasaweb.google.com/Otterologist>> [consulta: 20 julio 2007].

DAVIS, A., BLOOM, N. y QUE HEE, S. The environmental geochemistry and bioaccessibility of mercury in soils and sediments: a review. *Risk Analysis*. 17 ( 1 ): 557-569. 1997.

DECRETO SUPREMO NO. 034-2004-AG. . Lima.17 de Setiembre del 2004. Lista Oficial de especies amenazadas.

DEFENSORÍA DEL PUEBLO. 2012. Violencia en los conflictos sociales. Informe Defensorial N° 156, 35-37.

DEPARTMENT FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT – DFID, UK. 1999. Hojas orientativas sobre los medios de vida sostenibles. [en línea] <<http://community.eldis.org/.59c21877/SP-GS2.pdf>> [consulta: 22 octubre 2007].

DEZA - ARROYO, N. Mercury accumulation in fish from Madre de Dios, a goldmining area in the Amazon basin, Peru. Tesis (Ms.Sc.). Oregon State University. 1997. 39 pp.

DIAS F., MALM O. y WALDEMARIN, H. Mercury levels in tissues of Giant otters (*Pteronura brasiliensis*) from the Rio Negro, Pantanal, Brazil. [en línea] *Environmental Research*. 2005, Vol 98, No 1. Pp. 368–371 <<http://www.giantotterresearch.com/articles/Articleariranhas.pdf>> [consulta: 10 julio 2007].

DIAZ GRANADOS, M. Grado de contaminación de los recursos hídricos e ictiológicos de la región de la Mojana. [Tesis]. Bogotá. Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental, Universidad de los Andes. 1998.

DOADRIO, A. Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio. [en línea]. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*. Rioja. 2004. Vol. 70, No. 1. Pp. 933-959. <<http://www.ranf.com/pdf/anales/2004/0405.pdf>> [consulta: 12 julio 2007].

DUBOIS, D., LANG, J. y PRADE, H. Possibilistic logic. Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (I.R.I.T.) Toulouse, France. [en línea] <<http://www.google.com.mx/search?hl=es&output=search&scient=psy-ab&q=Possibilistic+logic1+Didier+DUBOIS+%E2%80%93+J%C3%A9r%C3%B4me+LANG+%E2%80%93+Henri+PRADE&btnK=>>> [consulta: 22 octubre 2007].

DUBOIS, D. y PRADE, H. Possibilistic logic: a retrospective and prospective view. *Fuzzy Sets and Systems*. 144 (1): 3 – 23. 2004.

DOREA, J., MOREIRA, M., EAST, G. y BARBOSA, A. 1998. Selenium and Mercury concentrations in some fish species of the Madeira River, Amazon Basin, Brazil. *Biology of trace elements research*. 65: 211-219.

DULFER, R., CONROY, J., NEL, J y GUTLEB, A. (eds) . Otter conservation – an example for a sustainable use of wetlands. March 14-19. 1998. Trebon. Czech Republic. [en línea]. Proceedings VII Internacional Otter Colloquium. IUCN Otter Specialist Group Bulletin. 2002. <<http://www.gmb.asso.fr/PDF/Lafontaineetal1998Habitat.PDF>> [consulta: 20 julio 2007].

DUPLAIX, N. Contribution a l' Ecologie et a l' Ethologie de *Pteronura brasiliensis* (Carnivora, Lutrinae): Implications Evolutives. Tesis (Doctorat). Univ of Paris-Sud. 1982. 352 p.

DUPLAIX, N. Giant Otter Bibliography. A working bibliography of giant otter research. 2004. [en línea]. <<http://www.giantotterresearch.com>> [consulta: 20 julio 2007].

## E

EL COMERCIO. Se puede recuperar el oro sin el uso del mercurio. Lima, Perú, 14 de abril de 2010. B18.

EL PERUANO. Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua: DS-002-2008-MINAM. [en línea]. <[http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/legislacion/DS\\_002\\_2008.pdf](http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/legislacion/DS_002_2008.pdf)> [consulta: 7 noviembre 2009].

EL PERUANO. Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas: DS 010-2010- MINAM. [en línea]. <<http://sinia.minam.gob.pe/index.php?idElementoInformacion=356&idformula=&idTipoElemento=>> [consulta: 1 enero 2011].

EL PERUANO. Decreto de urgencia 012-2010-MINAM. Declaran de interés nacional el ordenamiento minero en el departamento de Madre de Dios.

EL PERUANO. Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas: DS 010-2010- MINAM. [en línea]. <<http://sinia.minam.gob.pe/index.php?idElementoInformacion=356&idformula=&idTipoElemento=>> [consulta: 1 enero 2011].

EL PERUANO. Establecen límites máximos permisibles de efluentes líquidos para el subsector hidrocarburos: DS 037-2008 – PCM. [en línea]. <<http://www.minam.gob.pe/dmdocuments/DS-0037-2008-PCM.pdf>> [consulta: 7 noviembre 2009].

EL PERUANO. Decreto legislativo 1100. Decreto Legislativo que regula la interdicción de la minería ilegal en toda la república y establece medidas complementarias.

EL PERUANO. Decreto legislativo 1101. Decreto Legislativo que establece medidas para el fortalecimiento de la fiscalización ambiental como lucha contra la minería ilegal.

EL PERUANO. Decreto legislativo 1102. Decreto Legislativo que incorpora al código penal los delitos de la minería informal.

EL PERUANO. Decreto legislativo 1103. Decreto Legislativo que establece Medidas de Control y Fiscalización en la Distribución, Transporte y Comercialización de Insumos Químicos que puedan ser utilizados en la minería ilegal.

EL PERUANO. Decreto legislativo 1104. Decreto Legislativo que modifica la legislación sobre pérdida de dominio.

EL PERUANO. Decreto legislativo 1105. Decreto Legislativo que establece disposiciones para el proceso de formalización de las actividades de la pequeña minería y minería artesanal.

EL PERUANO. Decreto legislativo 1106. Decreto Legislativo de lucha eficaz contra el lavado de activos y otros delitos relacionados a la minería ilegal y crimen organizado.

EL PERUANO. Aprueban medidas complementarias para la formalización de la actividad minera en las zonas comprendidas en el Anexo 1 del Decreto Legislativo N° 1100. DS 006-2012- EM.

EL PERUANO. Resolución Ministerial N° 5056-70-AG. Se declara en veda indefinida para la caza de 13 especies de la fauna silvestre.

EL PERUANO. Decreto Supremo 13-99-AG. Prohíben caza, extracción, transporte y/o exportación con fines comerciales de especies de fauna silvestre no autorizados por el INRENA, a partir del año 2000.

ENVIRONMENT CANADA. Wildlife and Landscape Science News. [en línea] < <http://www.ec.gc.ca/scitech/default.asp?lang=En&xml=D8041705-ABFD-4562-9A05-05E13ABA3B8D#nine> > [consulta: 15 junio 2007].

ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY ONLINE NEWS. Early warning sign of methylmercury poisoning. [en línea] *Science News*. 2005.

<[http://pubs.acs.org/subscribe/journals/esthag-w/2005/apr/science/os\\_riverotters.html](http://pubs.acs.org/subscribe/journals/esthag-w/2005/apr/science/os_riverotters.html)>  
[consulta: 10 julio 2007].

ESPAÑOL, S. Toxicología del mercurio: actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. En: Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica: 26 al 28 de setiembre del 2001. Lima. GAMA y CYTED. [en línea]. <<http://www.gama-peru.org/jornada-hg/espanol.pdf>>  
[consulta: 10 julio 2007].

EUROPEAN VIRTUAL INSTITUTE FOR SPECIATION ANALYSIS. Report Finds Mercury Contamination Permeates Wildlife Systems. [en línea]. <<http://www.speciation.net/Public/News/2006/09/23/2410.html>> [consulta: 10 julio 2007].

EVANS, R., ADDISON, E., VILLENEUVE, J., MACDONALD, K. y JOACHIM, D. 1998. An examination of spatial variation in mercury concentrations in otter (*Lutra canadensis*) in south-central Ontario. [en línea]. *The science of the total environment*. 1998. Vol. 213, No. 1 – 3. Pp. 239–245. <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2397962>> [consulta: 10 julio 2007].

EVANS, R., ADDISON, E., VILLENEUVE, J., MACDONALD, K. y JOACHIM, D. Distribution of inorganic and methylmercury among tissues in mink (*Mustela vison*) and otter (*Lutra canadensis*). *Environmental Research*. 84 (1): 133–139. 2000.

EVERS, D., LANE, O., SAVOY, L. y GOODALE, W. Assessing the impacts of methylmercury on piscivorous wildlife using a wildlife criterion value based on the Common Loon, 1998-2003. [en línea] Gorham. BioDiversity Research Institute. 2004. 71 p. <[http://www.briloon.org/pub/doc/wcv\(2004-05\).PDF](http://www.briloon.org/pub/doc/wcv(2004-05).PDF)> [consulta: 10 agosto 2007].

EVERS, D. y REAMAN, P. A comparison of mercury exposure between artificial impoundments and natural lakes measured in common loon and their prey 1996-97. [en línea] Augusta. BioDiversity Research Institute. 1998. 47 p. <[http://www.fws.gov/northeast/newenglandfieldoffice/pdfs/Impoundment\\_1997.pdf](http://www.fws.gov/northeast/newenglandfieldoffice/pdfs/Impoundment_1997.pdf)>  
[consulta: 10 agosto 2007].

EWERS, U. Standards, guidelines, and legislative regulations concerning metals and their compounds. En: E. MERIAN (ed.), Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis, and biological relevance. New York.VCH.1991.Pp. 687-711.

## F

FACULTAD DE QUIMICA E INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS. Unidad de servicios y análisis químicos. Lima. [en línea]. <[http://www.unmsm.edu.pe/quimica/Usaq/servicio\\_%20usaq.htm](http://www.unmsm.edu.pe/quimica/Usaq/servicio_%20usaq.htm)> [consulta: 10 julio 2007].

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. Reforma de la política participativa desde una perspectiva de modos de vida. [en línea] Depósito de documentos de la FAO. Departamento Económico y Social. <<http://www.fao.org/docrep/007/j2817s/J2817S02.htm>> [consulta: 22 octubre 2007].

FARID, L., MACHADO, J. y SILVA, O. 1991. Emission Control and Mercury Recovery from Garimpo Tailing. En: Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo, Ed. M.M.Veiga and F.R.C. Fernandes, CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, Brazil, p. 27-44.

FERREIRA, C., RAMOS, L., JOACIR, E., GUSTINELLI, G. Y FERREIRA, J. Effect of Hg and diet identification in otter (*Lontra longicaudis*) feces. *Environmental Pollution*. 152 (3): 592 – 596. 2008.

FERGUSSON, J.E. 1990. The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press. Oxford.

FERNÁNDEZ, L. y GONZALEZ, V. Niveles del mercurio en peces de Madre de Dios. Nov. 2009. Carnegie Institution for Science. [en línea]. <[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/eventos/mercurio/niveles\\_de\\_mercurio\\_en\\_peces.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/eventos/mercurio/niveles_de_mercurio_en_peces.pdf)> [consulta: 10 setiembre 2010].

FERNÁNDEZ, L. EPA Proyecto “Reducción de emisiones de Mercurio en la Extracción y Refina de Oro Artesanal”: Un proyecto piloto en para controlar las emisiones de Mercurio en las Tiendas de Oro en Madre de Dios. [en línea]. <<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/mercurio/Fernandez%20GoldShop.pdf>> [consulta: 10 setiembre 2010].

FIMREITE, N. y REYNOLDS, L. Mercury contamination of fish in Northwestern Ontario. *Journal of Wildlife Management*. 37 ( 1 ) : 62-68. 1973.

FJELD, E., HAUGEN, o. y VOLLESTAD, A. 1998. Permanent impairment in the feeding behavior of grayling (*Thymallus thymallus*) exposed to methylmercury during embriogénesis. *Science of the Total Environment*. 213:247-254.

FLORIDAPANTHER.ORG. Mercury and Other Environmental Contaminants. [en línea].<[http://www.floridapanthernet.org/index.php/handbook/threats/mercury\\_and\\_other\\_environmental\\_contaminants/](http://www.floridapanthernet.org/index.php/handbook/threats/mercury_and_other_environmental_contaminants/)> [consulta: 7 noviembre 2009].

FOLEY, R., JACKLING, S., SLOAN, R. y BROWN, M. 1988. Organochlorine and mercury residues in wild mink and otter: comparison with fish. *Environmental Toxicology Chemistry*. 7 ( 1 ) : 363-374.

FORTIN, C., BEAUCHAMP, G., DANSEREAU, M., LARIVIERE N. y BÉLANGER, D. Spatial variation in mercury concentrations in wild mink and river otter carcasses from James Bay Territory, Québec, Canada. [en línea] Archives of environmental contamination and toxicology. 2001. Vol. 40, No 1. Pp 121-127. <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=909841>> [consulta: 10 julio 2007].

## G

GAONA, X. El mercurio como contaminante global: Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente. Tesis (Doctor en química analítica). Barcelona. Universidad Autónoma



de Barcelona, Departamento de Química, Unidad de Química Analítica. 2005. 138 p. [en línea]. <[http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UAB/AVAILABLE/TDX-1025104-165935//xgm1de1.pdf](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UAB/AVAILABLE/TDX-1025104-165935//xgm1de1.pdf)> [consulta: 6 octubre 2007].

GOOGLE MAPAS. Mapa de Madre de Dios. [en línea] <<http://madrededios.net/portal/index.php/mapas-y-planos-de-ubicacion>> [consulta: 22 octubre 2007].

GOTTRET, M. y HERNÁNDEZ, S. Integración del enfoque de medios de vida sostenibles con el enfoque de cadena de valor. CATIE. [en línea] <<http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/integracion%20del%20enfoue%20de%20medios%20de%20vida%20sostenibles%20con%20el%20enfoue%20de%20cadenas%20de%20valor.pdf>> [consulta: 22 octubre 2007].

GRADE. 1994. Estudio de la minería informal y medio ambiente. Zona: Madre de Dios. Informe final. Ministerio de Energía y Minas. Lima.

GRANT, N. 1971. Mercury and man. *Environment*. Vol. 13. Pp 3-15.

GROENENDIJK, J., HAJEK, F., ISOLA, S. y SCHENK, C. Giant Otter Project in Peru: Field Trip and Activity Report 1999. [en línea]. *IUCN Otter Specialist Group Bulletin*. 2000. Vol. 17, No. 1. Pp. 34 – 45. <[http://www.otterspecialistgroup.org/Bulletin/Volume17/Groenendijk\\_et\\_al\\_2000.html](http://www.otterspecialistgroup.org/Bulletin/Volume17/Groenendijk_et_al_2000.html)> [consulta: 10 julio 2007].

GROVE, R. Environmental contaminants in male river otters collected from Oregon and Washington, 1994-99 with reproductive organ hypoplasia observed in otter males. Tesis (PhD). Oregon State University. 2006.

GRUNDMANN, P. Responses of agricultural bioenergy sectors in Brandenburg (Germany) to climate, economic and legal changes: An application of Holling's adaptive cycle. *Energy Policy, Special Section: Frontiers of Sustainability*. 48 (1): 118-129. 2012.

GUARDIOLA, J. 2005. Medios de vida sostenibles. UCH-CEU, FAO, ETEA. [en línea]. <[http://www.fao.org/alc/legacy/iniciativa/cursos/Curso%202005/3prog/3\\_6\\_1.pdf](http://www.fao.org/alc/legacy/iniciativa/cursos/Curso%202005/3prog/3_6_1.pdf)> [consulta: 10 julio 2007].

GUNDERSON, L. y HOLLING, C. Panarchy. Island Press. Washington, DC. 2002.

GUTLEB, A., KRANZ, A., NECHAY, G. y TOMAN, A. Heavy metal concentrations in livers and kidneys of the otter (*Lutra Lutra*) from Central Europe. [en línea] *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1997. Vol 60, No 2. Pp. 273-279. <<http://www.springerlink.com/content/u0lkdjm6yvey2yg4/>> [consulta: 10 julio 2007].

GUTLEB, A., SCHENCK, C. y STAIB, E. Total mercury and methylmercury levels in fish from the department Madre de Dios, Peru. *IUCN Otter Specialist Group Bulletin*. 1993. 8(1): 16 – 18.

GUTLEB, A., SCHENCK, C. y STAIB, E. Giant otter (*Pteronura brasiliensis*) at risk: Total mercury and methylmercury levels in fish and otter scats, Peru. *Ambio*. 1997. 26(8): 511-514.

## H

HALBROOK, R., JENKINS, J., BUSH, P. y SEABOLT, N. 1994. Sublethal Concentrations of Mercury in River Otters: Monitoring Environmental Contamination. [en línea]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 1994. Vol. 27, No. 3. Pp. 306-310. <<http://www.springerlink.com/content/p436253168w75217/>> [consulta: 11 julio 2007].

HAMMERSCHMIDT, C., SANDHEINRIC, M., WIENER, J. y RADA, R. 2002. Effects of dietary methylmercury on reproduction of fathead minnows. *Environ Sci Technol* 36:877 – 883.

HALL, B. 1995. The gas phase oxidation of elemental mercury by ozone. *Water, air and soil pollution*. Vol. 80, Pp. 301-315.

HALL, B., SCHAGER, P., y LINDQVIST, O. 1991. Chemical Reactions of Mercury in Combustion Flue Gases. *Water, Air, Soil Pollution*. Vol. 56. Pp. 3-14.

HEM, J.D., 1970. Chemical Behaviour of Mercury in Aqueous Media, En: Mercury in the Environment. U.S. Geological Survey Professional Paper No. 713, Washington, DC. Pp.19-24.

HOLLING. C. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 4:1-23.

HOLLING, C.S. Understanding the complexity of economic, ecological and social systems. *Ecosystems*. 4 (1): 390 - 405. 2001.

HAPKE, H. Effects of metals on domestic animals. Pages 531-546 En: MERIAN E. (ed.). Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis, and biological Relevance. New York. VCH. 1991. Pp. 531-546.

HARWELL, M., MYERS, V., YOUNG, T., BARTUSKA, A., GASSMAN, N., GENTILE, J., HARWELL, C., APPELBAUM, S., BARKO, J., CAUSEY, B., JOHNSON, C., MCLEAN, A., SMOLA, R., TEMPLET, P. y TOSINI, S. A framework for an ecosystem integrity report card. *BioScience*. 49 (1): 543 - 556. 1999.

HILDEBRAND, S., Stand, R. y HUCKABEE, J. 1980. Mercury accumulation in fish and invertebrates of the North Fork Holston River, Virginia and Tennessee. *Environmental Quality*. 9 (1): 393 - 400.

HINTELMANN, H., KEPPEL-JONES, K. y EVANS, R. Constants of mercury methylation and demethylation rates in sediments and comparison of tracer and ambient mercury availability. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 19(1): 2204-2211. 2000.

HINTON, J. y VEIGA, M. Earthworms as Bioindicators of Mercury Pollution from Mining and Other Industrial Activities. 2002. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2: 269-274

HOFFMAN, D., OHLENDORF, H. y ALDRICH, T. Selenium teratogenesis in natural populations of aquatic birds in Central California. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 17 (4):519-525. 1988.

HOLLING, C. Simplifying the complex: the paradigms of ecological function and structure. *European Journal of Operational Research*. 30 (2):139–146. 1987.

HORWITZ, R., VALINSKY, D., OVERBECK P. y KIRY, P. Phase II assessment of total mercury concentrations in fish from rivers, lakes and reservoirs in New Jersey. [en línea]. Philadelphia, Patrick Center for Environmental Research. 1999. 171 p. <<http://www.state.nj.us/dep/dsr/njmercury-fish.pdf>> [consulta: 10 julio 2007].

HOVENS, J. Microverontreinigingen in waterbodems en visbiota in Nederland; de visotter (*Lutra lutra*) als normsteller. *Stichting Otterstation Nederland*. 1992.

HYVARINEN, H., TYNI, P. y NIEMINEN, P. Effects of moult, age, and sex on the accumulation of heavymetals in the otter (*Lutra lutra*) in Finland. *Bull. Environ. Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 70 (1), 278–284. 2003.

## I

IKEMOTO, T. , KUNITO , T., TANAKA , H., BABA , N., MIYAZAKI , N. y TANABE , S. 2004. Detoxification mechanism of heavy metals in marine mammals and seabirds: Interaction of selenium with mercury, silver, copper, zinc, and cadmium in liver. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47:402–413.

IMA. 1994. Efectos de la contaminación por mercurio en la explotación del oro en Madre de Dios. Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente. Cusco. 45 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA - INEI. Compendio estadístico Madre de Dios 2009. [en línea]. <<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0830/libro.pdf>> [consulta: 5 julio 20].

INFOMINE INC. Dynamic charting tool. [en línea]. <<http://www.infomine.com/investment/charts.aspx?mv=1&f=f&r=1y&c=cgold.xpen.ukg#chart>> [consulta: 5 julio 2008].

INTENDENCIA DE AREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES. Reserva Nacional Tambopata: Plan Maestro 2004 - 2008. Puerto Maldonado. 2003. 181 p. [en línea]. <[http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UAB/AVAILABLE/TDX-1025104-165935//xgm1de1.pdf](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UAB/AVAILABLE/TDX-1025104-165935//xgm1de1.pdf)> [consulta: 29 julio 2007].

IPCS. Inorganic mercury: Environmental Health Criteria 118. Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical. 1991.

IPCS. Methyl mercury: Environmental HealthCriteria 101. Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety. 1990.

IRDC. 2003. Ecosystem Approaches to Human Health Program Initiative. [en línea]. <<http://www.idrc.ca/EN/Documents/mercury-contamination-in-the-amazon.pdf>> [consulta: 29 julio 2007].

IRWIN, R. Environmental contaminants encyclopedia- mercury entry. Colorado. United States National Park Service. 1997.

IUCN. 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.1. [en línea] <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)> [consulta: 22 octubre 2007].

IUCN/SCC OTTER SPECIALIST GROUP BULLETIN. Proceedings VIIth International Otter Colloquium. [en línea] <[http://www.otterspecialistgroup.org/Bulletin/Volume19A/Vol19\\_A\\_Index.html](http://www.otterspecialistgroup.org/Bulletin/Volume19A/Vol19_A_Index.html)> [consulta: 11 julio 2007].

## J

JARA, C. Elementos base para la gestión ambiental de mercurio en Chile. Tesis (Ingeniero Civil Químico). Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología. 2007. 138 p. En línea <[http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UAB/AVAILABLE/TDX-1025104-165935//xgm1de1.pdf](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UAB/AVAILABLE/TDX-1025104-165935//xgm1de1.pdf)> [consulta: 16 mayo 2008].

JERNELOV, A. y LANN, H. 1971. Mercury accumulation in food chains. OIKOS. 22 (1): 403 - 406.

JONES, A. y SLOTTON, D. Mercury effects, sources and control measures. RMP Contribution # 20. California. San Fransisco Estuary Institute. 1996.

## K

KAMMAN, N., BURGESS, N., DRISCOLL, C., SIMONIN, H., GOODALE, W., LINEHAN, J., ESTABROOK, R., HUTCHESON, M., MAJOR, A., SCHEUHAMMER, A. y SCRUTON, D. Mercury in Freshwater Fish of Northeastern North America – A Geographic Perspective Based on Fish Tissue Monitoring Databases. [en línea]. *Ecotoxicology*. 2005. Vol. 14, No. 1 y 2: 163-180. <<http://www.ingentaconnect.com/content/klu/ectx/2005/00000014/F0020001/00006267;jsessionid=25b3d6jkivdh9.alexandra?format=print>> [consulta: 5 agosto 2007].

KIJIMA, M. 1997. Markov processes for stochastic modeling. Chapman & Hall. Cambridge.

KIM, J. y OKI, T. Visioneering: an essential framework in sustainability science. *Sustainability Science*. 6(2): 247 – 251. 2011.

KNIGHTES, C. SERAFM - Spreadsheet-based ecological risk assessment for the fate of mercury: Download page. [en línea]. Athens. USEPA. <<http://www.epa.gov/ceampubl/swater/serafm/SERAFM-dl.htm>> [consulta: 5 julio 2008].

KNIGHTES, C. y AMBROSE, R. Development of an ecological risk assessment methodology for assessing wildlife exposure risk associated with mercury-contaminated sediments in lake and river systems. Athens. USEPA. 2006.

KUCERA, E. Mink and otter as indicators of mercury in Manitoba waters. *Canadian Journal of Zoology*. 61 (1): 2250-2256. 1983.

KRUUK, H. y CONROY J. Mortality of otters (*Lutra lutra*) in Shetland. [en línea] *The Journal of Applied Ecology*. 1991. Vol. 28, No. 1. Pp. 83-94. <<http://www.jstor.org/pss/2404115>> [consulta: 14 agosto 2007].

KRUUK, H., CONROY, J. y WEBB, A. Concentrations of mercury in otters (*Lutra lutra*) in Scotland in relation to rainfall. *Environmental Pollution*. 1997. 96(1):13–18.

KUDO, A. y MORTIMER, D. 1979. Pathways for mercury uptake by fish from bed sediments. *Environmental Pollution*. 19: 239-245.

KURAMOTO, J. Plan Nacional para la formalización de la minería artesanal de la comisión técnica multisectorial. [en línea] <[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/LEGISLACION/2011/plan\\_nacional\\_para\\_la\\_formalizacion\\_de\\_la\\_mineria\\_artesanal%20%20%20.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/LEGISLACION/2011/plan_nacional_para_la_formalizacion_de_la_mineria_artesanal%20%20%20.pdf)> [consulta: 22 enero 2012].

## L

LACERDA, L., PFEIFFER, W., OTT, A. y DA SILVEIRA, E. 1989. Mercury contamination in the Madeira River, Amazon- Hg inputs to the environment. *Biotropica*. Vol. 2. Pp. 91- 93.

LA REVISTA AGRARIA. Webpage. [en línea]. <<http://www.larevistaagraria.org/>> [consulta: 15 agosto 2010].

LATHROP, R., NOONAN, K., GUENTHER, P., GRASINO, T. y RASMUSSEN, P. Mercury levels in walleyes from Wisconsin lakes of different water and sediment chemistry characteristics. *Technology Bulletin*. No. 163. Madison. DNR. 1989.

LEADY, B. y GOTTGENS, J. Mercury accumulation in sediment cores and along food chains in two regions of the Brazilian Pantanal. [en línea]. *Wetlands Ecology and Management*. Vol. 9, No. 4. Pp 349-361. <<http://www.eeescience.utoledo.edu/Faculty/Gottgens/webpapers/Leady%20and%20Gottgens%20Pantanal.pdf>> 2001.

LECHLER, P., MILLER, J., LACERDA, L., VINSON, D., BONZONGO, J-C., LYONS, W. y WARWICK, J. Elevated Mercury concentrations in soil, sediments, water and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? *The Science of the total environment*. 206 (2000): 87-96.

LEY GENERAL DE AGUAS (D.L. No. 17752) y sus modificatorias al Reglamento de los Títulos I, II y III (D. S. No.007-83-SA).

LÓPEZ DE CASTILLA, C. Estadística bayesiana: Teorema de Bayes. [en línea] <<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~clopez/Estadistica%20Bayesiana/Introduccion.pdf>> [consulta: 22 octubre 2007].

LÖVGREN, L. y SJÖBERG, S. 1989. Equilibrium Approaches to Natural Water Systems - 7. Complexation Reactions of Copper(II), Cadmium (II) and Mercury (II) with Dissolved Organic Matter in a Concentrated Bog-Water. *Water Research*, Vol.23. N° 3. Pp. 327-332.



LUCOTTE, M., SCHETAGNE, R., THERIEN, N., LANGLOIS, C. y TREMBLAY A. (Eds.). Mercury in the biogeochemical cycle. [en línea] New York, Springer - Environmental Science series. 1999. 334 p. <<http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/lackenogami/documents/DA18.pdf>> [consulta: 15 agosto 2007].

## M

MALM, O., PFEIFFER, W., y SOUZA, C. 1991. Main pathways of mercury in the Madeira River, Brazil. Heavy metals and Environmental International Conference 8Th, Edinburg, 1:515-518.

MARINE WILDLIFE PHOTOGRAPHY. [en línea] <<http://seapics.com/cgi-bin/Panorama.cgi?searchLynx~cgiDispatch~?seapics>> [consulta: 22 octubre 2007].

MARINS, R. V., IMBASSAHY, J. A., PFEIFFER, W. C., y BASTOS, W. R. 1991. Preliminary study on mercury contamination in the urban atmosphere of a gold producing area in Pocone, Mato Grosso (MT). In ‘‘First Int. Symp. Environm. Stud. Tropical Humid Forests, Manaus, Brazil.’’

MARTINELLI, L., FERREIRA, J., FOSBERG, B. y VICTORIA, R. 1988. Mercury Contamination in the Amazon: a Gold Rush Consequence. *Ambio*. 17: 252-254.

MASON, C. Concentrations of organochlorine residues and metals in tissues of otters *Lutra lutra* from the british isles, 1985-1986. *Lutra* 31. (1):62-67. 1988.

MASON, C., LAST, N. y MACDONALD, S. Mercury, cadmium, and lead in British otters. [en línea] *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1986. Vol 37, No 1. Pp. 844–849. <<http://www.springerlink.com/content/k166250umqm45626/>> [consulta: 9 setiembre 2007].

MASON, C. y MACDONALD, S. Otters: ecology and conservation. Cambridge. *Cambridge University Press*. 1986.

MASON C. y MACDONALD S. Levels of cadmium, mercury and lead in otter and mink faeces from the United Kingdom. *Science of the Total Environment*. 53(1-2):139-46. 1986.

MASON, C. y MADSEN, A. Mercury in Danish Otters (*Lutra Lutra*). *Chemosphere*. 25 (1): 865-67. 1992.

MASON, C y O'SULLIVAN, L. Relationships between PCBs in Otter Livers and Spraints from Gut and Environment. [en línea]. IUCN Otter Specialist Group Bulletin. 1993. Vol. 8, No. 1. Pp. 20 – 21. <[http://www.otterspecialistgroup.org/Bulletin/Volume8/Mason\\_OSullivan\\_1993.html](http://www.otterspecialistgroup.org/Bulletin/Volume8/Mason_OSullivan_1993.html)> [consulta: 15 julio 2007].

MASON, R., MOREL, F. y HEMOND, F. The role of microorganisms in elemental mercury formation in natural waters. *Water, Air and Soil Pollution*. 80 (1): 775-787. 1995.

MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION. Environmental monitoring for mercury in Massachusetts: Studies status report 1994 – 2004. [en línea]. Boston. 2004. <<http://www.mass.gov/dep/toxics/stypes/sumhg94to04.doc>> [consulta: 5 julio 2007].

MEDINA, G. Mitigación del mercurio en la minería artesanal y pequeña minería aurífera del Perú. En: Jornada Internacional sobre impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica. Lima, Perú. Set. 2001. [en línea]. <<http://www.gama-peru.org/jornada-hg/medina.pdf>> [consulta: 7 noviembre 2009].

MEDINA, G., NÚÑEZ, V. y HRUSCHKA, F. 2005. La luz al final del túnel. Proyecto GAMA. [en línea] <[http://www.gama-peru.org/gama/tiki-download\\_wiki\\_attachment.php?attId=58](http://www.gama-peru.org/gama/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=58)> [consulta: 22 octubre 2009].

MEECH, J., VEIGA, M y TROMANS, D. Reactivity of mercury from gold mining activities in darkwater ecosystems. *Ambio*. 27 (1): 92-98. 1998.

MENDOZA, J., NAVARRO, A., VILADEVALL, M. y DOMÉNECH, L. Caracterización y tratamiento térmico de suelos contaminados por mercurio. En: LÓPEZ-GETA, J., Rubio, J. y MACHUCA, M. (Eds.), VI Simposio del Agua en Andalucía. IGME. 2005. Pp 1077-1088. [en línea]. <[http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/suelos\\_mercurio.pdf](http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/suelos_mercurio.pdf)>. [consulta: 5 abril 2008].

MIERLI, G., ADDISON, E., MACDONALD, K. y JOACHIM, D. Mercury levels in tissue of otters from Ontario, Canada: variation with age, sex and location. *Environmental toxicology and chemistry*. 2000. 19 (1): 3044 – 3051.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMIENTO. 2001. Noticias. [en línea]. <[http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2001/a\\_embrapa/unidades\\_centrais/acs](http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2001/a_embrapa/unidades_centrais/acs)>

MINISTERIO DEL AMBIENTE – MINAM. Web page de minería informal. [en línea]. <[http://www.minam.gob.pe/mn-ilegal/index.php?option=com\\_content&view=frontpage&Itemid=1](http://www.minam.gob.pe/mn-ilegal/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=1)> [consulta: 7 noviembre 2009].

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS - MINEM. Sistema piloto para la captura de mercurio. [en línea]. <<http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=4&idTitular=1896>> [consulta: 7 noviembre 2009].

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS - MINEM. Evaluación Ambiental Territorial: Madre de Dios. 1997. [en línea]. <<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/mddios/>> [consulta: 7 noviembre 2009].

MITCHELL, R., AGLE, B. y WOOD, D. 1997. Toward a theory of stakeholder identification and salience: defining the principle of who and what really counts. *Academy of Management Review*. 22 (4): 853-886.

MONTEAGUDO, F. Evaluación de la Contaminación por Mercurio en población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena - Ayacucho – Perú, durante el período Agosto 2000 - Septiembre 2001. Lima. 2002. [en línea]. <[http://www.cybertesis.edu.pe/sisbib/2002/monteagudo\\_mf/html/index-frames.html](http://www.cybertesis.edu.pe/sisbib/2002/monteagudo_mf/html/index-frames.html)> [consulta: 4 diciembre 2007].

MORENO, A. 2009. Instrumento para el análisis de las fases entrópicas de la realidad político social venezolana. *La lógica borrosa*. [en línea] <<http://www.analitica.com/media/9966811.pdf>> [consulta: 22 octubre 2007].

MOSQUERA, C., CHAVEZ, M., PACHAS, V., MOSCHELLA, P. 2009. Estudio diagnóstico de la actividad minera artesanal en Madre de Dios. Fundación Conservación Internacional. 184 p.

MULBRANDON, C. VisualizingEconomics. [en línea]. <<http://www.visualizeeconomics.com/tag/gold/>> [consulta: 5 julio 2008].

## N

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1983. Risk assessment in the federal government: managing the process. Committee on the institutional means for assessment of risks to public health. Commission on Life Sciences. National Academy Press. Washington D.C.

NAUEN, C. Compilación de los límites legales para sustancias peligrosas en peces y productos de pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 1983.

NEW JERSEY DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION. New Jersey Mercury Task Force. Vol. 1. Executive Summary and Recommendations. New Jersey, 2001. [en línea]. <<http://www.state.nj.us/dep/dsr/nj-mercury-volume1.PDF>> [consulta: 5 julio 2008].

NICHOLS, J., BRADBURY, S. y SWARTOUT, J. Derivation of wildlife values for mercury. *Journal of Toxicology and Environment. Health, Part B.* 2 (1):325-355. 1999.

NORIEGA, A. 2012. Gestión del conflicto. Centro de Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 17 p.

NRIAGU, J.O. 1989. A Global Assessment of Natural Sources of Atmospheric Trace Metals. *Nature.* 338: 47-49.

## O

OBSERVATORIO DE PARQUES. Minería en con mercurio [en línea]. <parkwatch.com>

O'CONNOR, D. J. y NIELSEN, S. W. Environmental survey of methylmercury levels in wild mink (*Mustela vison*) and otter (*Lutra canadensis*) from the northeastern United States and experimental pathology of methylmercurialism in the otter. En: World Furbearer Conference Proceedings: 3 al 11 de Agosto de 1980. Libro de resúmenes (J. CHAPMAN D. y PURSLEY, D., Eds.), Frostburg, World Furbearer Conference, 1981. Pp. 1728-1745.

ODUM, E. y SARMIENTO, F. 1998. Ecología: el puente entre la ciencia y la sociedad. McGraw – Hill Interamericana. México D.F. 341 p.

ORGAN, J. Mercury and PCB residues in Massachusetts river otters: comparisons on a watershed basis. Tesis (PhD). University of Massachusetts. 1989.

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD – ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. Criterios de salud ambiental - Mercurio. Washington D.C. OPS –OMS. 1971. p. 47.

ORO Y FINANZAS. Índice Dow Jones vs precio Oro. [en línea]. <<http://www.oroymas.com/2010/10/indice-dow-jones-versus-precio-oro-1999-2010/>> [consulta: 5 julio 2008].

OSORIO, D. Aspectos ecológicos de los peces en la Estación Biológica Cocha Cashu, Parque Nacional del Manu, Madre de Dios. Tesis (Biólogo). Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Facultad de Ciencias Biológicas. 61 p.

OTTE, K. 1974. Project 579. Research programme *Melanosuchus niger* in the Manu National Park. World Wildlife Yearbook 1973-1974: 257-260.

OTTERNET. Species profile: giant otter. [en línea] <<http://www.otternet.com/species/giant.htm>> [consulta: 10 julio 2007].

## P

PALISADE CORPORATION. 2010. Guide to Using @RISK: Risk Analysis and Simulation. [en línea] <[http://www.palisade.com/downloads/manuals/EN/RISK5\\_EN.pdf](http://www.palisade.com/downloads/manuals/EN/RISK5_EN.pdf)> [consulta: 22 octubre 2007].

PALMISANO, F., CARDELLICCHIO, N. y ZAMBOM, P. Speciation of mercury in dolphin liver: a two-stage mechanism for the demethylation accumulation process and role of selenium. *Mar. Environmental Research*. 2 (1): 109-121. 1995.

PASCO-FONT, Alberto. "Peru: informal mining and the environment". En: MCMAHON, Gary; EVIA, José Luis; PASCO-FONT, Alberto; SANCHEZ, José Miguel. An environmental study of artisanal, small, and medium mining in Bolivia, Chile and Peru. Washington, D.C.: World Bank, 1999. p. 37-48.

PASTOR, O. El oro en la Cuenca del río Madre de Dios – Perú. Gisements alluviaux d'or, La Paz, 1-5 juin 1991. Cusco. Perú. [en línea]. <[http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_6/colloques2/36202.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/colloques2/36202.pdf)> [consulta: 7 noviembre 2009].

PELLETIER, E. 1986. Modification of selenium bioaccumulation in *Mytilus edulis* in the presence of organic and inorganic mercury. *Canadian Journal of Fish Aquatic Science*. Vol 43. Pags. 203-210.

PEÑA, C., CARTER, D. y AYALA-FIERRO, F. Toxicología ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. [en línea]. The University of Arizona. 2004. <<http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>> [consulta: 5 abril 2008].

PENNUTO, C., LANE, O., EVERS, D., TAYLOR, R. y LOUKMAS, J. Mercury in the Northern Crayfish, *Orconectes virilis* (Hagen), in New England, USA. [en línea]. *Ecotoxicology*. 2005. Vol. 14. No. 1 y 2. Pp. 149-162. <<http://www.springerlink.com/content/w18v05t014674p24/fulltext.pdf>> [consulta: 20 julio 2007].

PETERSON, G. Political ecology and ecological resilience: An integration of human and ecological dynamics. *Ecological Economics*. 35 (3): 323 – 336. 2000.

PFEIFFER, W. y LACERDA, L. 1988. Mercury inputs into the Amazon region, Brazil. *Environmental Technology*. Letters, vol 9, p. 325-330.

PFEIFFER, W., LACERDA, L, SALOMONS, W, y MALM, O. 1993. Environmental fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon. *Environ. Rev.*1: 26-37.

PIÑOL, J. y MARTÍNEZ – VILLALTA, J. 2006. Ecología con números: una introducción a la ecología con problemas y ejercicios de simulación. Applet de sucesión.. [en línea]. <[http://www.ecologiaconnumeros.uab.es/Llibre/AppletsLlibre/6-PoblacionesEstructuradas/Applet\\_6\\_1/PopupTransicioCap10.html](http://www.ecologiaconnumeros.uab.es/Llibre/AppletsLlibre/6-PoblacionesEstructuradas/Applet_6_1/PopupTransicioCap10.html)> [consulta: 5 julio 2008].

PIRRONE, N. Mercury research in Europe: Towards the preparation of the new EU Air Quality Directive. *Atmospheric Environment*. 35 (1): 2979-2986. 2001.

PLOTKIN, M., MEDEM, F., MITTERMEIER, R. y CONSTABLE, I. 1983. Distribution and conservation of the black caiman (*Melanosuchus niger*). En: *Advances in Herpetology and Evolutionary Biology*. (Eds) RHODIN, A. y MIYATA, K. Museum of Comparative Zoology, Harvard University: Cambridge, Massachusetts. Pp. 695-705

POVEDA, R. 2006. Capítulo 20: Minería. En: Perú, la oportunidad de un país diferente. [en línea]. <[http://siteresources.worldbank.org/INTPERUINSPANISH/Resources/Cap.20.\\_Mineria.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTPERUINSPANISH/Resources/Cap.20._Mineria.pdf)> [consulta: 5 julio 2008].

PRATO. 2006. Adaptative management of National Park Ecosystems. University of Missouri, Columbia. [en línea]. <[www.georgewright.org/231prato.pdf](http://www.georgewright.org/231prato.pdf)> [consulta: 5 julio 2008].

PRATO. 2008. Adaptatively managing protected areas for climate change. University of Missouri, Columbia. [en línea]. <<http://www.fs.fed.us/psw/cirmount/meetings/mtnclim/2005/talks/Prato.pdf>> [consulta: 5 julio 2008].

PROGRAMA DE NACIONES PARA EL MEDIO AMBIENTE. Evaluación mundial sobre el mercurio. Ginebra. PNUMA – Productos Químicos. 2005. 303 p. [en línea] <<http://www.chem.unep.ch/MERCURY/Report/Final%20Assessment%20report.htm>> [consulta: 5 julio 2007].

PROGRAMA DE VOLUNTARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS. Los medios de vida sostenibles. En: V Informe sobre el estado del voluntariado en el mundo: Valores universales para alcanzar el bienestar mundial. 2011. [en línea] <[http://www.unv.org/fileadmin/docdb/pdf/2011/SWVR/Spanish/SWVR2011\\_%5BSpa%5D\\_full\\_%5B07%5D\\_chapter4.pdf](http://www.unv.org/fileadmin/docdb/pdf/2011/SWVR/Spanish/SWVR2011_%5BSpa%5D_full_%5B07%5D_chapter4.pdf)> [consulta: 22 octubre 2007].

PROMANU. Home page. [en línea]. <<http://www.edym.com/pm/>> [consulta: 7 noviembre 2009].

PRONATURALEZA. 2011. Línea de tiempo de la minería de oro en Madre de Dios. [en línea]. <<http://www.pronaturaleza.org/archivos/pdf/LT%20Mineria%20de%20Oro%20en%20Madre%20de%20Dios.pdf>> [consulta: 7 noviembre 2011].



## Q

QUISPE, E. Ingeniero peruano presenta prototipo para recuperación del oro sin uso del mercurio. Punto de Encuentro. Cañete, Lima, Perú, 12 de abril de 2010. [en línea]. <<http://puntodeencuentrocanete.blogspot.com/2010/04/ingeniero-peruano-presenta-prototipo.html>> [consulta: 09 de octubre de 2010].

## R

RALOFF, J. A dietary cost of our appetite for gold. [en línea] Science News. 2001. <[http://www.sciencenews.org/view/generic/id/1632/title/Food\\_for\\_Thought\\_\\_A\\_dietary\\_cost\\_of\\_our\\_appetite\\_for\\_gold](http://www.sciencenews.org/view/generic/id/1632/title/Food_for_Thought__A_dietary_cost_of_our_appetite_for_gold)> [consulta: 12 agosto 2007]

RAMAMOORTHY, S. y RUST, B.R., 1976. Mercury sorption and desorption of some Ottawa River sediments. *Canadian Journal of Earth Sciences*. Vol. 13. Pp. 530-536.

REALES, Y. 2011. Blog: investigación en operaciones II: Matrices de Markov. [en línea] <<http://investigaciondeoperaciones2ingind.blogspot.com/2011/06/cadenas-de-markov-continuacion.html>> [consulta: 22 octubre 2007].

REALES, Y. 2011. Blog: investigación en operaciones II: Matrices de Markov absorbentes. [en línea] <<http://investigoperaciones-ingindustrial.blogspot.com/2011/06/cadenas-de-markov-absorbentes.html>> [consulta: 22 octubre 2007].

RESILIENCE ALLIANCE. Webpage. [en línea]. <[resalliance.org](http://resalliance.org)> [consulta: 22 octubre 2007].

RESILIENCE ALLIANCE. 2010. Assessing resilience in social-ecological systems: workbook for practitioners, version 2.0. [en línea] <<http://www.resalliance.org/3871.php>> [consulta: 22 octubre 2007].

RIU, J. Gráficos de control de Shewhart. Grupo de quimiometría, cualimetría y nanosensores - Universitat Rovira i Virgili. Tarragona.

RISCTOX. Mercurio. Base de datos de sustancias químicas. [en línea]. <[http://www.istas.net/risctox/dn\\_risctox\\_ficha\\_sustancia.asp?id\\_sustancia=955906](http://www.istas.net/risctox/dn_risctox_ficha_sustancia.asp?id_sustancia=955906)> [consulta: 22 octubre 2007].

RODRÍGUEZ, F. y BAUTISTA, S. Modelos ocultos de Markov para el análisis de patrones espaciales. *Ecosistemas*. 15 (3): 68-75. 2006.

ROZELL, N. Mercury Found in Fish of Southwest Alaska. [en línea]. Alaska Science Forum. 1999. <<http://www.gi.alaska.edu/ScienceForum/ASF14/1462.html>> [consulta: 10 julio 2007].

RUDD, J. Sources of methyl mercury to freshwater ecosystems: a review. *Water, Air and Soil Pollution*. 80 (1): 697-713. 1995.

RUMBOLD, D., FINK, L., LAINE, K., NIEMCZYK, S., CHANDRASEKHAR, T., WALNKEL, S. y KENDALL, C. Levels of mercury in alligators (*Alligator mississippiensis*) collected along a transect through the Florida Everglades. *Science of the Total Environment*. 7: 297(1 - 3): 239 - 52. 2002.

RUSPINI E. 1991. On the semantics of fuzzy logic. *Journal of Approximate Reasoning*. 5 (1): 45 - 88.

## S

SAMPLE, B., OPRESKO, D. y SUTER, G. Toxicological benchmarks for wildlife: 1996 revision. U.S. Department of Energy Office of Environmental Management.

SCHENCK, C. Lobo de río *Pteronura brasiliensis*: presencia, uso del hábitat y protección en el Perú. Lima, Agencia de Cooperación Técnica Alemana, Sociedad Zoológica de Frankfurt, Instituto Nacional de Recursos Naturales y proyecto SURAPA. 1999. 176 p.

SCHENCK, C. y STAIB, E. Giant Otter Study in Peru Completed. [en línea]. *IUCN Otter Specialist Group Bulletin*. 1993. Vol. 8, No. 1. Pg. 44. <[http://iucnosg.org/Bulletin/Volume8/Schenk\\_Staib\\_1993.html](http://iucnosg.org/Bulletin/Volume8/Schenk_Staib_1993.html)> [consulta: 21 mayo 2007].

SCHEUHAMMER, A. y BLANCHER, P. 1994. Potential risk to common loons (*Gavia immer*) from methylmercury exposure in acidified lakes. *Hydrobiologia*. 279/280:445-455.

SCHEUHAMMER, A. M., WONG, H. K. y BOND, D. Mercury and selenium accumulation in Common Loons (*Gavia immer*) and Common Mergansers (*Mergus merganser*) from eastern Canada. [en línea] *Environmental toxicology and chemistry*. 1998, vol. 17, No 2, Pp. 197-201. <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=2144935>> [consulta: 15 julio 2007].

SCHEFFER, M. y CARPENTER, S. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in ecology and evolution*. 18 (12): 648 - 656. 2003.

SCHNEIDER L., PELEJA, R., KLUCZKOVSKI, A., FREIRE, G., MARIONI, B., VOGT, R y SILVEIRA, R. Mercury concentration in the spectacled caiman and black caiman (alligatoridae) of the Amazon: implications for human health. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 63 (2): 270 - 9. 2012.

SCHROEDER, H. y MITCHENER, M. Life-term effects of mercury, methyl mercury, and nine other trace metals on mice. *Journal of Nutrition*. 105 (1): 452-458. 1975.

SCOONES, I. Sustainable rural livelihoods. a framework for analysis. IDS working paper. [en línea] <<http://www.ids.ac.uk/files/dmfile/wp72.pdf>> [consulta: 22 octubre 2007].

SCOTTISH ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (SEPA) y ENVIRONMENT & HERITAGE SERVICE (E&HS). Review of Contaminant Data for Otters in Scotland &

Northern Ireland. Scotland & Northern Ireland Forum for Environmental Research. 2004. [en línea]. <[http://www.wrc.org.za/downloads/FWR/SR\(02\)41%20Executive%20Summary.doc](http://www.wrc.org.za/downloads/FWR/SR(02)41%20Executive%20Summary.doc)> [consulta: 10 julio 2007].

SHEFFY, T y AMANT, J. Mercury Burdens in Furbearers in Wisconsin. *Journal of Wildlife Management*. 46(4):1117- 1121. 1982.

SHEPHERD MILLER. Informe Final de Evaluación de Riesgos del Derrame de Mercurio Ocurrido en el Norte del Perú. [en línea]. 2002. Colorado. 154 p. <[http://www.yanacocha.com/publicaciones/descar/pdf/fr\\_espanol.pdf](http://www.yanacocha.com/publicaciones/descar/pdf/fr_espanol.pdf)> [consulta: 10 julio 2007].

SHEWHART, W. The economic control of quality of manufactured products. Van Nostrand, New York. 1931. [en línea] <[http://argo.urv.es/quimio/general/grafics\\_de\\_control.pdf](http://argo.urv.es/quimio/general/grafics_de_control.pdf)> [consulta: 22 octubre 2007].

SHILTS, W. y COKER, W. Mercury anomalies in lake water and in commercially harvested fish, Kaminak Lake area, District of Keewatin, Canada. *Water, Air and Soil Pollution* 80. (1): 881-884. 1995.

SILVA, A., RAMOS, P. y BASTOS, J. Mercury in particulate suspended sediments: A new sampling methodology. En: International symposium on perspectives for environmental geochemistry in tropical countries. Niteroi. 1993.

SKARÉN, U. Analysis of One Hundred Otters Killed by Accidents in Central Finland. [en línea]. IUCN Otter Specialist Group Bulletin. 1992. Vol. 7. No. 1. Pp. 9 – 12 <[http://www.otterspecialistgroup.org/Bulletin/Volume7/Skaren\\_1992.html](http://www.otterspecialistgroup.org/Bulletin/Volume7/Skaren_1992.html)> [consulta: 15 agosto 2007].

SKERFVING, S. Mercury in women exposed to methylmercury through fish consumption, and in their newborn babies and breast milk. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 40 (4-6): 475 - 482. 1988.

SLOTTON, D., REUTER, J. y GOLDMAN, C. Mercury uptake patterns of biota in a seasonally anoxic Northern California reservoir. *Water, Air and Soil Pollution*. 80 (1): 841-850. 1995.

SPOHN W. 1988. Ordinal conditional functions: a dynamic theory of epistemic states. En: causation in decision, belief change and statistics. (Eds.) HARPER, W. y SKYRMS, B. Pags. 105-134.

STAIB, E. (1995). Social behavior and ecology of the giant otter (*Pteronura brasiliensis*) in Peru. En: REUTHER, C y ROWE-ROWE, D. (Eds). Habitat Arbeitsberichte der Aktion Fischotterschutz e.V.. Proceedings VI. International Otter Colloquium Pietermaritzburg 1993 GN-Gruppe Naturschutz GmbH: Hankensbuttel.

STANFORD, J., HANER, F. y WARD, J. 1988. Serial Discontinuity in a Large River System. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 23(1):1114-1118.

STOBER, J., SCHEIDT, D., JONES, R., THORNTON, K., GANDY, L., TREXLER, J. Y RATHBUN, S. South Florida ecosystem assessment: Everglades stressor interactions: hydropatterns, eutrophication, habitat alteration, and mercury contamination. Athens. USEPA. 1998.

STOLZENBURG, T., STANFORTH, R. y NICHOLS, D. Potential Health Effects of mercury -in water supply wells. Management and Operation. *Journal AWWA*. 1986. Pp. 45-48.

STROUD WATER RESEARCH CENTER. Measuring watershed health: training conservation planners how to use biophysical tools for monitoring streams in neotropical ecosystems. [en línea]. <[http://www.stroudcenter.org/research/MooreFdnPeru/PDFs/SWRC\\_MooreFdnReport06.pdf/](http://www.stroudcenter.org/research/MooreFdnPeru/PDFs/SWRC_MooreFdnReport06.pdf/)> [consulta: 7 noviembre 2009].

SUNG, W. Some observations on surface partitioning of Cd, Cu, and Zn in estuaries. *Environmental Science and Technology*. 29 (1):1303-1312.1995.

SWEENEY, B., TRAVERS, K., BLAINE, J., BARBIERI, G. y FLOWERS, W. Stroud water research center. Taller sobre agua dulce y la ecología de las quebradas y los ríos. [en línea].

<[http://www.stroudcenter.org/research/MooreFdnPeru/PDFs/ImportanceOfWater\\_Peru.pdf](http://www.stroudcenter.org/research/MooreFdnPeru/PDFs/ImportanceOfWater_Peru.pdf)> [consulta: 27 febrero 2008].

SWEET, L. y ZELIKOFF, J. Toxicology and immunotoxicology of mercury: a comparative review in fish and humans. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 4(B): 161-205. 2001.

## T

TAMARACK. The sustainable livelihoods framework. [en línea] <[http://tamarackcommunity.ca/downloads/vc/Sustainable\\_Livelihoods.pdf](http://tamarackcommunity.ca/downloads/vc/Sustainable_Livelihoods.pdf)> [consulta: 22 octubre 2007].

TECONEC: Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Perforación de 10 Pozos Exploratorios en el Lote 111 de la Cuenca Madre de Dios. MINEM. 2009.

TELLO, S. Situación actual de la pesca y la acuicultura en Madre de Dios. [en línea]. Madre de Dios. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 2002. 42 p. <<http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/PescaMDD.pdf>> [consulta: 10 julio 2007].

THOMPSON, D.R. Mercury in Birds and Terrestrial Mammals. En: *Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations*. Boca Raton, Lewis Publications. 1996. Pp. 341-356.

THORBJARNARSON, J. 2010. Black Caiman *Melanosuchus niger*. En: *Crocodiles Status Survey and Conservation Action Plan*. (Eds) Manolis, S. y Stevenson, C. Crocodile Specialist Group: Darwin. Pp. 29-39.

TORRES, A. 2008. Redes bayesianas. Grupo de tecnologías avanzadas en computación – ATGC. Loja, Ecuador. [en línea] <<http://advancedtech.wordpress.com/page/2/>> [consulta: 22 octubre 2007].

TRIGOSO, J. y JUSCAMAITA, J. Efectos de la minería aurífera en Madre de Dios. “Investigación preliminar en el área del proyecto piloto de rehabilitación Huepetuhe – Caychive”. [en línea]. <<http://www.concytec.gob.pe/red-andina/pnuma/reunregionales/2rcrdesk/23%20casosexitosos/rehabfectosmineria.pdf>> [consulta: 7 noviembre 2009].

TREMBLAY, A., LUCOTTE, M y RHEAULT, I. 1999. Methylmercury in a benthic food web of two hydroelectric reservoirs and a natural lake of northern Quebec (Canada). *Water Air and Soil Pollution*. 91: 255-269.

TRUJILLO F., BOTELLO J. y CARRASQUILLA M. 2006. Catálogo electrónico de los organismos presentes en Colombia: *Pteronura brasiliensis* (Gmelin, 1788). [en línea] <<http://www.siac.net.co/sib/catalogoespecies/especie.do?idBuscar=296&method=displayAAT>> [consulta: 10 julio 2007].

TUCKER, B. y ANAND, M. 2005. On the use of stationary versus hidden Markov models to detect simple versus complex ecological dynamics. *Ecological Modelling*. 185: 177–193.

## U

UNDERWOOD, E. Trace Elements in Human and Animal Nutrition. New York. Academic Press. 1977.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Methodology for Deriving Ambient Water Quality Criteria for the Protection of Human Health. [en línea]. Washington D.C. US EPA. 2000. 185 p. <<http://www.epa.gov/waterscience/criteria/humanhealth/method/complete.pdf>> [consulta: 10 julio 2007].

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Water Quality Criterion for the Protection of Human Health: Methylmercury. EPA-823-R-01-001. 2001.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Human Health Criteria: Methylmercury Fish Tissue Criterion. [en línea]. 2001. <<http://www.epa.gov/waterscience/criteria/methylmercury/>> [consulta: 10 julio 2007].

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 3745-1-39 Methodology for the development of wildlife criteria for the lake Erie drainage basin. Ohio. [en línea]. <<http://www.epa.state.oh.us/dsw/rules/01-39.pdf>> [consulta: 6 mayo 2007].

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 3745-1-37 Methodology for deriving bioaccumulation factors. Ohio. [en línea]. <[http://www.epa.gov/waterscience/standards/wqslibrary/oh/oh\\_5\\_3745-1-37\\_wqs.pdf](http://www.epa.gov/waterscience/standards/wqslibrary/oh/oh_5_3745-1-37_wqs.pdf)> [consulta: 6 mayo 2007].

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Wildlife Exposure. Factors Handbook. Volume I of II. [en línea]. 1993. <<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1064&context=usepapapers>> [consulta: 6 mayo 2007].

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Mercury Study Report to Congress Vol. VII: Characterization of Human Health and Wildlife Risks from Mercury Exposure in the United States. Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-452/R-97-009. EPA, Washington, DC. 1997.



UNITED STATES FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (US FDA). Action levels for poisonous or deleterious substances in human food and animal feed. [en línea]. 1998. <<http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/fdaact.html>> [consulta: 10 julio 2007].

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE BUENOS AIRES. Simulación método Montecarlo. Investigación Operativa I – 2005. Facultad de Ciencias Exactas. [en línea] <[http://xa.yimg.com/kq/groups/22897790/1844327217/name/Apunte\\_Teorico\\_MC\\_2005.pdf](http://xa.yimg.com/kq/groups/22897790/1844327217/name/Apunte_Teorico_MC_2005.pdf)> [consulta: 22 octubre 2007].

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL. Research project 4: Toxicology of environmental Hg in fish-eating wildlife. [en línea] <<http://www.unites.uqam.ca/comern/theme3/projet34.html>> [consulta: 10 julio 2007].

URY, W., BRETT, J. y GOLDBERG, S. 1989. Getting disputes resolved. San Francisco, CA. Jossey-Bass Publishers.

URYU, Y., MALM, O., THORNTON, I., PAYNE, I. y CLEARY, D. Mercury contamination of fish and its implications for other wildlife of the Tapajos Basin, Brazilian Amazon. [en línea]. *Conservation biology*. 2001. Vol. 15, No. 2. Pp. 438-446. <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1089467>> [consulta: 10 julio 2007].

UTHE, J y BLIGH, E. Preliminary survey of heavy metal contamination of Canadian freshwater fish. *Journal of Fishery Research Board of Canada*. 28(1): 786-788. 1971.

## V

VASQUEZ, P. y BARRENA, V. Diseño de una metodología para el monitoreo del impacto de las actividades humanas en áreas protegidas de la Amazonía peruana. Centro de Datos para la Conservación – CDC. Lima, 1990. 118 p. [en línea]. <<http://www.ibcperu.org/doc/isis/10413.pdf>> [consulta: 10 julio 2007].

VEIGA, M. Introducing New Technologies for Abatement of Global Mercury Pollution in Latin America. 1997. 72 p. [en línea]. Rio de Janeiro. UNIDO/UBC/CETEM/CNPq. <[http://www.facome.uqam.ca/pdf/veiga\\_01.pdf](http://www.facome.uqam.ca/pdf/veiga_01.pdf)> [consulta: 5 julio 2008].

VEIGA, M. y FERNANDES, F. 1990. Poconé: An opportunity for studying the environmental impact of the goldfields. En: Proceedings 1st International Symposium Environmental Studies on Tropical Rain Forests – Forest. v 90, p.185-194, Manaus, Oct. 7-13.

VEIGA, M., HINTON, J. y CAMERON, L. Mercury in the Amazon: A Comprehensive Review with Special Emphasis on Bioaccumulation and Bioindicators. Proc. NIMD (National Institute for Minamata Disease) Forum'99. p. 19-39. Oct. 12-13, 1999, Minamata, Japan.

VEIGA, M. y MEECH, J. 1996. Hg Ex: An expert system for risk assessment of mercury discharge from gold mining operations. Department of Mining and Mineral Process Engineering. University of British Columbia.

VEIGA, M. y MEECH, J. Mercury emissions and stability in the Amazon region. University of British Columbia, Dept. Mining and Mineral Process Engineering. Vancouver. [en línea]. <<http://www.mining.ubc.ca/faculty/meech/metsoc95.htm>> [consulta: 7 noviembre 2007].

VEIGA, M. y MEECH, J. Gold mining activities in the Amazon: clean-up techniques and remedial procedures for mercury pollution. *Ambio*. 1995. 24(1):371-375.

VEIGA, M., MEECH, J. y OÑATE, N. 1994. Mercury pollution from deforestation. *Nature*. Vol 368. Pp. 816-817.

VELAZCO, D. Valoración biológica y cultural de la nutria gigante (*Pteronura brasiliensis*), en el área de influencia de Puerto Carreño, vichada, Colombia. Tesis (Ecología). Pontificia Universidad Javeriana . Facultad de estudios ambientales y rurales .Bogotá. 2004. [en línea]. <[http://www.giantotterresearch.com/articles/Velasco\\_Gomez\\_Perto\\_Carreno\\_Colombia.pdf](http://www.giantotterresearch.com/articles/Velasco_Gomez_Perto_Carreno_Colombia.pdf)> [consulta: 8 mayo 2008].

VER HOEF, J. y CRESSIE, N. 1997. Using hidden Markov chains and empirical Bayes change-point estimation for transect data. *Environmental and Ecological Statistics*. 4: 247-264.

VIDALÓN, J. 2002. Minería aluvial en Madre de Dios: proyectos ambientales. En: CASM: reunión general anual – proyecto eliminación de pasivos ambientales. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM).

VIOVY, N. y SAINT, G. 1994. Hidden Markov Models Applied to Vegetation Dynamics Analysis Using Satellite Remote Sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 32(4): 906-917.

VON BURG, R. y GREENWOOD, M. Mercury. En: MERIAN E. (ed.), Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis, and biological relevance. New York. VCH. 1991. Pp. 1045-1088.

VOSTAL, J. 1972. Mercury in the environment. CRC PRESS, p. 15-27.

## W

WANDERLY, B. Description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Acta Amazónica*. 2008. 38(3): 431-438.

WALKER, B., CARPENTER, S., ANDERIES, J y ABEL, N. Resilience management in social-ecological systems: hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology*. 2002. 6(1): 14. <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14>

WALSH PERU: EIA del Corredor vial interoceánico sur, Perú – Brasil: tramo 3. [en línea].

<[www.mtc.gob.pe/portal/transportes/asuntos/proyectos/pvis/tramo\\_3/eisa/4.2.9\\_Calidad\\_de\\_Agua.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/asuntos/proyectos/pvis/tramo_3/eisa/4.2.9_Calidad_de_Agua.pdf)> [consulta: 24 junio 2008].

WATRAS y HUCKABEE, J (Eds.) Mercury Pollution: Integration and Synthesis. London. Lewis Publishers. 1998.

WIENER, J. , KRABBENHOFT , D., HEINZ , G. y SCHEUHAMMER, A . 2003. Ecotoxicology of mercury. In: Handbook of Ecotoxicology (2nd ed). D.J. Hoffman, B.A. Rattner, G.A. Burton, J. Cairns, (eds.) CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 409–463.

WHITE, B. y RUNNING, S. 1994. Testing scale-dependent assumptions in regional ecosystems simulations. *Journal of vegetation science*. 5(1): 687-702.

WIKIPEDIA COMMONS. Amazon river. [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Amazonrivermap.png>> [consulta: 7 noviembre 2009].

WINSTANLEY, R. The state of the marine environment report for Australia, Technical Annex 3: Issues in the victorian marine environment. 1999. [en línea]. <[http://www.environment.gov.au/marine/publications/somer/seomer\\_annex3/state3.htm](http://www.environment.gov.au/marine/publications/somer/seomer_annex3/state3.htm)> [consulta: 8 setiembre 2007].

WOBESER, G., NIELSEN, N. y SCHIEFER, B. Mercury and Mink. II. Experimental methyl mercury intoxication. *Canadian Journal of comparative medicine*. 40 (1): 34 – 45. 1976.

WOBESER, G. y SWIFT, M. Mercury poisoning in a wild mink. [en línea] *Journal of Wildlife Diseases*. 1976, vol 12, no 3, Pp. 335-340 <<http://www.jwildlifedis.org/cgi/content/abstract/12/3/335>> [consulta: 15 agosto 2007].

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Mercury: environmental aspects: Environmental health criteria 86. Geneva. WHO. 1989. [en línea]. <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc086.htm>> [consulta: 8 octubre 2007].

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking water quality: Health Criteria and other supporting information. 2nd. Edition. Vol. 2. Geneva. WHO. 1996.

WOTRUBA, H., HRUSCHKA, F., HENTSCHEL, T. y PRIESTER, M. Manejo ambiental en la pequeña minería. La Paz. GAMA – COSUDE. [en línea]. <<http://www.gama-peru.org/libromedmin/index.html>> [consulta: 19 julio 2007].

WREN, C. Probable case of mercury poisoning in a wild otter, *Lutra canadensis*, in Northwestern Ontario. *Canadian Field-Naturalist*. 1985. 99 (1): 112-114.

WREN, C. A review of metal accumulation and toxicity in wild mammals. *Environmental Research*. 1986. 40(1): 210 – 244.

WREN, C., MACCRIMMON, H., FRANK, R. y SUDA, P. Total and methylmercury levels in wild mammals from the precambrian shield area of south central Ontario. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 25 (1):100-105. 1980.

WREN, C. y STOKES, P. Depressed mercury levels in biota from acid and metal stressed lakes near Sudbury, Ontario. *Ambio*. 17(1):28-30. 1988.

WREN, C., STOKES, P. y FISCHER, K. Mercury levels in Ontario mink and otter relative to food levels and environmental acidification. *Journal of Zoology*. 64 (1):2854-2859. 1986.

## X

XUNTA de GALICIA. Manual del software Epidat 3.1: Análisis bayesiano. [en línea] <<http://dxsp.sergas.es/ApliEdatos/Epidat/Ayuda/9-Ayuda%20An%E1lisis%20bayesiano.pdf>> [consulta: 22 octubre 2007].

## Y

YATES, D., EVERS, D.C. y SAVOY, L. Developing a mercury exposure profile for mink and river otter in Maine. [en línea] Augusta. BioDiversity Research Institute. 2004. 24 p. <[http://www.briloon.org/pub/doc/mammal\(2004-09\).PDF](http://www.briloon.org/pub/doc/mammal(2004-09).PDF)> [consulta: 22 octubre 2007].

## Z

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*. 8 (3): 338–353. 1965.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO A: MERCURIO EN AMBIENTES AMAZÓNICOS

| Lugar                                  | Aire (ng/m <sup>3</sup> ) | Suelo (ug/g) | Agua (ug/l) | Sedimentos (ug/g) | Fuente            |
|--|---------------------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|
| Río Tavara                             | -                         | 0.0013       | 0.0007      | -                 | CI, 1994          |
| Río Malinowski                         | -                         | 0.0012       | 0.0007      | -                 | CI, 1994          |
| Río Inambari                           | -                         | 0.0012       | 0.0007      | -                 | CI, 1994          |
| Río Tambopata                          | -                         | 0.0014       | 0.0006      | -                 | CI, 1994          |
| Río Colorado                           | -                         | -            | 0.0015      | 0.107             | Mora, 1995        |
| Río Madre de Dios                      | -                         | -            | 0.0013      | 0.358             | Mora, 1995        |
| Inambari                               | -                         | -            | 0.0013      | 0.264             | Mora, 1995        |
| Tambopata                              | -                         | -            | 0.0008      | 0.156             | Mora, 1995        |
| Alta Floresta – Brasil (tienda de oro) | 1113 - 19120              | -            | -           | -                 | Hacon et al. 1995 |
| Río Madeira                            | -                         | 0.27-0.54    | ND – 9.97   | 0.03-0.35         | Malm et al. 1995  |

NOTA: Valores de línea base: 2 ug/l en agua (OMS: 1 ug/l), 0.01 ng/m<sup>3</sup> en aire, y 0.1 ug/g en sedimentos.

FUENTE: Deza (1997).

## ANEXO B: VALORES DE NOAEL Y LOAEL DE MERCURIO

| Especie<br>(nombre común)   | Efecto  | Forma química  | Concentración (peso seco) | Fuente                      |
|-----------------------------|---|--|---------------------------|-----------------------------|
| Animales en general         | Límite seguro   | Mercurio total                                       | 2000 ppb                  | Hapke 1991.                 |
| Animales en general         | NOAEL (para efectos en el crecimiento)  | Mercurio inorgánico                                  | 1000 ppb                  | Underwood 1977.             |
| Mamíferos en general        | Menor crecimiento   | Metilmercurio  | 5000 ppb                  | Schroeder y Mitchener 1975. |
| Lobo de río de Norteamérica | Letal   | Metilmercurio  | 2000 ppb                  | O'Connor y Nielsen 1981.    |
| Lobo de río de Norteamérica | Letal (exposición crónica)  | Mercurio total en músculo                            | 80000 ppb                 | O'Connor y Nielsen 1981.    |
| Lobo de río de Norteamérica | Letal (exposición crónica)  | Mercurio total en hígado                             | 165000 ppb                | O'Connor y Nielsen 1981.    |
| Lobo de río de Norteamérica | Letal (exposición crónica)  | Mercurio total en riñones                            | 195000 ppb                | O'Connor y Nielsen 1981.    |
| Lobo de río de Norteamérica | Necrosis neural que causa descoordinación de habilidades sensoriales y motoras  | Mercurio total                                       | 1100 ppb                  | Yates et al, 2004.          |
| Lobo de río de Norteamérica | Anorexia, pérdida de peso   | Mercurio total                                       | 1800 ppb                  | Yates et al, 2004.          |
| Lobo de río de Norteamérica | Toxicidad aguda, causal de muerte   | Mercurio total                                       | 1800 a 5000 ppb           | Yates et al, 2004.          |
| Lobo de río de Norteamérica | Toxicidad subletal en animales silvestres   | Mercurio total en piel                               | 20000 ppb                 | Yates et al, 2004.          |
| Lobo de río de Norteamérica | Toxicidad aguda en animales silvestres  | Mercurio total en piel                               | 47000 ppb                 | Yates et al, 2004.          |
| Visón americano             | Letal   | Mercurio total en músculo                            | 76000 ppb                 | Wobeser y Swift 1976.       |
| Visón americano             | Letal   | Mercurio total en riñones                            | 160000 ppb                | Wobeser y Swift 1976.       |
| Visón americano             | Letal   | Mercurio total en hígado                             | 291000 ppb                | Wobeser y Swift 1976.       |
| Visón americano             | NOAEL (se ha establecido como valor comparativo para mamíferos que consumen pescado)                                    | Metilmercurio  | 1100 ppb                  | Wobeser y Swift 1976.       |
| Visón americano             | Letal (LOAEL subcrónico)  | Metilmercurio  | 1800 ppb                  | Wobeser y Swift 1976.       |
| Visón americano             | NOAEL exposiciones crónicas   | Metilmercurio  | 0.015 mg/Kg/d             | Wobeser y Swift 1976].      |
| Visón americano             | LOAEL exposiciones crónicas   | Metilmercurio  | 0.025 mg/Kg/d             | Wobeser y Swift 1976].      |
| Visón americano en libertad | NOAEL estimado para exposiciones crónicas   | Metilmercurio  | 0.009 mg/Kg/d             | Sample et al., 1996.        |
| Visón americano en libertad | LOAEL estimado para exposiciones crónicas   | Metilmercurio  | 0.015 mg/Kg/d             | Sample et al., 1996.        |
| Peces en general            | NOAEL   | Mercurio total en músculo                            | 200 ppb                   | Fimreite y Reynolds 1973.   |
| Peces en general            | NOAEL   | Metilmercurio  | 0,29 ppb                  | Yates et al, 2004.          |
| Peces en general            | NOAEL   | Mercurio total en todo el cuerpo (excepto la cabeza) | 4000 ppb                  | Ewers 1991.                 |
| Peces en general            | Tóxico[*]   | Mercurio total en todo el cuerpo                     | 100000 ppb                | Yates et al, 2004.          |
| Peces en general            | Mortalidad del embrión. Efectos adversos en el crecimiento, desarrollo y estado hormonal en las primeras etapas de vida | Mercurio total por transferencia materna             | 70 a 100 ppb              | Yates et al, 2004.          |
| Peces en general            | Reducción de 50% a 64 en el éxito en el desove en levas, medias y altas dosis de mercurio                               | Mercurio total                                       | 880 a 8460 ppb            | Yates et al, 2004.          |
| Peces en general            | Enseñanza de movimientos alterada   | Mercurio total                                       | 959 ppb                   | Yates et al, 2004.          |
| Peces en general            | Comportamiento de fuga alterado   | Mercurio total en músculo                            | 2680 ppb (peso húmedo)    | Yates et al, 2004.          |



| Especie (nombre común)     | Efecto  | Forma química  | Concentración (peso seco) | Fuente                     |
|----------------------------|---|--|---------------------------|----------------------------|
| Peces en general           | Toxicidad aguda en adulto                                   | Mercurio total                                       | 10000 a 30000 ppb         | USEPA, 2001.               |
| Peces en general           | Toxicidad aguda (LC50 en 96 horas para peces de agua dulce) | Mercurio total                                       | 33 a 400 ppb              | Yates et al, 2004.         |
| Peces blancos de lago      | NOAEL   | Mercurio total en todo el cuerpo (excepto la cabeza) | 280 ppb                   | Uthe y Bligh 1971.         |
| Bagres                     | LC50, 96 horas  | Mercurio inorgánico                                  | 75 – 350 ppb              | OMS 1989.                  |
| Bagres                     | LC50, 240 horas   | Mercurio inorgánico                                  | 131ppb                    | OMS 1989.                  |
| Bagres                     | LC50, 24 horas  | Mercurio inorgánico                                  | 860 ppb                   | OMS 1989.                  |
| Bagres                     | LC50, 72 horas  | Mercurio inorgánico                                  | 1000 ppb                  | OMS 1989.                  |
| Bagres                     | LC50, 48 horas  | Mercurio inorgánico                                  | 1500 ppb                  | OMS 1989.                  |
| Bagres                     | LC50, 24 horas  | Mercurio inorgánico                                  | 1700 ppb                  | OMS 1989.                  |
| Humanos[**]                | DL10 (Dosis letal a 10% de la población)                    | Mercurio elemental                                   | 142900 ppb                | Von Burg y Greenwood 1991. |
| Macroinvertebrados         | NOAEL   | Metilmercurio  | 30 ppb                    | Yates et al, 2004.         |
| Microorganismos en general | Inhibición del crecimiento                                  | Mercurio inorgánico                                  | 5 ppb                     | OMS-IPCS 1990 y 1991.      |
| Microorganismos en general | Inhibición del crecimiento                                  | Compuestos orgánicos de mercurio                     | 0,5 ppb                   | OMS-IPCS 1991.             |

[\*] Los peces de mar son menos sensibles (OMS-IPCS, 1989).

[\*\*] La Administración de Drogas y Alimentos de EE. UU. (FDA) estima que la mayoría de las personas están expuestas a un promedio de aproximadamente 50 ng de mercurio por kilogramo de peso al día (50 ng/kg/día) en los alimentos que consumen y que este nivel no produce efectos adversos. Las personas que consumen más de 100 gramos de pescado al día se consideran personas de alto consumo.

## ANEXO C: VALORES LÍMITE DE MERCURIO SEGÚN GUÍAS Y NORMAS INTERNACIONALES

| Especie (nombre común)      | Forma química                             | Concentración           | Peso húmedo / peso seco | Fuente  |
|-----------------------------|---|-------------------------|-------------------------|---|
| Animales en general         | Mercurio total                            | 2000 ppb                | Peso seco               | Hapke 1991.   |
| Humanos                     | Mercurio total en agua potable            | 1 ppb. Max. 2 ug/día    | Peso húmedo             | OMS 1996.   |
| Humanos                     | Mercurio total en agua potable            | 2 ppb                   | Peso húmedo             | USEPA 1997.   |
| Humanos                     | Mercurio total en agua potable            | 1 ppb                   | Peso húmedo             | Unión Europea (Veiga et al., 1999).   |
| Humanos                     | Mercurio total en agua potable            | 2 ppb                   | Peso húmedo             | Health Canada (Veiga et al., 1999).   |
| Humanos                     | Mercurio total en agua potable            | 2 ppb                   | Peso húmedo             | Legislación peruana 1983.   |
| Humanos                     | Metilmercurio en alimentos                | 300 ppb. Max. 20 ug/día | Peso seco               | Comité mixto FAO/OMS.   |
| Humanos                     | Mercurio total en alimentos               | 1000 ppb                | Peso seco               | FDA 1998.   |
| Humanos                     | Mercurio total en alimentos               | 0,5 mg/Kg               | Peso seco               | USEPA 1997.   |
| Mamíferos terrestres        | Mercurio total en agua de bebida[*]       | 1 ppb                   | Peso húmedo             | OMS 1996.   |
| Mamíferos terrestres        | Mercurio total en alimentos               | 2000 ppb                | Peso seco               | OMS 1996.   |
| Mamíferos terrestres        | Metilmercurio total en alimentos          | 1100 ppb                | Peso seco               | OMS 1996.   |
| Mamíferos terrestres        | Mercurio total en tejidos                 | 1100 ppb                | Peso seco               | OMS 1996.   |
| Lobo de río de Norteamérica | Mercurio total en alimentos (peces)       | 300 ppb                 | Peso húmedo             | Mason, y Macdonald, 1982.   |
| Lobo de río de Europa       | Mercurio total en alimentos (peces)       | 100 ppb                 | Peso húmedo             | Hovens 1992.  |
| Mamíferos                   | Mercurio total en alimentos (peces)       | 55 ppb                  | Peso húmedo             | Nichols et al. 1999.  |
| Vida acuática en general    | Mercurio total (en exposiciones agudas)   | 1,4 ppb                 | Peso seco               | USEPA 1997.   |
| Vida acuática en general    | Mercurio total (en exposiciones crónicas) | 0,77 ppb                | Peso seco               | USEPA 1997.   |
| Vida acuática en general    | Mercurio total                            | 0,2 ppb                 | Peso seco               | Legislación peruana 1983.   |
| Peces                       | Mercurio total en agua                    | 0,2 ppb                 | Peso húmedo             | OMS 1996.   |
| Peces                       | Mercurio total en músculo                 | 2000 ppb                | Peso seco               | OMS 1996.   |
| Peces no predadores         | Mercurio total                            | 500 ppb                 | Peso húmedo             | OMS 1991.   |
| Peces predadores            | Mercurio total                            | 1000 ppb                | Peso húmedo             | OMS 1991.   |
| Peces                       | Mercurio total                            | 1000 ppb                | Peso húmedo             | FDA 1998.   |
| Peces                       | Metilmercurio                             | 300 ppb                 | Peso húmedo             | USEPA 2001.   |
| Peces                       | Mercurio total                            | 500 ppb                 | Peso húmedo             | Brasil, Canadá, Dinamarca, India, Filipinas, España, Suiza, Tailandia y Venezuela (en Nauen, 1983). |
| Peces                       | Mercurio total                            | 1000 ppb                | Peso húmedo             | Ecuador, Finlandia, Alemania y Suecia (en Nauen, 1983).   |
| Peces                       | Mercurio total                            | 700 ppb                 | Peso húmedo             | Grecia e Italia (en Nauen, 1983).   |
| Peces                       | Mercurio total                            | 300 ppb                 | Peso húmedo             | Zambia (en Nauen, 1983).  |
| Peces                       | Mercurio total                            | 500 ppb                 | Peso húmedo             | Australia y Nueva Zelanda (en ANZFA, 2001).   |

| Especie<br>(nombre común)    | Forma química                       | Concentración | Peso húmedo /<br>peso seco | Fuente                          |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------------------|---------------------------------|
| Macroinvertebrados acuáticos | Mercurio total en el agua de bebida | 0,2 ppb       | Peso húmedo                | OMS 1996.                       |
| Macroinvertebrados acuáticos | Mercurio total en tejidos           | 2000 ppb      | Peso húmedo                | OMS 1996.                       |
| Ambiente saludable           | Mercurio inorgánico en agua         | 0,144 ppb     | Peso húmedo                | USEPA 1997.                     |
| Suelos[**]                   | Mercurio total                      | 10000 ppb     | Peso seco                  | OMS 1996.                       |
| Microorganismos del suelo    | Mercurio total                      | 70 - 300 ppb  | Peso seco                  | PNUMA (en Pirrone at al. 2001). |

[\*] Tanto los mamíferos como las aves son relativamente insensibles a la exposición al mercurio a través del consumo de agua. Los valores tóxicos más bajos que han sido reportados son 5000 ppb para los mamíferos y 250 000 ppb para las aves. Sin embargo, para ser conservadores, para todos los animales se utiliza el valor comparativo fijado para el agua potable de consumo humano, esto es, 1 ppb mercurio.

[\*\*] Incluso incrementos en un factor de 3 de las concentraciones de mercurio disuelto en la fase acuosa del suelo pueden afectar los procesos microbianos.

**ANEXO D: ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA SEGÚN  
NORMATIVA NACIONAL (D.S. 002-2008-MINAM)**

| HgT          | pH           | Conduct.     | OD       | Sólidos disueltos<br>totales | Aplica para...   |
|--------------|--------------|--------------|----------|------------------------------|--|
| 0.001 mg/l   | 6.5 -8.5     | 1500 uS/cm   | ≥ 6 mg/l | 1000 mg/l                    | Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. Propuesto en base a norma europea.  |
| 0.002 mg/l   | 5.5 -9       | 1600 uS/cm   | ≥ 5 mg/l | 1000 mg/l                    | Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección). Propuesto en base a norma brasilera.                             |
| 0.002 mg/l   | 5.5 -9       | No relevante | ≥ 4 mg/l | 1500 mg/l                    | Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado. Propuesto en base a norma brasilera.  |
| 0.001 mg/l   | 6 - 9        | No relevante | ≥ 5 mg/l | No relevante                 | Aguas superficiales para uso recreacional, por contacto primario (incluye natación, ski acuático, buceo libre, surf, canotaje, navegación en tabla a vela o windsurf, moto acuática, pesca submarina). |
| No relevante | No relevante | No relevante | ≥ 4 mg/l | No relevante                 | Aguas superficiales para uso recreacional, por contacto secundario.  |
| 0.001 mg/l   | 6.5 -8.5     | < 2000 uS/cm | ≥ 4 mg/l | No relevante                 | Aguas para riego de vegetales de tallo alto y de tallo bajo. En base a recomendaciones de la FAO.  |
| 0.001 mg/l   | 6.5 -8.4     | < 5000 uS/cm | ≥ 5 mg/l | No relevante                 | Aguas para bebida de animales.   |
| 0.0001 mg/l  | 6.5 -8.5     | No relevante | ≥ 5 mg/l | 500 mg/l                     | Para la conservación del ambiente acuático en lagos y lagunas. En base a norma boliviana.  |
| 0.0001 mg/l  | 6.5 -8.5     | No relevante | ≥ 5 mg/l | 500 mg/l                     | Para la conservación del ambiente acuático en ríos de la costa y sierra. En base a norma boliviana.  |
| 0.0001 mg/l  | No relevante | No relevante | ≥ 5 mg/l | 500 mg/l                     | Para la conservación del ambiente acuático en lagos y lagunas, así como en ríos de la selva. En base a norma boliviana.  |
| 0.001 mg/l   | 6.8 -8.5     | No relevante | ≥ 4 mg/l | 500 mg/l                     | Para la conservación del ambiente acuático en ecosistemas marino costeros (estuarios).   |
| 0.0001 mg/l  | 6.8 -8.5     | No relevante | ≥ 4 mg/l | No relevante                 | Para la conservación del ambiente acuático en ecosistemas marinos.   |

Nota: Tener en cuenta que las concentraciones de mercurio deben evaluarse de acuerdo al contexto y analizarse considerando otros parámetros de calidad del agua.

## ANEXO E: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES ESTABLECIDOS POR LA NORMATIVIDAD NACIONAL RELEVANTE PARA LA ACTIVIDAD

| Fuente              | HgT         | pH    | Conduct.  | OD        | Sólidos disueltos totales | Aplica para...  |
|---------------------|-------------|-------|-----------|-----------|---------------------------|---|
| DS 010-2010-MINAM.* | 0.002 mg/l  | 6 - 9 | No indica | No indica | 50 mg/l                   | LMP en cualquier momento para efluentes de actividades minero metalúrgicas. |
| DS 010-2010-MINAM.* | 0.0016 mg/l | 6 - 9 | No indica | No indica | 25 mg/l                   | LMP promedio anual para efluentes de actividades minero metalúrgicas.       |
| DS 037-2008 – PCM.* | 0.02 mg/l   | 6 - 9 | No indica | No indica | No indica                 | LMP en cualquier momento para efluentes de actividades de hidrocarburos.    |

Nota: \* El Ministerio del Ambiente - MINAM estableció un plazo de 20 meses para la adecuación de actividades en curso a los nuevos LMP y hasta 36 meses en caso se requiera nueva infraestructura de tratamiento.

## ANEXO F: CALIDAD DEL SUELO EN MADRE DE DIOS – 1997.

|                                     | M1                             | M2                           | M3                            | M4                | M5                  | M6                  | M7                          | M8                          | M9                          | M10                           | M11                        | M12                           |
|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Fecha                               | 01/05                          | 02/05                        | 02/05                         | 02/05             | 03/05               | 03/05               | 04/05                       | 04/05                       | 04/05                       | 04/05                         | 05/05                      | 05/05                         |
| pH (uS/cm)                          | 4.27                           | 7.37                         | 6.71                          | 4.85              | 7.44                | 6.83                | 4.94                        | 5.18                        | 5.26                        | 6.2                           | 5.85                       | 7.93                          |
| CE %                                | 290                            | 30                           | 50                            | 30                | 20                  | 40                  | 160                         | 60                          | 40                          | 210                           | 40                         | 110                           |
| MO %                                | 0.68                           | 0.06                         | 0.09                          | 0.03              | 0.15                | 0.22                | 1.83                        | 0.28                        | 0.09                        | 0.9                           | 0.46                       | 0                             |
| CaCO <sub>3</sub> %                 | 0.55                           | 0.38                         | 0.12                          | 0.91              | 0.03                | 0.4                 | 1.3                         | 0.06                        | 0.11                        | 1                             | 0.28                       | 1.1                           |
| NT (mg/Kg)                          | 0.15                           | 0.05                         | 0.02                          | 0.05              | 0.17                | 0.02                | 0.15                        | 0.08                        | 0.05                        | 0.08                          | 0.05                       | 0.05                          |
| P <sub>2</sub> <sup>5</sup> (Kg/Ha) | 385.48                         | 41.79                        | 29.46                         | 86.44             | 78.83               | 63.27               | 305.33                      | 17.17                       | 17.17                       | 80.15                         | 30.53                      | 15.3                          |
| K <sub>20</sub> %                   | 138.79                         | 32.05                        | 113.01                        | 36.86             | 12.05               | 0.24                | 57.83                       | 136.39                      | 23.85                       | 334.48                        | 198.8                      | 161.2<br>1                    |
| S total %                           | 0.1                            | 0.01                         | 0.01                          | 0.05              | 0                   | 0.01                | 0.03                        | 0.01                        | 0.05                        | 0.05                          | 0.05                       | 0.02                          |
| Arena %                             | 24                             | 100                          | 100                           | 74                | 100                 | 98                  | 64                          | 50                          | 60                          | 52                            | 72                         | 98                            |
| Limo %                              | 32                             | 0                            | 0                             | 18                | 0                   | 2                   | 28                          | 44                          | 28                          | 44                            | 22                         | 2                             |
| Arcilla %                           | 44                             | 0                            | 0                             | 8                 | 0                   | 0                   | 8                           | 6                           | 12                          | 4                             | 6                          | 0                             |
| Clase                               | Arcilla                        | Arena                        | Arena                         | Franco<br>arenosa | Arena               | Arena               | Franco<br>arenosa           | Franco<br>arenosa           | Franco<br>arenosa           | Franco<br>arenosa             | Franco<br>arenosa          | Arena                         |
| ClC <sup>2</sup> (meq/100g)         | 0.72                           | 0.11                         | 0.07                          | 0.11              | 0.08                | 0.11                | 0.09                        | 0.08                        | 0.08                        | 0.68                          | 0.27                       | 0.38                          |
| Na (meq/100g)                       | 0.004                          | 0                            | 0                             | 0                 | 0                   | 0                   | 0.01                        | 0.02                        | 0                           | 0                             | 0.01                       | 0.01                          |
| K (meq/100g)                        | 0.3                            | 0.01                         | 0.01                          | 0.01              | 0                   | 0.01                | 0.01                        | 0                           | 0.01                        | 0.02                          | 0.01                       | 0.01                          |
| Mg (meq/100g)                       | 0.3                            | 0.01                         | 0.01                          | 0.01              | 0.01                | 0.01                | 0.01                        | 0.01                        | 0.01                        | 0.25                          | 0.1                        | 0.12                          |
| Ca (mg/Kg)                          | 0.4                            | 0.09                         | 0.05                          | 0.09              | 0.07                | 0.09                | 0.06                        | 0.05                        | 0.06                        | 0.41                          | 0.15                       | 0.24                          |
| 0.24Pb (mg/Kg)                      | 48.5                           | 3.5                          | 3                             | 10.5              | 3                   | 4.5                 | 8.5                         | 6                           | 7                           | 35                            | 18.5                       | 13.5                          |
| Zn (mg/Kg)                          | 78.5                           | 5.5                          | 6.5                           | 15.5              | 15.5                | 3.5                 | 30                          | 39.5                        | 22.5                        | 8.5                           | 47.5                       | 75.5                          |
| Cu (mg/Kg)                          | 22                             | 0                            | 0                             | 2.5               | 0                   | 0                   | 1                           | 1                           | 2                           | 33                            | 8.5                        | 9.5                           |
| Cd (mg/Kg)                          | 1                              | 0                            | 0                             | 0                 | 0                   | 0.5                 | 0.5                         | 0.5                         | 0.5                         | 2                             | 1                          | 1                             |
| Mn (mg/Kg)                          | 50                             | 7.5                          | 13                            | 9.5               | 9.5                 | 5.5                 | 16                          | 12                          | 14.5                        | 361.5                         | 250                        | 202.5                         |
| Fe (mg/Kg)                          | 8800                           | 1122.5                       | 2780                          | 5360              | 1765                | 1140                | 8850                        | 907.5                       | 10900                       | 32600                         | 22100                      | 1930<br>0                     |
| Cr (mg/Kg)                          | 20.36                          | 2.1                          | 3.65                          | 2.23              | 4.18                | 2.1                 | 1.86                        | 3.65                        | 12.87                       | 9.8                           | 11                         | 6.91                          |
| As (mg/Kg)                          | 1.21                           | 0                            | 0                             | 0                 | 0                   | 1.21                | 1.77                        | 0                           | 0                           | 1.49                          | 3.82                       | 3.22                          |
| Hg (mg/Kg)                          | 0.476                          | 0.26                         | 0.194                         | 0.194             | 0.044               | 0.0                 | 0.348                       | 0.697                       | 0.614                       | 0.243                         | 0.238                      | 0.249                         |
| Lugar                               | Borde<br>Qda.<br>Huepet<br>uhe | Boca<br>río<br>Huepet<br>uhe | Lecho<br>río<br>Huepet<br>uhe | Huepetuhe         | Boca<br>río<br>Seco | Río<br>Inamba<br>ri | Barrio<br>Nuevo<br>Capa "A" | Barrio<br>Nuevo<br>Capa "B" | Barrio<br>Nuevo<br>Capa "C" | Playa del<br>río<br>Laberinto | Borde río<br>Tambopat<br>a | Lecho<br>río<br>Laberi<br>nto |

FUENTE: MINEM (1997).

## ANEXO G: MERCURIO EN SEDIMENTOS DEL RÍO MALINOWSKI

| Lugar de muestreo  | HgT (ug/g) | Desv. Estándar |
|--|------------|----------------|
| Cabecera Malinowski  | 0.198      | 0.065          |
| Río Pumahuaca  | 0.165      | 0.08           |
| Confluencia de río Pumahuaca con Malinowski                      | 0.225      | 0.045          |
| Río Malinowski medio   | 0.208      | 0.12           |
| Río Malinowsquillo   | 0.168      | 0.104          |
| Confluencia del río Malinowsquillo con Malinowski                | 0.208      | 0.088          |
| Asentamiento minero APAYLÓM                                      | 0.303      | 0.055          |
| Boca Malinowski  | 0.242      | 0.089          |
| Río Tambopata  | 0.23       | 0.109          |
| Confluencia río Tambopata con Malinowski (Puesto control INRENA) | 0.29       | 0.048          |

FUENTE: Barbieri (2004).

## ANEXO H: CALIDAD DEL AGUA EN MADRE DE DIOS - 1996

|                                  | P1    | P2    | P3    | P4    | P5    | P6    | P7    | P8    | P9    |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fecha                            | 01/05 | 02/05 | 02/05 | 02/05 | 02/05 | 03/05 | 03/05 | 05/05 | 05/05 |
| DT como CaCO <sub>3</sub> (mg/l) | ND    | ND    | 30    | ND    | ND    | 30    | 30    | 30    | 15    |
| SO <sub>4</sub> (mg/l)           | 7.66  | 18.32 | ND    | ND    | ND    | 7.7   | 13.17 | 10.1  | 1.7   |
| TSS (mg/l)                       | 55    | 7422  | 52    | 19004 | ND    | 208   | 558   | 318   | 72    |
| Aceites y grasas (mg/l)          | 2.12  | 2     | 1.5   | 7.5   | 1.75  | 1.33  | 1.25  | 2.5   | 1.12  |
| Cu total (mg/l)                  | 0.03  | 0.03  | 0.03  | 0.06  | 0.02  | ND    | 0.01  | 0.01  | 0.01  |
| Cu dis (mg/l)                    | 0.02  | 0.02  | ND    | 0.01  | 0.02  | ND    | ND    | ND    | 0.01  |
| Fe total (mg/l)                  | 0.77  | 226.8 | 14.9  | 75.6  | 0.22  | 2.28  | 4.36  | 4.19  | 2.09  |
| Fe dis. (mg/l)                   | 0.18  | 5.27  | 9.23  | 2.77  | 0.2   | 1.14  | 0.93  | 0.95  | 1.07  |
| Cd total (mg/l)                  | 0.01  | 0.02  | 0.01  | 0.06  | 0.01  | 0.02  | 0.01  | 0.01  | 0.01  |
| Cd dis. (mg/l)                   | 0.01  | 0.02  | 0.01  | 0.02  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  |
| Zn total (mg/l)                  | 0.05  | 0.22  | 0.07  | 0.18  | 0.07  | 0.12  | 0.1   | 0.12  | 0.09  |
| Zn dis. (mg/l)                   | 0.04  | 0.05  | ND    | 0.06  | 0.01  | 0.02  | 0.01  | 0.01  | 0.04  |
| Pb total (mg/l)                  | 0.05  | 0.4   | 0.05  | 0.06  | 0.02  | 0.06  | 0.03  | 0.05  | 0.01  |
| Pb dis. (mg/l)                   | 0.04  | 0.35  | 0.02  | ND    | ND    | 0.04  | 0.02  | 0.03  | ND    |
| Mn total (mg/l)                  | 0.02  | 0.38  | 1.45  | 0.06  | 0.03  | 0.29  | 0.08  | 0.06  | 0.06  |
| Mn dis. (mg/l)                   | 0.02  | 0.15  | 1.37  | 0.03  | 0.02  | 0.26  | 0.07  | 0.04  | 0.05  |
| Cr total (mg/l)                  | ND    | ND    | 0.04  | 0.07  | ND    | ND    | 0.02  | ND    | ND    |
| Cr dis. (mg/l)                   | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    |
| As total (mg/l)                  | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    |
| As dis. (mg/l)                   | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    |
| Hg (mg/l)                        | ND    | 0.002 | ND    | 0.002 | ND    | ND    | ND    | ND    | ND    |

ND: No detectable.

FUENTE: Medina (2001).



## ANEXO I: MERCURIO EN AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO MALINOWSKI

| Ubicación  | Temp. (C°) | OD (mg/l) | Cond. | Sol. Tot. (ppm) | pH  |
|--|------------|-----------|-------|-----------------|-----|
| Cabecera Malinowski  | 28.6       | 7.1       | 13.3  | 5               | 7.7 |
| Río Pumahuaca  | 27.6       | 7.3       | 13.3  | 6.6             | 7.8 |
| Confluencia de río Pumahuaca con Malinowski                      | 27.6       | 7.2       | 13.3  | 6.6             | 7.7 |
| Río Malinowski medio   | 28         | 6.8       | 13.3  | 10              | 6.9 |
| Río Malinowsquillo   | 28         | 6.6       | 11.6  | 8.3             | 7   |
| Confluencia del río Malinowsquillo con Malinowski                | 27.3       | 6.8       | 16.6  | 11.6            | 7   |
| Asentamiento minero APAYLOM                                      | 27.6       | 7         | 13.3  | 8.3             | 7   |
| Boca Malinowski  | 27         | 6.9       | 16.6  | 8.3             | 7   |
| Río Tambopata  | 27.3       | 7         | 16.6  | 11.6            | 7   |
| Confluencia río Tambopata con Malinowski (Puesto control INRENA) | 26         | 6.6       | 16.6  | 8.3             | 6.9 |

FUENTE: Barbieri (2004).

## ANEXO J: CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUA 2000 - 2006

| Tipo     | Nombre         | Sector                           | HgT ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) promedio | $\sigma$ | Rango     | Mes  | Fuente de información |
|----------|----------------|----------------------------------|--|----------|-----------|------|-----------------------|
| Río      | Malinowski     | (Apaylom)                        | 0.00303                                  |          | 200 - 300 |      | INRENA-IANP, 2003     |
| Río      | Madre de Dios  | San Juan Grande                  | 0.00002                                  | 0.0002   |           |      | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios  | Tres Islas                       | 0.00002                                  | 0.0002   |           |      | DIGESA, 2002          |
| Río      | Malinowski     | Boca Malonowsquillo              | 0.00002                                  | 0.0002   |           | Nov. | DIGESA,2000           |
| Río      | Malinowski     | Balsa                            | 0.00002                                  | 0.0002   |           | Nov. | DIGESA,2000           |
| Río      | Madre de Dios  | San Francisco                    | 0.00003                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA,2000           |
| Río      | Madre de Dios  | Puerto Pardo                     | 0.00003                                  | 0.0002   |           |      | DIGESA,2000           |
| Río      | Madre de Dios  | Puerto Pardo                     | 0.00003                                  | 0.0002   |           |      | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios  | San Francisco                    | 0.00003                                  | 0.0002   |           |      | DIGESA, 2002          |
| Río      | Malinowski     | Cuello de la Muerte              | 0.00003                                  | 0.0002   |           | Nov. | DIGESA,2000           |
| Río      | Malinowski     | Palizada                         | 0.00003                                  | 0.0002   |           | Nov. | DIGESA,2000           |
| Río      | Malinowski     | Boca                             | 0.00003                                  | 0.0002   |           | Nov. | DIGESA,2000           |
| Quebrada | Barraca        |                                  | 0.00005                                  | 0.0002   |           |      | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios  | Puerto San Juan                  | 0.00005                                  | 0.0002   |           |      |                       |
| Río      | Malinowski     | Yarinal                          | 0.00005                                  | 0.0002   |           | Nov. | DIGESA,2000           |
| Río      | Tambopata      | Colpa Guacamayos                 | 0.00005                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA,2000           |
| Río      | Tambopata      | Boca Malinowski                  | 0.00005                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA,2000           |
| Río      | Tambopata      | Condenado                        | 0.00005                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA,2000           |
| Río      | Tambopata      | La Torre                         | 0.00005                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA,2000           |
| Río      | Tambopata      | Infierno                         | 0.00005                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA,2000           |
| Río      | Tambopata      | Boca                             | 0.00005                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA,2000           |
| Lago     | Valencia       |                                  | 0.00005                                  | 0.0002   |           |      | DIGESA,2000           |
| Quebrada | Chilive        | Boca                             | 0.00007                                  | 0.0002   |           |      |                       |
| Río      | Madre de Dios  | Boca Manu                        | 0.00007                                  | 0.0002   |           |      | DIGESA, 2002          |
| Quebrada | Barraca        | Paso carretera                   | 0.00008                                  | 0.0002   |           | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Caychiwe       | Acceso vehicular arriba Caychiwe | 0.00008                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA, 2006          |
| Río      | Caychiwe       | Antes de la boca en el Inambari  | 0.00008                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA, 2006          |
| Río      | Huepetuhe      | Paso carretera frente aguajal    | 0.00008                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA, 2006          |
| Río      | Huepetuhe      | Frente Huepetuhe                 | 0.00008                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA, 2006          |
| Quebrada | Lazo           | 100 m arriba paso carretera      | 0.00008                                  | 0.0002   |           | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Pukiri         | 200 m arriba boca Huepetuhe      | 0.00008                                  | 0.0002   |           | Mar. | DIGESA, 2006          |
| Lago     | San Nicolás    | Orilla norte                     | 0.00008                                  | 0.0002   |           | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | 9 de setiembre | medio                            | 0.0011                                   | 0.0002   |           | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | 9 de setiembre | Boca                             | 0.0035                                   | 0.0002   |           | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Barraca        |                                  | 0.0001                                   | 0.0002   |           |      | DIGESA, 2005          |

| Tipo     | Nombre        | Sector                             | HgT (µg/Kg) promedio | σ      | Rango           | Mes  | Fuente de información |
|----------|---------------|------------------------------------|----------------------|--------|-----------------|------|-----------------------|
| Quebrada | Buena Fortuna |                                    | 0.0011               | 0.0002 |                 |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Caychiwe      | Antes de la boca                   | 0.0001               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Caychiwe      | Qa Seca, Concesión Sr. Adrián Paja | 0.0002               | 0.0002 |                 | Mar. | DIGESA, 2006          |
| Río      | Caychiwe      | Santa Inés                         | 0.0008               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Caychiwe      |                                    | 0.00538              | 0.0002 | 0.0001 - 0.0133 |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Caychiwe      | Medio                              | 0.0133               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Colorado      | Boca Huasoroco                     | 0.00011              | 0.0002 |                 | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Colorado      | San José del Karene                | 0.00014              | 0.0002 |                 | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Quebrada | Cuatro amigos | Medio                              | 0.0064               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Cuatro Amigos |                                    | 0.0064               | 0.0002 |                 |      | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Gregoria Baca | Paso carretera                     | 0.0001               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Gregoria Baca |                                    | 0.0001               | 0.0002 |                 |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | Frente Huepetuhe                   | 0.0002               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | Campamento Sr. Bernaola            | 0.0002               | 0.0002 |                 | Mar. | DIGESA, 2006          |
| Río      | Huepetuhe     | 500 m arriba Huepetuhe             | 0.0003               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 500 m debajo población Choque      | 0.0004               | 0.0002 |                 | Mar. | DIGESA, 2006          |
| Río      | Huepetuhe     | Frente Choque                      | 0.0006               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     |                                    | 0.00427              | 0.0002 | 0.0002 - 0.0125 |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | Unión c Qa Santa Elena             | 0.0043               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | Union con Qa Puno                  | 0.0077               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | Medio                              | 0.0125               | 0.0002 |                 | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8045, lago san nicolas             | 0.0001               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8051, qa Gregoria baca             | 0.0001               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8052, qa Lazo                      | 0.0001               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8053, qa gregoria baca             | 0.0001               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8054, poblado caychiwe             | 0.0001               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8055, cayciwe antes baca           | 0.0001               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8046, qa padilla                   | 0.0002               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8048, poblado huepetuhe            | 0.0002               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8039, nueva alta                   | 0.0003               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8042, poblado 500 m                | 0.0003               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8040 qa seca paso c                | 0.0005               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8050, boca puquiri                 | 0.0005               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8049. poblado choque               | 0.0006               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8037, Santa ines                   | 0.0008               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8044, qa buena fortuna             | 0.0011               | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8047, qa libertad                  | 0.002                | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Rio Inambari  | Puente Inambari                    | 0.00001              | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Rio Inambari  | Puerto Mazuko                      | 0.00001              | 0.0002 |                 | Oct. | DIGESA, 2005          |

| Tipo | Nombre        | Sector              | HgT ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) promedio | $\sigma$ | Rango | Mes  | Fuente de información |
|------|---------------|---------------------|--|----------|-------|------|-----------------------|
| Río  | Río Inambari  | Sector Avispa       | 0.00001                                  | 0.0002   |       | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río  | Río Inambari  | Puerto Carlos       | 0.00001                                  | 0.0002   |       | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río  | Río Inambari  | Sarayacu            | 0.00001                                  | 0.0002   |       | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río  | Río Tambopata | Colpa Guacamayo     | 0.00001                                  | 0.0002   |       | Feb. | DIGESA, 2006          |
| Río  | Río Tambopata | Boca Malinoswki     | 0.00001                                  | 0.0002   |       | Feb. | DIGESA, 2006          |
| Río  | Río Tambopata | Comunidad La Torre  | 0.00001                                  | 0.0002   |       | Feb. | DIGESA, 2006          |
| Río  | Río Tambopata | Comunidad Infierno  | 0.00001                                  | 0.0002   |       | Feb. | DIGESA, 2006          |
| Río  | Río Tambopata | Comunidad Izuyama   | 0.00001                                  | 0.0002   |       | Feb. | DIGESA, 2006          |
| Río  | Río Tambopata | Puerto Maldonado    | 0.00001                                  | 0.0002   |       | Feb. | DIGESA, 2006          |
| Río  | Colorado      | Huasoroco           | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA 2001           |
| Río  | Colorado      | San Jose            | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA 2001           |
| Río  | Colorado      | Playa Oculta        | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA 2001           |
| Río  | Inambari      | Puente Inambari     | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Jul. | DIGESA 2001           |
| Río  | Inambari      | Puerto Mazuko       | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Jul. | DIGESA 2001           |
| Río  | Inambari      | Avispa              | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Jul. | DIGESA 2001           |
| Río  | Inambari      | Puerto Carlos       | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Jul. | DIGESA 2001           |
| Río  | Inambari      | Sarayacu            | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Jul. | DIGESA 2001           |
| Río  | Madre de Dios | Tres Islas          | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA 2001           |
| Río  | Madre de Dios | San Juan Grande     | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA 2001           |
| Río  | Malinowski    | Boca Malinoskillo   | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Malinowski    | Bolsa minera        | 0.00002                                  | 0.0002   |       | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Piedras       | Boca Pariamanu      | 0.00002                                  | 0.0002   |       | mayo | DIGESA, 2002          |
| Río  | Piedras       | Boca Piedras        | 0.00002                                  | 0.0002   |       | mayo | DIGESA, 2002          |
| Río  | Inambari      | Puerto Mazuko       | 0.00003                                  | 0.0002   |       | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Madre de Dios | Puerto Pardo        | 0.00003                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Madre de Dios | San Francisco       | 0.00003                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Malinowski    | Cuello de la Muerte | 0.00003                                  | 0.0002   |       | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Malinowski    | La Palizada         | 0.00003                                  | 0.0002   |       | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Malinowski    | Boca Malinoswki     | 0.00003                                  | 0.0002   |       | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Inambari      | puente Inambari     | 0.00004                                  | 0.0002   |       | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Madre de Dios | san Juan Grande     | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río  | Madre de Dios | Boca Amigo          | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río  | Malinowski    | Ps. Yaniral         | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Tambopata     | Colpa Guacamayo     | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Tambopata     | Boca Malinoswki     | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Tambopata     | Sector Condenados   | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Tambopata     | Comunidad La Torre  | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Tambopata     | Comunidad Infierno  | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Tambopata     | Sector La Punta     | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Lago | Valencia      | Entrada             | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Lago | Valencia      | Final               | 0.00005                                  | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2000          |
| Río  | Colorado      | Boca Puquiri        | 0.00007                                  | 0.0002   |       | Jun. | DIGESA, 2002          |

| Tipo     | Nombre        | Sector                     | HgT ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) promedio | $\sigma$ | Rango            | Mes  | Fuente de información |
|----------|---------------|----------------------------|--|----------|------------------|------|-----------------------|
| Río      | Colorado      | Barranco Colorado          | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Colorado      | Isla Boca Colorado         | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios | Shintuya                   | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios | Boca Manu                  | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios | Barraca                    | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios | Chilive                    | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios | Boca Rio Colorado          | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios | Puerto Laberinto           | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios | Tres Islas                 | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios | El Balcòn                  | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Madre de Dios | Puerto Pardo               | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Lago     | Valencia      | Inicio del Lago            | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Lago     | Valencia      | Sector Medio               | 0.00007                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Piedras       | Monte Salvado              | 0.00008                                  | 0.0002   |                  | mayo | DIGESA, 2002          |
| Río      | Piedras       | Boca Qda. Pamayacu         | 0.00008                                  | 0.0002   |                  | mayo | DIGESA, 2002          |
| Río      | Piedras       | Boca Qda. Huàscar          | 0.00008                                  | 0.0002   |                  | mayo | DIGESA, 2002          |
| Río      | Huepetuhe     | 8043, Qda. 9 de setiembre  | 0.0035                                   | 0.0002   |                  | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8041, Qda. Santa Elena     | 0.0043                                   | 0.0002   |                  | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8038, 4 amigos             | 0.0064                                   | 0.0002   |                  | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8035                       | 0.0077                                   | 0.0002   |                  | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8036, medio                | 0.0125                                   | 0.0002   |                  | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Huepetuhe     | 8034                       | 0.0133                                   | 0.0002   |                  | Oct. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Inambari      |                            | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Inambari      | Sarayacu                   | 0.00057                                  | 0.0002   |                  | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río      | Inambari      | Puerto Carlos              | 0.0012                                   | 0.0002   |                  | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Río      | Inambari      | Sector Avispa              | 0.6937                                   | 0.0002   |                  | Nov. | DIGESA, 2000          |
| Quebrada | Lazo          |                            | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Libertad      | 500 m arriba Sr. Huaquiste | 0.002                                    | 0.0002   |                  | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Libertad      |                            | 0.002                                    | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios |                            | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2006          |
| Río      | Madre de Dios | 7384                       | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios | 7385                       | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios | 7388                       | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios | 7391                       | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios | 8056                       | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios | 8057                       | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios | 8058                       | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios | 8059                       | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios | 8060                       | 0.0001                                   | 0.0002   |                  |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Madre de Dios | San Francisco              | 0.00011                                  | 0.0002   |                  | Jun. | DIGESA, 2002          |
| Río      | Malinowski    |                            | 0.00013                                  | 0.0002   | 0.0001 - 0.00015 |      | DIGESA, 2006          |

| Tipo     | Nombre          | Sector                              | HgT ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) promedio | $\sigma$ | Rango | Mes  | Fuente de información |
|----------|-----------------|-------------------------------------|--|----------|-------|------|-----------------------|
| Río      | Malinowski      | Balsa Daniel Zela                   | 0.0001                                   | 0.0002   |       | Ene. | DIGESA, 2006          |
| Río      | Malinowski      | Balsa Ruben Dueña                   | 0.00015                                  | 0.0002   |       | Ene. | DIGESA, 2006          |
| Quebrada | Nueva Alta      | Poblado                             | 0.0003                                   | 0.0002   |       | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Nueva Alta      |                                     | 0.003                                    | 0.0002   |       |      | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | O9 de Setiembre |                                     | 0.0035                                   | 0.0002   |       |      | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Padilla         | frente campamento sr<br>Adrián Paja | 0.0002                                   | 0.0002   |       | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Padilla         |                                     | 0.0002                                   | 0.0002   |       |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Piedras         | Lucerna                             | 0.00011                                  | 0.0002   |       | mayo | DIGESA, 2002          |
| Río      | Piedras         | Cocha Shansho                       | 0.00134                                  | 0.0002   |       | mayo | DIGESA, 2002          |
| Río      | Pukiri          | 400 m abajo boca<br>Huepetuhe       | 0.0002                                   | 0.0002   |       | Mar. | DIGESA, 2006          |
| Río      | Pukiri          | 1km abajo boca Huepetuhe            | 0.0005                                   | 0.0002   |       | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Río      | Puquiri         |                                     | 0.0005                                   | 0.0002   |       |      | DIGESA, 2005          |
| Lago     | San Nicolas     |                                     | 0.0001                                   | 0.0002   |       |      | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Seca            | Paso carretera                      | 0.0005                                   | 0.0002   |       | Ago. | DIGESA, 2005          |
| Quebrada | Seca            |                                     | 0.005                                    | 0.0002   |       |      | DIGESA, 2005          |
| Río      | Tambopata       |                                     | 0.0001                                   | 0.0002   |       |      | DIGESA, 2006          |
| Lago     | Valencia        | Final del Lago                      | 0.00011                                  | 0.0002   |       | Jun. | DIGESA, 2002          |

Nota: El máximo permisible según la OMS es 0.001 mg/l.

FUENTE: Ascorra (2008).

## ANEXO K: CALIDAD DEL AGUA EN AMBIENTES EXTREMOS

| Parámetro                        | Valor en zona altamente conservada (Tambopata Research Center) | Valor en área altamente contaminada (La Joya) |
|----------------------------------|--|---|
| pH                               | 7.6  | 6.6   |
| Conductividad (uS/cm)            | 8  | 224   |
| Oxígeno disuelto (mg/l)          | 7  | 0.09  |
| Temperatura (C)                  | 23.9   | 22  |
| Diversidad de macroinvertebrados | 54 taxas, 323 individuos                                       | 11 taxas, 62 individuos                       |

FUENTE: Stroud Water Research Center (en línea).

## ANEXO L: CALIDAD DEL AGUA EN MADRE DE DIOS - 2007

| Estándar          | Turb.<br>UNT | STD<br>mg/l | STS<br>mg/l | Cl-<br>mg/l | CE<br>uS/cm | S %<br>Ppt | HTP<br>mg/l | DBO<br>mg/l | OD<br>mg/l | pH<br>6.5-8.5 | T<br>°C<br>- |
|-------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|---------------|--------------|
| Q. Loromayo       | 218          | 300         | 5           | 49          | 522         | 0.3        | ND          | ND          | 5.2        | 7.1           | 28.1         |
| Q. Dos de Mayo    | 153          | 21          | 994         | ND          | 36          | ND         | ND          | ND          | 5.9        | 7.2           | 27.8         |
| Q. Amanapo        | 1.2          | 32          | 6           | ND          | 55          | ND         | ND          | ND          | 6.6        | 6             | 26.3         |
| Q. Buenquene      | 772          | 107         | 1628        | 5           | 189         | 0.1        | ND          | ND          | 6.6        | 7.3           | 25.4         |
| R. Yaverija       | 28           | 141         | 15          | ND          | 246         | 0.1        | ND          | ND          | 5.8        | 6.8           | ND           |
| Q. Primavera      | 10.6         | 66          | 6           | ND          | 115         | 0.1        | ND          | ND          | 5.8        | 6.2           | 27.9         |
| Q. Noaya          | 29.3         | 185         | 23          | ND          | 325         | 0.2        | ND          | 2           | 5.3        | 6.4           | 28.9         |
| Cocha             | 20.2         | 38          | 7           | ND          | 68          | ND         | ND          | 3           | 6.5        | 7.7           | ND           |
| Q. María Cristina | 19.2         | 234         | 5           | ND          | 416         | 0.2        | ND          | 2           | 3.9        | 7.8           | 29.7         |
| R. Tahuamanu      | 19.4         | 109         | 1640        | 5           | 191         | 0.1        | ND          | ND          | 5.5        | 7.1           | 29.5         |
| R. Jayave         | 85           | ND          | 162         | ND          | 57.9        | 0.1        | ND          | ND          | 7.57       | 7.12          | 29.5         |
| Quebrada s/n      | 8.23         | 210         | ND          | 32          | 106.61      | 0.3        | ND          | ND          | 4.13       | 5.16          | 25.2         |
| Quebrada s/n      | 11.45        | 212         | ND          | 31          | 27.2        | ND         | ND          | ND          | 6.42       | 5.87          | 25.6         |
| Q. Alto Libertad  | 1.95         | ND          | ND          | ND          | 151.2       | ND         | ND          | 4           | 7.75       | 4.58          | 24.6         |
| Quebrada s/n      | 12.77        | ND          | ND          | 1           | 38.8        | ND         | ND          | ND          | 7.63       | 6.19          | 25.2         |
| R. Madre de Dios  | 215          | 41          | 488         | 1           | 103.21      | 0.2        | ND          | ND          | 5.4        | 7.43          | 26.6         |
| Q. Planchon       | 1.11         | ND          | ND          | 1           | 90          | 0.3        | ND          | 4           | 5.28       | 5.07          | 25.2         |
| Q. Alegría        | 12.99        | 12          | 12          | 1           | 107.87      | 0.5        | ND          | ND          | 4.74       | 6.3           | 24.7         |
| R. Mavila         | 67           | 26          | 141         | 1           | 91.4        | 0.3        | ND          | ND          | 5.46       | 6.42          | 26.7         |
| R. Alerta         | 137          | 26          | 117         | 1           | 108.01      | 0.4        | ND          | ND          | 4.47       | 7.05          | 26.3         |

UNT = Unidades Nefelométricas de Turbidez.

ND= No detectado.as concentraciones promedio mayores a 0.5 ppm están con letra en negrita.

FUENTE: Walsh Perú (en línea) en el EIA de la carretera interoceánica.



## ANEXO M: MERCURIO EN PECES AMAZÓNICOS ENTRE 1977 Y 1995

| Especie   | Lugar               | Peso (Kg) | Hábito      | HgT (mg/Kg) | Fuente                  |
|---|---------------------|-----------|-------------|-------------|-------------------------|
| <i>Osteoglossum bicirrhosum</i>                               | Río Madeira         | 1.5       | Insectívoro | 11.5        | Barbosa et al., 1995    |
| <i>Prochilodus nigricans</i>                                  | Reservorio Tucuruí  | -         | Detritívoro | 0.07        | Porvari, 1995.          |
| <i>Prochilodus nigricans</i>                                  | Río Madeira         | 0.34      | Detritívoro | 0.1-0.21    | Malm et al., 1990       |
| <i>Prochilodus nigricans</i>                                  | Río Madeira         | -         | Detritívoro | 0.21        | Pfeiffer et al., 1989   |
| <i>Prochilodus nigricans</i>                                  | Río Madeira         | -         | Detritívoro | 0.1         | Martinelli et al., 1988 |
| <i>Prochilodus nigricans</i>                                  | Puerto Maldonado    | 1.2       | Detritívoro | 0.027       | IMA, 1995               |
| <i>Prochilodus nigricans</i>                                  | Puerto Maldonado    | 1.9       | Detritívoro | 0.026       | IMA, 1995               |
| <i>Prochilodus nigricans</i>                                  | Puerto Maldonado    | 0.65      | Detritívoro | 0.019       | Mora, 1995              |
| <i>Brachyplatystoma sp.</i>                                   | Río Madeira         | 20        | Carnívoro   | 2.1         | Malm et al., 1990       |
| <i>Pseudoplatystoma sp.</i>                                   | Río Madeira         | 4.1       | Carnívoro   | 0.5         | Jernelov & Ramel, 1994  |
| <i>Pseudoplatystoma sp.</i>                                   | Puerto Maldonado    | 15        | Carnívoro   | 0.26        | IMA, 1995               |
| <i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>                              | Puerto Maldonado    | 13        | Carnívoro   | 0.79        | IMA, 1995               |
| <i>Hoplias malabaricus</i>                                    | Carajas             | -         | Carnívoro   | 0.35-0.91   | Pfeiffer et al., 1993   |
| <i>Hoplias malabaricus</i>                                    | Rio Paraiba do Sul  | -         | Carnívoro   | 0.16-0.37   | Pfeiffer et al., 1989   |
| <i>Hoplias malabaricus</i>                                    | Amazonía brasilera  | -         | Carnívoro   | 0.61        | Palheta, 1995           |
| <i>Oncorhynchus tshawytscha</i>                               | Amazonía brasilera  | -         | Carnívoro   | 0.039       | Bloom, 1992             |
| <i>Anoplopoma fimbria</i>                                     | Amazonía brasilera  | -         | Carnívoro   | 0.428       | Bloom, 1993             |
| <i>Oncorhynchus mikiss</i> y <i>Salmo trutta morpha fario</i> | Springfield/Montana | -         | Carnívoro   | 0           | Lloyd et al., 1977.     |
| <i>Oncorhynchus mikiss</i> y <i>Salmo trutta morpha fario</i> | Big Piney River     | -         | Carnívoro   | 0.49        | Lloyd et al., 1977.     |
| <i>Perca fluviatilis</i>                                      | Lake Dubrovskoye    | 0.027     | Carnívoro   | 0.64        | Haynes et al., 1992     |
| <i>Perca fluviatilis</i>                                      | Lake Tyomnoye       | 0.154     | Carnívoro   | 1.06        | Haynes et al., 1993     |

Nota: El valor límite es 0.5 mg/Kg.

FUENTE: Deza (1997).

## ANEXO N: MERCURIO EN PECES DEL RÍO MADEIRA – PROMEDIO HISTÓRICO POR ESPECIE Y HÁBITO ALIMENTICIO

| Common name               | Scientific name                      | Total Hg (mg.kg <sup>-1</sup> ) | n   | Max   | Min   |
|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----|-------|-------|
| PISCIVOROUS               |                                      |                                 |     |       |       |
| Peixe-Cachorro            | <i>Acestrotrichus falcirostris</i>   | <b>1.292</b>                    | 02  | 1.682 | 0.903 |
| Pirarucu                  | <i>Arapaima gigas</i>                | 0.343                           | 06  | 0.730 | 0.231 |
| Peixe-Cachorro            | <i>Hydrolycus scomberoides</i>       | <b>0.722</b>                    | 31  | 2.473 | 0.230 |
| Peixe-Cachorro            | <i>Hydrolycus sp.</i>                | <b>1.020</b>                    | 02  | 1.335 | 0.705 |
| Apapá-amarelo             | <i>Pellona castelneana</i>           | <b>1.212</b>                    | 27  | 3.921 | 0.440 |
| Apapá-branco              | <i>Pellona flavipinnis</i>           | <b>1.597</b>                    | 06  | 3.022 | 0.993 |
| Apapá                     | <i>Pellona sp.</i>                   | <b>1.308</b>                    | 02  | 1.807 | 0.810 |
| Pescada                   | <i>Plagioscion squamosissimus</i>    | 0.449                           | 41  | 1.100 | 0.002 |
| Peixe-Cachorro            | <i>Rhaphiodon vulpinus</i>           | <b>0.939</b>                    | 26  | 2.506 | 0.405 |
| CARNIVOROUS               |                                      |                                 |     |       |       |
| Mandubé                   | <i>Ageneiosus brevifilis</i>         | <b>0.851</b>                    | 13  | 1.390 | 0.250 |
| Bicuda                    | <i>Boulengerella ocellata</i>        | <b>1.019</b>                    | 07  | 2.129 | 0.303 |
| Piraiba or Filhote        | <i>Brachyplatistoma filamentosum</i> | <b>1.359</b>                    | 18  | 4.753 | 0.490 |
| Dourada                   | <i>Brachyplatistoma flavicans</i>    | <b>0.907</b>                    | 19  | 3.166 | 0.142 |
| Piramutaba                | <i>Brachyplatistoma vaillantii</i>   | 0.090                           | 01  | -     | -     |
| Tucunaré                  | <i>Cichla monoculus</i>              | <b>0.524</b>                    | 13  | 1.098 | 0.330 |
| Tucunaré                  | <i>Cichla ocellaris</i>              | 0.428                           | 96  | 1.316 | 0.012 |
| Tucunaré-açu              | <i>Cichla sp.</i>                    | 0.305                           | 02  | 0.420 | 0.189 |
| Tucunaré-paca             | <i>Cichla temensis</i>               | 0.419                           | 04  | 0.532 | 0.266 |
| Jacundá                   | <i>Crenicichla reticulata</i>        | 0.406                           | 07  | 0.556 | 0.241 |
| Liro or Braço-de-moça     | <i>Hemisorubim platyrhynchos</i>     | <b>0.575</b>                    | 19  | 1.553 | 0.087 |
| Traira                    | <i>Hoplias malabaricus</i>           | 0.432                           | 55  | 1.188 | 0.033 |
| Jaú                       | <i>Paulicea lukteni</i>              | <b>0.571</b>                    | 04  | 0.722 | 0.313 |
| Pirarara                  | <i>Phractocephalus hemiliopterus</i> | <b>0.727</b>                    | 02  | 1.301 | 0.153 |
| Barba-chata               | <i>Pinirampus pinirampu</i>          | <b>1.232</b>                    | 24  | 2.214 | 0.049 |
| Coroatá or Pirá-tucandira | <i>Platynemichthys notatus</i>       | <b>1.195</b>                    | 10  | 2.258 | 0.547 |
| Peixe-agulha              | <i>Potamorhaphis guianensis</i>      | 0.302                           | 01  | -     | -     |
| Arraia                    | <i>Potamotrygon sp.</i>              | 0.090                           | 01  | -     | -     |
| Surubim                   | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>    | <b>0.660</b>                    | 38  | 1.561 | 0.080 |
| Pintado                   | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>          | <b>0.969</b>                    | 26  | 2.890 | 0.046 |
| Piranha-caju              | <i>Pygocentrus nattereri</i>         | <b>0.510</b>                    | 25  | 1.184 | 0.036 |
| Piranha                   | <i>Serrasalmus eigenmanni</i>        | <b>1.697</b>                    | 01  | -     | -     |
| Piranha-preta             | <i>Serrasalmus rhombeus</i>          | <b>0.781</b>                    | 146 | 2.168 | 0.186 |
| Piranha-branca            | <i>Serrasalmus spilopleura</i>       | 0.294                           | 09  | 0.811 | 0.030 |
| Peixe-lenha               | <i>Sorubimichthys planiceps</i>      | <b>0.871</b>                    | 01  | -     | -     |
| DETRITIVOROUS             |                                      |                                 |     |       |       |
| Curimatá                  | <i>Curimata knerii</i>               | 0.378                           | 01  | -     | -     |
| Acarí-bodó                | <i>Lipossarcus pardalis</i>          | 0.016                           | 05  | 0.020 | 0.006 |
| Branquinha                | <i>Potamorhina latior</i>            | 0.114                           | 28  | 0.280 | 0.049 |
| Curimbá                   | <i>Prochilodus cf. beni</i>          | 0.088                           | 05  | 0.123 | 0.059 |
| Curimbá                   | <i>Prochilodus nigricaus</i>         | 0.342                           | 01  | -     | -     |
| Curimatá                  | <i>Prochilodus theraponura</i>       | 0.021                           | 03  | 0.046 | 0.006 |
| Acarí-bodó                | <i>Pterygoplichthys gibbiceps</i>    | 0.464                           | 04  | 0.644 | 0.111 |
| Acarí-bodó                | <i>Pterygoplichthys sp.</i>          | 0.041                           | 01  | -     | -     |

| HERBIVOROUS         |                                    |              |    |       |       |
|---------------------|------------------------------------|--------------|----|-------|-------|
| Piau                | <i>Laemolyta varia</i>             | 0.151        | 16 | 0.412 | 0.035 |
| Pacu                | <i>Mylossoma duriventre</i>        | 0.024        | 03 | 0.031 | 0.015 |
| Pacu                | <i>Mylossoma sp.</i>               | 0.053        | 40 | 0.440 | 0.001 |
| Piau-cabeça-de-meia | <i>Schizodon fasciatum</i>         | 0.123        | 14 | 0.295 | 0.021 |
| MICROPHAGOUS        |                                    |              |    |       |       |
| Mapará              | <i>Hypophthalmus edentatus</i>     | <b>0.516</b> | 24 | 0.898 | 0.084 |
| Cascudo             | <i>Plecostomus sp.</i>             | 0.050        | 06 | 0.122 | 0.025 |
| Curimatá            | <i>Prochilodus sp.</i>             | 0.118        | 49 | 0.338 | 0.003 |
| Cuiu-cuiu           | <i>Pseudoras niger</i>             | 0.153        | 02 | 0.176 | 0.130 |
| Jatuarana           | <i>Brycon cf. melanopterus</i>     | 0.054        | 18 | 0.123 | 0.032 |
| OMNIVOROUS          |                                    |              |    |       |       |
| Jatuarana           | <i>Argonectes scapularis</i>       | <b>0.603</b> | 01 | -     | -     |
| Matrinxá            | <i>Brycon sp.</i>                  | 0.098        | 15 | 0.250 | 0.050 |
| Pintadinho          | <i>Calophysus macropterus</i>      | <b>1.381</b> | 11 | 2.249 | 0.718 |
| Cará                | <i>Cichlasoma spectabile</i>       | 0.291        | 03 | 0.594 | 0.041 |
| Pirapetinga         | <i>Colossoma bidens</i>            | 0.057        | 04 | 0.121 | 0.025 |
| Pirapetinga         | <i>Colossoma brachypomus</i>       | 0.014        | 04 | 0.024 | 0.010 |
| Tambaqui            | <i>Colossoma macropomum</i>        | 0.126        | 08 | 0.335 | 0.020 |
| Acaratinga          | <i>Geophagus proximus</i>          | 0.105        | 01 | -     | -     |
| Acará               | <i>Geophagus sp.</i>               | 0.179        | 20 | 0.648 | 0.028 |
| Aracu-flamengo      | <i>Leporinus fasciatus</i>         | 0.229        | 07 | 0.439 | 0.051 |
| Aracu-cabeça-gorda  | <i>Leporinus friderici</i>         | 0.334        | 10 | 2.040 | 0.020 |
| Aracu               | <i>Leporinus sp.</i>               | 0.100        | 01 | -     | -     |
| Bacu                | <i>Lithodoras dorsalis</i>         | 0.013        | 01 | -     | -     |
| Aruana              | <i>Osteoglossum bicirrhosum</i>    | 0.294        | 10 | 1.162 | 0.026 |
| Cascudinho          | <i>Pareiorhaphis duseni</i>        | 0.034        | 08 | 0.055 | 0.010 |
| Mandi               | <i>Pimelodus sp.</i>               | 0.263        | 17 | 0.561 | 0.082 |
| Rhamdia             | <i>Rhamdia sp.</i>                 | 0.061        | 01 | -     | -     |
| Jaraqui             | <i>Semaprochilodus theraponera</i> | 0.202        | 27 | 0.419 | 0.105 |
| Piranha-branca      | <i>Serrasalmus sp.</i>             | <b>0.537</b> | 37 | 1.725 | 0.138 |
| Sardinha            | <i>Triporthes elongatus</i>        | 0.189        | 17 | 0.583 | 0.017 |

\* Species above the WHO threshold marked in bold.

Nota: Las concentraciones promedio mayores a 0.5 ppm están con letra en negrita.

FUENTE: Wanderley et al. (2008).

## ANEXO O: MERCURIO EN PECES DE MADRE DE DIOS EN 1992

| Procedencia              | Especie                         | Nombre común                   | Alimentación | Número de muestras | Mercurio inorgánico (ppm) | Metilmercurio (ppm) | Mercurio total (ppm) | % MeHg/HgT |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|------------|
| Parque Nacional Manu (6) | <i>Paulicea sp.</i>             | Bagre                          | Omnívoro     | 5                  | 0.105                     | 0.247               | 0.343                | 72         |
|                          |                                 |                                | Omnívoro     | Min                | 0.057                     | 0.126               | 0.28                 | 66.2       |
|                          |                                 |                                | Omnívoro     | Máx                | 0.157                     | 0.909               | 0.966                | 94.1       |
|                          | <i>Piaractus sp.</i>            | Paco                           |              | 1                  | 0.005                     | 0.029               | 0.034                | 85         |
|                          | <i>Serrasalmus rhombeus</i>     | Piraña blanca                  | Carnívoro    | 4                  | 0.038                     | 0.088               | 0.14                 | 65.4       |
|                          |                                 |                                | Carnívoro    | Min                | 0.013                     | 0.026               | 0.39                 | 61.3       |
|                          |                                 |                                | Carnívoro    | Máx                | 0.058                     | 0.307               | 0.336                | 91.3       |
| Rio Madre de Dios (7)    | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>     | Doncella, zúngaro o gran bagre | Omnívoro     | 2                  | 0.021                     | 0.66                | 0.681                | 95.4       |
|                          |                                 |                                | Omnívoro     |                    | 0.063                     | 1.481               | 1.544                | 96.4       |
|                          | <i>Potamorhina altamazonica</i> | Yahuarachi o llambina          |              | 2                  | 0.02                      | 0.064               | 0.084                | 70.1       |
|                          |                                 |                                |              |                    | 0.03                      | 0.071               | 0.102                | 76.3       |
|                          | <i>Plagioscion auratus</i>      | Corvina                        |              | 1                  | 0.031                     | 0.0424              | 0.455                | 93.2       |
| Rio Madre de Dios (8)    | <i>Potamorhina altamazonica</i> | Yahuarachi o llambina          |              | 1                  | 0.031                     | 0.027               | 0.058                | 46.5       |
| Puerto Maldonado (9)     | <i>Paulicea sp.</i>             | Bagre                          | Omnívoro     | 1                  | 0.238                     | 0.77                | 1.008                | 76.4       |
|                          |                                 |                                |              | 1                  | 0.041                     | 0.587               | 0.628                | 93.4       |
|                          | <i>Prochilodus caud.</i>        | Boquichico                     | Detritívoro  | 5                  | 0.031                     | 0.096               | 0.125                | 64.9       |
|                          |                                 |                                | Detritívoro  | Min                | 0.02                      | 0.037               | 0.057                | 69.5       |
|                          |                                 |                                | Detritívoro  | Máx                | 0.099                     | 0.14                | 0.209                | 76.8       |
| De la Torre (10)         | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>     | Doncella, zúngaro o gran bagre | Omnívoro     | 1                  | 0.0101                    | 0.366               | 0.467                | 78.3       |

FUENTE: Gutleb et al. (1993).

## ANEXO P: MERCURIO EN PECES DE MADRE DE DIOS EN 1993

| Procedencia              | Especie                     | Nombre común                   | Alimentación | Número de muestras | Mercurio inorgánico (ppm) | Metilmercurio (ppm) | Mercurio total (ppm) | % MeHg/HgT |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|------------|
| Curmerjali (1)           | <i>Paulicea sp.</i>         | Bagre                          | Omnívoro     | 2                  | 0.04                      | 0.071               | 0.221                | 81.9       |
|                          |                             |                                | Omnívoro     |                    | 0.051                     | 0.289               | 0.34                 | 85         |
| Parque Nacional Manu (2) | <i>Piaractus sp.</i>        | Paco                           |              | 1                  | 0.006                     | 0.029               | 0.035                | 82.9       |
| Parque Nacional Manu (3) | <i>Pseudoplatystoma sp.</i> | Doncella, zúngaro o gran bagre | Omnívoro     | 1                  | 0.018                     | 0.068               | 0.086                | 79.1       |
|                          |                             |                                | Carnívoro    | 2                  | 0.018                     | 0.036               | 0.087                | 72.4       |
|                          |                             |                                |              |                    | 0.024                     | 0.074               | 0.093                | 79.6       |
| Parque Nacional Manu (4) | <i>Paulicea sp.</i>         | Bagre                          | Omnívoro     | 2                  | 0.008                     | 0.035               | 0.045                | 77.8       |
|                          |                             |                                | Omnívoro     |                    | 0.001                     | 0.042               | 0.05                 | 84         |
| Parque Nacional Manu (5) | <i>Paulicea sp.</i>         | Bagre                          | Omnívoro     | 1                  | 0.015                     | 0.057               | 0.072                | 79.2       |
| Parque Nacional Manu (6) | <i>Pimelodus sp.</i>        | Bagre                          | Omnívoro     | 1                  | 0.017                     | 0.034               | 0.051                | 66.7       |
|                          |                             |                                |              |                    |                           |                     | Prom.                | 77.97      |

FUENTE: Gutleb et al. (1993).

## ANEXO Q: MERCURIO EN PECES DE MADRE DE DIOS EN 1995

| Especie  | Hábito alimenticio | Concentración promedio | $\sigma$  | Rango            | Dif. Sgva. Prueba T (Interv. Confianza 95%) | N  | Peso promedio | Desv. Est. | Rango            |
|--|--------------------|------------------------|-----------|------------------|---|----|---------------|------------|------------------|
| Dorado   | Piscívoro          | 0.699                  | 0.29<br>6 | 0.307 -<br>1.095 | A   | 10 | 9.75          | 3.2        | 4 - 15           |
| Fasaco PEM   | Piscívoro          | 0.044                  | 0.03<br>6 | 0.013 -<br>0.151 | ** B  | 30 | 0.143         | 0.199      | 0.034 -<br>0.461 |
| Fasaco Manu  | Piscívoro          | 0.05                   | 0.01<br>5 | 0.031 -<br>0.076 | ** B  | 8  | 0.345         | 0.107      | 0.161 -<br>0.499 |
| Boquichico   | Detritívoro        | 0.055                  | 0.03<br>5 | 0.024 -<br>0.124 | B   | 10 | 1.06          | 0.276      | 0.713 -<br>1.616 |
| Carachama  | Detritívoro        | 0.013                  | 0.00<br>7 | 0.004 -<br>0.046 | C   | 30 | 0.25          | 0.109      | 0.129 -<br>0.611 |
| Mojarrita  | Insectívoro        | 0.029                  | 0.01<br>2 | 0.012 -<br>0.062 | D   | 30 | 0.011         | 0.003      | 0.006 -<br>0.017 |
| * Se cumple para los datos con transformación logarítmica.   |                    |                        |           |                  |   |    |               |            |                  |
| ** Los valores son significativamente diferentes cuando se efectúa una corrección por el peso del pez. |                    |                        |           |                  |   |    |               |            |                  |

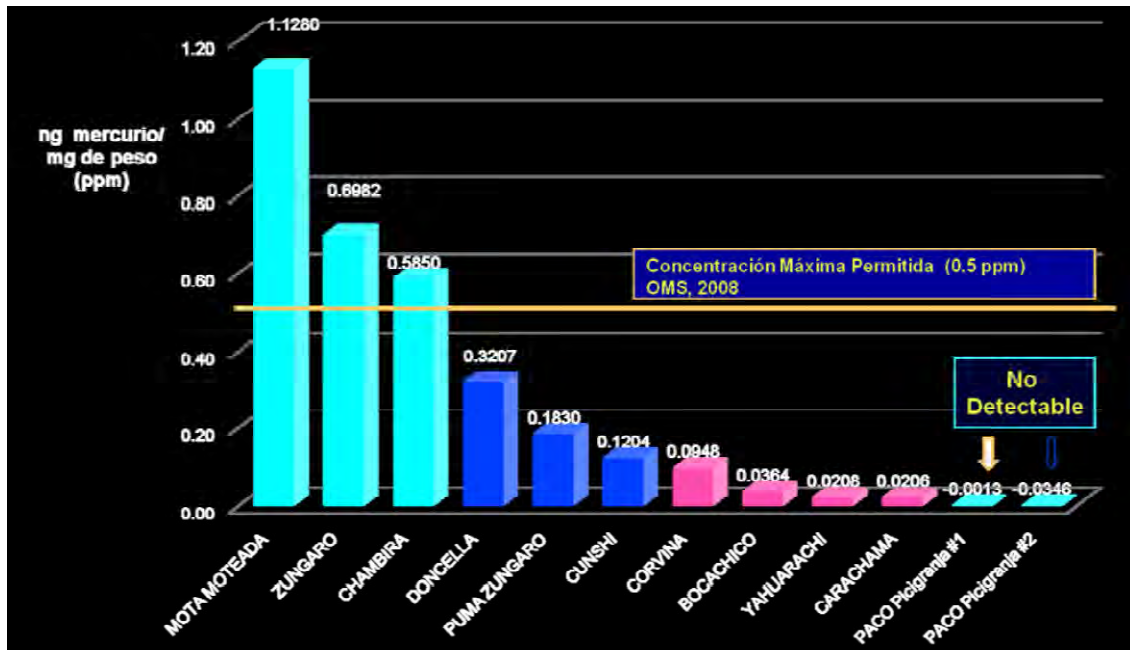
FUENTE: Deza (1997).











## ANEXO R: MERCURIO EN PECES DEL RÍO MALINOWSKI - 2002

| Especie                          | Nombre común | ppm Hg total | Peso del pez |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Pseudoplatystoma sp.</i>      | Doncella     | 0.79         | 6.3          |
| <i>Pseudoplatystoma sp.</i>      | Doncella     | 0.55         | 4            |
| <i>Pseudoplatystoma sp.</i>      | Doncella     | 0.64         | 5.2          |
| <i>Pseudoplatystoma sp.</i>      | Doncella     | 0.89         | 8.1          |
| <i>Pseudoplatystoma sp.</i>      | Doncella     | 0.16         | 0.73         |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.76         | 600          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.51         | 280          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.33         | 220          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.58         | 350          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.28         | 200          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.48         | 130          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.31         | 210          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.32         | 410          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.29         | 280          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.32         | 285          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.33         | 220          |
| <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Huasaco      | 0.33         | 55           |
| <i>Prochilodus sp.</i>           | Boquichico   | 0.75         | 1.3          |
| <i>Prochilodus sp.</i>           | Boquichico   | 0.61         | 1.1          |
| <i>Prochilodus sp.</i>           | Boquichico   | 0.43         | 0.35         |
| <i>Prochilodus sp.</i>           | Boquichico   | 0.21         | 0.145        |
| <i>Prochilodus sp.</i>           | Boquichico   | 0.21         | 0.148        |
| <i>Pterygoplichthys spp.</i>     | Carachama    | 0.4          | 150          |
| <i>Pterygoplichthys spp.</i>     | Carachama    | 0.25         | 50           |
| <i>Pterygoplichthys spp.</i>     | Carachama    | 0.47         | 190          |
| <i>Pterygoplichthys spp.</i>     | Carachama    | 0.32         | 120          |
| <i>Pterygoplichthys spp.</i>     | Carachama    | 0.18         | 100          |
| <i>Pterygoplichthys spp.</i>     | Carachama    | 0.13         | 50           |
| <i>Triportheus sp.</i>           | Sapamama     | 0.44         | 100          |
| <i>Triportheus sp.</i>           | Sapamama     | 0.35         | 70           |
| <i>Triportheus sp.</i>           | Sapamama     | 0.29         | 60           |

FUENTE: Barbieri (2004).

## ANEXO S: MERCURIO EN PECES DE MADRE DE DIOS EN 2009



|   |   |
|---|---|
| <p><b>Mota Punteada</b><br/><i>Calophysus macropterus</i></p>  | <p><b>Bocachico</b><br/><i>Prochilodus nigricans</i></p>         |
| <p><b>Corvina</b><br/><i>Plagioscion squamosissimus</i></p>    | <p><b>Paco</b><br/><i>Piaractus brachypomus</i></p>              |
| <p><b>Carachama</b><br/><i>Liposarcus spp.</i></p>             | <p><b>Doncella</b><br/><i>Pseudoplatystoma fasciatum</i></p>     |
| <p><b>Yahuarachi</b><br/><i>Potamorhina altamazonica</i></p>   | <p><b>Puma Zúngaro</b><br/><i>Pseudoplatystoma tigrinum</i></p>  |
| <p><b>Chambira</b><br/><i>Hydrolycus pectoralis</i></p>        | <p><b>Zúngaro</b><br/><i>Zungaro zungaro</i></p>                 |

FUENTE: Fernández y González (2009).

## ANEXO T: CARACTERIZACIÓN DE MELANOSUCHUS NIGER

El caimán negro o *Melanosuchus niger*, es el reptil más grande de los Alligatoridae. Se distribuye en la cuenca del río Amazonas, tal como se aprecia en la Figura T1. Puede vivir en gran variedad de hábitats desde ríos, cochas y hasta savanas inundables, sin embargo, prefiere lugares húmedos ya que su hábitat es principalmente acuático.



**FIGURA T1: Distribución de *Melanosuchus niger*.**

FUENTE: Thorbjarnarson (2010).

En Perú empezó a ser cazado a partir de los años cincuenta (Plotkin *et al.* 1983) al punto que en el año 1974 una investigación realizada por Otte descubrió que ya no existían caimanes negros en las cuencas de los ríos Pariamanu y Heath, sino que dicha especie se estaba desplazando hacia Tambopata, el Manu, y los ríos Los Amigos y Las Piedras, cerca



a Puerto Maldonado. Algo similar ocurrió en el resto de la selva peruana y amazónica. Los grupos familiares fueron refugiándose en lugares de difícil acceso para sobrevivir.

Actualmente su caza está prohibida según DS N° 034-2004-AG. Internacionalmente, se encuentra en el Apéndice I de CITES y en la lista roja de la IUCN, clasificada como especie dependiente de los esfuerzos de conservación, cuya extinción es poco probable, pero cuyo hábitat está siendo destruido. Es por ello que en parques naturales como el Manu y en áreas ecoturísticas, se evalúa y censa continuamente los caimanes negros. Actualmente se tiene una población estable, pero muy disminuida, que apenas llega a una centena en el centro de interpretación del Manu.

*Melanosuchus niger* es un vestigio viviente de los grandes reptiles y es quizás el animal más temido por su fuerza y rapidez en el ataque. Un adulto supera fácilmente los 5 m. de largo y es un carnívoro generalista, piscívoro mayormente, aunque eventualmente puede comer también animales mayores. Como se puede apreciar en la Figura T2, puede llegar a pesar 400 Kg. y tener más de 6 m. de largo. Vive cerca de 15 años en libertad y hasta 20 en zoológicos.



**FIGURA T2: Vista de cuerpo entero de *Melanosuchus niger*.**

FUENTE: Marine Wildlife Photography (en línea).

Está excelentemente adaptado para vivir en el agua. Sus patas tienen adaptaciones membranosas que lo ayudan a nadar y su cola le sirve de timón. Asimismo, es un excelente cazador en horario nocturno. Suele mimetizarse con su hábitat para pasar desapercibido pero un ataque suyo puede ser voraz y repentino.

Las hembras ponen unos 50 a 60 huevos en grandes madrigueras. Mientras incuban, son extremadamente agresivas (ver Figura T3). En esta especie, la temperatura del nido es más influyente que la genética en la definición del sexo de los caimanes.



**FIGURA T3: Caimán negro hembra, cuidando su nido.**

FUENTE: Thorbjarnarson (2010).

## ANEXO U: MERCURIO EN LOBOS DE RÍO DEL HEMISFERIO NORTE

| Lugar         | N   | Músculo   | Cerebro    | Hígado       | Riñones     | Piel  | Fuente   |
|---------------|-----|-----------|------------|--------------|-------------|-------|--|
| Reino Unido   | 7   | -         | -          | (0.2-4.3)    | (0.08-2.02) | -     | Mason, 1988.                                   |
| Dinamarca     | 69  | -         | -          | (0.03-12.4)  | -           | -     | Mason y Madsen, 1992.                          |
| Georgia       |     | 1.5       | -          | -            | -           | 15.2  | Halbrook et al. 1994                           |
| Irlanda       | 32  | -         | -          | (0.15-17.03) | -           | -     | Mason y Sullivan, 1993                         |
| Maine         | 69  | -         | 0.55       | 1.76         | -           | 25.9  | B.R.I 2004                                     |
| Manitoba      | 38  | -         | (0.04-9.5) | (1.3-21.7)   | (0.03-15.1) | -     | Kucera, 1983                                   |
| Mass          | 96  | -         | -          | 1.9          | -           | -     | Organ, 1989                                    |
| Nueva York    | 34  | -         | -          | (0.01-6.95)  | -           | -     | Foley et al. 1988                              |
| Nueva Escocia | 23  | -         | (0.5-10.2) | -            | -           | -     | Burgess et al. 2002                            |
| Ontario 1     | 1   | 36        | 30         | 96           | 58          | 47    | Wren, 1985 (en área contaminada por industria) |
| Ontario 2     | -   | 0.9       | -          | 2.9          | 1.1         | -     | Wren et al., 1980                              |
| Ontario 3     | 84  | (0.1-4.3) | (0.2-7.2)  | (0.2-17.4)   | (0.1-12.6)  | -     | Wren et al., 1986                              |
| Ontario 4     | -   | -         | -          | (1.0-3.5)    | -           | -     | Wren y Stokes, 1988                            |
| Ontario 5     | 130 | -         | 2          | 6.7          | -           | 13.8  | Mierle et al. 2000                             |
| Vermont       | 21  | -         | -          | -            | -           | 13.58 | BRI, 2002                                      |
| Wisconsin     | 49  | 1.4       | 0.7        | 3.3          | 8.5         | 6.5   | Sheffy y Amant, 1982                           |

FUENTE: Yates et. al. (2004).

## ANEXO V: CARACTERIZACIÓN DE *PTERONURA BRASILIENSIS*

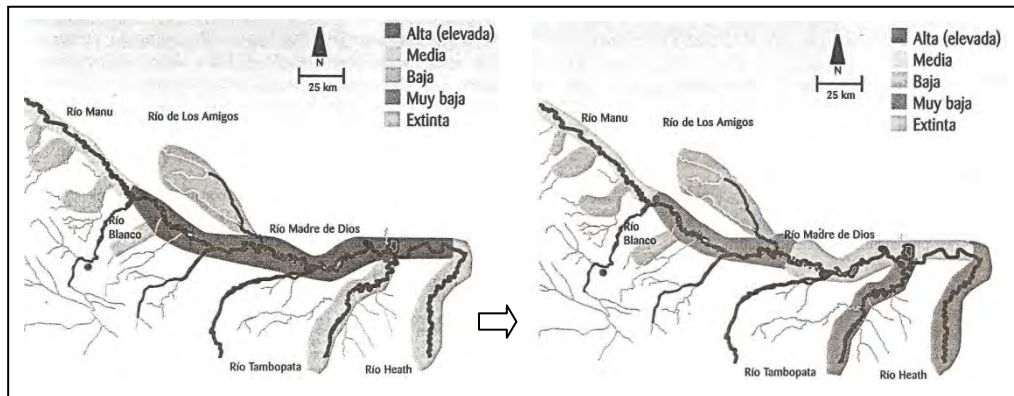
*Pteronura brasiliensis*, comúnmente conocida como lobo de río o nutria gigante se encuentra en la cima de la cadena trófica acuática de los espacios que habita. En la Figura V1 se puede observar una vista de cuerpo entero de este animal. Se trata, además, de un mamífero que ha sido clasificado en el libro rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza como especie vulnerable. Está amenazada en al menos siete países, se considera EN (en peligro) y está protegida del comercio internacional (Apéndice I de CITES) porque en los años setentas fue extensamente perseguida por su piel. En la actualidad su hábitat se está deteriorando por la explotación de recursos naturales (madera, minerales y combustibles) y por el incremento del turismo. En el Perú goza de protección legal según la Resolución Ministerial N° 5056-70-AG del 17 de Noviembre de 1970 y está considerada en peligro de extinción según Decreto Supremo 13-99-AG. Adicionalmente, es una especie muy apreciada por el turismo.



**FIGURA V1: Vista de cuerpo entero de *Pteronura brasiliensis*.**

FUENTE: Davenport. (en línea).

En 1998, durante el VII coloquio sobre lobo de río realizado en República Checa, se discutió sobre algunos factores determinantes en su distribución. Resultó que la biomasa de peces, la fisonomía del hinterland así como factores hidrológicos y de calidad del agua, favorecen su presencia. Por otra parte, la tasa de áreas drenadas/irrigadas y el exceso de nitrógeno son algunos factores limitantes. En Perú su presencia se ha ido reduciendo a través de los años tal como se observa en la Figura V2.



**FIGURA V2: Reducción de *Pteronura brasiliensis* en el departamento de Madre de Dios (presencia original vs presencia la década del noventa.**

FUENTE: Schenck (1999).

Las áreas de uso de *Pteronura brasiliensis* varían de una época climática a otra. En general durante el período de aguas bajas sus territorios están mejor definidos mientras que en aguas altas se dispersan porque deben buscar presas en áreas más extensas. Algunas madrigueras pueden ser temporales (de uno a varios días) mientras que los lugares donde paren a sus crías son más permanentes (Trujillo et al. 2006). En las Figuras V3 y V4 se muestra una madriguera típica. Cerca a ellas se puede encontrar grandes letrinas con restos de escamas, como se observa en la Figura V5.





**FIGURAS V3 y V4: Madrigueras típicas de *Pteronura brasiliensis*.**

FUENTE: Davenport (en línea).



**FIGURA V5: Letrina de *Pteronura brasiliensis* con restos de escamas.**

FUENTE: Davenport (en línea).

La nutria gigante es una especie muy sociable, vive en grupos familiares y pesca cooperativamente (ver Figura V6). Sus hábitos son diurnos, con mayor actividad en las horas de la mañana y al atardecer. Respeta territorios y tiene una estructura social centrada en una pareja dominante que es la única que se reproduce. Se trata de una estrategia “K”. Llega a medir de 1.5 a 2 metros, puede pesar 30 Kg e ingiere aproximadamente 4.5 Kg de peces al día. En ocasiones suplementa su alimentación con crustáceos, pequeñas culebras o caimanes, por lo que se le considera predatora por excelencia. Es sustancialmente más grande que su pariente, la *Lutra canadensis*, que pesa entre 4.5 y 13.5 Kg y mide de 3 a 4 pies. Sin embargo, su esperanza de vida es menor ya que sólo llega a los 12 años de vida silvestre, en contraste con los 15 años que logra vivir *Lutra canadensis* en libertad.



**FIGURA V6: Grupo familiar de *Pteronura brasiliensis*.**

FUENTE: Davenport (en línea).

Según Schenk (1999) algunos grupos de *Pteronura brasiliensis* son selectivos en su alimentación y prefieren peces como: bujurki (*Stanoperca jurupari*) y boquichico (*Prochilodus caudifasciatus*). Él sustenta que sólo eventualmente consumen otras especies como: *Steichdachnerina sp.*, huasaco (*Hoplias malabaricus*), yahuarachi (*Potamorhina altamazonica*), sapamama (*Triportheus angulatus*), *Curimata sp.* y *Crenicichla semicincta*.

Sin embargo, Osorio (2008) refuta lo indicado por Schenk y sostienen que su espectro alimenticio varía mucho y que en las cuencas con mayor intervención los grupos familiares se han vuelto completamente oportunistas en su alimentación.

En cuanto a su reproducción, vale la pena mencionar que la nutria gigante es monógama, llega a su madurez sexual a los 2 años y su período de gestación dura entre 65 y 70 días. Suele tener crías entre los meses de mayo y junio. Sus camadas son de 1 a 5 individuos. En la Figura V7 se puede observar una fotografía de lobos de río con pocos días de nacidos. Estos animales pasan el primer mes de vida casi enteramente en las madrigueras, después abren los ojos y se preparan para nadar (Schenck 1999). A los dos meses reciben alimentación sólida y siguen al grupo. Los hermanos mayores ayudan al cuidado parental de las crías, llevándoles alimento, jugando con ellas, enseñándoles comportamientos importantes para su supervivencia y cargándolas hacia sus padres (Staib 1995). Permanecen un tiempo aproximado de dos años con sus padres, independientemente de que nazcan otras crías (Laidler 1984, en Velasco 2004). En este período el grupo se vuelve muy hostil con los extraños, en su afán de proteger a la prole.



**FIGURA V7: Crías de *Pteronura brasiliensis*.**

FUENTE: Duplaix (2004).



**ANEXO W: RESULTADOS DETALLADOS DE LA MODELACIÓN PROBABILÍSTICA DE LA RESPUESTA DEL ECOSISTEMA ANTE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO**

**a) Resumen de datos multianuales**

| <b>Máximos anuales</b>            | <b>1992</b> | <b>1993</b> | <b>1995</b> | <b>1996</b> | <b>1997</b> | <b>2000</b> | <b>2001</b> | <b>2002</b> | <b>2002-2003</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2009</b> | <b>Media</b> |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| HgT en peces del nivel trófico 3  | 1.008       | 0.34        | 0.75        | -           |             | -           | -           | -           | 0.75             | -           | -           | 3.62        | 0.0364      | 1.084        |
| HgT en peces del nivel trófico 4  | 1.544       | 0.086       | 1.095       | -           |             | -           | -           | -           | 0.89             | -           | -           | 3.92        | 1.88        | 1.569        |
| MeHg en peces del nivel trófico 3 | 0.790       | 0.266       | 0.522       | -           |             | -           | -           | -           | 0.522            | -           | -           | 2.420       | 0.025       | 0.757        |
| MeHg en peces del nivel trófico 4 | 1.352       | 0.075       | 0.980       | -           |             | -           | -           | -           | 0.779            | -           | -           | 3.508       | 1.682       | 1.396        |
| HgT en agua                       | -           | -           | 0.03800     | 0.00200     |             | 0.00005     | 0.00002     | 0.00007     | 0.00303          | 0.01330     | 0.00040     | -           | -           | 0.0071       |
| MeHg en agua                      | -           | -           | 0.00570     | 0.0003      |             | 0.00001     | 0.000003    | 0.00001     | 0.00045          | 0.002       | 0.00006     | -           |             | 0.001        |
| HgT en sedimentos                 |             |             |             |             | 0.69700     |             |             | 2.67000     |                  |             |             | 6.30000     |             | 3.222        |

| <b>Promedios anuales</b>          | <b>1992</b> | <b>1993</b> | <b>1995</b> | <b>1996</b> | <b>1997</b> | <b>2000</b> | <b>2001</b> | <b>2002</b> | <b>2002-2003</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2009</b> | <b>Media</b> |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| HgT en peces del nivel trófico 3  |             | 0.17465     | 0.17955     |             |             |             |             | 0.36        |                  |             |             | 1.113       | 0.021815    | 0.370        |
| HgT en peces del nivel trófico 4  |             | 0.644       | 0.385       |             |             |             |             | 0.4629      |                  |             |             | 2.427       | 0.6604      | 0.916        |
| MeHg en peces del nivel trófico 3 |             | 0.13525     | 0.133       |             |             |             |             | 0.26545     |                  |             |             | 0.811       | 0.016       | 0.272        |
| MeHg en peces del nivel trófico 4 |             | 0.598       | 0.359       |             |             |             |             | 0.4321      |                  |             |             | 2.265       | 0.616       | 0.854        |
| HgT en agua                       |             |             | 0.01400     | 0.00200     |             | 0.00004     | 0.00002     | 0.00004     |                  | 0.00240     | 0.00014     |             |             | 0.003        |
| MeHg en agua                      | 0.00000     | 0.00000     | 0.00210     | 0.00030     | 0.00000     | 0.00001     | 0.000003    | 0.00001     | 0.00000          | 0.00036     | 0.00002     | 0.00000     | 0.00000     | 0.000        |
| HgT en sedimentos                 |             |             |             |             | 0.29640     |             |             | 0.58000     |                  |             |             | 1.83300     |             | 0.903        |
| Fracción carbono orgánico         |             |             |             |             |             |             |             |             |                  |             |             | 0.00574     |             | 0.006        |

| Medianas anuales                  | 1992    | 1993    | 1995    | 1996    | 1997    | 2000    | 2001     | 2002    | 2002-2003 | 2005    | 2006    | 2007    | 2009    | Media |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|-------|
| HgT en peces del nivel trófico 3  |         | 0.93    | 0.125   |         |         |         |          | 0.335   |           |         |         | 0.995   | 0.0194  | 0.481 |
| HgT en peces del nivel trófico 4  |         | 0.547   | 0.454   |         |         |         |          | 0.33    |           |         |         | 1.83    | 0.595   | 0.751 |
| MeHg en peces del nivel trófico 3 |         | 0.071   | 0.096   |         |         |         |          | 0.24785 |           |         |         | 0.731   | 0.014   | 0.232 |
| MeHg en peces del nivel trófico 4 |         | 0.505   | 0.424   |         |         |         |          | 0.308   |           |         |         | 1.708   | 0.055   | 0.600 |
| HgT en agua                       |         |         | 0.00200 | 0.00200 |         | 0.00005 | 0.00002  | 0.00004 |           | 0.00055 | 0.00010 |         |         | 0.001 |
| MeHg en agua                      | 0.00000 | 0.00000 | 0.00030 | 0.00030 | 0.00000 | 0.00001 | 0.000003 | 0.00001 | 0.00000   | 0.00008 | 0.00002 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000 |
| HgT en sedimentos                 |         |         |         |         | 0.2460  |         |          | 0.23000 |           |         |         | 1.29000 |         | 0.589 |
| Fracción carbono orgánico         |         |         |         |         |         |         |          |         |           |         |         | 0.00630 |         | 0.006 |

Nota: El porcentaje promedio de metilmercurio respecto al mercurio total en agua en lagos canadienses de condiciones oligotróficas es de 1% a 6% (IPCS, 1990). No se ha tomado estos valores como referencia porque los cuerpos de agua de Madre de Dios no son oligotróficos. El porcentaje promedio de metilmercurio respecto al mercurio total en agua de los Everglades cuyas condiciones son eutróficas es de 15% (Stober et al., 1998). Este valor sí puede asumirse para Madre de Dios y por lo tanto  $[MeHg] = 0.15 [HgT]$ .

**b) Análisis determinístico del riesgo por mercurio en la cadena trófica acuática**

**Datos de entrada – Agua**

| Cuerpo de Agua | Tipo cuerpo | Nombre        | Sector              | HgT prom | MeHg    | Desv. Stand. | Mes       | Año  | Fuente de Información |
|----------------|-------------|---------------|---------------------|----------|---------|--------------|-----------|------|-----------------------|
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | Poblado Huepetuhe   | 0.03800  | 0.00570 |              |           | 1995 | Juscamaita et al.     |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | Poblado Huepetuhe   | 0.00200  | 0.00030 |              |           | 1995 | Juscamaita et al.     |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios |                     | 0.00200  | 0.00030 |              |           | 1995 | Juscamaita et al.     |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Punto 2             | 0.00200  | 0.00030 |              |           | 1996 |                       |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Punto4              | 0.00200  | 0.00030 |              |           | 1996 |                       |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Boca Malonowsquillo | 0.00002  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Balsa               | 0.00002  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | San Francisco       | 0.00003  | -       | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Puerto Pardo        | 0.00003  | -       | 0.00020      |           | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Cuello de la Muerte | 0.00003  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Palizada            | 0.00003  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Boca                | 0.00003  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Yarinal             | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Colpa Guacamayos    | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Boca Malinowski     | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Condenado           | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | La Torre            | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Infierno            | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Boca                | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA,2000           |
| Lago           | Léntico     | Valencia      |                     | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      |           | 2000 | DIGESA,2000           |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Boca Malinoskillo   | 0.00002  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Bolsa minera        | 0.00002  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Inambari      | Puerto Mazuko       | 0.00003  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Puerto Pardo        | 0.00003  | -       | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | San Francisco       | 0.00003  | -       | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Cuello de la Muerte | 0.00003  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | La Palizada         | 0.00003  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Boca Malinoswki     | 0.00003  | -       | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Inambari      | puente Inambari     | 0.00004  | 0.00001 | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Malinowski    | Ps. Yaniral         | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Colpa Guacamayo     | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |

| Cuerpo de Agua | Tipo cuerpo | Nombre        | Sector              | HgT prom | MeHg    | Desv. Stand. | Mes       | Año  | Fuente de Información |
|----------------|-------------|---------------|---------------------|----------|---------|--------------|-----------|------|-----------------------|
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Boca Malinoswki     | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Sector Condénados   | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Comunidad La Torre  | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Comunidad Infierno  | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Tambopata     | Sector La Punta     | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Lago           | Léntico     | Valencia      | entrada             | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Lago           | Léntico     | Valencia      | final               | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | marzo     | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Inambari      | Sarayacu            | 0.00057  | 0.00009 | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Inambari      | Puerto Carlos       | 0.00120  | 0.00018 | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Inambari      | Sector Avispa       | 0.69370  | 0.10406 | 0.00020      | noviembre | 2000 | DIGESA, 2000          |
| Río            | Lótico      | Colorado      | Huasoroco           | 0.00002  | -       | 0.00020      | marzo     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Colorado      | San Jose            | 0.00002  | -       | 0.00020      | marzo     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Colorado      | Playa Oculta        | 0.00002  | -       | 0.00020      | marzo     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Inambari      | Puente Inambari     | 0.00002  | -       | 0.00020      | julio     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Inambari      | Puerto Mazuko       | 0.00002  | -       | 0.00020      | julio     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Inambari      | Avispa              | 0.00002  | -       | 0.00020      | julio     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Inambari      | Puerto Carlos       | 0.00002  | -       | 0.00020      | julio     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Inambari      | Sarayacu            | 0.00002  | -       | 0.00020      | julio     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Tres Islas          | 0.00002  | -       | 0.00020      | marzo     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | San Juan Grande     | 0.00002  | -       | 0.00020      | marzo     | 2001 | DIGESA 2001           |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | San Juan Grande     | 0.00002  | -       | 0.00020      |           | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Tres Islas          | 0.00002  | -       | 0.00020      |           | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Puerto Pardo        | 0.00003  | -       | 0.00020      |           | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | San Francisco       | 0.00003  | -       | 0.00020      |           | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Quebrada       | Lótico      | Barraca       |                     | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      |           | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Puerto San Juan     | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      |           | 2002 |                       |
| Quebrada       | Lótico      | Chilive       | boca                | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      |           | 2002 |                       |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Boca Manu           | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      |           | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Colorado      | Boca Huasoroco      | 0.00011  | 0.00002 | 0.00020      | junio     | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Colorado      | San José del Karene | 0.00014  | 0.00002 | 0.00020      | junio     | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Piedras       | Boca Paríamanu      | 0.00002  | -       | 0.00020      | mayo      | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Piedras       | Boca Piedras        | 0.00002  | -       | 0.00020      | mayo      | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | san Juan Grande     | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | junio     | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | Boca Amigo          | 0.00005  | 0.00001 | 0.00020      | junio     | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Colorado      | Boca Puquiri        | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio     | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Colorado      | Barranco Colorado   | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio     | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Colorado      | Isla Boca Colorado  | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio     | 2002 | DIGESA, 2002          |

| Cuerpo de Agua | Tipo cuerpo | Nombre         | Sector                      | HgT prom | MeHg    | Desv. Stand. | Mes    | Año  | Fuente de Información |
|----------------|-------------|----------------|-----------------------------|----------|---------|--------------|--------|------|-----------------------|
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | Shintuya                    | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | Boca Manu                   | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | Barraca                     | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | Chilive                     | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | Boca Río Colorado           | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | Puerto Laberinto            | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | Tres Islas                  | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | El Balcòn                   | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | Puerto Pardo                | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Lago           | Léntico     | Valencia       | Inicio del Lago             | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Lago           | Léntico     | Valencia       | Sector Medio                | 0.00007  | 0.00001 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Piedras        | Monte Salvado               | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | mayo   | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Piedras        | Boca Qda. Pamayacu          | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | mayo   | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Piedras        | Boca Qda. Huàscar           | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | mayo   | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios  | San Francisco               | 0.00011  | 0.00002 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Piedras        | Lucerna                     | 0.00011  | 0.00002 | 0.00020      | mayo   | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Piedras        | Cocha Shansho               | 0.00134  | 0.00020 | 0.00020      | mayo   | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Lago           | Léntico     | Valencia       | Final del Lago              | 0.00011  | 0.00002 | 0.00020      | junio  | 2002 | DIGESA, 2002          |
| Río            | Lótico      | Malinowski     | (Apaylom)                   | 0.00303  | 0.00045 |              |        | 2003 | INRENA-IANP, 2003     |
| Quebrada       | Lótico      | Barraca        | paso carretera              | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Lazo           | 100 m arriba paso carretera | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Lago           | Lótico      | San Nicolás    | orilla norte                | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | 9 de setiembre | medio                       | 0.00110  | 0.00017 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | 9 de setiembre | Boca                        | 0.00350  | 0.00053 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Barraca        |                             | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |        | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Buena Fortuna  |                             | 0.00110  | 0.00017 | 0.00020      |        | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Caychiwe       | antes de la boca            | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Caychiwe       | Santa Inés                  | 0.00080  | 0.00012 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Caychiwe       |                             | 0.00538  | 0.00081 | 0.00020      |        | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Caychiwe       | medio                       | 0.01330  | 0.00200 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Cuatro amigos  | medio                       | 0.00640  | 0.00096 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Cuatro Amigos  |                             | 0.00640  | 0.00096 | 0.00020      |        | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Gregoria Baca  | paso carretera              | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Gregoria Baca  |                             | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |        | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe      | frente Huepetuhe            | 0.00020  | 0.00003 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe      | 500 m arriba Huepetuhe      | 0.00030  | 0.00005 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe      | frente Choque               | 0.00060  | 0.00009 | 0.00020      | agosto | 2005 | DIGESA, 2005          |

| Cuerpo de Agua | Tipo cuerpo | Nombre        | Sector                     | HgT prom | MeHg    | Desv. Stand. | Mes     | Año  | Fuente de Información |
|----------------|-------------|---------------|----------------------------|----------|---------|--------------|---------|------|-----------------------|
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     |                            | 0.00427  | 0.00064 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | unión c Qa Santa Elena     | 0.00430  | 0.00065 | 0.00020      | agosto  | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | union con Qa Puno          | 0.00770  | 0.00116 | 0.00020      | agosto  | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | medio                      | 0.01250  | 0.00188 | 0.00020      | agosto  | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8045, lago san nicolas     | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8051, qa Gregoria baca     | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8052, qa Lazo              | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8053, qa gregoria baca     | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8054, poblado caychiwe     | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8055, cayciwe antes baca   | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8046, qa padilla           | 0.00020  | 0.00003 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8048, poblado huepetuhe    | 0.00020  | 0.00003 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8039, nueva alta           | 0.00030  | 0.00005 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8042, poblado 500 m        | 0.00030  | 0.00005 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8040 qa seca paso c        | 0.00050  | 0.00008 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8050, boca puquiri         | 0.00050  | 0.00008 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8049. poblado choque       | 0.00060  | 0.00009 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8037, Santa ines           | 0.00080  | 0.00012 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8044, qa buena fortuna     | 0.00110  | 0.00017 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8047, qa libertad          | 0.00200  | 0.00030 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Rio Inambari  | Puente Inambari            | 0.00001  | -       | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Rio Inambari  | Puerto Mazuko              | 0.00001  | -       | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Rio Inambari  | Sector Avispa              | 0.00001  | -       | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Rio Inambari  | Puerto Carlos              | 0.00001  | -       | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Rio Inambari  | Sarayacu                   | 0.00001  | -       | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8043, qa 9 de setiembre    | 0.00350  | 0.00053 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8041, qa santa elena       | 0.00430  | 0.00065 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8038, 4 amigos             | 0.00640  | 0.00096 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8035                       | 0.00770  | 0.00116 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8036, medio                | 0.01250  | 0.00188 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe     | 8034                       | 0.01330  | 0.00200 | 0.00020      | octubre | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Inambari      |                            | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Lazo          |                            | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Libertad      | 500 m arriba Sr. Huaquiste | 0.00200  | 0.00030 | 0.00020      | agosto  | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Libertad      |                            | 0.00200  | 0.00030 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | 7384                       | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios | 7385                       | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |

| Cuerpo de Agua | Tipo cuerpo | Nombre          | Sector                             | HgT prom | MeHg    | Desv. Stand. | Mes     | Año  | Fuente de Información |
|----------------|-------------|-----------------|------------------------------------|----------|---------|--------------|---------|------|-----------------------|
| Río            | Lótico      | Madre de Dios   | 7388                               | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios   | 7391                               | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios   | 8056                               | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios   | 8057                               | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios   | 8058                               | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios   | 8059                               | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios   | 8060                               | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Nueva Alta      | poblado                            | 0.00030  | 0.00005 | 0.00020      | agosto  | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Nueva Alta      |                                    | 0.00300  | 0.00045 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | O9 de Setiembre |                                    | 0.00350  | 0.00053 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Padilla         | frente campamento sr Adrián Paja   | 0.00020  | 0.00003 | 0.00020      | agosto  | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Padilla         |                                    | 0.00020  | 0.00003 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Pukiri          | 1km abajo boca Huepetuhe           | 0.00050  | 0.00008 | 0.00020      | agosto  | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Puquiri         |                                    | 0.00050  | 0.00008 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Lago           | Léntico     | San Nicolas     |                                    | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Seca            | paso carretera                     | 0.00050  | 0.00008 | 0.00020      | agosto  | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Quebrada       | Lótico      | Seca            |                                    | 0.00500  | 0.00075 | 0.00020      |         | 2005 | DIGESA, 2005          |
| Río            | Lótico      | Caychiwe        | acceso vehicular arriba Caychiwe   | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | marzo   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Caychiwe        | antes de la boca en el Inambari    | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | marzo   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe       | paso carretera frente aguajal      | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | marzo   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe       | frente Huepetuhe                   | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | marzo   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Pukiri          | 200 m arriba boca Huepetuhe        | 0.00008  | 0.00001 | 0.00020      | marzo   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Caychiwe        | Qa Seca, Concesión Sr. Adrián Paja | 0.00020  | 0.00003 | 0.00020      | marzo   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe       | campamento Sr. Bernaola            | 0.00020  | 0.00003 | 0.00020      | marzo   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Huepetuhe       | 500 m debajo población Choque      | 0.00040  | 0.00006 | 0.00020      | marzo   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Rio Tambopata   | Colpa Guacamayo                    | 0.00001  | -       | 0.00020      | febrero | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Rio Tambopata   | Boca Malinoswki                    | 0.00001  | -       | 0.00020      | febrero | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Rio Tambopata   | Comunidad La Torre                 | 0.00001  | -       | 0.00020      | febrero | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Rio Tambopata   | Comunidad Infierno                 | 0.00001  | -       | 0.00020      | febrero | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Rio Tambopata   | Comunidad Izuyama                  | 0.00001  | -       | 0.00020      | febrero | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Rio Tambopata   | Puerto Maldonado                   | 0.00001  | -       | 0.00020      | febrero | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Madre de Dios   |                                    | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Malinowski      |                                    | 0.00013  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Malinowski      | Balsa Daniel Zela                  | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      | enero   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Malinowski      | Balsa Ruben Dueña                  | 0.00015  | 0.00002 | 0.00020      | enero   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Pukiri          | 400 m abajo boca Huepetuhe         | 0.00020  | 0.00003 | 0.00020      | marzo   | 2006 | DIGESA, 2006          |
| Río            | Lótico      | Tambopata       |                                    | 0.00010  | 0.00002 | 0.00020      |         | 2006 | DIGESA, 2006          |

## Datos de entrada - Peces

| Procedencia                            | Nombre científico               | Familia          | Nombre común                   | [Hg]  | % MeHg | [MeHg] | Nivel trófico predominante | Nivel trófico | Año  | Fuente contaminación |
|--|---------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|--------|--------|----------------------------|---------------|------|----------------------|
| Manu                                   | <i>Paulicea sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre                          | 0.343 | 72.01  | 0.25   | Omnívoro                   | 3             | 1992 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Paulicea sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre                          | 0.28  | 66.43  | 0.19   | Omnívoro                   | 3             | 1992 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Paulicea sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre                          | 0.966 | 94.10  | 0.91   | Omnívoro                   | 3             | 1992 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Piaractus sp.</i>            | Characidae       | Paco                           | 0.034 | 85.29  | 0.03   | Omnívoro                   | 3             | 1992 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Serrasalmus rhombeus</i>     | Characidae       | Piraña blanca                  | 0.14  | 62.86  | 0.09   | Omnívoro                   | 3             | 1992 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Serrasalmus rhombeus</i>     | Characidae       | Piraña blanca                  | 0.039 | 66.67  | 0.03   | Omnívoro                   | 3             | 1992 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Serrasalmus rhombeus</i>     | Characidae       | Piraña blanca                  | 0.336 | 91.37  | 0.31   | Omnívoro                   | 3             | 1992 | Lejos                |
| Río Madre de Dios, aguas arriba de PEM | <i>Potamorhina altamazonica</i> | Characidae       | Yahuarachi o llambina          | 0.084 | 76.19  | 0.06   | Detritívoro                | 3             | 1992 | Lejos                |
| Río Madre de Dios, aguas arriba de PEM | <i>Potamorhina altamazonica</i> | Characidae       | Yahuarachi o llambina          | 0.102 | 69.61  | 0.07   | Detritívoro                | 3             | 1992 | Lejos                |
| Río Madre de Dios, aguas arriba de PEM | <i>Potamorhina altamazonica</i> | Characidae       | Yahuarachi o llambina          | 0.058 | 46.55  | 0.03   | Detritívoro                | 3             | 1992 | Lejos                |
| Puerto Maldonado                       | <i>Paulicea sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre                          | 1.008 | 76.39  | 0.77   | Omnívoro                   | 3             | 1992 | Lejos                |
| Puerto Maldonado                       | <i>Prochilodus caud.</i>        | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.125 | 76.80  | 0.10   | Detritívoro                | 3             | 1992 | Lejos                |
| Puerto Maldonado                       | <i>Prochilodus caud.</i>        | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.057 | 64.91  | 0.04   | Detritívoro                | 3             | 1992 | Lejos                |
| Puerto Maldonado                       | <i>Prochilodus caud.</i>        | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.209 | 66.99  | 0.14   | Detritívoro                | 3             | 1992 | Lejos                |
| Río Madre de Dios, aguas arriba de PEM | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>     | Pimelodidae      | Doncella, zúngaro o gran bagre | 0.681 | 96.92  | 0.66   | Piscívoro                  | 4             | 1992 | Lejos                |
| Río Madre de Dios, aguas arriba de PEM | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>     | Pimelodidae      | Doncella, zúngaro o gran bagre | 1.544 | 95.92  | 1.48   | Piscívoro                  | 4             | 1992 | Lejos                |
| Río Madre de Dios, aguas arriba de PEM | <i>Plagioscion auratus</i>      | Sciaenidae       | Corvina                        | 0.455 | 93.19  | 0.42   | Piscívoro                  | 4             | 1992 | Lejos                |
| Puerto Maldonado                       | <i>Cynodon sp.</i>              | Cynodontidae     | Chambira                       | 0.628 | 93.47  | 0.59   | Piscívoro                  | 4             | 1992 | Lejos                |
| Río Tambopata - La Torre               | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>     | Pimelodidae      | Doncella, zúngaro o gran bagre | 0.467 | 78.37  | 0.37   | Piscívoro                  | 4             | 1992 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Paulicea sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre                          | 0.221 | 81.90  | 0.18   | Omnívoro                   | 3             | 1993 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Paulicea sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre                          | 0.34  | 85.00  | 0.29   | Omnívoro                   | 3             | 1993 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Piaractus sp.</i>            | Characidae       | Paco                           | 0.035 | 82.86  | 0.03   | Omnívoro                   | 3             | 1993 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Serrasalmus rhombeus</i>     | Characidae       | Piraña blanca                  | 0.087 | 72.41  | 0.06   | Omnívoro                   | 3             | 1993 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Serrasalmus rhombeus</i>     | Characidae       | Piraña blanca                  | 0.093 | 79.57  | 0.07   | Omnívoro                   | 3             | 1993 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Paulicea sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre                          | 0.045 | 77.78  | 0.04   | Omnívoro                   | 3             | 1993 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Paulicea sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre                          | 0.05  | 84.00  | 0.04   | Omnívoro                   | 3             | 1993 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Paulicea sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre                          | 0.072 | 79.17  | 0.06   | Omnívoro                   | 3             | 1993 | Lejos                |
| Manu                                   | <i>Pimelodus sp.</i>            | Pimelodidae      | Bagre                          | 0.051 | 66.67  | 0.03   | Omnívoro                   | 3             | 1993 | Lejos                |



| Procedencia           | Nombre científico                 | Familia          | Nombre común                   | [Hg]    | % MeHg | [MeHg] | Nivel trófico predominante | Nivel trófico | Año  | Fuente contaminación |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------|--------------------------------|---------|--------|--------|----------------------------|---------------|------|----------------------|
| Manu                  | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>       | Pimelodidae      | Doncella, zúngaro o gran bagre | 0.086   | 79.07  | 0.07   | Piscívoro                  | 4             | 1993 | Lejos                |
| P. Maldonado          | <i>Prochilodus nigricans</i>      | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.055   | 68.30  | 0.04   | Detritívoro                | 3             | 1995 | Cerca                |
| Malinowski            | <i>Prochilodus nigricans</i>      | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.442   | 68.30  | 0.30   | Detritívoro                | 3             | 1995 | Cerca                |
| P. Maldonado          | <i>Prochilodus nigricans</i>      | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.024   | 68.30  | 0.02   | Detritívoro                | 3             | 1995 | Cerca                |
| P. Maldonado          | <i>Hypostomus sp.</i>             | Loricariidae     | Carachama                      | 0.013   | 68.30  | 0.01   | Detritívoro                | 3             | 1995 | Cerca                |
| Malinowski            | <i>Hypostomus sp.</i>             | Loricariidae     | Carachama                      | 0.2917  | 68.30  | 0.20   | Detritívoro                | 3             | 1995 | Cerca                |
| P. Maldonado          | <i>Briconops melanurus</i>        | Characidae       | Mojarrita                      | 0.029   | 79.17  | 0.02   | Omnívoro                   | 3             | 1995 | Cerca                |
| Malinowski            | <i>Triporthus emarginatus</i>     | Characidae       | Sapamama                       | 0.36    | 79.17  | 0.29   | Omnívoro                   | 3             | 1995 | Cerca                |
| Malinowski            | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae      | Doncella                       | 0.606   | 93.33  | 0.57   | Piscívoro                  | 4             | 1995 | Cerca                |
| Puerto Maldonado      | <i>Pseudoplatystoma spp.</i>      | Pimelodidae      | Doncella                       | 0.525   | 93.33  | 0.49   | Piscívoro                  | 4             | 1995 | Cerca                |
| P. Maldonado          | <i>Brachyplatystoma flavicans</i> | Pimelodidae      | Dorado                         | 0.699   | 93.33  | 0.65   | Piscívoro                  | 4             | 1995 | Cerca                |
| Malinowski            | <i>Hoplias malabaricus</i>        | Erythrinidae     | Fasaco                         | 0.38333 | 93.33  | 0.36   | Piscívoro                  | 4             | 1995 | Cerca                |
| Manu                  | <i>Hoplias malabaricus</i>        | Erythrinidae     | Fasaco                         | 0.05    | 93.33  | 0.05   | Piscívoro                  | 4             | 1995 | Lejos                |
| P. Maldonado          | <i>Hoplias malabaricus</i>        | Erythrinidae     | Fasaco                         | 0.044   | 93.33  | 0.04   | Piscívoro                  | 4             | 1995 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Prochilodus sp.</i>            | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.75    | 68.30  | 0.51   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Prochilodus sp.</i>            | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.61    | 68.30  | 0.42   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Prochilodus sp.</i>            | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.43    | 68.30  | 0.29   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Prochilodus sp.</i>            | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.21    | 68.30  | 0.14   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Prochilodus sp.</i>            | Prochilodontidae | Boquichico                     | 0.21    | 68.30  | 0.14   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pterygoplichthys spp.</i>      | Loricariidae     | Carachama                      | 0.4     | 68.30  | 0.27   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pterygoplichthys spp.</i>      | Loricariidae     | Carachama                      | 0.25    | 68.30  | 0.17   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pterygoplichthys spp.</i>      | Loricariidae     | Carachama                      | 0.47    | 68.30  | 0.32   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pterygoplichthys spp.</i>      | Loricariidae     | Carachama                      | 0.32    | 68.30  | 0.22   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pterygoplichthys spp.</i>      | Loricariidae     | Carachama                      | 0.18    | 68.30  | 0.12   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pterygoplichthys spp.</i>      | Loricariidae     | Carachama                      | 0.13    | 68.30  | 0.09   | Detritívoro                | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Triporthus sp.</i>             | Characidae       | Sapamama                       | 0.44    | 79.17  | 0.35   | Omnívoro                   | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Triporthus sp.</i>             | Characidae       | Sapamama                       | 0.35    | 79.17  | 0.28   | Omnívoro                   | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Triporthus sp.</i>             | Characidae       | Sapamama                       | 0.29    | 79.17  | 0.23   | Omnívoro                   | 3             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>       | Pimelodidae      | Doncella                       | 0.79    | 93.33  | 0.74   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>       | Pimelodidae      | Doncella                       | 0.55    | 93.33  | 0.51   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>       | Pimelodidae      | Doncella                       | 0.64    | 93.33  | 0.60   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>       | Pimelodidae      | Doncella                       | 0.89    | 93.33  | 0.83   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Pseudoplatystoma sp.</i>       | Pimelodidae      | Doncella                       | 0.16    | 93.33  | 0.15   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky | <i>Hoplias malabaricus</i>        | Erythrinidae     | Huasaco                        | 0.76    | 93.33  | 0.71   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |

| Procedencia                               | Nombre científico                | Familia          | Nombre común        | [Hg]  | % MeHg | [MeHg] | Nivel trófico predominante | Nivel trófico | Año  | Fuente contaminación |
|---|----------------------------------|------------------|---------------------|-------|--------|--------|----------------------------|---------------|------|----------------------|
|   | <i>bloch</i>                     |                  |                     |       |        |        |                            |               |      |                      |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.51  | 93.33  | 0.48   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.33  | 93.33  | 0.31   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.58  | 93.33  | 0.54   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.28  | 93.33  | 0.26   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.48  | 93.33  | 0.45   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.31  | 93.33  | 0.29   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.32  | 93.33  | 0.30   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.29  | 93.33  | 0.27   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.32  | 93.33  | 0.30   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.33  | 93.33  | 0.31   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cuenca río Malinowsky                     | <i>Hoplias malabaricus bloch</i> | Erythrinidae     | Huasaco             | 0.33  | 93.33  | 0.31   | Piscívoro                  | 4             | 2002 | Cerca                |
| Cruce río Madre de Dios y río Tambopata   | <i>Pimelodus sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre               | 0.75  | 72.41  | 0.54   | Omnívoro                   | 3             | 2007 | Cerca                |
| Río Madre de Dios, frente a Lago Sandoval | <i>Pimelodus sp.</i>             | Pimelodidae      | Bagre               | 1.13  | 72.41  | 0.82   | Omnívoro                   | 3             | 2007 | Cerca                |
| Río Madre de Dios, frente a Lago Sandoval | <i>Prochilodus sp.</i>           | Prochilodontidae | Boquichico          | 0.174 | 79.07  | 0.14   | Detritívoro                | 3             | 2007 | Cerca                |
| Río Madre de Dios, frente a Lago Sandoval | <i>Prochilodus sp.</i>           | Prochilodontidae | Boquichico          | 0.37  | 79.07  | 0.29   | Detritívoro                | 3             | 2007 | Cerca                |
| Río Madre de Dios, frente a Lago Sandoval | <i>Potamorhina altamazonica</i>  | Characidae       | Yahuarachi          | 0.74  | 79.07  | 0.59   | Detritívoro                | 3             | 2007 | Cerca                |
| Río Madre de Dios, frente a Lago Sandoval | <i>Potamorhina altamazonica</i>  | Characidae       | Yahuarachi          | 0.31  | 79.07  | 0.25   | Detritívoro                | 3             | 2007 | Cerca                |
| En el Lago Sandoval                       | <i>Pterygoplichthys sp</i>       | Loricariidae     | Shitari o carachama | 1.12  | 79.07  | 0.89   | Detritívoro                | 3             | 2007 | Lejos                |
| En el Lago Sandoval                       | <i>Pterygoplichthys sp</i>       | Loricariidae     | Shitari o carachama | 3.62  | 79.07  | 2.86   | Detritívoro                | 3             | 2007 | Lejos                |
| En el Lago Sandoval                       | <i>Pterygoplichthys sp</i>       | Loricariidae     | Shitari o carachama | 1.05  | 79.07  | 0.83   | Detritívoro                | 3             | 2007 | Lejos                |
| En el Lago Sandoval                       | <i>Pterygoplichthys sp</i>       | Loricariidae     | Shitari o carachama | 1.92  | 79.07  | 1.52   | Detritívoro                | 3             | 2007 | Lejos                |
| En el Lago Sandoval                       | <i>Pterygoplichthys sp</i>       | Loricariidae     | Shitari o carachama | 2.27  | 79.07  | 1.79   | Detritívoro                | 3             | 2007 | Lejos                |
| Cruce río Madre de Dios y río Tambopata   | <i>Cetopsis sp.</i>              | Cetopsidae       | Canero              | 3.92  | 79.57  | 3.12   | Piscívoro                  | 4             | 2007 | Cerca                |
| Río Madre de Dios, frente a Lago          | <i>Hypophthalmus sp.</i>         | Pimelodidae      | Maparate            | 1.83  | 79.57  | 1.46   | Piscívoro                  | 4             | 2007 | Cerca                |

| Procedencia                                  | Nombre científico               | Familia          | Nombre común       | [Hg]   | % MeHg | [MeHg] | Nivel trófico predominante | Nivel trófico | Año  | Fuente contaminación |
|--|---------------------------------|------------------|--------------------|--------|--------|--------|----------------------------|---------------|------|----------------------|
| Sandoval                                     |                                 |                  |                    |        |        |        |                            |               |      |                      |
| Río Madre de Dios, frente a Lago Sandoval    | <i>Cynodon sp.</i>              | Cynodontidae     | Chambira           | 1.53   | 79.57  | 1.22   | Piscívoro                  | 4             | 2007 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Prochilodus nigricans</i>    | Prochilodontidae | Boquichico         | 0.0364 | 68.30  | 0.02   | Detritívoro                | 3             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Potamorhina altamazonica</i> | Characidae       | Yahuarachi         | 0.0208 | 68.30  | 0.01   | Detritívoro                | 3             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Liposarcus spp.</i>          | Loricariidae     | Carachama          | 0.02   | 68.30  | 0.01   | Detritívoro                | 3             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Piaractus brachypomus</i>    | Serrasalminae    | Paco Piscigranja 1 | 0.0013 | 79.17  | 0.00   | Omnívoro                   | 3             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Piaractus brachypomus</i>    | Serrasalminae    | Paco Piscigranja 2 | 0.0346 | 79.17  | 0.03   | Omnívoro                   | 3             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 0.7    | 93.33  | 0.65   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 0.65   | 93.33  | 0.61   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 0.78   | 93.33  | 0.73   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 0.84   | 93.33  | 0.78   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 0.82   | 93.33  | 0.77   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 0.93   | 93.33  | 0.87   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 1.03   | 93.33  | 0.96   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 0.98   | 93.33  | 0.91   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 0.95   | 93.33  | 0.89   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 1.4    | 93.33  | 1.31   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 1.39   | 93.33  | 1.30   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 1.36   | 93.33  | 1.27   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 1.48   | 93.33  | 1.38   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 1.73   | 93.33  | 1.61   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Calophysus macropterus</i>   | Pimelodidae      | Mota punteada      | 1.88   | 93.33  | 1.75   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |

| Procedencia                                  | Nombre científico                 | Familia      | Nombre común | [Hg]   | % MeHg | [MeHg] | Nivel trófico predominante | Nivel trófico | Año  | Fuente contaminación |
|--|-----------------------------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|----------------------------|---------------|------|----------------------|
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Zungaro zungaro</i>            | Pimelodidae  | Zúngaro      | 0.65   | 93.33  | 0.61   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Zungaro zungaro</i>            | Pimelodidae  | Zúngaro      | 0.62   | 93.33  | 0.58   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Zungaro zungaro</i>            | Pimelodidae  | Zúngaro      | 0.825  | 93.33  | 0.77   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Hydrolycus pectoralis</i>      | Cynodontidae | Chambira     | 0.595  | 93.33  | 0.56   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Hydrolycus pectoralis</i>      | Cynodontidae | Chambira     | 0.585  | 93.33  | 0.55   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Hydrolycus pectoralis</i>      | Cynodontidae | Chambira     | 0.575  | 93.33  | 0.54   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae  | Doncella     | 0.49   | 93.33  | 0.46   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae  | Doncella     | 0.47   | 93.33  | 0.44   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae  | Doncella     | 0.42   | 93.33  | 0.39   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae  | Doncella     | 0.29   | 93.33  | 0.27   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae  | Doncella     | 0.28   | 93.33  | 0.26   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae  | Doncella     | 0.27   | 93.33  | 0.25   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae  | Doncella     | 0.236  | 93.33  | 0.22   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae  | Doncella     | 0.24   | 93.33  | 0.22   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Pimelodidae  | Doncella     | 0.19   | 93.33  | 0.18   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Plagioscion squamosissimus</i> | Sciaenidae   | Corvina      | 0.04   | 93.33  | 0.04   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Plagioscion squamosissimus</i> | Sciaenidae   | Corvina      | 0.024  | 93.33  | 0.02   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Plagioscion squamosissimus</i> | Sciaenidae   | Corvina      | 0.02   | 93.33  | 0.02   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Plagioscion squamosissimus</i> | Sciaenidae   | Corvina      | 0.16   | 93.33  | 0.15   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Plagioscion squamosissimus</i> | Sciaenidae   | Corvina      | 0.23   | 93.33  | 0.21   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>  | Pimelodidae  | Puma Zúngaro | 0.183  | 93.33  | 0.17   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |
| Mercado Puerto Maldonado (Río Madre de Dios) | <i>Pimelodella spp.</i>           | Pimelodidae  | Cunshi       | 0.1204 | 93.33  | 0.11   | Piscívoro                  | 4             | 2009 | Cerca                |

## Datos de entrada - Sedimentos

| Año  | HgT   | MeHg    | %C   |
|------|-------|---------|------|
| 1997 | 0.476 | 0.05712 | 0.68 |
| 1997 | 0.26  | 0.0312  | 0.06 |
| 1997 | 0.194 | 0.02328 | 0.09 |
| 1997 | 0.194 | 0.02328 | 0.03 |
| 1997 | 0.044 | 0.00528 | 0.15 |
| 1997 | 0.348 | 0.04176 | 0.22 |
| 1997 | 0.697 | 0.08364 | 1.83 |
| 1997 | 0.614 | 0.07368 | 0.28 |
| 1997 | 0.243 | 0.02916 | 0.09 |
| 1997 | 0.238 | 0.02856 | 0.9  |
| 1997 | 0.249 | 0.02988 | 0.46 |
| 2002 | 0.198 | 0.02376 | -    |
| 2002 | 0.165 | 0.0198  | -    |
| 2002 | 0.225 | 0.027   | -    |
| 2002 | 0.208 | 0.02496 | -    |
| 2002 | 0.168 | 0.02016 | -    |
| 2002 | 0.208 | 0.02496 | -    |
| 2002 | 0.303 | 0.03636 | -    |
| 2002 | 0.242 | 0.02904 | -    |
| 2002 | 0.23  | 0.0276  | -    |
| 2002 | 0.29  | 0.0348  | -    |
| 2007 | 1.57  | 0.1884  | 0.82 |
| 2007 | 4.36  | 0.5232  | 0.82 |
| 2007 | 0.92  | 0.1104  | 0.97 |
| 2007 | 0.93  | 0.1116  | 0.21 |
| 2007 | 6.3   | 0.756   | 0.84 |
| 2007 | 1.69  | 0.2028  | 0.63 |

| Año  | HgT  | MeHg   | %C   |
|------|------|--------|------|
| 2007 | 0.71 | 0.0852 | 0.02 |
| 2007 | 1.23 | 0.1476 | 0.15 |
| 2007 | 2.67 | 0.3204 | 0.04 |
| 2007 | 0.17 | 0.0204 | 0.69 |
| 2007 | 2.99 | 0.3588 | 0.34 |
| 2007 | 0.53 | 0.0636 | 0.31 |
| 2007 | 1.29 | 0.1548 | 0.37 |
| 2007 | 0.77 | 0.0924 | 1.3  |
| 2007 | 1.37 | 0.1644 | 1.1  |

\* Se asume 12% de metilmercurio.

### Datos de entrada – Heces de *Pteronura brasiliensis*

| Lugar de muestreo                     | HgT heces | MeHg   | HgT sedimentos |
|---------------------------------------|-----------|--------|----------------|
| Península lago Sandoval               | 0.25      | 0.03   | 2.99           |
| La Torre, en lago Sandoval            | 0.11      | 0.0132 | 0.53           |
| Madriguera temporal, en lago Sandoval | 2.35      | 0.282  | 1.29           |
| Letrina Cocococha                     | 0.15      | 0.018  | 0.77           |
| Madriguera Cocococha_1                | 0.89      | 0.1068 | 1.37           |
| Madriguera Cocococha_2                | 3.08      | 0.3696 | 1.37           |

### Datos resumidos HgT

| Nivel trófico, año | HgT (mg/Kg) Percentil 95 | Valor Probabilístico HgT (mg/Kg) | Distribución inicial |
|--------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------|
| NT 3, 1992         | 0.981                    | 0.383059                         | Pearson 5            |
| NT 4, 1992         | 1.371                    | 0.695                            | Exponencial          |
| NT 3, 1993         | 0.292                    | 0.102                            | Pearson 5            |

| Nivel trófico, año   | HgT (mg/Kg) Percentil 95 | Valor Probabilístico HgT (mg/Kg) | Distribución inicial              |                                     |
|--|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| NT 4, 1993   | 0.086                    | 0.086                            | Datos insuficientes               | Dato único                          |
| NT 3, 1995   | 0.417                    | 0.203                            | Inv. Gauss                        |                                     |
| NT 4, 1995   | 0.676                    | 0.402                            | Uniforme                          |                                     |
| NT 3, 2002   | 0.659                    | 0.358                            | Inv. Gauss                        |                                     |
| NT 4, 2002   | 0.810                    | 0.463                            | Weibull                           |                                     |
| NT 3, 2007   | 2.945                    | 1.128                            | Pearson 5                         |                                     |
| NT 4, 2007   | 3.711                    | 2.427                            | Datos insuficientes               | Promedio, porque sólo hay 3 datos.  |
| NT 3, 2009   | 0.036                    | 0.020                            | Normal                            |                                     |
| NT 4, 2009   | 1.530                    | 0.653                            | Inv. Gauss                        |                                     |
| NT 3, multianual   | 1.170                    | 0.452                            | Log normal                        |                                     |
| NT 4, multianual   | 1.656                    | 0.663                            | Pearson 5                         |                                     |
| Agua, 1995   | 0.034                    | 0.01400                          | Datos insuficientes               | Promedio, porque sólo hay 3 datos.  |
| Agua, 1996   | 0.002                    | 0.00200                          | Datos insuficientes               | Promedio, porque sólo hay 2 datos.  |
| Agua, 2000   | 0.0001                   | 0.00004                          | Normal                            |                                     |
| Agua, 2001   | 0.00002                  | 0.00002                          | No se puede ajustar distribución. | Promedio. Los 10 datos son iguales. |
| Agua, 2002   | 0.0001                   | 0.00008                          | Logística                         |                                     |
| Agua, 2005   | 0.009                    | 0.00031                          | Weibull                           |                                     |
| Agua, 2006   | 0.0003                   | 0.00010                          | Logística                         |                                     |
| Agua, multianual   | 0.007                    | 0.00499                          | Inv. Gauss                        |                                     |
| Sedimentos, 1997   | 0.656                    | 0.355                            | Log logística                     |                                     |
| Sedimentos, 2002   | 0.297                    | 0.229                            | Log logística                     |                                     |
| Sedimentos, 2007   | 4.942                    | 1.742                            | Log Logística                     |                                     |
| Sedimentos, multianual   | 3.333                    | 1.143                            | Pearson 5                         |                                     |
| Heces <i>Pteronura brasiliensis</i> , 2007                       | 2.898                    | 0.967                            | Exponencial                       |                                     |
| Sedimentos cercanos a heces <i>Pteronura brasiliensis</i> , 2007 | 2.585                    | 1.244                            | Log logística                     |                                     |
| Fracc. Carbono Orgánico, 1997                                    | 1.365                    | 0.399                            | Inv. Gauss                        |                                     |
| Fracc. Carbono Orgánico, 2007                                    | 1.160                    | 0.530                            | Normal                            |                                     |
| Fracc. Carbono Orgánico, multianual                              | 1.250                    | 0.515                            | Inv. Gauss                        |                                     |

## Dosis suministrada<sup>1</sup> y Riesgo de Cáncer – HgT

| Factores para el cálculo de la Ds vía ingesta de alimentos   | Peces nivel trófico 4 | Adultos            | Niños              | Bebés - Infantes   | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> | Distribución asumida |
|--|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| % de la dieta proveniente del nivel trófico 3: peces         | 100%                  | 0%                 | 0%                 | 0%                 | 80%                           | 80%                       |                      |
| % de la dieta proveniente del nivel trófico 4: peces         | 0%                    | 50%                | 50%                | 50%                | 20%                           | 20%                       |                      |
| % de la dieta proveniente de fuentes no acuáticas            | 0%                    | 50%                | 50%                | 50%                | 0%                            | 0%                        |                      |
| Tasa contacto (Kg/d)   | 0.15                  | 0.5                | 0.30               | 0.2                | 4.5                           | 7.48                      | Normal               |
| Frecuencia ingesta (días/año)                                | Diaria                | 3 veces por semana | 3 veces por semana | 3 veces por semana | Diaria                        | Diaria                    |                      |
| Frecuencia ingesta (días/año)                                | 365                   | 154.8              | 154.8              | 154.8              | 365                           | 365                       |                      |
| Duración de la exposición crónica o esperanza de vida (años) | 5                     | 65                 | 10                 | 2                  | 12                            | 15                        | Normal               |
| Masa (Kg)  | 5                     | 75                 | 32                 | 12                 | 32.5                          | 400                       | Normal               |
| Tiempo Pc (días)   | 1825                  | 23725              | 3650               | 730                | 4380                          | 5475                      |                      |

<sup>1</sup> Usando el percentil 95 de la concentración multianual de mercurio en agua.



| <b>DS o DDVP vía ingesta de alimentos</b>   | <b>Peces nivel trófico 4</b> | <b>Adultos</b> | <b>Niños</b> | <b>Bebés</b> | <b><i>Pteronura brasiliensis</i></b> | <b><i>Melanosuchus niger</i></b> |
|---|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 1992       | 0.0279                       | 0.0018         | 0.0026       | 0.0046       | 0.1393                               | 0.0188                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 1993       | 0.0083                       | 0.0001         | 0.0002       | 0.0003       | 0.0330                               | 0.0045                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 1995       | 0.0119                       | 0.0009         | 0.0013       | 0.0023       | 0.0617                               | 0.0083                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 2002       | 0.0188                       | 0.0011         | 0.0015       | 0.0027       | 0.0907                               | 0.0122                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 2007       | 0.0839                       | 0.0050         | 0.0070       | 0.0125       | 0.4075                               | 0.0550                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 2009       | 0.0010                       | 0.0021         | 0.0029       | 0.0051       | 0.0440                               | 0.0059                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, Multianual | 0.0333                       | 0.0022         | 0.0031       | 0.0056       | 0.1666                               | 0.0225                           |

| <b>DS o DDVP probabilística vía ingesta de alimentos</b> | <b>Peces nivel trófico 4</b> | <b>Adultos</b> | <b>Niños</b> | <b>Bebés</b> | <b><i>Pteronura brasiliensis</i></b> | <b><i>Melanosuchus niger</i></b> |
|--|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 1992                    | 0.0109                       | 0.0009         | 0.0013       | 0.0023       | 0.0586                               | 0.0079                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 1993                    | 0.0029                       | 0.0001         | 0.0002       | 0.0003       | 0.0130                               | 0.0018                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 1995                    | 0.0058                       | 0.0005         | 0.0008       | 0.0013       | 0.0319                               | 0.0043                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 2002                    | 0.0102                       | 0.0006         | 0.0009       | 0.0016       | 0.0499                               | 0.0067                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 2007                    | 0.0321                       | 0.0033         | 0.0046       | 0.0081       | 0.1825                               | 0.0246                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, 2009                    | 0.0006                       | 0.0009         | 0.0012       | 0.0022       | 0.0193                               | 0.0026                           |
| DS HgT vía ingesta de alimentos, Multianual              | 0.0129                       | 0.0009         | 0.0013       | 0.0022       | 0.0650                               | 0.0088                           |

| Factores para el cálculo de la Ds vía ingesta de agua | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños  | Bebés  | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> | Distribución asumida |
|---|-----------------------|---------|--------|--------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Tasa contacto con el agua (l/d)                       | 0.05                  | 2       | 0.9    | 0.74   | 8.6                           | 14.3                      | Normal               |
| Frecuencia ingesta (días/año)                         | Diaria                | Diaria  | Diaria | Diaria | Diaria                        | Diaria                    |                      |
| Frecuencia (días/año)                                 | 365                   | 365     | 365    | 365    | 365                           | 365                       |                      |
| Duración (años)                                       | 5                     | 65      | 10     | 2      | 12                            | 15                        | Normal               |
| Masa (Kg)   | 5                     | 75      | 32     | 12     | 32.5                          | 400                       | Normal               |
| Tiempo Pc (días)                                      | 1825                  | 23725   | 3650   | 730    | 4380                          | 5475                      |                      |

| DS o DDVP vía ingesta de agua          | Peces nivel trófico 4 | Adultos   | Niños     | Bebés     | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|--|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|---------------------------|
| DS HgT vía ingesta de agua, 1995       | 0.0003268             | 0.0008715 | 0.0009191 | 0.0020153 | 0.0086476                     | 0.0011683                 |
| DS HgT vía ingesta de agua, 1996       | 0.0000190             | 0.0000507 | 0.0000534 | 0.0001172 | 0.0005028                     | 0.0000679                 |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2000       | 0.0000005             | 0.0000013 | 0.0000013 | 0.0000029 | 0.0000126                     | 0.0000017                 |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2001       | 0.0000002             | 0.0000005 | 0.0000005 | 0.0000012 | 0.0000050                     | 0.0000007                 |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2002       | 0.0000007             | 0.0000018 | 0.0000019 | 0.0000041 | 0.0000176                     | 0.0000024                 |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2005       | 0.0000846             | 0.0002255 | 0.0002378 | 0.0005214 | 0.0022373                     | 0.0003023                 |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2006       | 0.0000028             | 0.0000073 | 0.0000077 | 0.0000170 | 0.0000729                     | 0.0000098                 |
| DS HgT vía ingesta de agua, Multianual | 0.0000633             | 0.0001687 | 0.0001779 | 0.0003902 | 0.0016742                     | 0.0002262                 |

| <b>DS o DDVP probabilística vía ingesta de agua</b> | <b>Peces nivel trófico 4</b> | <b>Adultos</b> | <b>Niños</b> | <b>Bebés</b> | <b><i>Pteronura brasiliensis</i></b> | <b><i>Melanosuchus niger</i></b> |
|---|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| DS HgT vía ingesta de agua, 1995                    | 0.000133                     | 0.000355       | 0.000374     | 0.000820     | 0.003519                             | 0.000475                         |
| DS HgT vía ingesta de agua, 1996                    | 0.000019                     | 0.000051       | 0.000053     | 0.000117     | 0.000503                             | 0.000068                         |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2000                    | 0.000000                     | 0.000001       | 0.000001     | 0.000002     | 0.000011                             | 0.000001                         |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2001                    | 0.000000                     | 0.000001       | 0.000001     | 0.000001     | 0.000005                             | 0.000001                         |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2002                    | 0.000001                     | 0.000002       | 0.000002     | 0.000005     | 0.000020                             | 0.000003                         |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2005                    | 0.000003                     | 0.000008       | 0.000008     | 0.000018     | 0.000077                             | 0.000010                         |
| DS HgT vía ingesta de agua, 2006                    | 0.000001                     | 0.000003       | 0.000003     | 0.000006     | 0.000025                             | 0.000003                         |
| DS HgT vía ingesta de agua, Multianual              | 0.000047                     | 0.000127       | 0.000133     | 0.000293     | 0.001255                             | 0.000170                         |

| <b>DS total o DDVP del HgT (mg Hg/Kg día)</b> | <b>Peces nivel trófico 4</b> | <b>Adultos</b> | <b>Niños</b> | <b>Bebés</b> | <b><i>Pteronura brasiliensis</i></b> | <b><i>Melanosuchus niger</i></b> |
|---|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| DS total o DDVP HgT 1992                      | 0.0280                       | 0.0020         | 0.0028       | 0.0050       | 0.1410                               | 0.0190                           |
| DS total o DDVP HgT 1993                      | 0.0084                       | 0.0003         | 0.0003       | 0.0007       | 0.0347                               | 0.0047                           |
| DS total o DDVP HgT 1995                      | 0.0120                       | 0.0011         | 0.0015       | 0.0027       | 0.0634                               | 0.0086                           |
| DS total o DDVP HgT 2002                      | 0.0188                       | 0.0013         | 0.0017       | 0.0031       | 0.0923                               | 0.0125                           |
| DS total o DDVP HgT 2007                      | 0.0840                       | 0.0052         | 0.0072       | 0.0128       | 0.4092                               | 0.0553                           |
| DS total o DDVP HgT 2009                      | 0.0011                       | 0.0022         | 0.0031       | 0.0055       | 0.0457                               | 0.0062                           |
| DS total o DDVP HgT multianual                | 0.0334                       | 0.0024         | 0.0033       | 0.0059       | 0.1683                               | 0.0227                           |

| DS total o DDVP probabilística del HgT (mg Hg/Kg día) | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños  | Bebés  | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|---|-----------------------|---------|--------|--------|-------------------------------|---------------------------|
| DS total o DDVP HgT 1992                              | 0.0110                | 0.0011  | 0.0014 | 0.0026 | 0.0598                        | 0.0081                    |
| DS total o DDVP HgT 1993                              | 0.0030                | 0.0002  | 0.0003 | 0.0006 | 0.0143                        | 0.0019                    |
| DS total o DDVP HgT 1995                              | 0.0058                | 0.0007  | 0.0009 | 0.0016 | 0.0332                        | 0.0045                    |
| DS total o DDVP HgT 2002                              | 0.0103                | 0.0007  | 0.0010 | 0.0018 | 0.0511                        | 0.0069                    |
| DS total o DDVP HgT 2007                              | 0.0322                | 0.0034  | 0.0047 | 0.0084 | 0.1838                        | 0.0248                    |
| DS total o DDVP HgT 2009                              | 0.0006                | 0.0010  | 0.0014 | 0.0025 | 0.0205                        | 0.0028                    |
| DS total o DDVP HgT multianual                        | 0.0129                | 0.0010  | 0.0014 | 0.0025 | 0.0663                        | 0.0090                    |

### Factores de bioacumulación y biomagnificación - HgT

| Bioacumulación y biomagnificación | BAF HgT Peces nivel trófico 3 | BAF HgT Peces nivel trófico 4 | BMF HgT Peces nivel trófico 4 |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1992                              | 147.3                         | 205.9                         | 1.4                           |
| 1993                              | 43.9                          | 12.9                          | 0.3                           |
| 1995                              | 62.7                          | 101.5                         | 1.6                           |
| 2002                              | 98.9                          | 121.6                         | 1.2                           |
| 2007                              | 442.2                         | 557.2                         | 1.3                           |
| 2009                              | 5.4                           | 0.1                           | 0.0                           |
| Multianual                        | 175.6                         | 248.6                         | 1.4                           |

| Bioacumulación y biomagnificación probabilística | BAF HgT Peces nivel trófico 3 | BAF HgT Peces nivel trófico 4 | BMF HgT Peces nivel trófico 4 |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1992   | 76.7                          | 139.2                         | 1.8                           |
| 1993   | 20.4                          | 17.2                          | 0.8                           |
| 1995   | 40.7                          | 80.4                          | 2.0                           |
| 2002   | 71.7                          | 92.7                          | 1.3                           |
| 2007   | 225.8                         | 485.9                         | 2.2                           |
| 2009   | 4.0                           | 130.7                         | 32.6                          |
| Multianual                                       | 90.6                          | 132.8                         | 1.5                           |

### Factores de bioacumulación biota sedimentos (y heces) - HgT

| BSAF   | Peces grasos NT 3 | Peces semigrasos NT 3 | Peces magros NT 3 | Peces grasos NT 4 | Peces semigrasos NT 4 | Peces magros NT 4 | BSAF heces <i>Pteronura brasiliensis</i> |
|--|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|--|
| BSAF HgT (Biota 1992 vs Sedimentos 1997)             | 20.42             | 6.81                  | 1.36              | 28.56             | 9.52                  | 1.90              | -  |
| BSAF HgT (Biota 1993 vs Sedimentos 1997)             | 6.09              | 2.03                  | 0.41              | 1.79              | 0.60                  | 0.12              | -  |
| BSAF HgT (Biota 1995 vs Sedimentos 1997)             | 8.69              | 2.90                  | 0.58              | 14.07             | 4.69                  | 0.94              | -  |
| BSAF HgT (Biota 2002 vs Sedimentos 2002, CO 2007)    | 25.73             | 8.58                  | 1.72              | 31.62             | 10.54                 | 2.11              | -  |
| BSAF HgT (Biota 2007 vs Sedimentos 2007)             | 6.91              | 2.30                  | 0.46              | 8.71              | 2.90                  | 0.58              | 6.50                                     |
| BSAF HgT (Biota 2009 vs Sedimentos multianual)       | 0.14              | 0.05                  | 0.01              | 5.74              | 1.91                  | 0.38              | -  |
| BSAF HgT (Biota multianual vs Sedimentos multianual) | 4.39              | 1.46                  | 0.29              | 6.21              | 2.07                  | 0.41              | -  |

| BSAF probabilística                                  | Peces grasos NT 3 | Peces semigrasos NT 3 | Peces magros NT 3 | Peces grasos NT 4 | Peces semigrasos NT 4 | Peces magros NT 4 | BSAF heces <i>Pteronura brasiliensis</i> |
|--|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|--|
| BSAF HgT (Biota 1992 vs Sedimentos 1997)             | 4.30              | 1.43                  | 0.29              | 7.81              | 2.60                  | 0.52              | -  |
| BSAF HgT (Biota 1993 vs Sedimentos 1997)             | 1.15              | 0.38                  | 0.08              | 0.97              | 0.32                  | 0.06              | -  |
| BSAF HgT (Biota 1995 vs Sedimentos 1997)             | 2.28              | 0.76                  | 0.15              | 4.51              | 1.50                  | 0.30              | -  |
| BSAF HgT (Biota 2002 vs Sedimentos 2002, CO 2007)    | 8.27              | 2.76                  | 0.55              | 10.69             | 3.56                  | 0.71              | -  |
| BSAF HgT (Biota 2007 vs Sedimentos 2007)             | 3.43              | 1.14                  | 0.23              | 7.38              | 2.46                  | 0.49              | 2.06                                     |
| BSAF HgT (Biota 2009 vs Sedimentos multianual)       | 0.09              | 0.03                  | 0.01              | 2.94              | 0.98                  | 0.20              | -  |
| BSAF HgT (Biota multianual vs Sedimentos multianual) | 2.04              | 0.68                  | 0.14              | 2.99              | 1.00                  | 0.20              | -  |

Usando los siguientes factores para el cálculo del BSAF.

| Tipo de biota                       | Rango de fracción lipídica | Fracción lipídica referencial | Distribución asumida | Valor probabilístico |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| Peces grasos                        | 0.05 - 0.25                | 0.10000                       | Normal               | 0.10000              |
| Peces semigrasos                    | 0.02 - 0.05                | 0.30000                       | Normal               | 0.30000              |
| Peces magros                        | 0.002 - 0.02               | 1.50000                       | Normal               | 1.50000              |
| Heces <i>Pteronura brasiliensis</i> | -                          | 0.20000                       | Normal               | 0.20000              |

## Cociente de riesgo (HQ) - HgT

|  | LOAEL mortalidad<br>embriones. Yates et al.<br>2004 | Valor seguro USEPA,<br>1997 | Valor seguro USEPA,<br>1997 | Valor seguro USEPA,<br>1997 | Nichols et al., 1999          | Nichols et al., 1999      |
|--|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| HQ del HgT                             | Peces nivel trófico 4                               | Adultos                     | Niños                       | Bebés                       | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
| TRV (valor de referencia de toxicidad) | 0.070   | 0.500                       | 0.500                       | 0.500                       | 0.055                         | 0.055                     |
| HQ HgT 1992                            | 0.400   | 0.004                       | 0.006                       | 0.010                       | 2.563                         | 0.346                     |
| HQ HgT 1993                            | 0.120   | 0.001                       | 0.001                       | 0.001                       | 0.631                         | 0.085                     |
| HQ HgT 1995                            | 0.171   | 0.002                       | 0.003                       | 0.005                       | 1.152                         | 0.156                     |
| HQ HgT 2002                            | 0.269   | 0.003                       | 0.003                       | 0.006                       | 1.679                         | 0.227                     |
| HQ HgT 2007                            | 1.200   | 0.010                       | 0.014                       | 0.026                       | 7.440                         | 1.005                     |
| HQ HgT 2009                            | 0.016   | 0.004                       | 0.006                       | 0.011                       | 0.831                         | 0.112                     |
| HQ HgT multianual                      | 0.477   | 0.005                       | 0.007                       | 0.012                       | 3.060                         | 0.413                     |

| HQ probabilística del HgT              | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños | Bebés | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|--|-----------------------|---------|-------|-------|-------------------------------|---------------------------|
| TRV (valor de referencia de toxicidad) | 0.070                 | 0.500   | 0.500 | 0.500 | 0.055                         | 0.055                     |
| HQ HgT 1992                            | 0.157                 | 0.002   | 0.003 | 0.005 | 1.088                         | 0.147                     |
| HQ HgT 1993                            | 0.042                 | 0.000   | 0.001 | 0.001 | 0.259                         | 0.035                     |
| HQ HgT 1995                            | 0.083                 | 0.001   | 0.002 | 0.003 | 0.604                         | 0.082                     |
| HQ HgT 2002                            | 0.146                 | 0.001   | 0.002 | 0.004 | 0.929                         | 0.126                     |
| HQ HgT 2007                            | 0.460                 | 0.007   | 0.009 | 0.017 | 3.341                         | 0.451                     |
| HQ HgT 2009                            | 0.009                 | 0.002   | 0.003 | 0.005 | 0.373                         | 0.050                     |
| HQ HgT multianual                      | 0.185                 | 0.002   | 0.003 | 0.005 | 1.205                         | 0.163                     |

## Valor criterio de protección - HgT

| WCV o Valor Criterio de Protección | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños   | Bebés   | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|------------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|-------------------------------|---------------------------|
| WCV HgT 1992                       | 0.00026               | 0.01191 | 0.00514 | 0.00193 | 0.00119                       | 0.01411                   |
| WCV HgT 1993                       | 0.00088               | 0.14782 | 0.07250 | 0.02779 | 0.00429                       | 0.04700                   |
| WCV HgT 1995                       | 0.00062               | 0.02370 | 0.01033 | 0.00389 | 0.00251                       | 0.02885                   |
| WCV HgT 2002                       | 0.00039               | 0.01990 | 0.00864 | 0.00325 | 0.00177                       | 0.02075                   |
| WCV HgT 2007                       | 0.00009               | 0.00445 | 0.00191 | 0.00072 | 0.00042                       | 0.00510                   |
| WCV HgT 2009                       | 0.00712               | 0.61520 | 0.57232 | 0.25911 | 0.01535                       | 0.13113                   |
| WCV HgT Multianual                 | 0.00022               | 0.00990 | 0.00426 | 0.00160 | 0.00100                       | 0.01195                   |

| WCV o Valor Criterio de Protección Probabilístico | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños   | Bebés   | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|---|-----------------------|---------|---------|---------|-------------------------------|---------------------------|
| WCV HgT 1992                                      | 0.00051               | 0.01746 | 0.00757 | 0.00284 | 0.00203                       | 0.02362                   |
| WCV HgT 1993                                      | 0.00190               | 0.11781 | 0.05608 | 0.02139 | 0.00699                       | 0.07170                   |
| WCV HgT 1995                                      | 0.00095               | 0.02961 | 0.01297 | 0.00488 | 0.00347                       | 0.03884                   |
| WCV HgT 2002                                      | 0.00054               | 0.02585 | 0.01129 | 0.00425 | 0.00235                       | 0.02710                   |
| WCV HgT 2007                                      | 0.00017               | 0.00510 | 0.00219 | 0.00082 | 0.00069                       | 0.00837                   |
| WCV HgT 2009                                      | 0.00959               | 0.01856 | 0.00805 | 0.00303 | 0.00523                       | 0.05601                   |
| WCV HgT Multianual                                | 0.00043               | 0.01828 | 0.00793 | 0.00298 | 0.00185                       | 0.02157                   |

\*\* Usando los siguientes factores de incertidumbre para el WCV:

|                           | <b>Peces nivel trófico 4</b> | <b>Adultos</b> | <b>Niños</b> | <b>Bebés</b> | <b><i>Pteronura brasiliensis</i></b> | <b><i>Melanosuchus niger</i></b> |
|---------------------------|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Factor de incertidumbre A | 3                            | 10             | 10           | 10           | 3                                    | 3                                |
| Factor de incertidumbre S | 3                            | 3              | 3            | 3            | 3                                    | 3                                |
| Factor de incertidumbre L | 1                            | 1              | 1            | 1            | 1                                    | 1                                |

1 significa resultados pocos sensibles, 10 significa muy sensibles y 3 significa extrapolación entre taxones diferentes, según GLWQI (U.S. Environmental Protection Agency, 1995b).

3, debido a que se está utilizando datos de TD que corresponden a estudios de exposiciones subcrónicas (en menos de una generación), para extrapolar exposiciones crónicas (en más de tres generaciones).

1 porque no se está utilizando el LOAEL para extrapolar el NOAEL, sino que se está utilizando datos de NOAEL de estudios previos.

## Datos resumidos MeHg

| <b>Nivel trófico, año</b> | <b>MeHg (mg/Kg) Percentil 95</b> | <b>Valor Probabilístico MeHg (Mg/Kg)</b> | <b>Distribución</b> |
|---------------------------|----------------------------------|--|---------------------|
| NT 3, 1992                | 0.819                            | 0.153980                                 | Pearson 5           |
| NT 4, 1992                | 1.317                            | 0.636                                    | Inv. Gauss          |
| NT 3, 1993                | 0.246                            | 0.089                                    | Pearson 5           |
| NT 4, 1993                | 0.068                            | 0.068                                    | Datos insuficientes |
| NT 3, 1995                | 0.297                            | 0.143                                    | Inv. Gauss          |
| NT 4, 1995                | 0.631                            | 0.375                                    | Uniforme            |
| NT 3, 2002                | 0.450                            | 0.254                                    | Ext. Value          |
| NT 4, 2002                | 0.756                            | 0.432                                    | Weibull             |
| NT 3, 2007                | 2.329                            | 0.881                                    | Pearson 5           |

Dato único



| Nivel trófico, año                  | MeHg (mg/Kg)<br>Percentil 95 | Valor Probabilístico<br>MeHg (Mg/Kg) | Distribución                      |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| NT 4, 2007                          | 2.953                        | 1.931                                | Datos insuficientes               | Promedio, porque sólo hay 3 datos. |
| NT 3, 2009                          | 0.027                        | 0.015                                | Normal                            |                                    |
| NT 4, 2009                          | 1.428                        | 0.609                                | Inv. Gauss                        |                                    |
| NT 3, multianual                    | 0.939                        | 0.784                                | Log normal                        |                                    |
| NT 4, multianual                    | 1.471                        | 0.608                                | Pearson 5                         |                                    |
| Agua, 1995                          | 0.005                        | 0.00210                              | Datos insuficientes               | Promedio, porque sólo hay 3 datos. |
| Agua , 1996                         | 0.000                        | 0.00030                              | Datos insuficientes               | Promedio, porque sólo hay 2 datos. |
| Agua, 2000                          | 0.0001                       | 0.00001                              | Normal                            |                                    |
| Agua, 2001                          | 0.00000                      | 0.00000                              | No se puede ajustar distribución. | Los 10 datos son iguales.          |
| Agua, 2002                          | 0.0000                       | 0.00001                              | Log Logística                     |                                    |
| Agua, 2005                          | 0.001                        | 0.00005                              | Pearson 5                         |                                    |
| Agua, 2006                          | 0.0000                       | 0.00001                              | Logística                         |                                    |
| Agua, multianual                    | 0.001                        | 0.00075                              | Inv. Gauss                        |                                    |
| Sedimentos, 1997                    | 0.079                        | 0.043                                | Log Logística                     |                                    |
| Sedimentos, 2002                    | 0.036                        | 0.028                                | Log Logística                     |                                    |
| Sedimentos, 2007                    | 0.593                        | 0.209                                | Log Logística                     |                                    |
| Sedimentos, multianual              | 0.400                        | 0.137                                | Pearson 5                         |                                    |
| Fracc. Carbono Orgánico, 1997       | 1.365                        | 0.399                                | Inv. Gauss                        |                                    |
| Fracc. Carbono Orgánico, 2007       | 1.160                        | 0.530                                | Normal                            |                                    |
| Fracc. Carbono Orgánico, multianual | 1.250                        | 0.515                                | Inv. Gauss                        |                                    |

## Dosis suministrada<sup>2</sup> y Riesgo de Cáncer – MeHg

| Factores para el cálculo de la Ds vía ingesta de alimentos   | Peces nivel trófico 4 | Adultos            | Niños              | Bebés - Infantes   | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> | Distribución asumida |
|--|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| % de la dieta proveniente del nivel trófico 3: peces         | 100%                  | 0%                 | 0%                 | 0%                 | 80%                           | 80%                       |                      |
| % de la dieta proveniente del nivel trófico 4: peces         | 0%                    | 50%                | 50%                | 50%                | 20%                           | 20%                       |                      |
| % de la dieta proveniente de fuentes no acuáticas            | 0%                    | 50%                | 50%                | 50%                | 0%                            | 0%                        |                      |
| Tasa contacto (Kg/d)   | 0.15                  | 0.5                | 0.30               | 0.2                | 4.5                           | 7.48                      | Normal               |
| Frecuencia ingesta (días/año)                                | Diaria                | 3 veces por semana | 3 veces por semana | 3 veces por semana | Diaria                        | Diaria                    |                      |
| Frecuencia ingesta (días/año)                                | 365                   | 154.8              | 154.8              | 154.8              | 365                           | 365                       |                      |
| Duración de la exposición crónica o esperanza de vida (años) | 5                     | 65                 | 10                 | 2                  | 12                            | 15                        | Normal               |
| Masa (Kg)  | 5                     | 75                 | 32                 | 12                 | 32.5                          | 400                       | Normal               |
| Tiempo Pc (días)   | 1825                  | 23725              | 3650               | 730                | 4380                          | 5475                      |                      |

| DS o DDVP vía ingesta de alimentos           | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños  | Bebés  | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|--|-----------------------|---------|--------|--------|-------------------------------|---------------------------|
| 1992, DS MeHg vía ingesta de alimentos       | 0.0233                | 0.0018  | 0.0025 | 0.0044 | 0.1208                        | 0.0163                    |
| 1993, DS MeHg vía ingesta de alimentos       | 0.0070                | 0.0001  | 0.0001 | 0.0002 | 0.0277                        | 0.0037                    |
| 1995, DS MeHg vía ingesta de alimentos       | 0.0085                | 0.0008  | 0.0012 | 0.0021 | 0.0478                        | 0.0065                    |
| 2002, DS MeHg vía ingesta de alimentos       | 0.0128                | 0.0010  | 0.0014 | 0.0025 | 0.0673                        | 0.0091                    |
| 2007, DS MeHg vía ingesta de alimentos       | 0.0664                | 0.0040  | 0.0056 | 0.0099 | 0.3227                        | 0.0436                    |
| 2009, DS MeHg vía ingesta de alimentos       | 0.0008                | 0.0019  | 0.0027 | 0.0048 | 0.0404                        | 0.0055                    |
| Multianual, DS MeHg vía ingesta de alimentos | 0.0268                | 0.0020  | 0.0028 | 0.0049 | 0.1376                        | 0.0186                    |

<sup>2</sup> Usando el percentil 95 de la concentración multianual de mercurio en agua.

| DS o DDVP probabilística vía ingesta de alimentos | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños  | Bebés  | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|---|-----------------------|---------|--------|--------|-------------------------------|---------------------------|
| 1992, DS MeHg vía ingesta de alimentos            | 0.0044                | 0.0009  | 0.0012 | 0.0021 | 0.0329                        | 0.0044                    |
| 1993, DS MeHg vía ingesta de alimentos            | 0.0025                | 0.0001  | 0.0001 | 0.0002 | 0.0112                        | 0.0015                    |
| 1995, DS MeHg vía ingesta de alimentos            | 0.0041                | 0.0005  | 0.0007 | 0.0013 | 0.0249                        | 0.0034                    |
| 2002, DS MeHg vía ingesta de alimentos            | 0.0072                | 0.0006  | 0.0008 | 0.0015 | 0.0381                        | 0.0051                    |
| 2007, DS MeHg vía ingesta de alimentos            | 0.0251                | 0.0026  | 0.0036 | 0.0065 | 0.1435                        | 0.0194                    |
| 2009, DS MeHg vía ingesta de alimentos            | 0.0004                | 0.0008  | 0.0012 | 0.0020 | 0.0176                        | 0.0024                    |
| Multianual, DS MeHg vía ingesta de alimentos      | 0.0223                | 0.0008  | 0.0011 | 0.0020 | 0.0984                        | 0.0133                    |

| Factores para el cálculo de la Ds vía ingesta de agua | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños  | Bebés  | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> | Distribución asumida |
|---|-----------------------|---------|--------|--------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Tasa contacto con el agua (l/d)                       | 0.05                  | 2       | 0.9    | 0.74   | 8.6                           | 14.3                      | Normal               |
| Frecuencia ingesta (días/año)                         | Diaria                | Diaria  | Diaria | Diaria | Diaria                        | Diaria                    |                      |
| Frecuencia (días/año)                                 | 365                   | 365     | 365    | 365    | 365                           | 365                       |                      |
| Duración (años)                                       | 5                     | 65      | 10     | 2      | 12                            | 15                        | Normal               |
| Masa (Kg)   | 5                     | 75      | 32     | 12     | 32.5                          | 400                       | Normal               |
| Tiempo Pc (días)                                      | 1825                  | 23725   | 3650   | 730    | 4380                          | 5475                      |                      |

| <b>DS o DDVP vía ingesta de agua</b>    | <b>Peces nivel trófico 4</b> | <b>Adultos</b> | <b>Niños</b> | <b>Bebés</b> | <b><i>Pteronura brasiliensis</i></b> | <b><i>Melanosuchus niger</i></b> |
|---|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1995, DS MeHg vía ingesta de agua       | 0.0000490                    | 0.0001307      | 0.0001379    | 0.0003023    | 0.0012971                            | 0.0001752                        |
| 1996, DS MeHg vía ingesta de agua       | 0.0000029                    | 0.0000076      | 0.0000080    | 0.0000176    | 0.0000754                            | 0.0000102                        |
| 2000, DS MeHg vía ingesta de agua       | 0.0000010                    | 0.0000028      | 0.0000029    | 0.0000064    | 0.0000274                            | 0.0000037                        |
| 2001, DS MeHg vía ingesta de agua       | 0.0000000                    | 0.0000001      | 0.0000001    | 0.0000002    | 0.0000008                            | 0.0000001                        |
| 2002, DS MeHg vía ingesta de agua       | 0.0000002                    | 0.0000005      | 0.0000005    | 0.0000010    | 0.0000045                            | 0.0000006                        |
| 2005, DS MeHg vía ingesta de agua       | 0.0000141                    | 0.0000375      | 0.0000395    | 0.0000866    | 0.0003718                            | 0.0000502                        |
| 2006, DS MeHg vía ingesta de agua       | 0.0000003                    | 0.0000008      | 0.0000008    | 0.0000018    | 0.0000079                            | 0.0000011                        |
| Multianual, DS MeHg vía ingesta de agua | 0.0000091                    | 0.0000243      | 0.0000257    | 0.0000562    | 0.0002413                            | 0.0000326                        |

| <b>DS o DDVP probabilística vía ingesta de agua</b> | <b>Peces nivel trófico 4</b> | <b>Adultos</b> | <b>Niños</b> | <b>Bebés</b> | <b><i>Pteronura brasiliensis</i></b> | <b><i>Melanosuchus niger</i></b> |
|---|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1995, DS MeHg vía ingesta de agua                   | 0.000020                     | 0.000053       | 0.000056     | 0.000123     | 0.000528                             | 0.000071                         |
| 1996, DS MeHg vía ingesta de agua                   | 0.000003                     | 0.000008       | 0.000008     | 0.000018     | 0.000075                             | 0.000010                         |
| 2000, DS MeHg vía ingesta de agua                   | 0.000000                     | 0.000000       | 0.000000     | 0.000000     | 0.000002                             | 0.000000                         |
| 2001, DS MeHg vía ingesta de agua                   | 0.000000                     | 0.000000       | 0.000000     | 0.000000     | 0.000001                             | 0.000000                         |
| 2002, DS MeHg vía ingesta de agua                   | 0.000000                     | 0.000000       | 0.000000     | 0.000001     | 0.000003                             | 0.000000                         |
| 2005, DS MeHg vía ingesta de agua                   | 0.000000                     | 0.000001       | 0.000001     | 0.000003     | 0.000012                             | 0.000002                         |
| 2006, DS MeHg vía ingesta de agua                   | 0.000000                     | 0.000000       | 0.000000     | 0.000001     | 0.000004                             | 0.000001                         |
| Multianual, DS MeHg vía ingesta de agua             | 0.000007                     | 0.000019       | 0.000020     | 0.000044     | 0.000189                             | 0.000025                         |

| <b>DS total o DDVP del MeHg (mg Hg/Kg día)</b> | <b>Peces nivel trófico 4</b> | <b>Adultos</b> | <b>Niños</b> | <b>Bebés</b> | <b><i>Pteronura brasiliensis</i></b> | <b><i>Melanosuchus niger</i></b> |
|--|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1992, DS total o DDVP MeHg                     | 0.0233                       | 0.0018         | 0.0025       | 0.0045       | 0.1210                               | 0.0163                           |
| 1993, DS total o DDVP MeHg                     | 0.0070                       | 0.0001         | 0.0002       | 0.0003       | 0.0279                               | 0.0038                           |
| 1995, DS total o DDVP MeHg                     | 0.0085                       | 0.0009         | 0.0012       | 0.0022       | 0.0481                               | 0.0065                           |
| 2002, DS total o DDVP MeHg                     | 0.0128                       | 0.0010         | 0.0015       | 0.0026       | 0.0675                               | 0.0091                           |
| 2007, DS total o DDVP MeHg                     | 0.0664                       | 0.0040         | 0.0056       | 0.0100       | 0.3230                               | 0.0436                           |
| 2009, DS total o DDVP MeHg                     | 0.0008                       | 0.0019         | 0.0027       | 0.0049       | 0.0406                               | 0.0055                           |
| Multianual, DS total o DDVP MeHg               | 0.0268                       | 0.0020         | 0.0028       | 0.0050       | 0.1378                               | 0.0186                           |

| <b>DS total o DDVP probabilística del MeHg (mg Hg/Kg día)</b> | <b>Peces nivel trófico 4</b> | <b>Adultos</b> | <b>Niños</b> | <b>Bebés</b> | <b><i>Pteronura brasiliensis</i></b> | <b><i>Melanosuchus niger</i></b> |
|---|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1992, DS total o DDVP MeHg                                    | 0.0044                       | 0.0009         | 0.0012       | 0.0022       | 0.0331                               | 0.0045                           |
| 1993, DS total o DDVP MeHg                                    | 0.0026                       | 0.0001         | 0.0001       | 0.0003       | 0.0114                               | 0.0015                           |
| 1995, DS total o DDVP MeHg                                    | 0.0041                       | 0.0005         | 0.0007       | 0.0013       | 0.0251                               | 0.0034                           |
| 2002, DS total o DDVP MeHg                                    | 0.0072                       | 0.0006         | 0.0008       | 0.0015       | 0.0383                               | 0.0052                           |
| 2007, DS total o DDVP MeHg                                    | 0.0251                       | 0.0026         | 0.0037       | 0.0065       | 0.1437                               | 0.0194                           |
| 2009, DS total o DDVP MeHg                                    | 0.0004                       | 0.0008         | 0.0012       | 0.0021       | 0.0178                               | 0.0024                           |
| Multianual, DS total o DDVP MeHg                              | 0.0223                       | 0.0008         | 0.0012       | 0.0021       | 0.0986                               | 0.0133                           |

## Factores de bioacumulación y biomagnificación - MeHg

| Bioacumulación y biomagnificación | BAF MeHg Peces nivel trófico 3 | BAF MeHg Peces nivel trófico 4 | BMF MeHg Peces nivel trófico 4 |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1992                              | 852.8                          | 1371.7                         | 1.6                            |
| 1993                              | 256.0                          | 70.8                           | 0.3                            |
| 1995                              | 309.2                          | 657.0                          | 2.1                            |
| 2002                              | 468.9                          | 787.5                          | 1.7                            |
| 2007                              | 2425.6                         | 3075.9                         | 1.3                            |
| 2009                              | 28.0                           | 0.1                            | 0.0                            |
| Multianual                        | 978.6                          | 1532.3                         | 1.6                            |

| Bioacumulación y biomagnificación probabilística | BAF MeHg Peces nivel trófico 3 | BAF MeHg Peces nivel trófico 4 | BMF MeHg Peces nivel trófico 4 |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1992   | 205.3                          | 848.2                          | 4.1                            |
| 1993   | 119.1                          | 90.7                           | 0.8                            |
| 1995   | 190.6                          | 499.9                          | 2.6                            |
| 2002   | 338.7                          | 576.1                          | 1.7                            |
| 2007   | 1175.2                         | 2574.7                         | 2.2                            |
| 2009   | 19.7                           | 812.2                          | 41.2                           |
| Multianual                                       | 1044.9                         | 810.3                          | 0.8                            |

### Factores de bioacumulación biota sedimentos (y heces) – MeHg

| BSAF  | Peces grasos NT 3 | Peces semigrasos NT 3 | Peces magros NT 3 | Peces grasos NT 4 | Peces semigrasos NT 4 | Peces magros NT 4 |
|---|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| BSAF MeHg (Biota 1992 vs Sedimentos 1997)             | 142.06            | 47.35                 | 9.47              | 228.51            | 76.17                 | 15.23             |
| BSAF MeHg (Biota 1993 vs Sedimentos 1997)             | 42.65             | 14.22                 | 2.84              | 11.80             | 3.93                  | 0.79              |
| BSAF MeHg (Biota 1995 vs Sedimentos 1997)             | 51.51             | 17.17                 | 3.43              | 109.44            | 36.48                 | 7.30              |
| BSAF MeHg (Biota 2002 vs Sedimentos 2002, CO 2007)    | 146.42            | 48.81                 | 9.76              | 245.93            | 81.98                 | 16.40             |
| BSAF MeHg (Biota 2007 vs Sedimentos 2007)             | 45.55             | 15.18                 | 3.04              | 57.76             | 19.25                 | 3.85              |
| BSAF MeHg (Biota 2009 vs Sedimentos multianual)       | 0.84              | 0.28                  | 0.06              | 44.63             | 14.88                 | 2.98              |
| BSAF MeHg (Biota multianual vs Sedimentos multianual) | 29.37             | 9.79                  | 1.96              | 45.98             | 15.33                 | 3.07              |

| BSAF probabilística                                   | Peces grasos NT 3 | Peces semigrasos NT 3 | Peces magros NT 3 | Peces grasos NT 4 | Peces semigrasos NT 4 | Peces magros NT 4 |
|---|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| BSAF MeHg (Biota 1992 vs Sedimentos 1997)             | 14.42             | 4.81                  | 0.96              | 59.56             | 19.85                 | 3.97              |
| BSAF MeHg (Biota 1993 vs Sedimentos 1997)             | 8.36              | 2.79                  | 0.56              | 6.37              | 2.12                  | 0.42              |
| BSAF MeHg (Biota 1995 vs Sedimentos 1997)             | 13.38             | 4.46                  | 0.89              | 35.10             | 11.70                 | 2.34              |
| BSAF MeHg (Biota 2002 vs Sedimentos 2002, CO 2007)    | 48.90             | 16.30                 | 3.26              | 83.17             | 27.72                 | 5.54              |
| BSAF MeHg (Biota 2007 vs Sedimentos 2007)             | 22.34             | 7.45                  | 1.49              | 48.95             | 16.32                 | 3.26              |
| BSAF MeHg (Biota 2009 vs Sedimentos multianual)       | 0.56              | 0.19                  | 0.04              | 22.86             | 7.62                  | 1.52              |
| BSAF MeHg (Biota multianual vs Sedimentos multianual) | 29.42             | 9.81                  | 1.96              | 22.81             | 7.60                  | 1.52              |

Usando los siguientes factores para el cálculo del BSAF.

| Tipo de biota                       | Rango de fracción lipídica | Fracción lipídica referencial | Distribución asumida | Valor probabilístico |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| Peces grasos                        | 0.05 - 0.25                | 0.10000                       | Normal               | 0.10000              |
| Peces semigrasos                    | 0.02 - 0.05                | 0.30000                       | Normal               | 0.30000              |
| Peces magros                        | 0.002 - 0.02               | 1.50000                       | Normal               | 1.50000              |
| Heces <i>Pteronura brasiliensis</i> | -                          | 0.20000                       | Normal               | 0.20000              |

### Cociente de riesgo (HQ) – MeHg

| HQ del MeHg                            | NOAEL, Yates et al. 2004 | RdF EPA | RdF EPA | RdF EPA | NOAEL Sample et al. 1996      | NOAEL Sample et al. 1996  |
|--|--------------------------|---------|---------|---------|-------------------------------|---------------------------|
|  | Peces nivel trófico 4    | Adultos | Niños   | Bebés   | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
| TRV (valor de referencia de toxicidad) | 0.00029                  | 0.0001  | 0.0001  | 0.0001  | 0.009                         | 0.009                     |
| 1992, HQ MeHg                          | 80.485                   | 17.928  | 25.126  | 44.774  | 13.448                        | 1.816                     |
| 1993, HQ MeHg                          | 24.188                   | 1.156   | 1.541   | 2.846   | 3.100                         | 0.419                     |
| 1995, HQ MeHg                          | 29.202                   | 8.713   | 12.168  | 21.738  | 5.341                         | 0.721                     |
| 2002, HQ MeHg                          | 44.265                   | 10.396  | 14.534  | 25.944  | 7.499                         | 1.013                     |
| 2007, HQ MeHg                          | 228.877                  | 39.900  | 56.024  | 99.705  | 35.885                        | 4.846                     |
| 2009, HQ MeHg                          | 2.674                    | 19.421  | 27.225  | 48.506  | 4.515                         | 0.610                     |
| Multianual, HQ MeHg                    | 92.357                   | 20.000  | 28.039  | 49.953  | 15.311                        | 2.068                     |



| HQ probabilística del MeHg             | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños  | Bebés  | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|--|-----------------------|---------|--------|--------|-------------------------------|---------------------------|
| TRV (valor de referencia de toxicidad) | 0.00029               | 0.0001  | 0.0001 | 0.0001 | 0.009                         | 0.009                     |
| 1992, HQ MeHg                          | 15.157                | 8.733   | 12.213 | 21.796 | 3.681                         | 0.497                     |
| 1993, HQ MeHg                          | 8.804                 | 1.103   | 1.485  | 2.722  | 1.264                         | 0.171                     |
| 1995, HQ MeHg                          | 14.073                | 5.225   | 7.281  | 13.026 | 2.788                         | 0.377                     |
| 2002, HQ MeHg                          | 24.988                | 5.993   | 8.360  | 14.946 | 4.254                         | 0.575                     |
| 2007, HQ MeHg                          | 86.640                | 26.122  | 36.668 | 65.270 | 15.970                        | 2.157                     |
| 2009, HQ MeHg                          | 1.478                 | 8.370   | 11.704 | 20.890 | 1.974                         | 0.267                     |
| Multianual, HQ MeHg                    | 77.036                | 8.351   | 11.677 | 20.843 | 10.960                        | 1.480                     |

### Valor criterio de protección - MeHg

| WCV o Valor Criterio de Protección | Peces nivel trófico 4 | Adultos    | Niños      | Bebés      | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|------------------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1992, WCV MeHg                     | 0.00000019            | 0.00000036 | 0.00000016 | 0.00000006 | 0.00003367                    | 0.00041201                |
| 1993, WCV MeHg                     | 0.00000063            | 0.00000668 | 0.00000294 | 0.00000111 | 0.00014279                    | 0.00171453                |
| 1995, WCV MeHg                     | 0.00000052            | 0.00000076 | 0.00000032 | 0.00000012 | 0.00008390                    | 0.00101770                |
| 2002, WCV MeHg                     | 0.00000034            | 0.00000063 | 0.00000027 | 0.00000010 | 0.00006005                    | 0.00073143                |
| 2007, WCV MeHg                     | 0.00000007            | 0.00000016 | 0.00000007 | 0.00000003 | 0.00001267                    | 0.00015564                |
| 2009, WCV MeHg                     | 0.00000574            | 0.00012317 | 0.00011473 | 0.00005196 | 0.00104780                    | 0.01089404                |
| Multianual, WCV MeHg               | 0.00000016            | 0.00000033 | 0.00000014 | 0.00000005 | 0.00002960                    | 0.00036243                |

| WCV o Valor Criterio de Protección probabilístico | Peces nivel trófico 4 | Adultos    | Niños      | Bebés      | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|---|-----------------------|------------|------------|------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1992, WCV MeHg                                    | 0.00000078            | 0.00000059 | 0.00000025 | 0.00000009 | 0.00009489                    | 0.00114879                |
| 1993, WCV MeHg                                    | 0.00000135            | 0.00000528 | 0.00000231 | 0.00000087 | 0.00026633                    | 0.00313158                |
| 1995, WCV MeHg                                    | 0.00000085            | 0.00000099 | 0.00000043 | 0.00000016 | 0.00012449                    | 0.00149942                |
| 2002, WCV MeHg                                    | 0.00000048            | 0.00000086 | 0.00000037 | 0.00000014 | 0.00008232                    | 0.00099876                |
| 2007, WCV MeHg                                    | 0.00000014            | 0.00000019 | 0.00000008 | 0.00000003 | 0.00002220                    | 0.00027222                |
| 2009, WCV MeHg                                    | 0.00000815            | 0.00000061 | 0.00000026 | 0.00000010 | 0.00017397                    | 0.00207778                |
| Multianual, WCV MeHg                              | 0.00000015            | 0.00000061 | 0.00000026 | 0.00000010 | 0.00003229                    | 0.00039514                |

Usando los siguientes factores de incertidumbre para el WCV:

|                           | Peces nivel trófico 4 | Adultos | Niños | Bebés | <i>Pteronura brasiliensis</i> | <i>Melanosuchus niger</i> |
|---------------------------|-----------------------|---------|-------|-------|-------------------------------|---------------------------|
| Factor de incertidumbre A | 3                     | 10      | 10    | 10    | 3                             | 3                         |
| Factor de incertidumbre S | 3                     | 3       | 3     | 3     | 3                             | 3                         |
| Factor de incertidumbre L | 1                     | 1       | 1     | 1     | 1                             | 1                         |

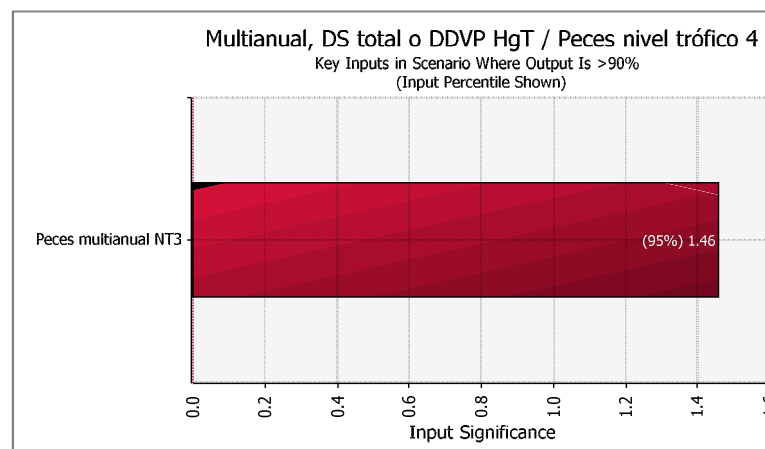
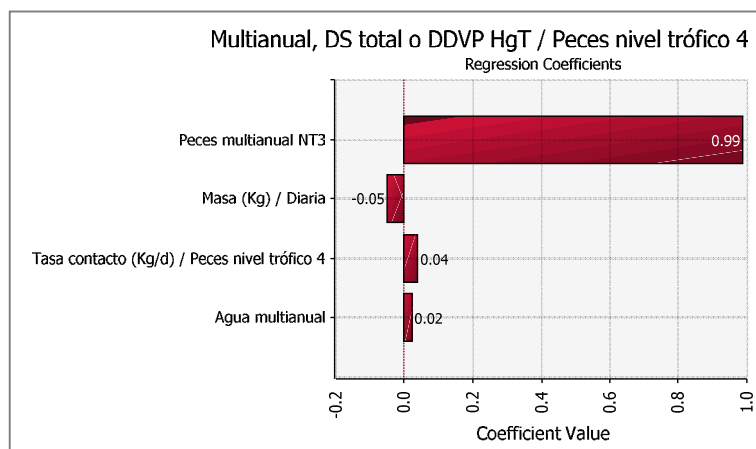
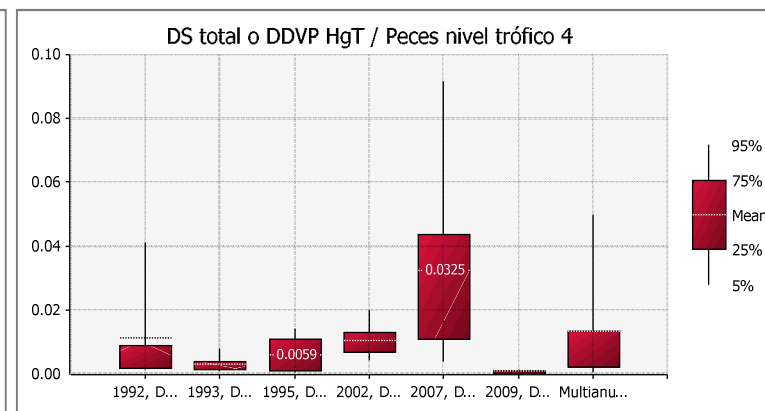
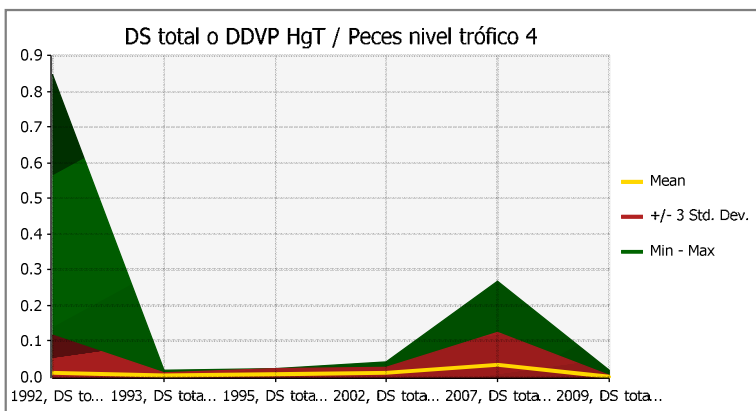
1 significa resultados pocos sensibles, 10 significa muy sensibles y 3 significa extrapolación entre taxones diferentes, según GLWQI (U.S. Environmental Protection Agency, 1995b).

3, debido a que se está utilizando datos de TD que corresponden a estudios de exposiciones subcrónicas (en menos de una generación), para extrapolar exposiciones crónicas (en más de tres generaciones).

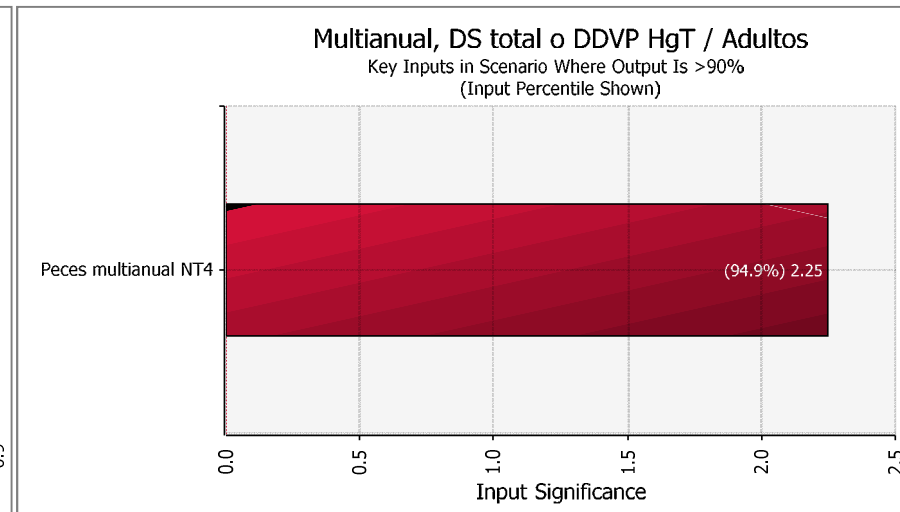
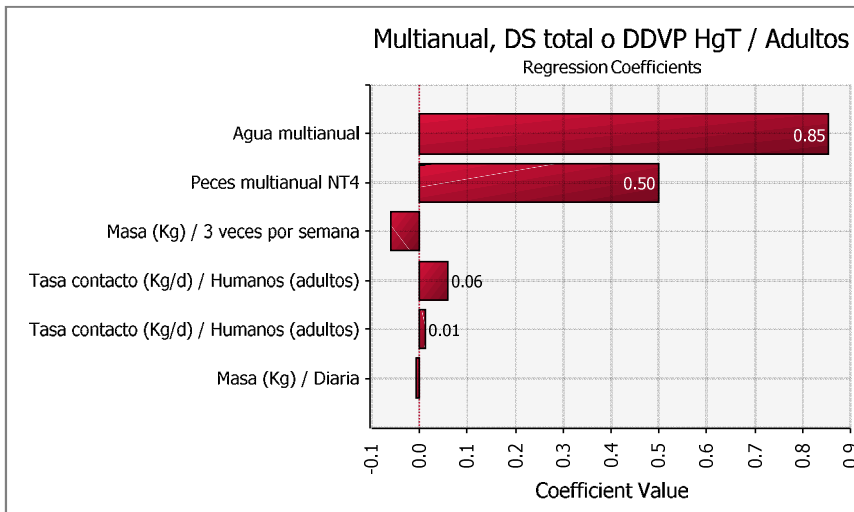
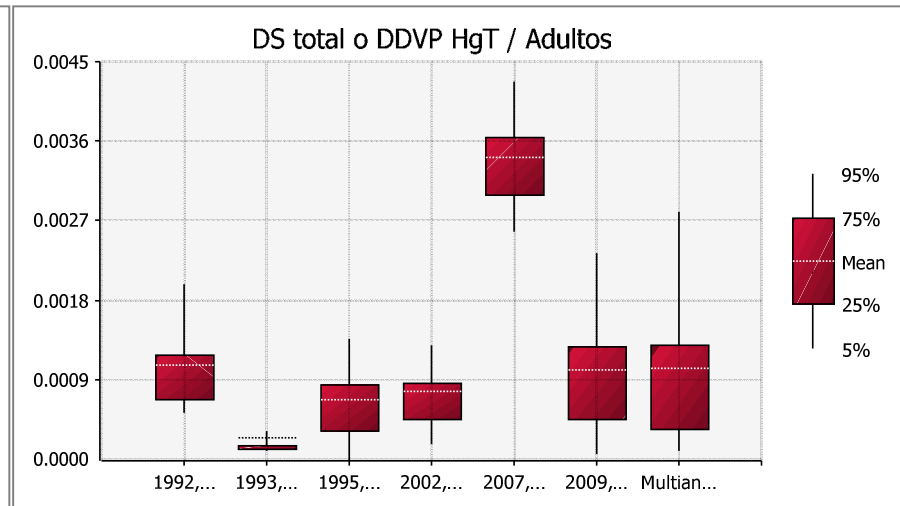
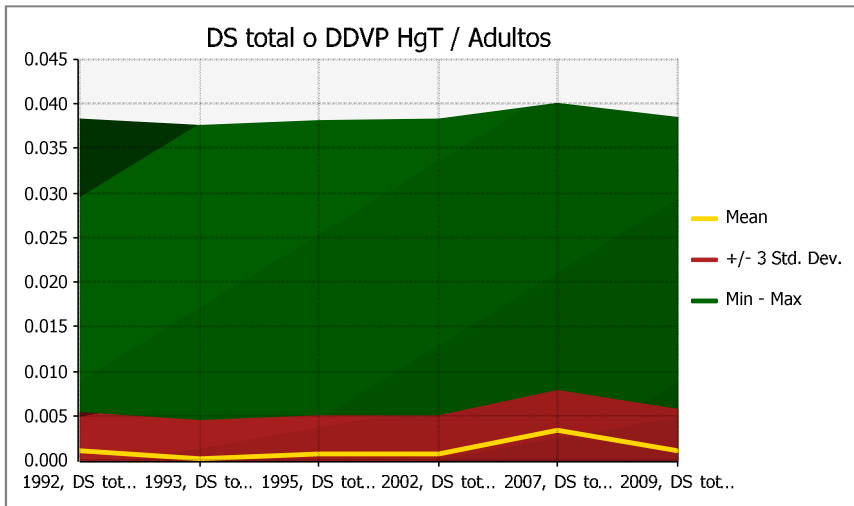
1 porque no se está utilizando el LOAEL para extrapolar el NOAEL, sino que se está utilizando datos de NOAEL de estudios previos.

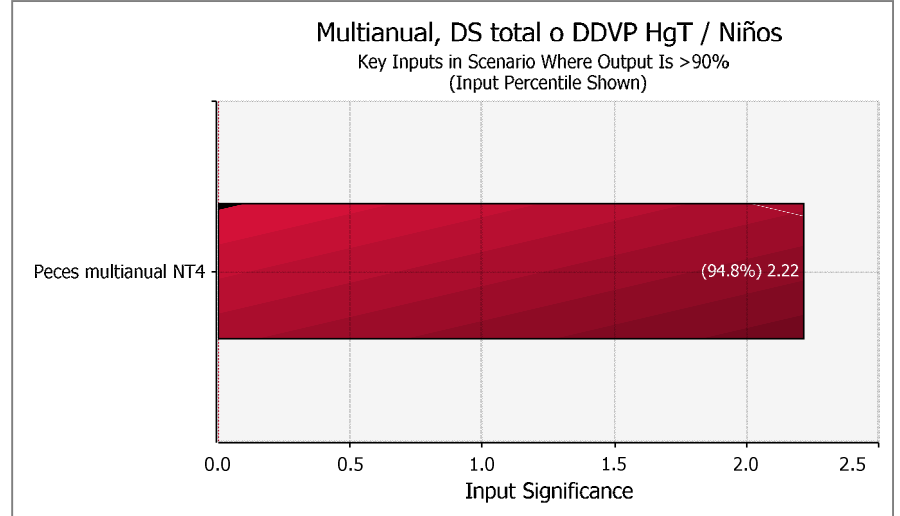
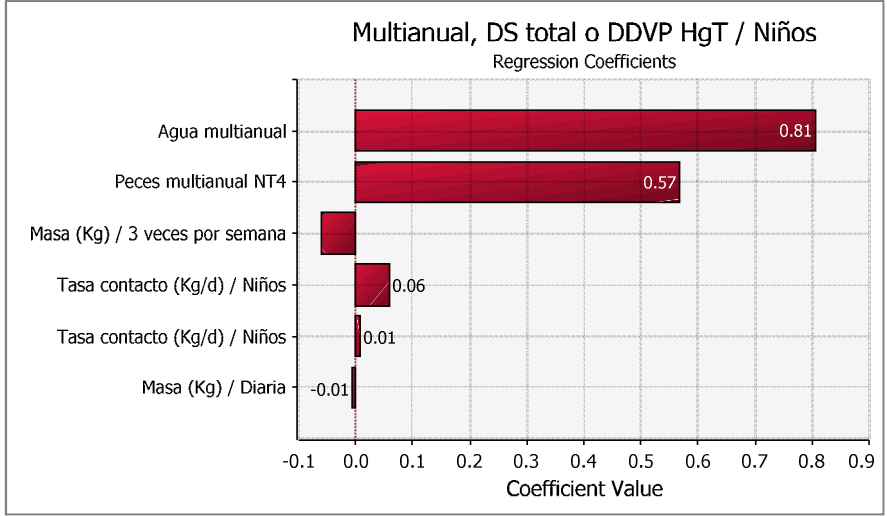
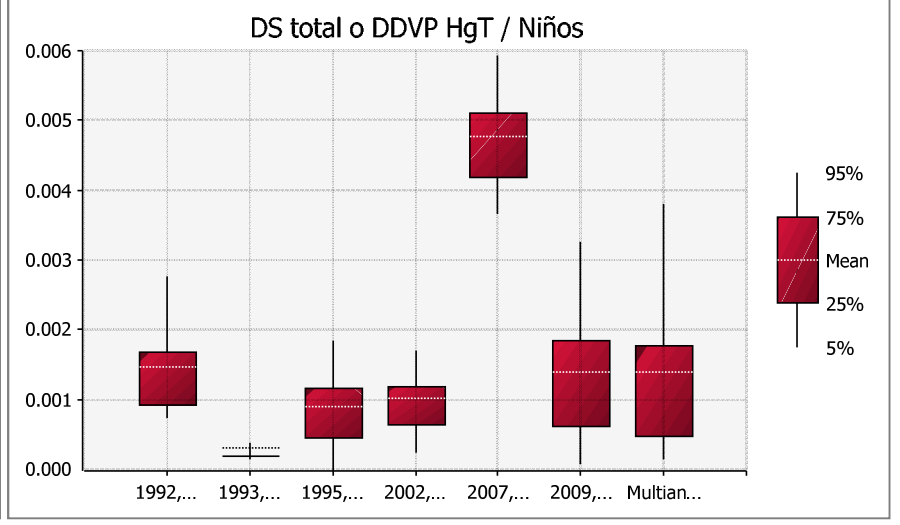
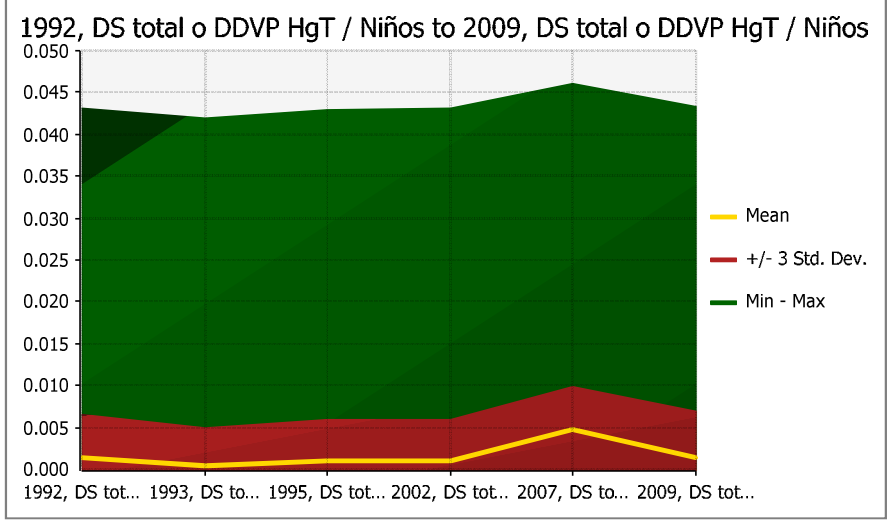
c) Análisis probabilístico del riesgo por mercurio en la cadena trófica acuática

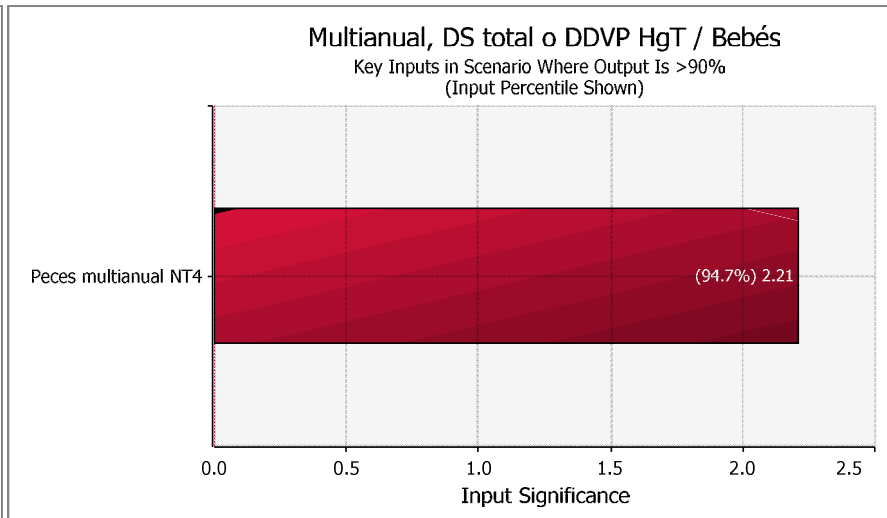
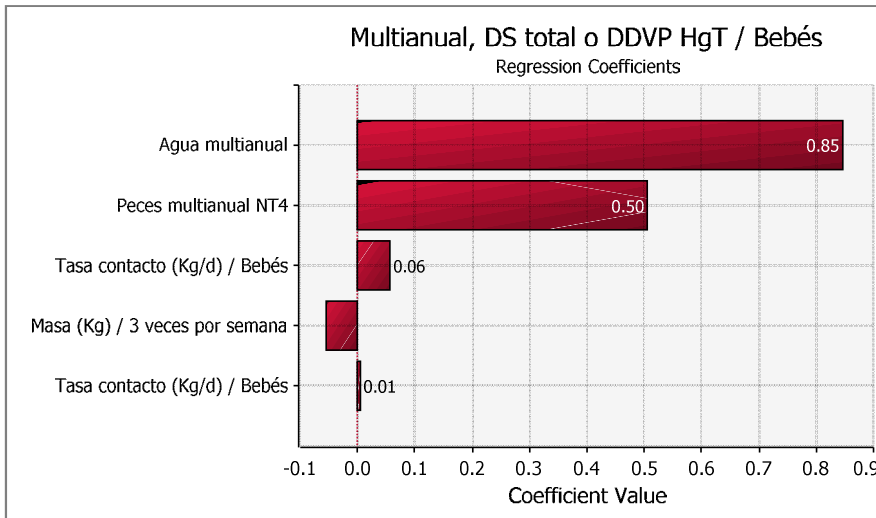
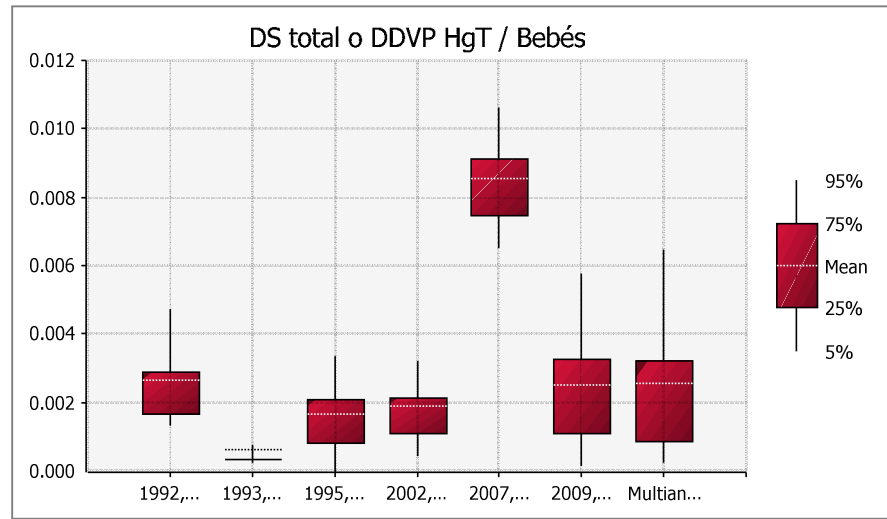
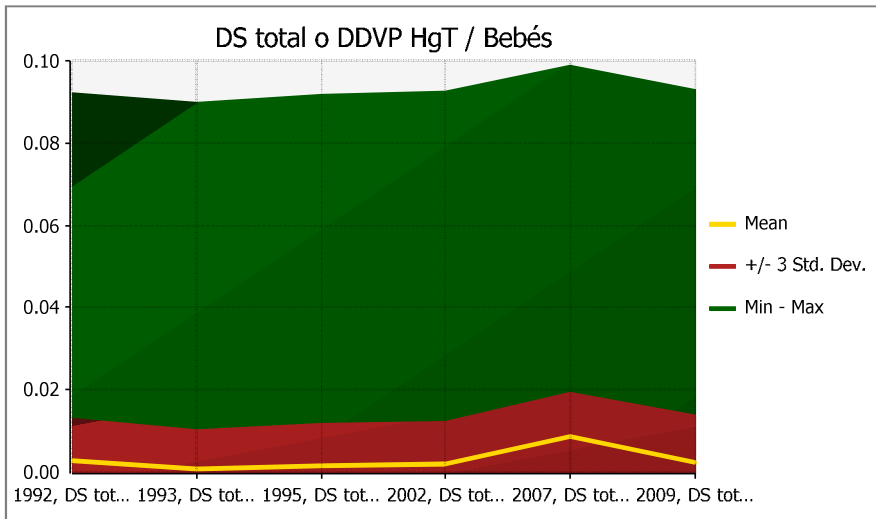
Dosis suministrada<sup>3</sup> y Riesgo de Cáncer – HgT

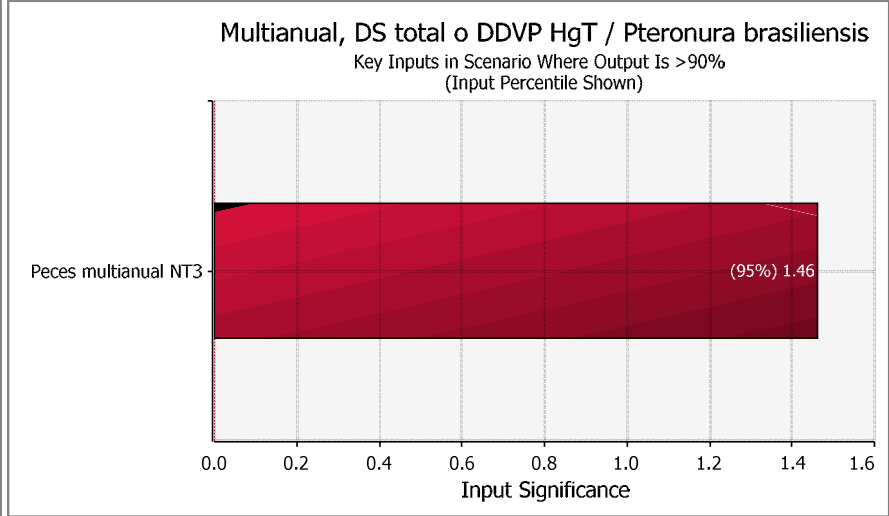
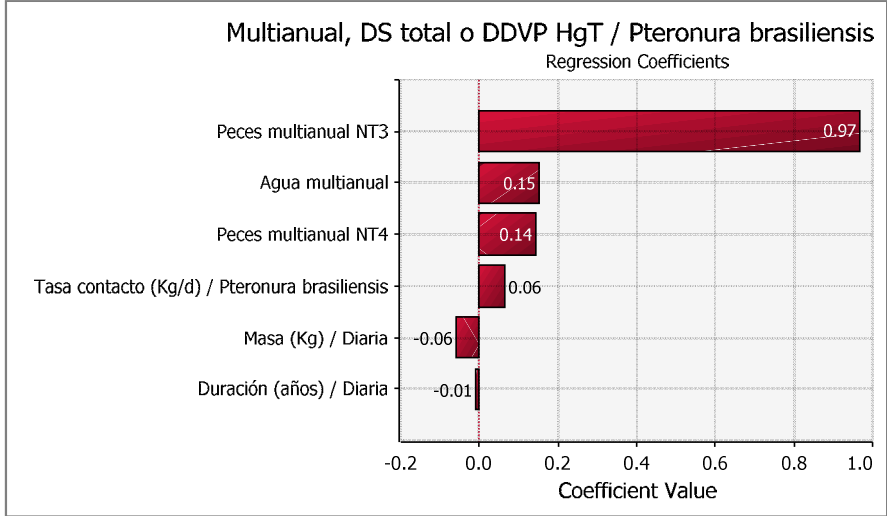
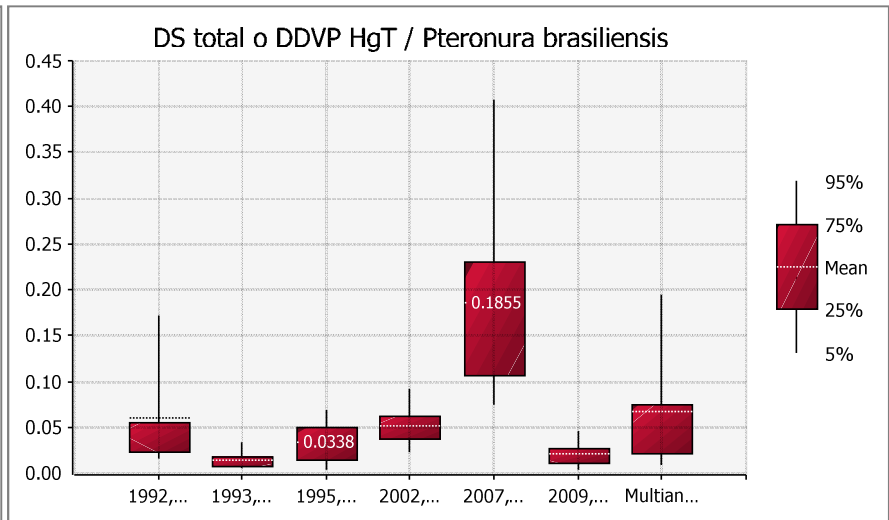
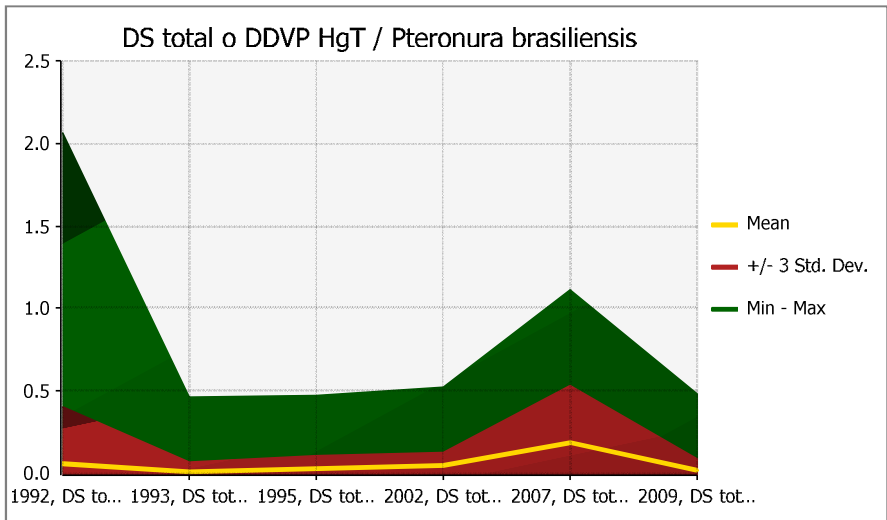


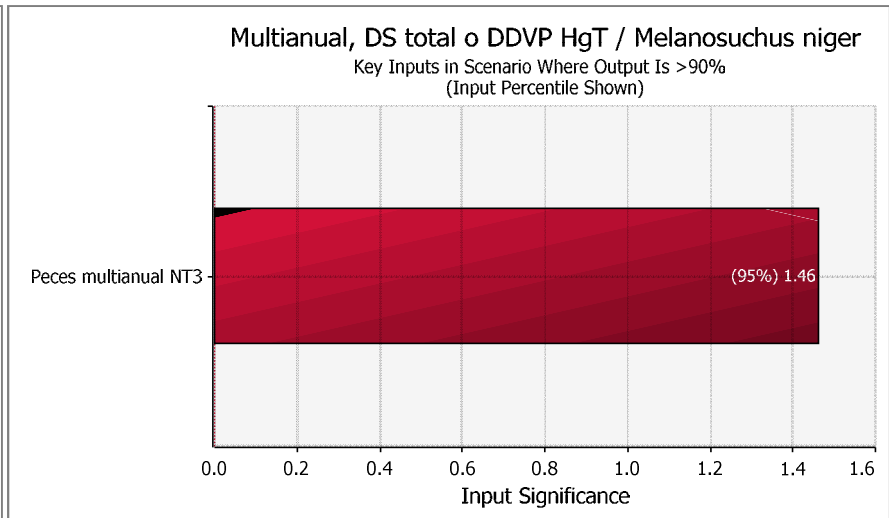
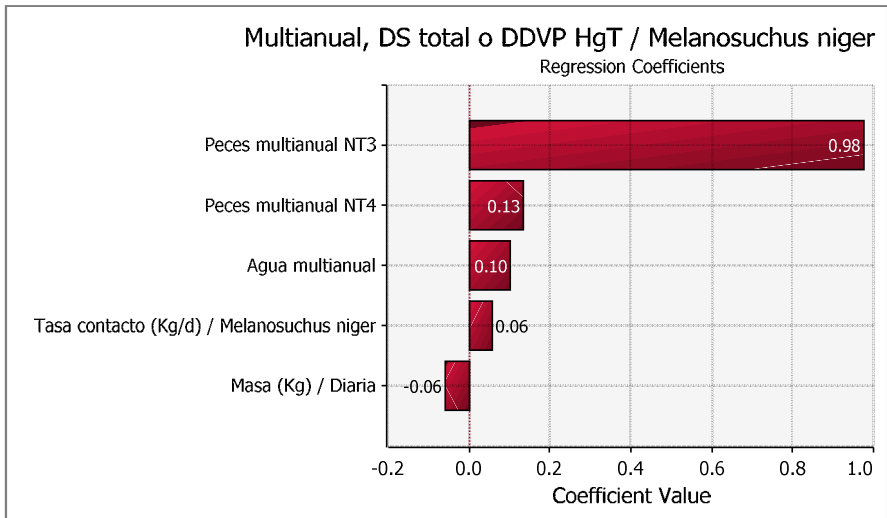
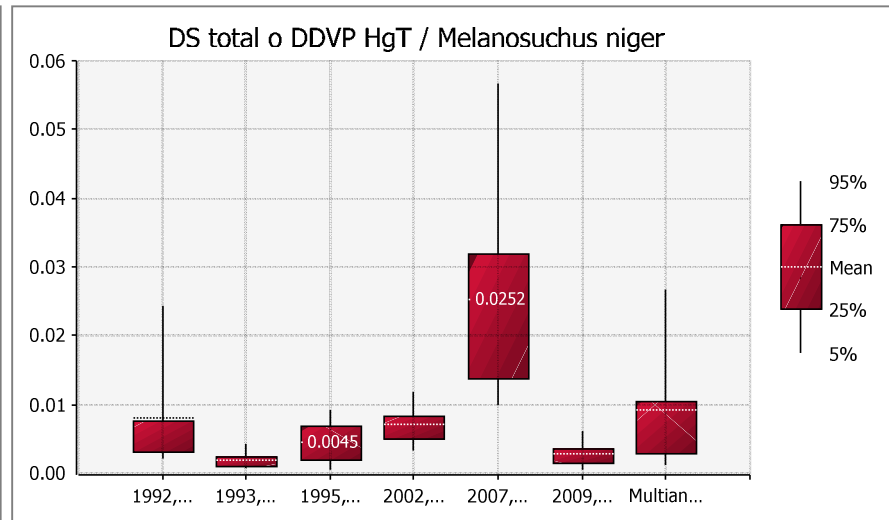
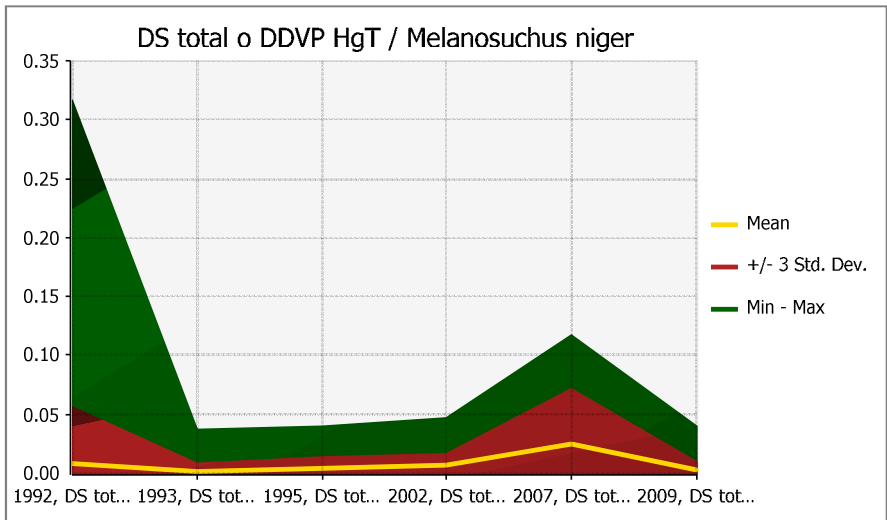
<sup>3</sup> Usando el percentil 95 de la concentración multianual de mercurio en agua.





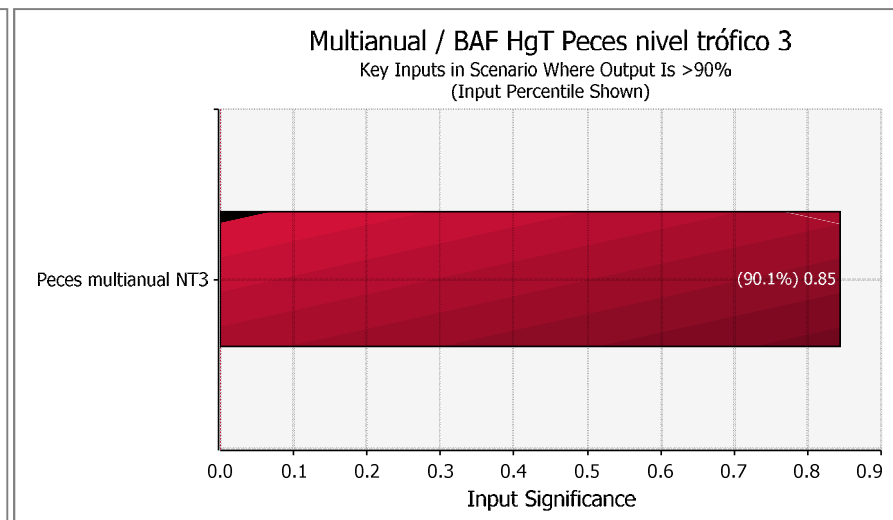
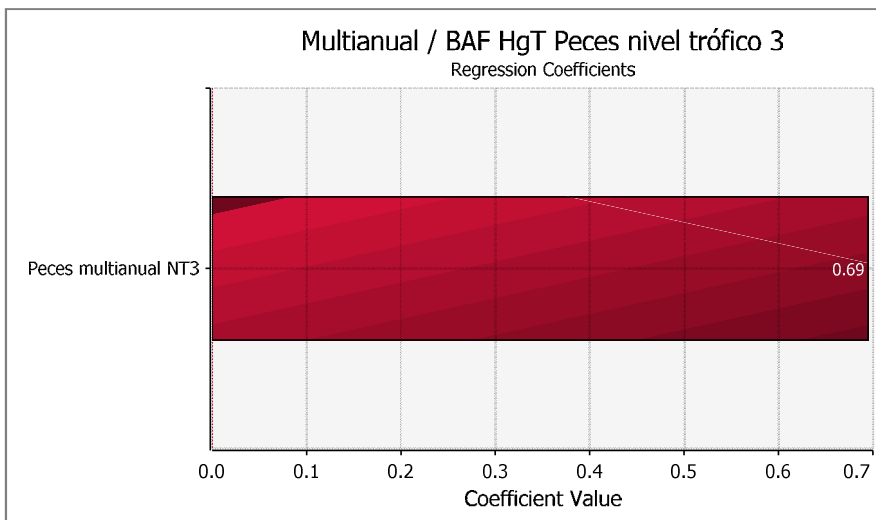
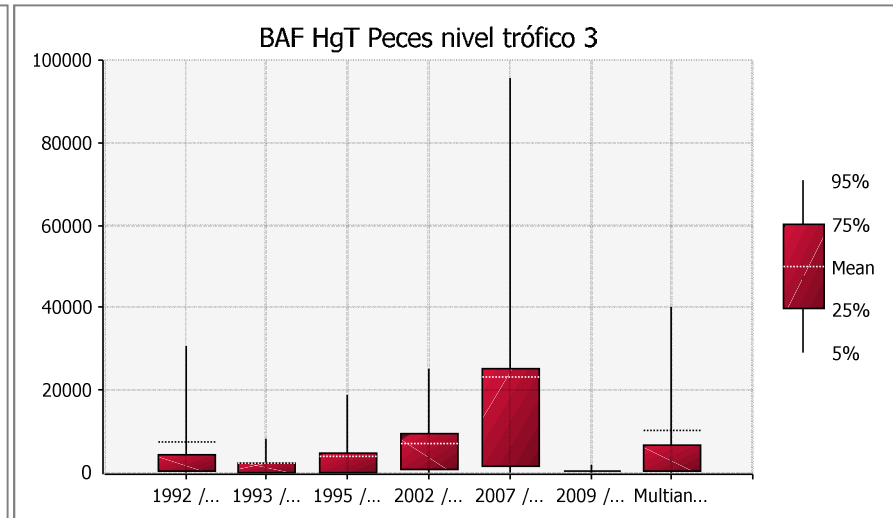
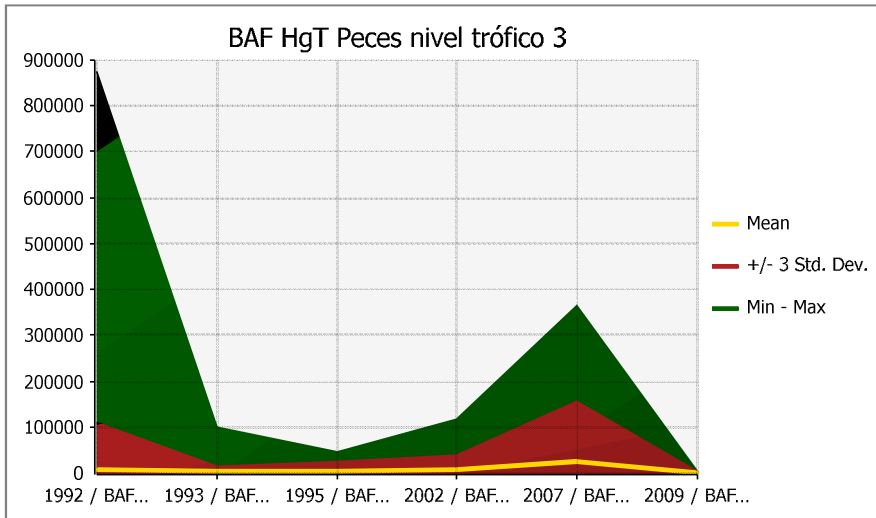


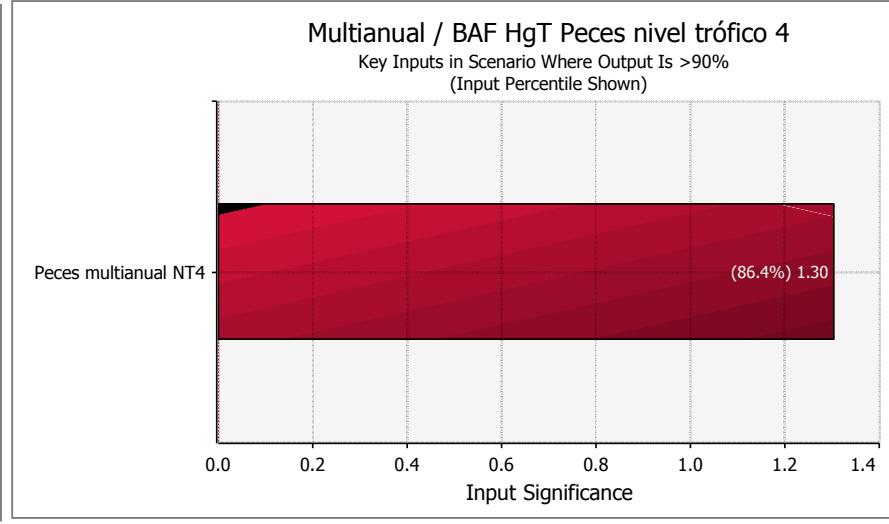
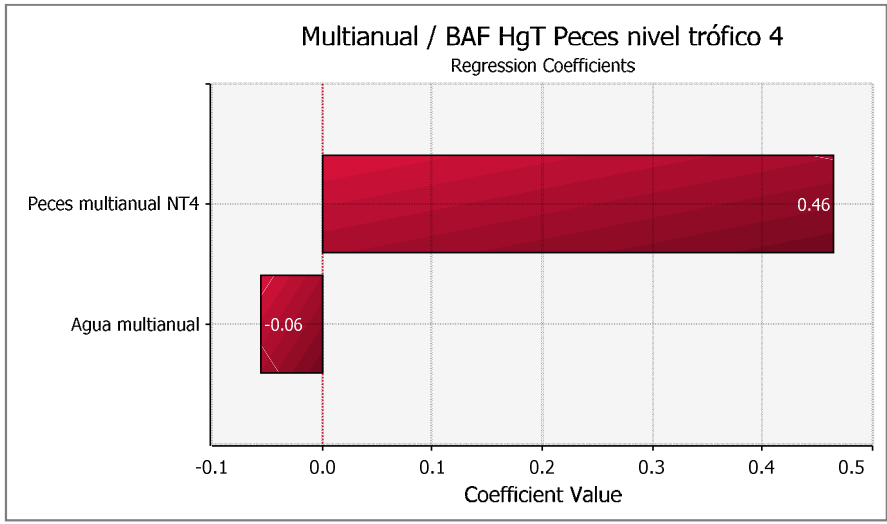
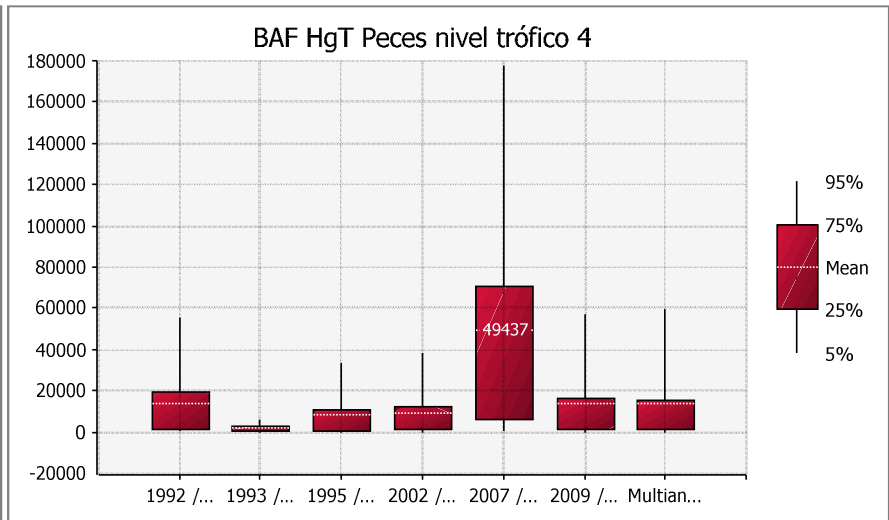
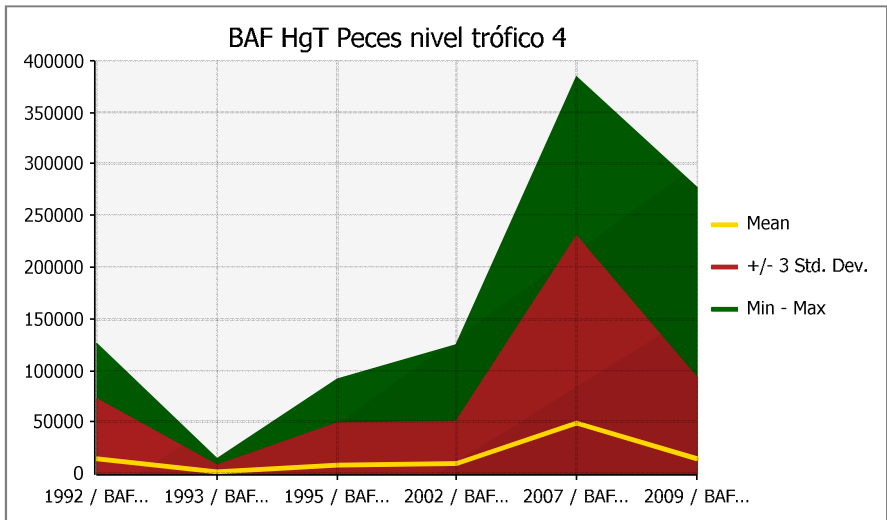




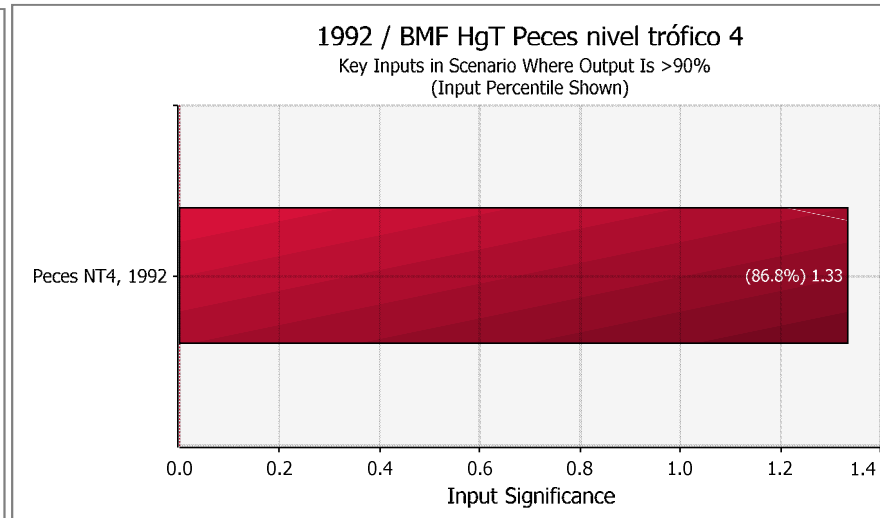
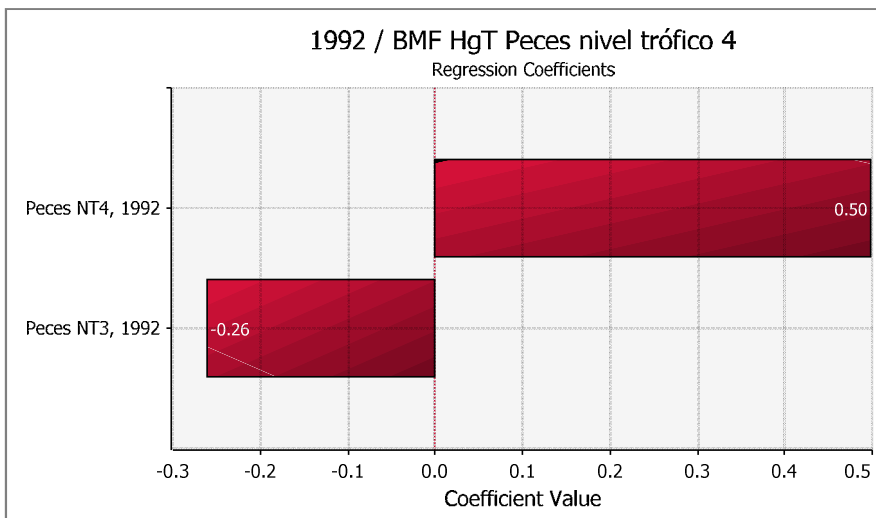
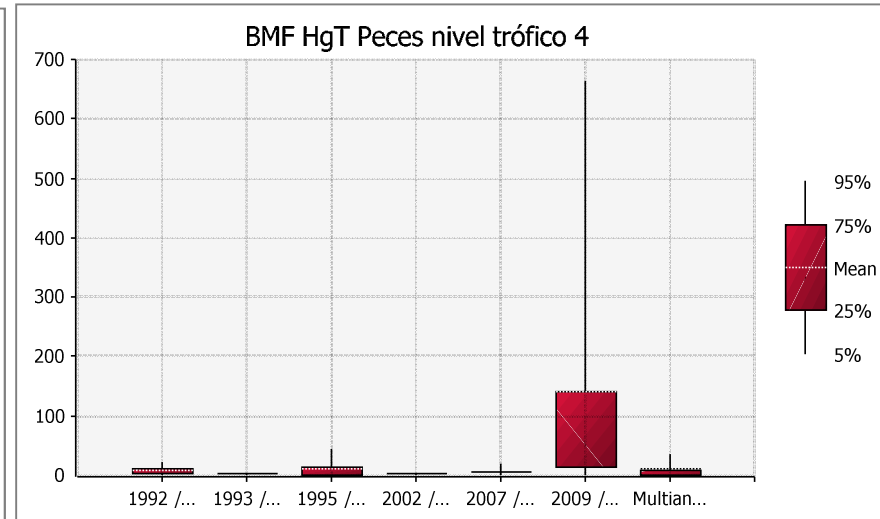
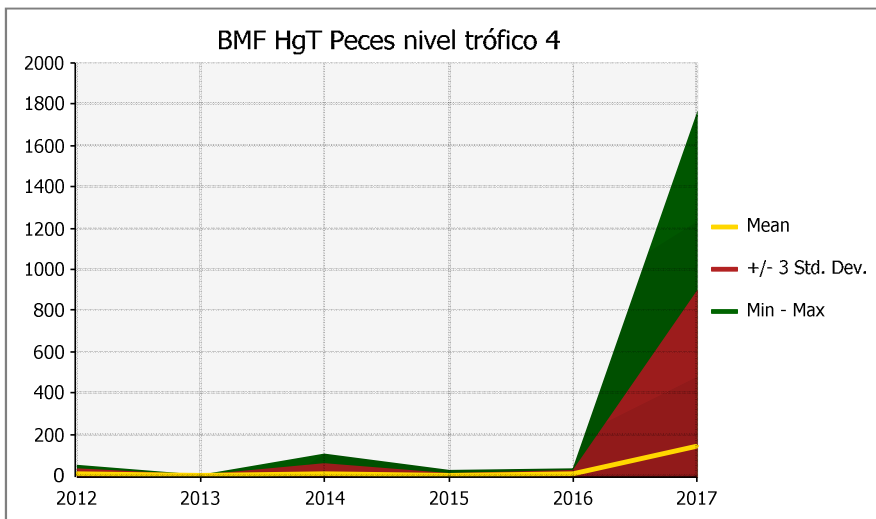


## Factores de bioacumulación HgT

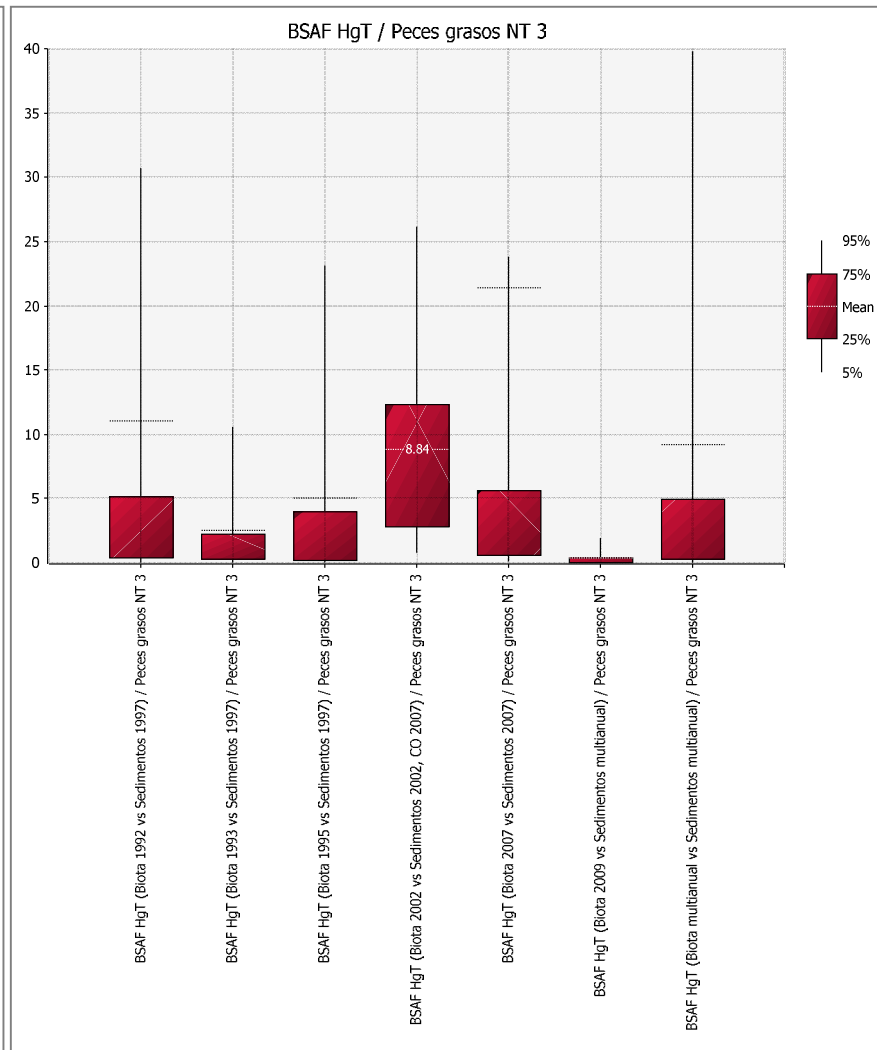
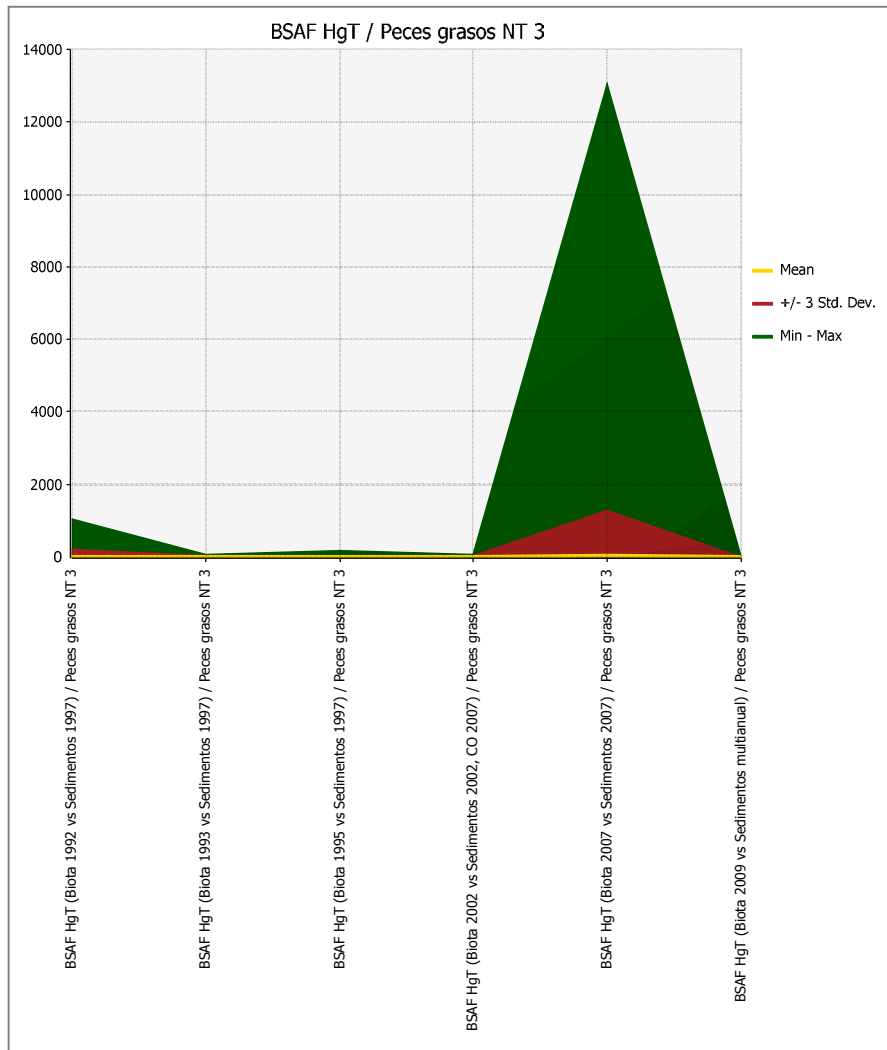


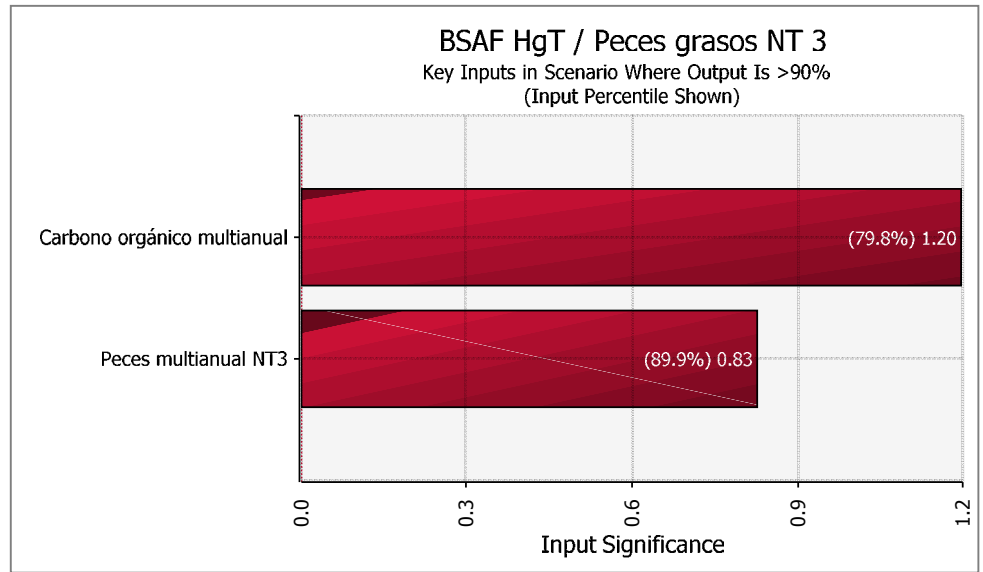
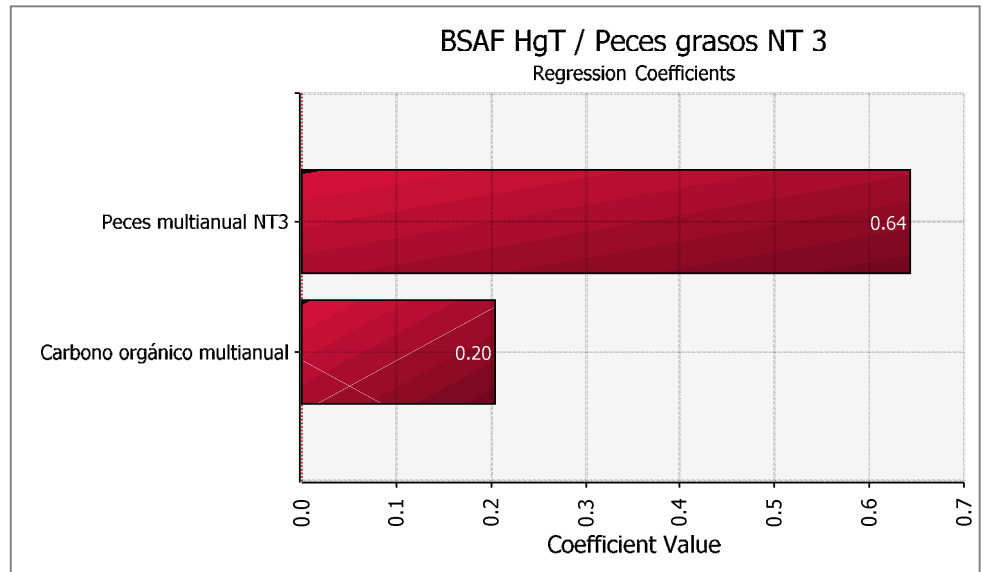


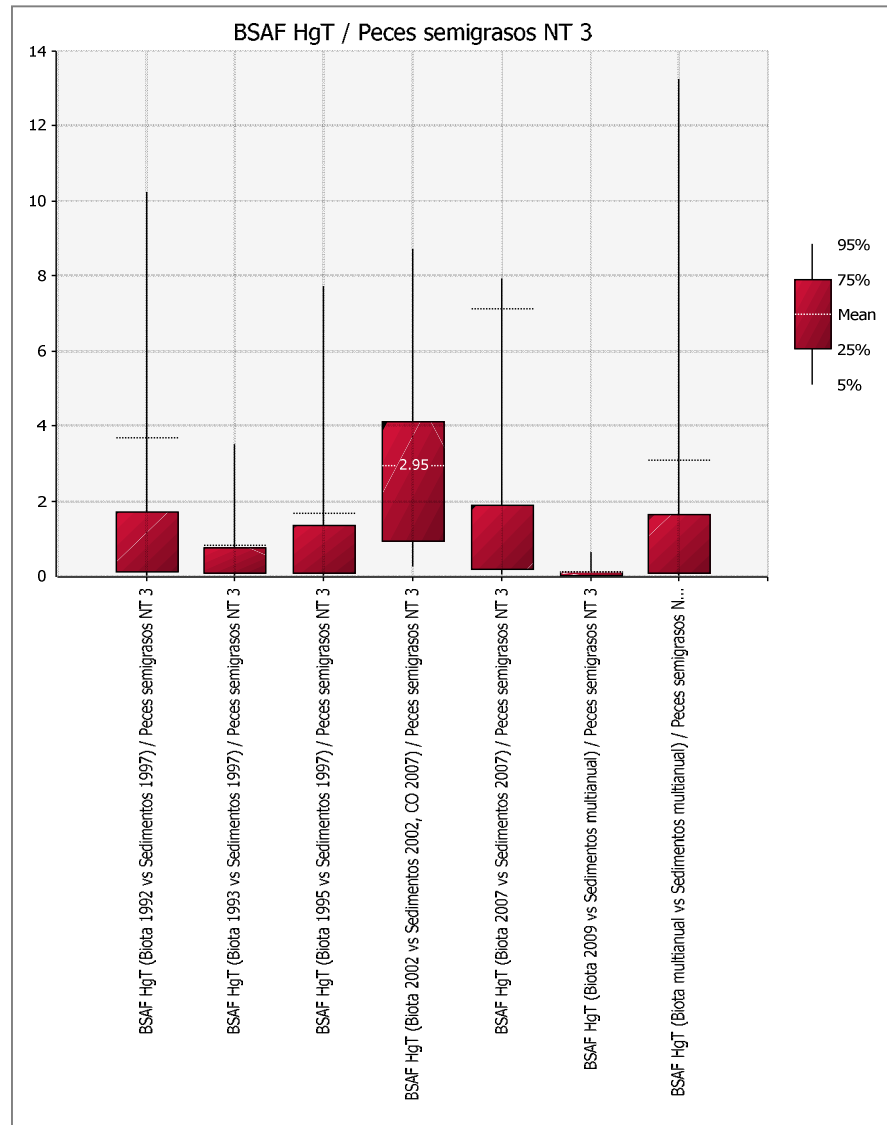
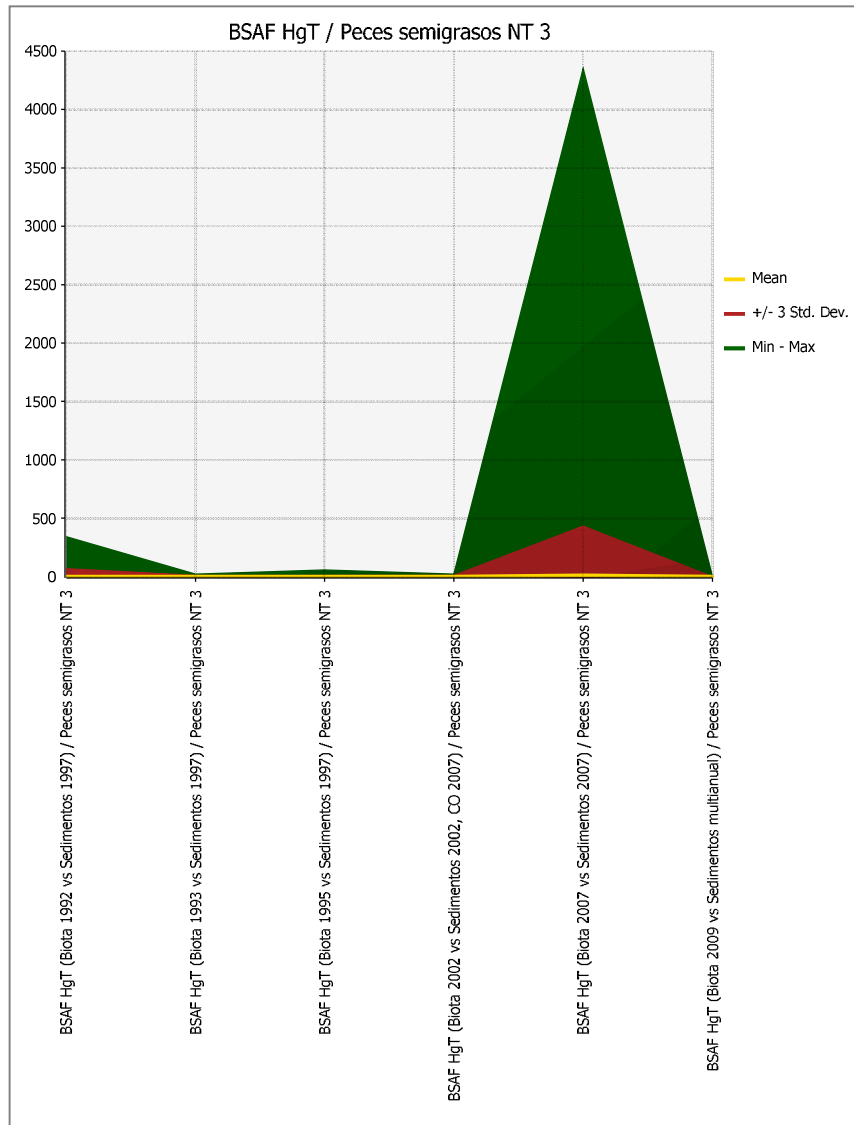
## Factores de biomagnificación HgT

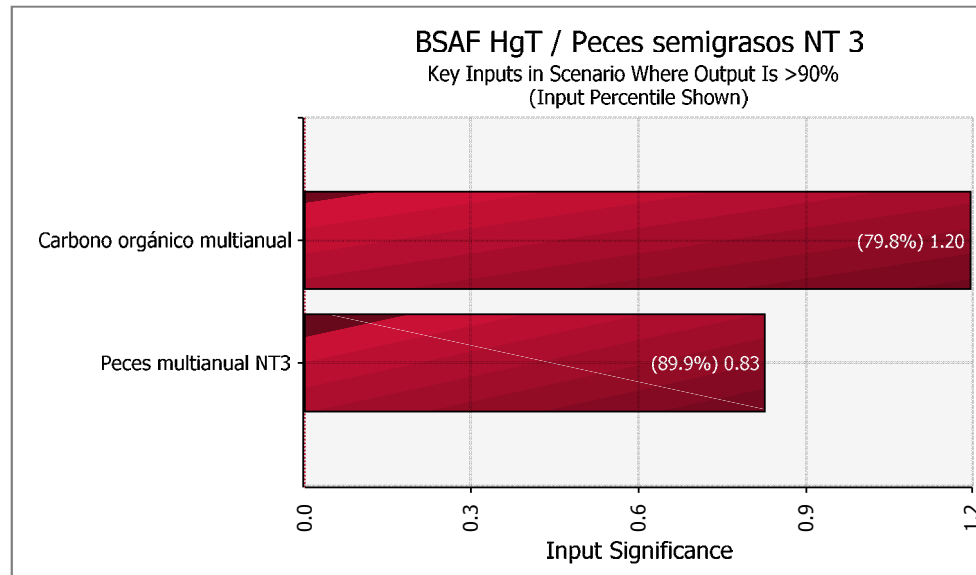
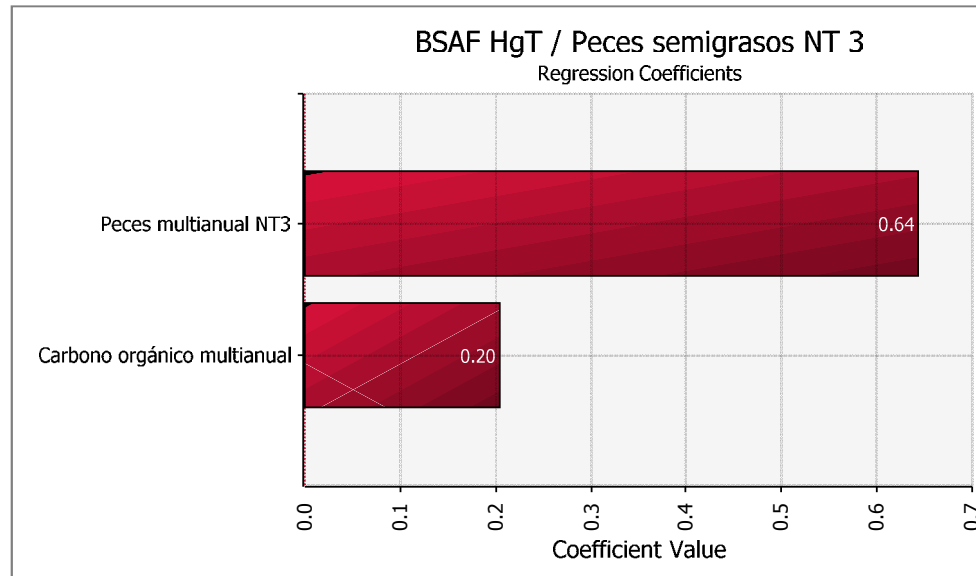


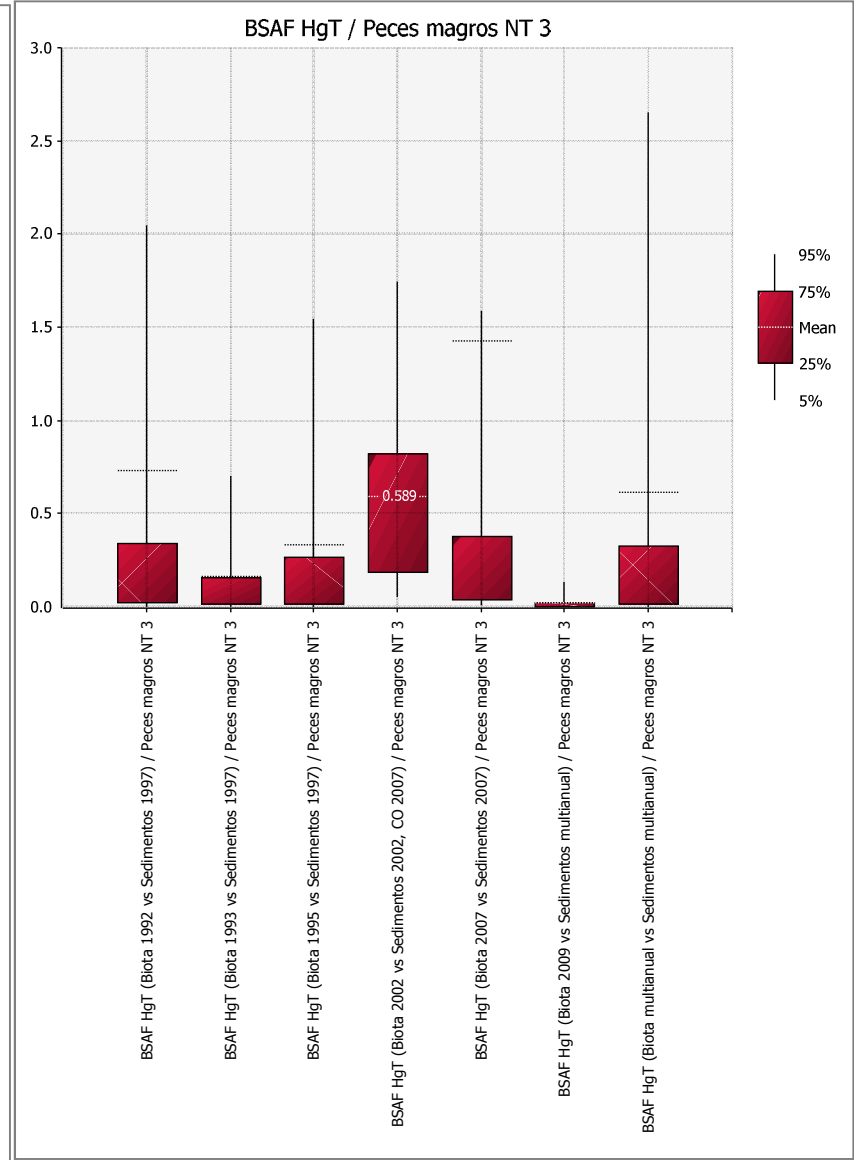
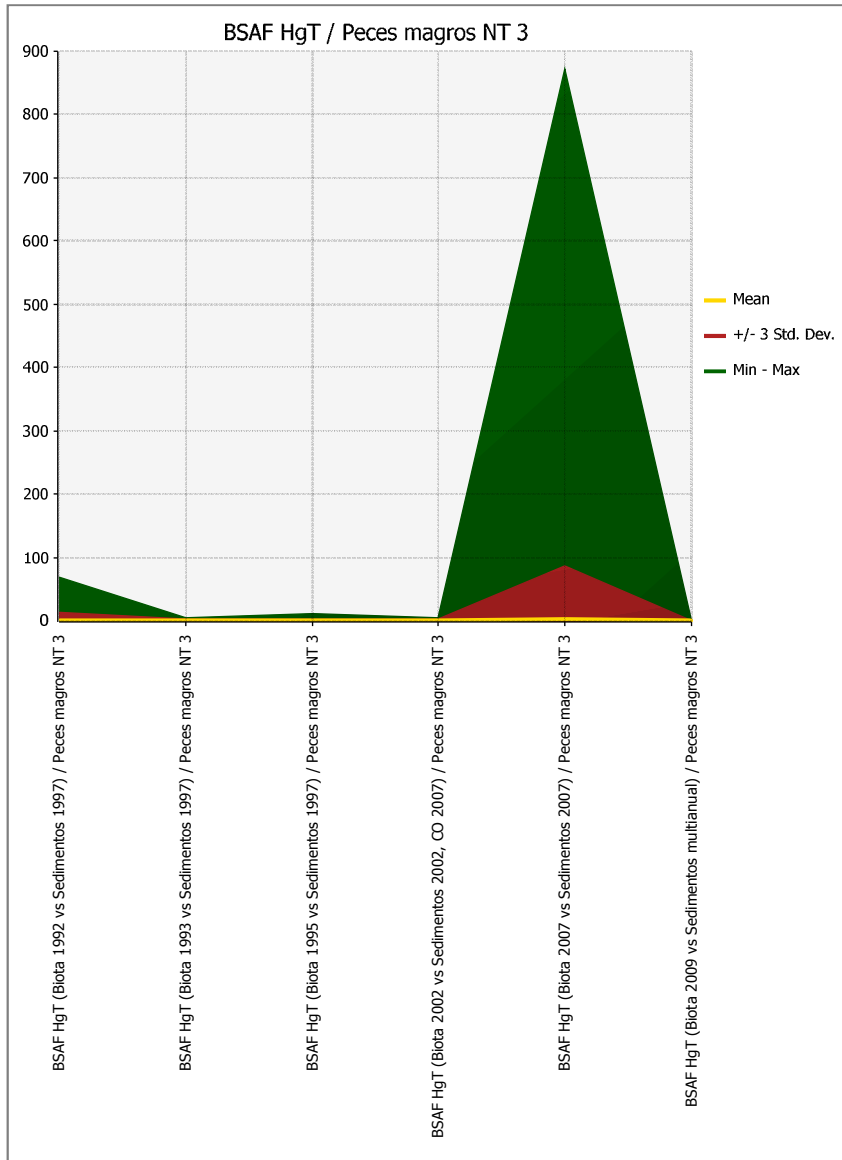
## Factores de bioacumulación biota sedimentos (y heces) – HgT



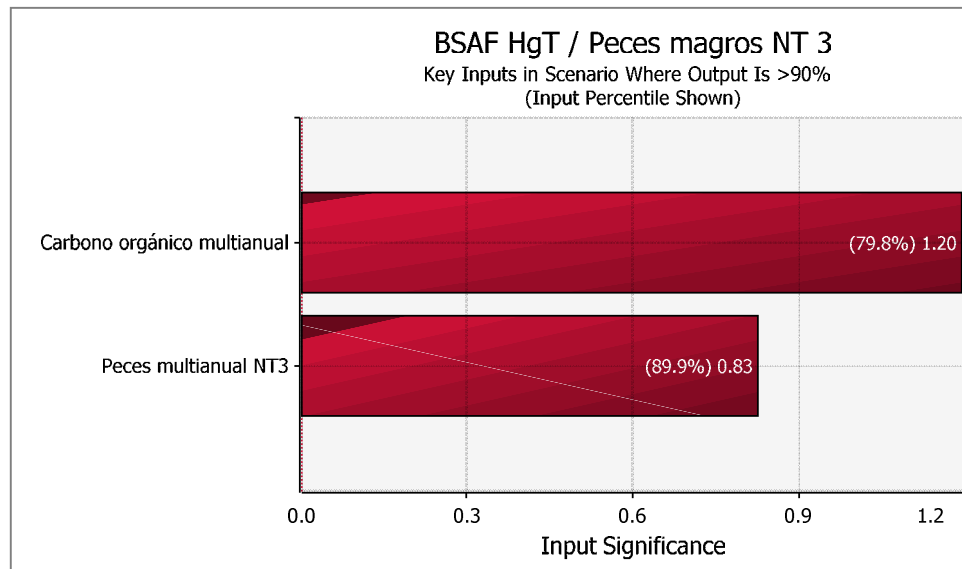
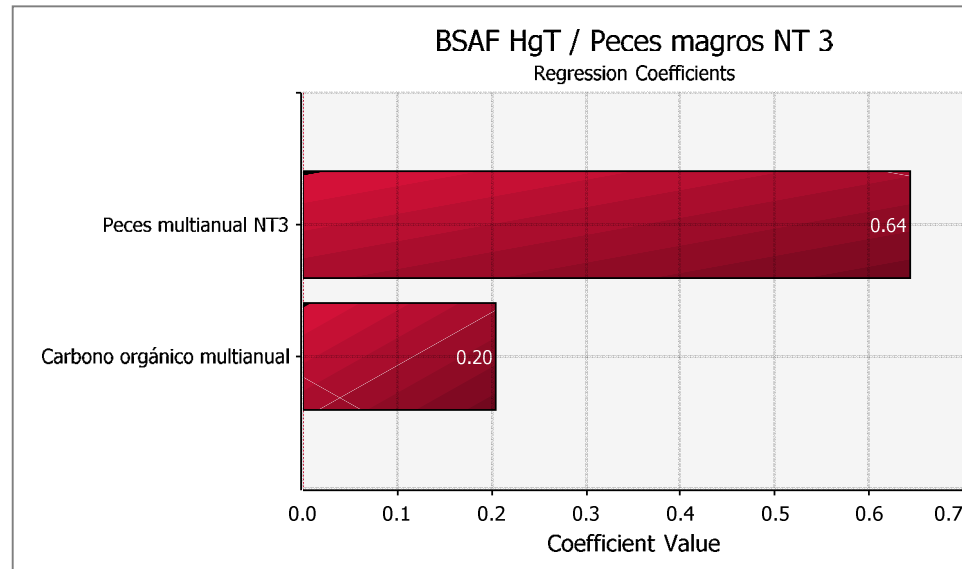


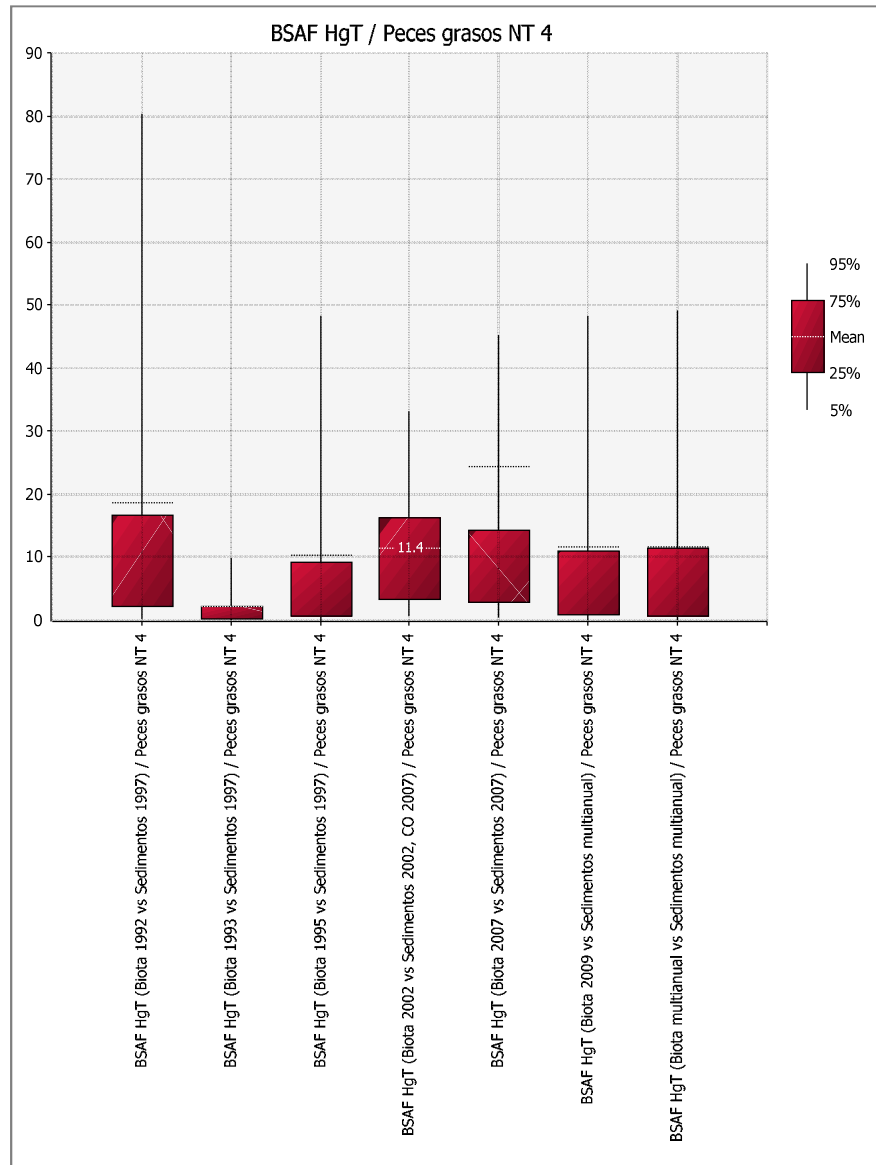
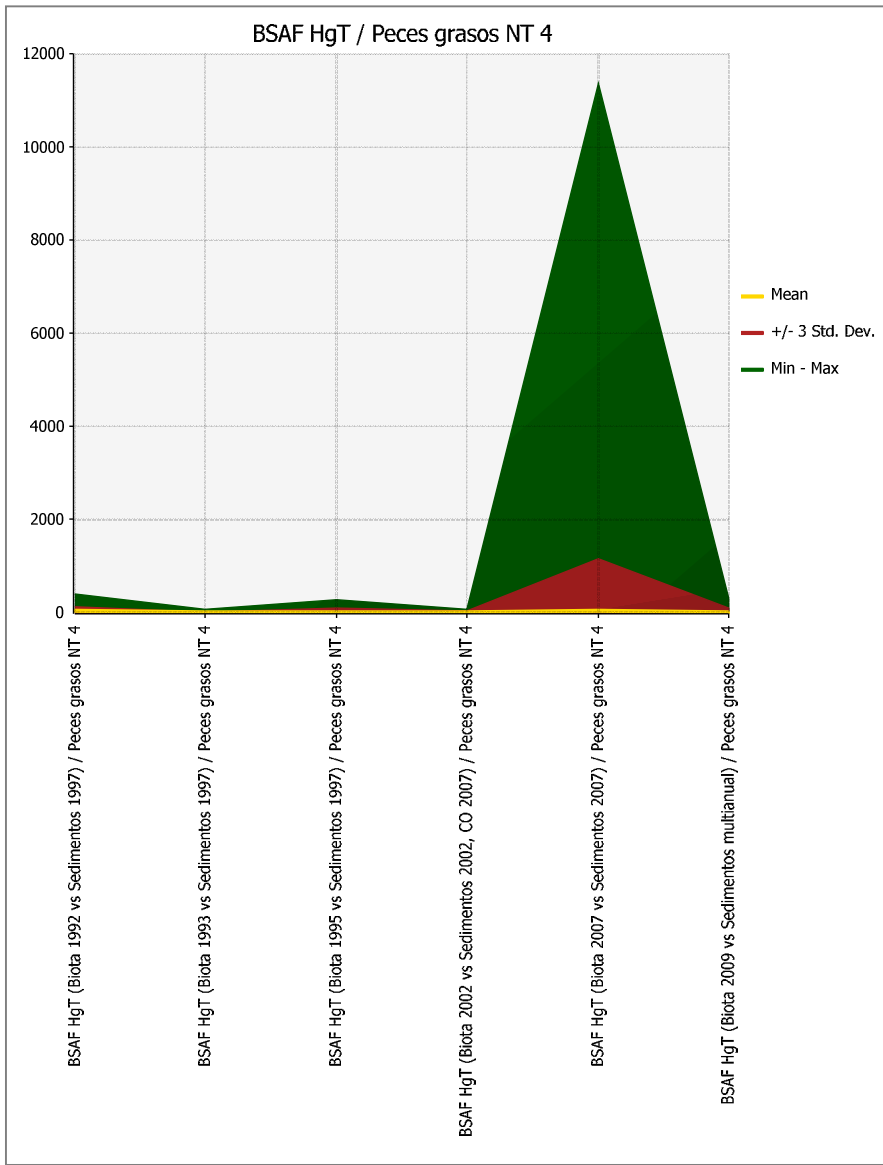


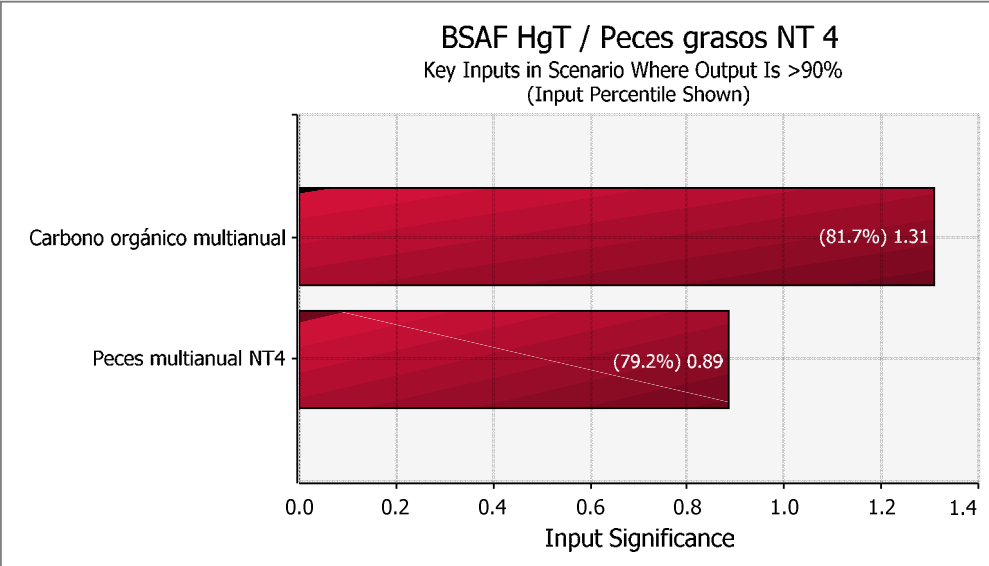
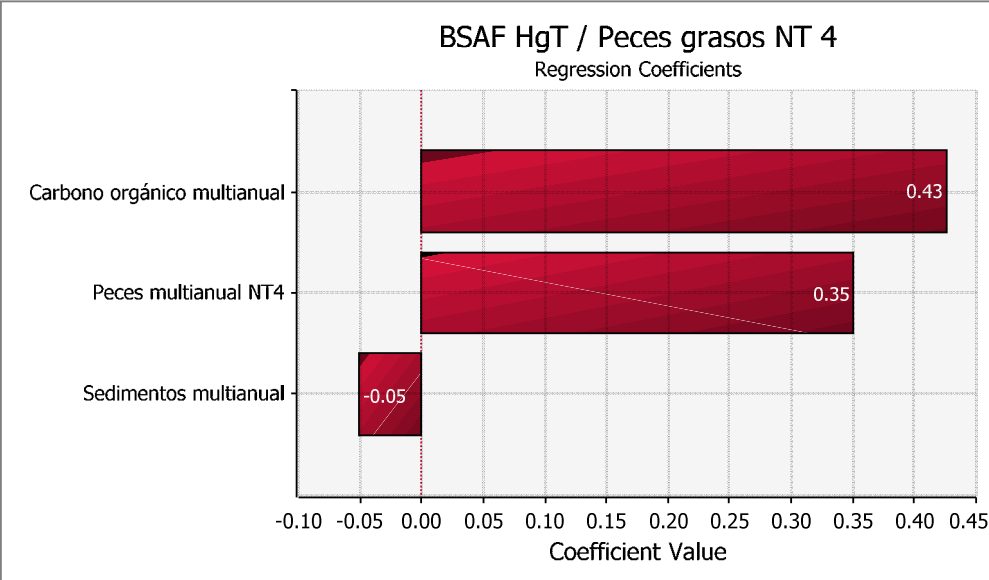


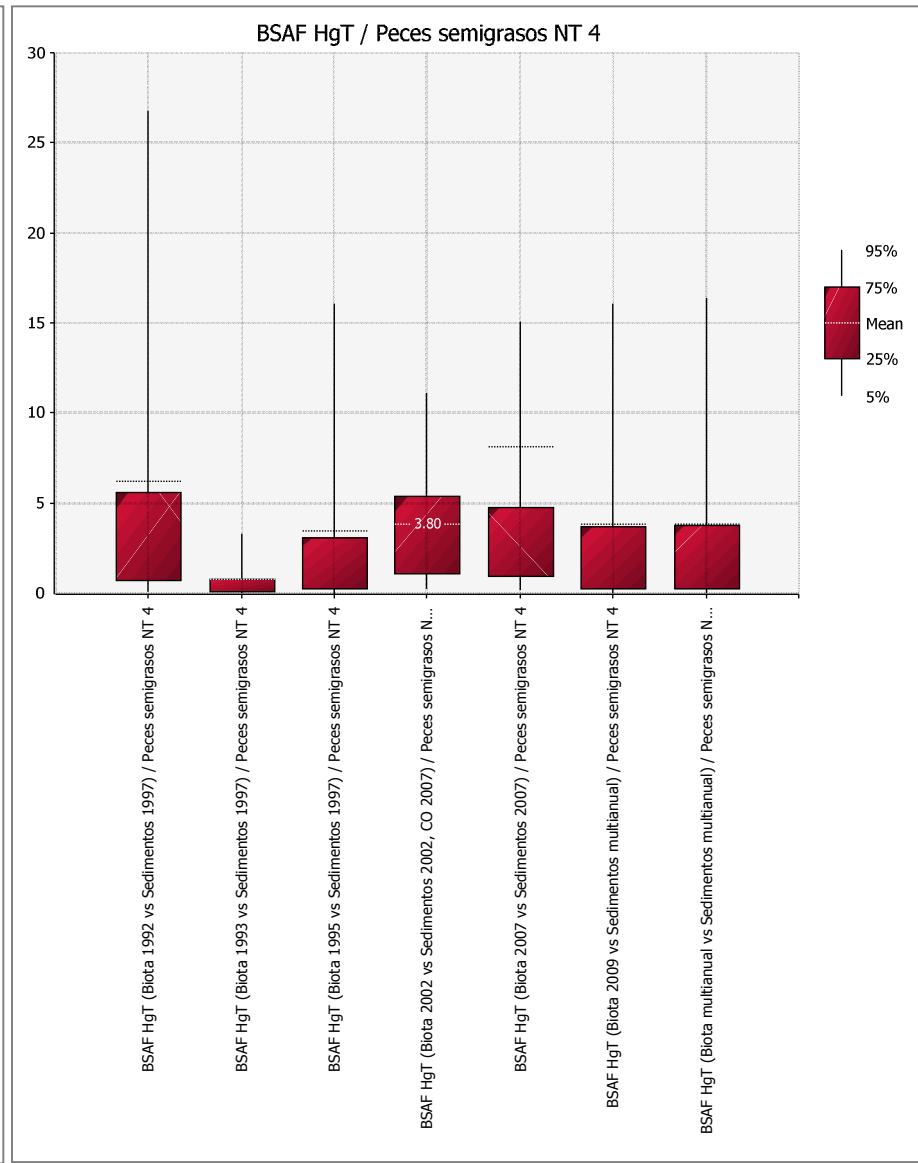
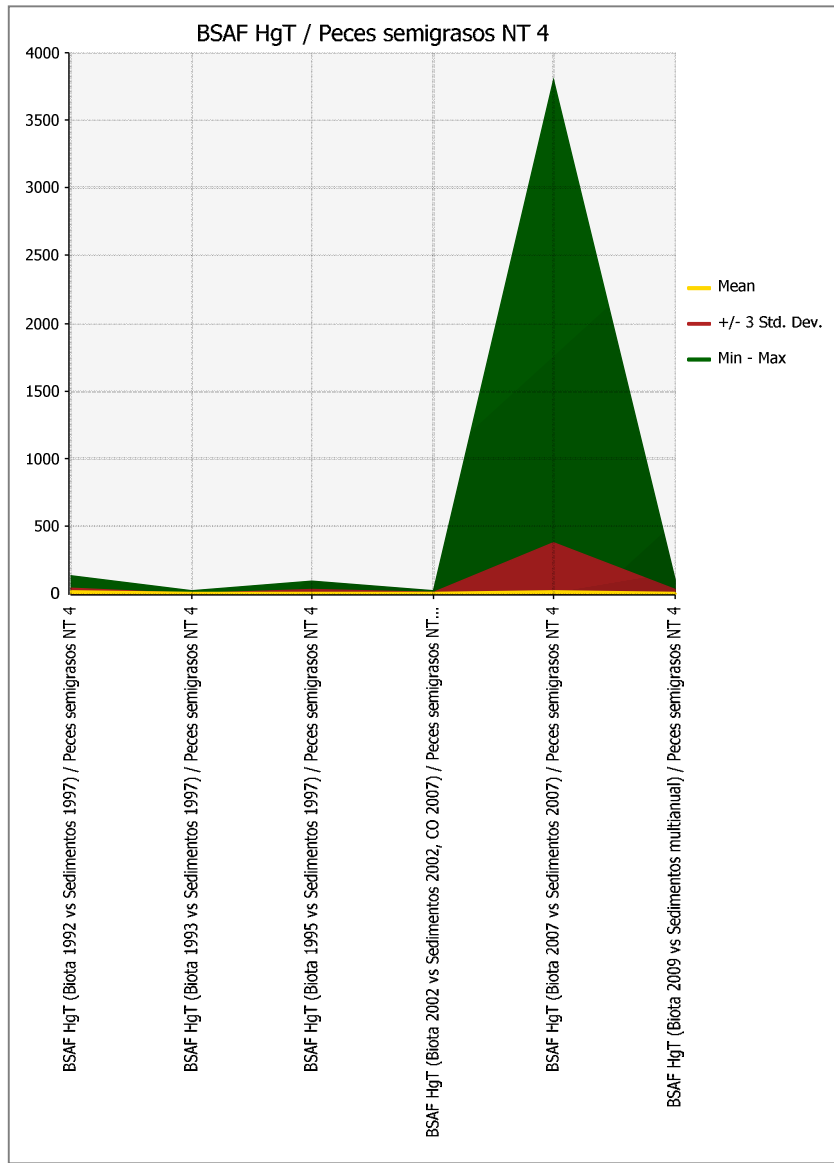


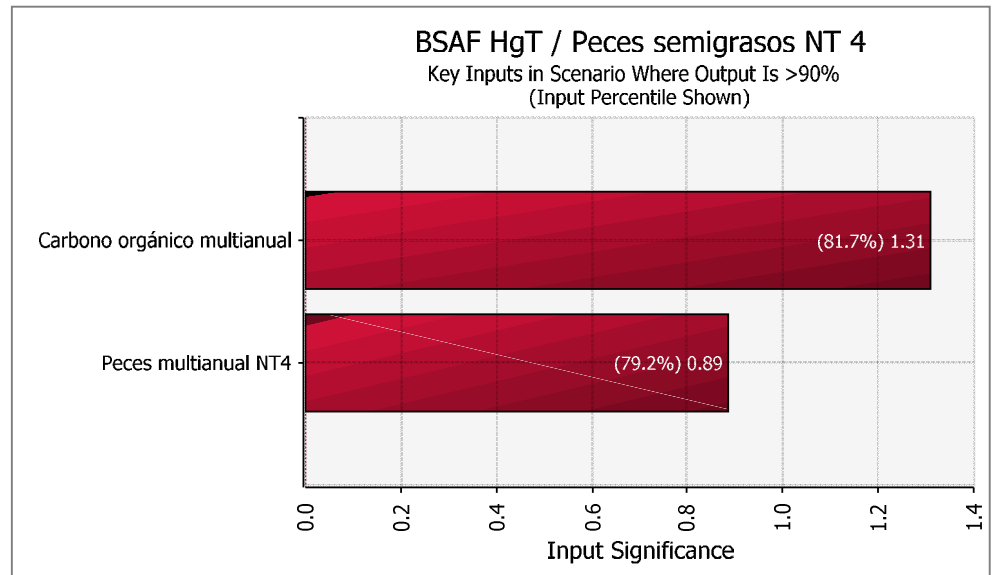
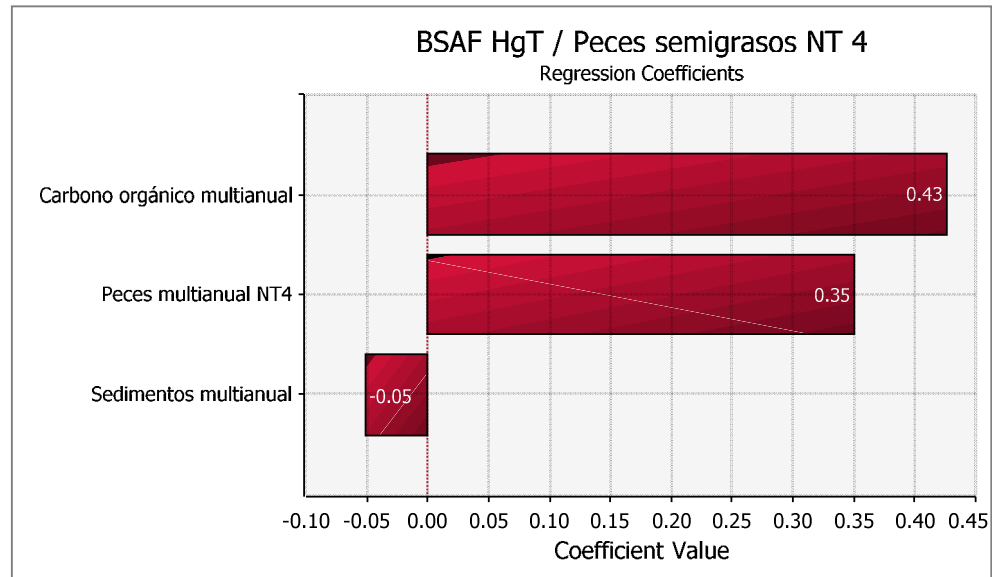


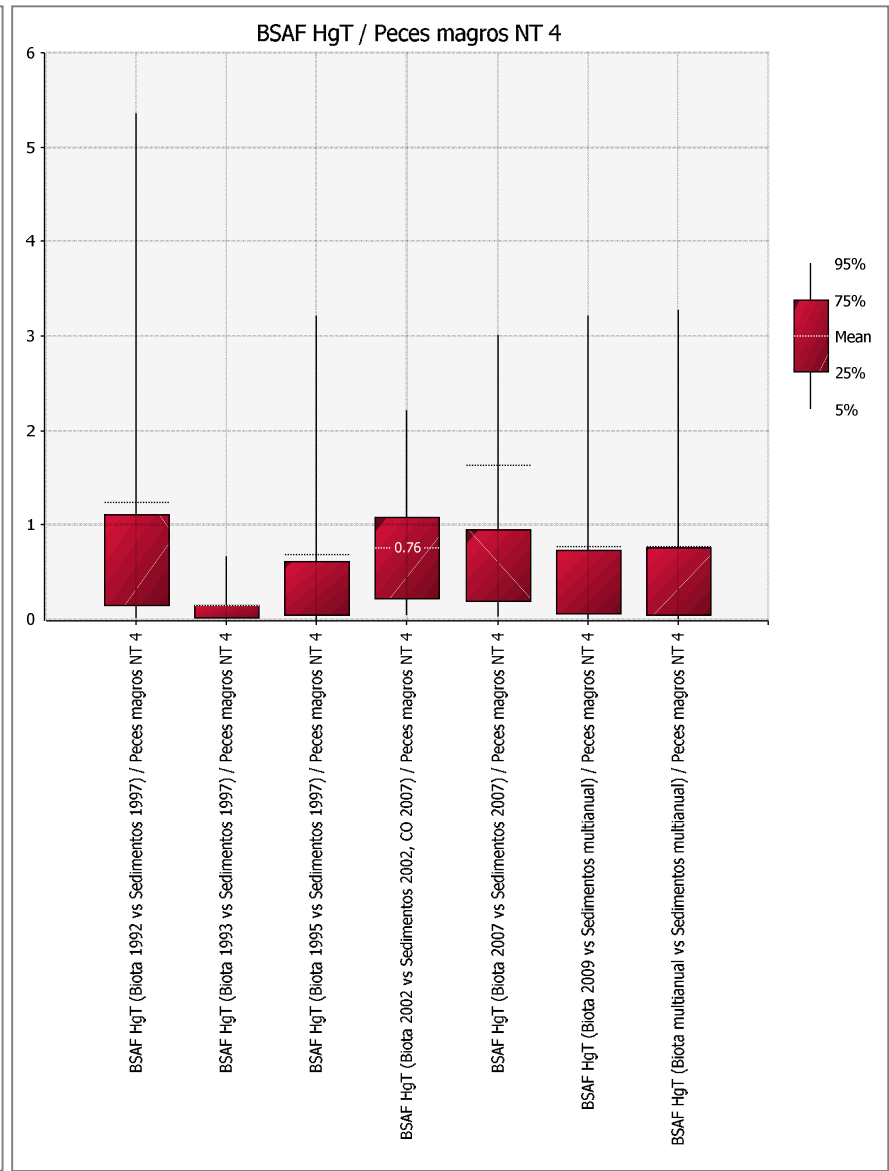
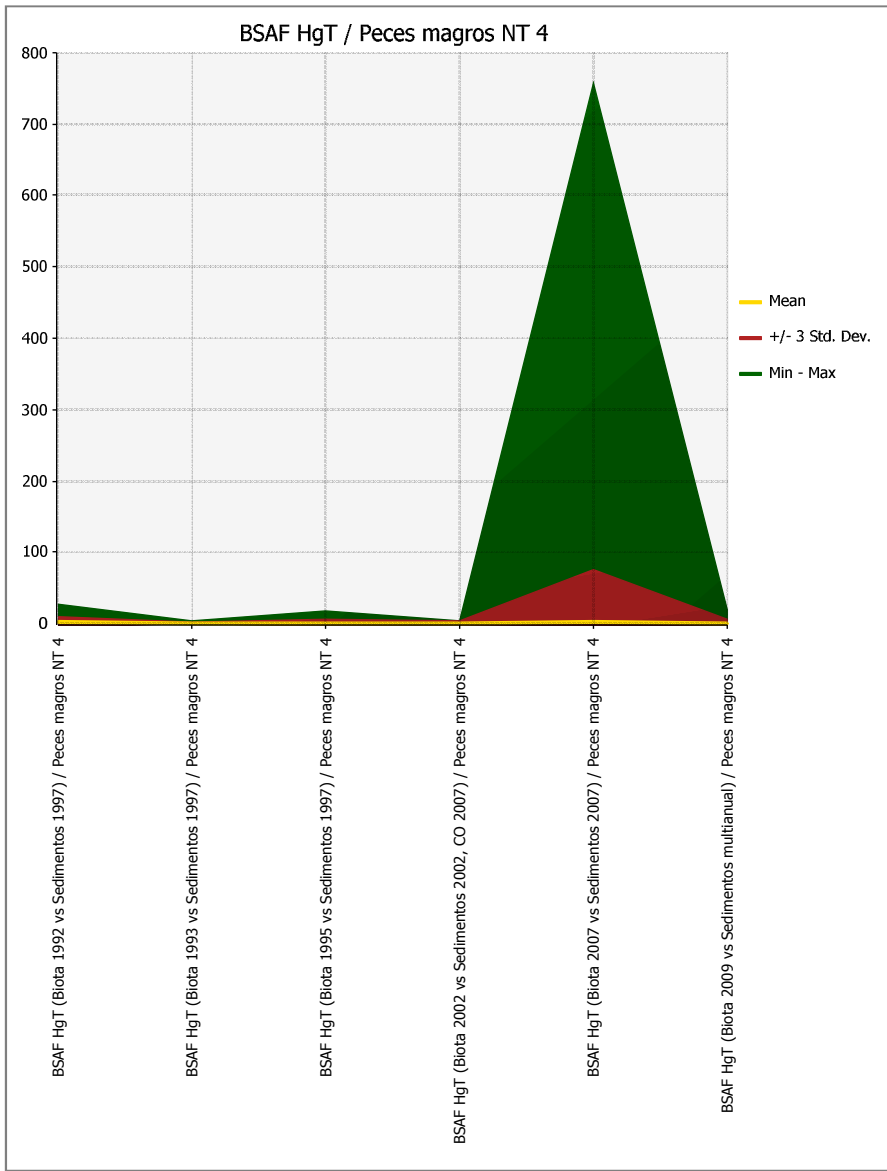


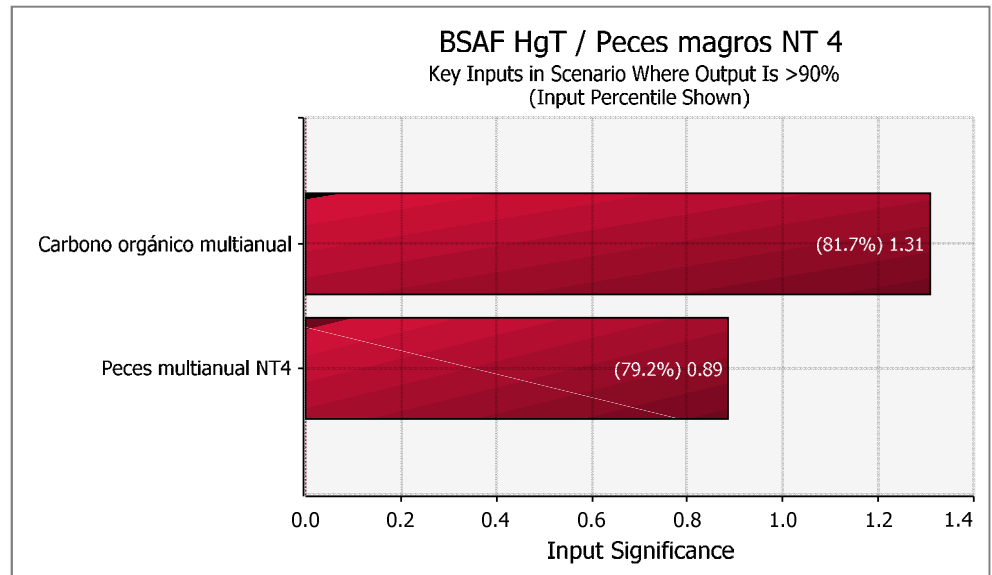
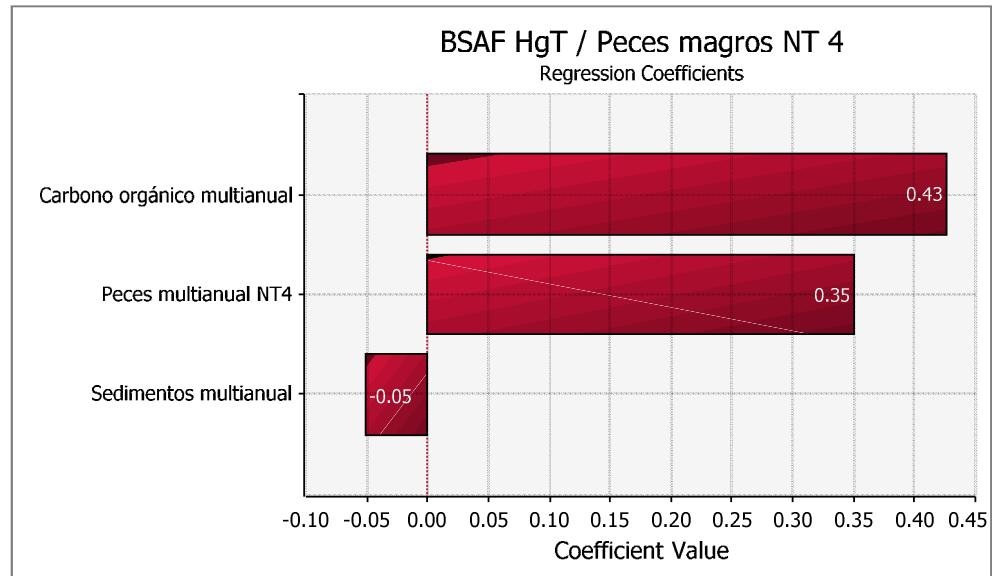


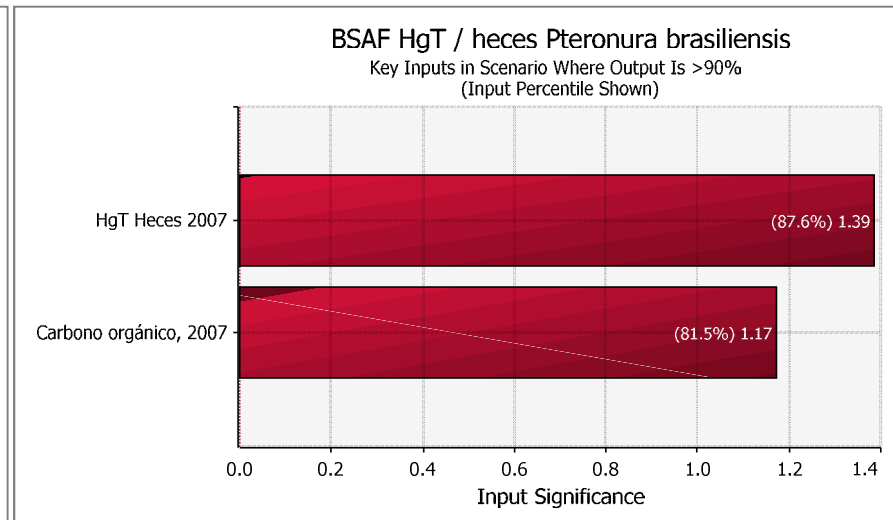
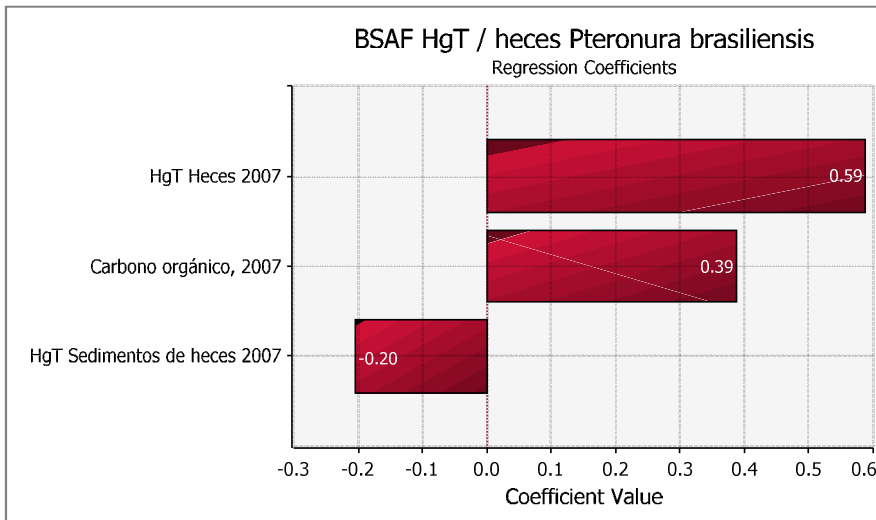
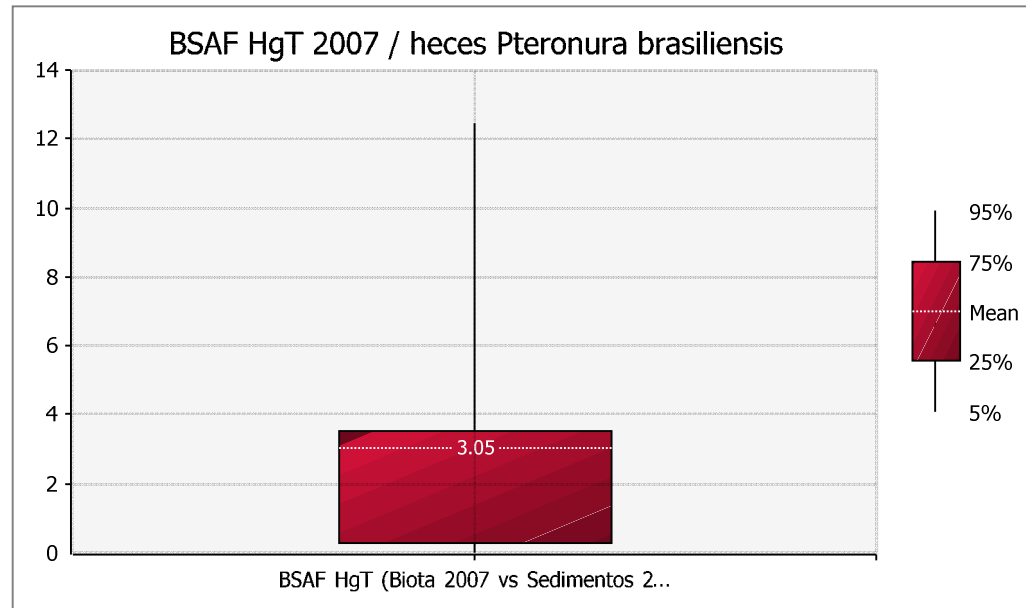






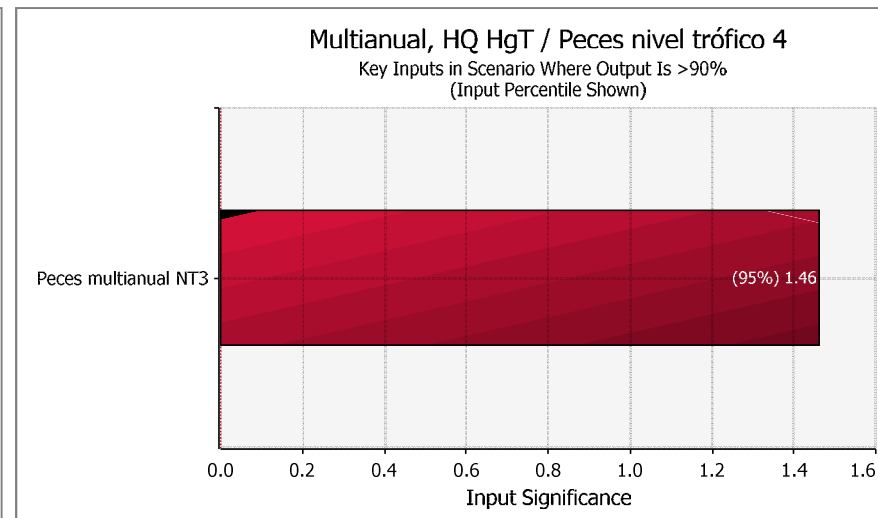
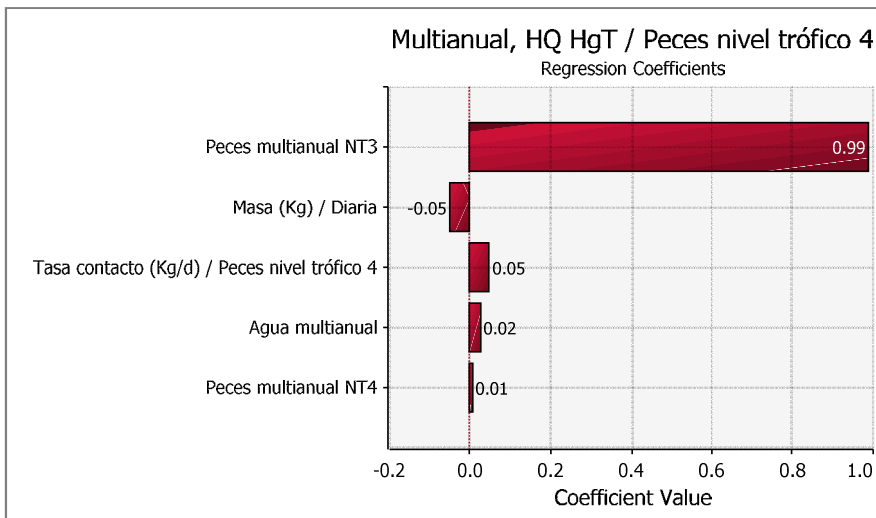
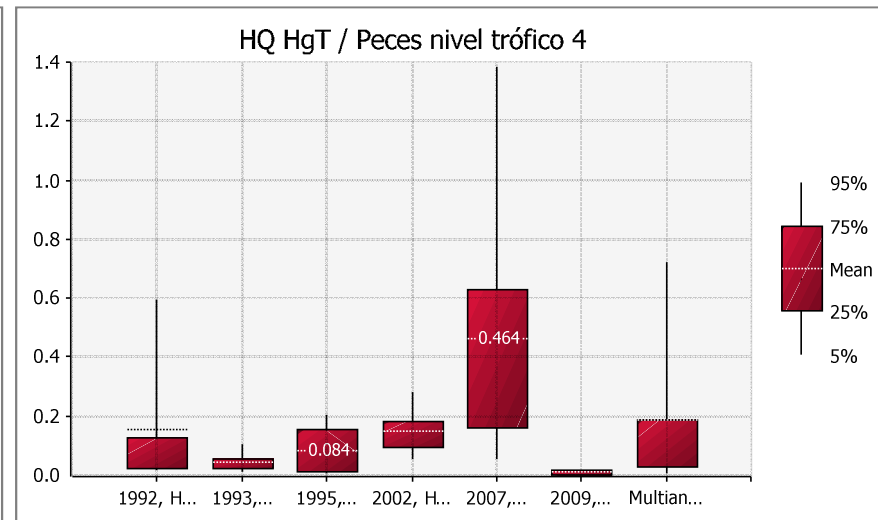
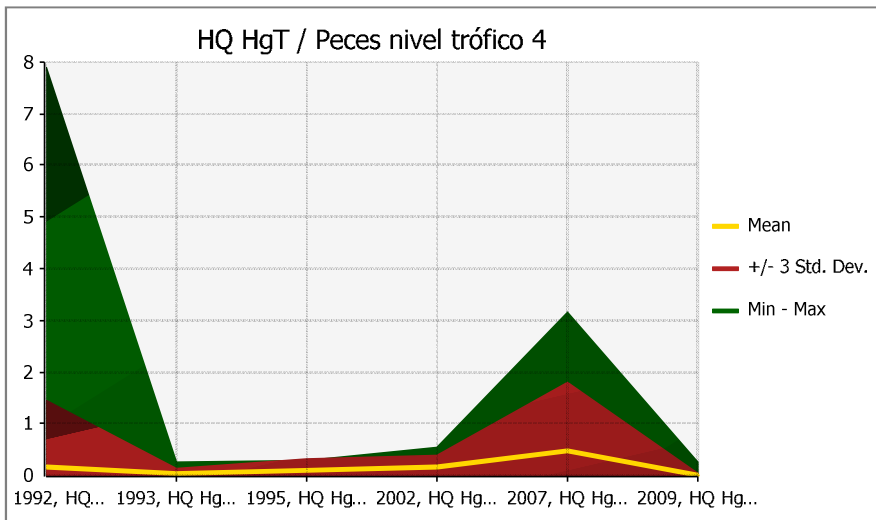


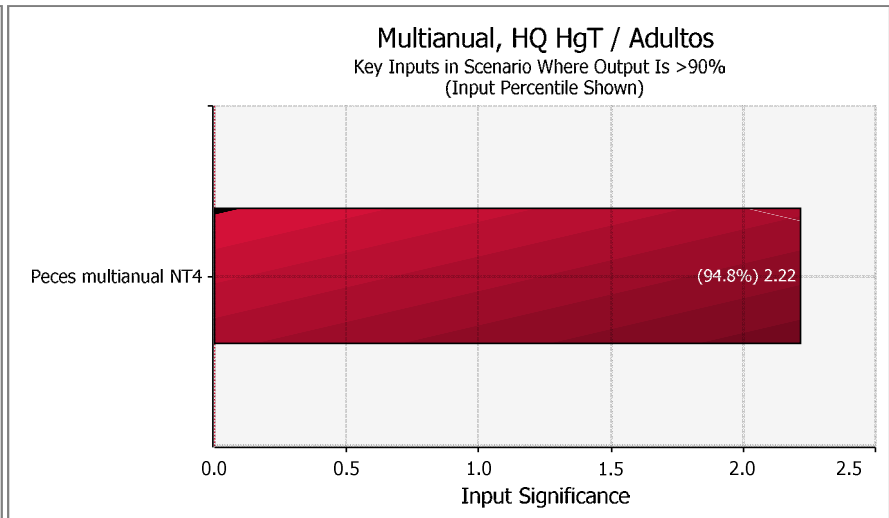
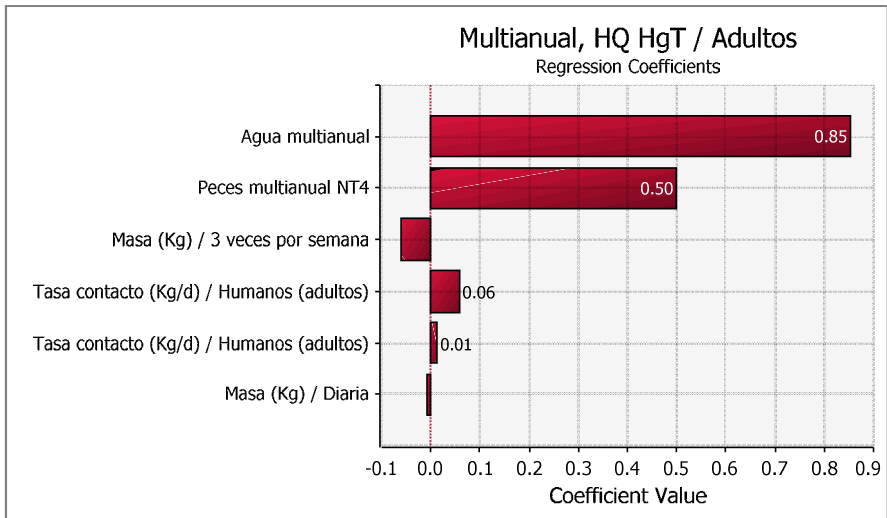
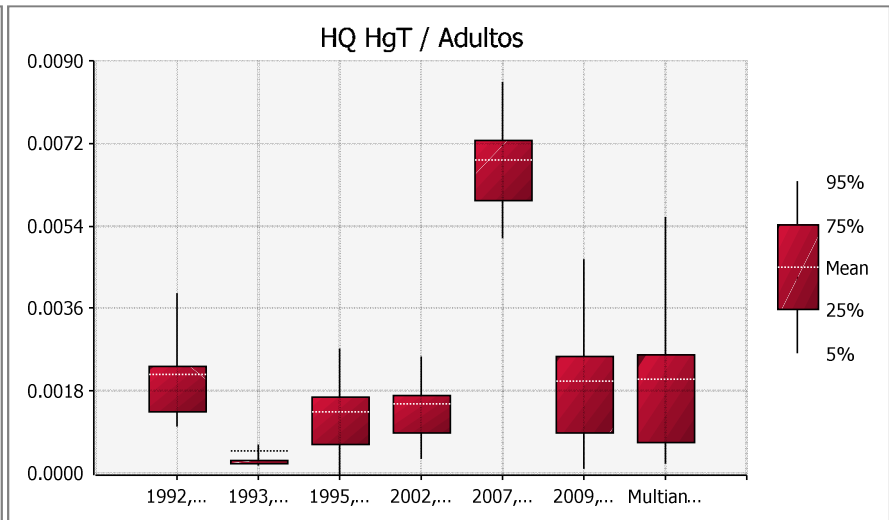
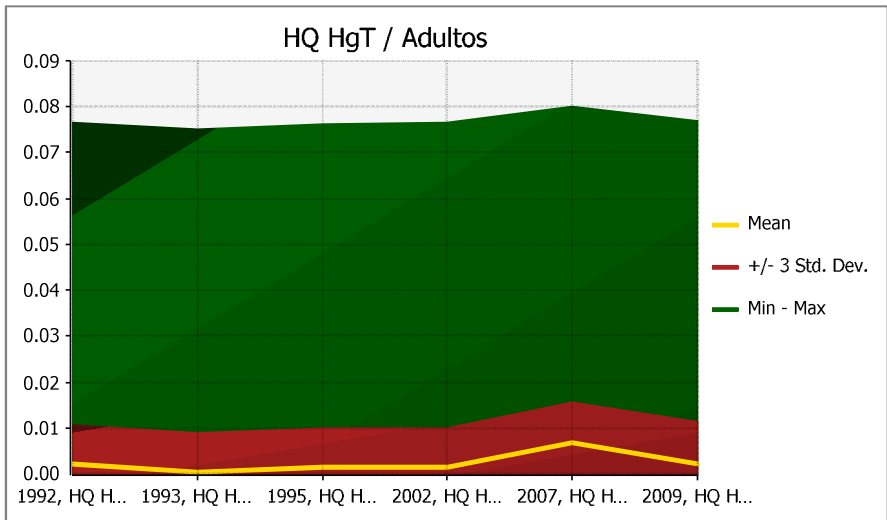


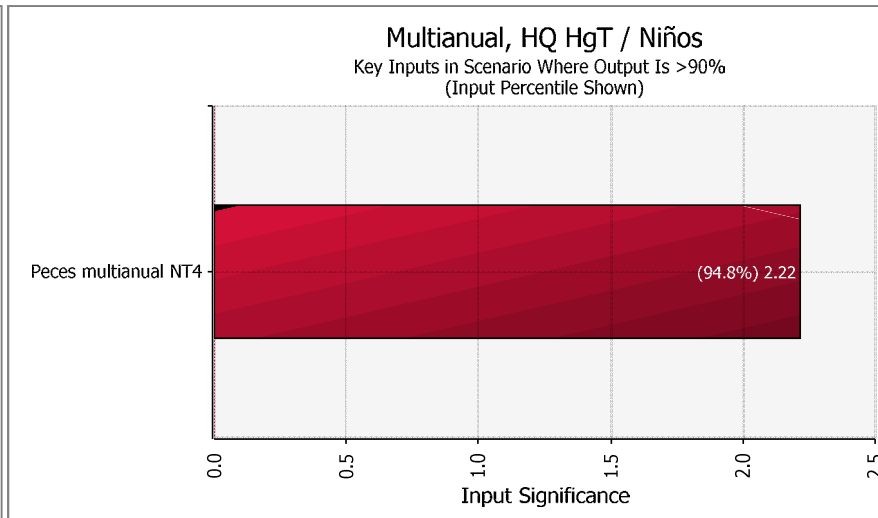
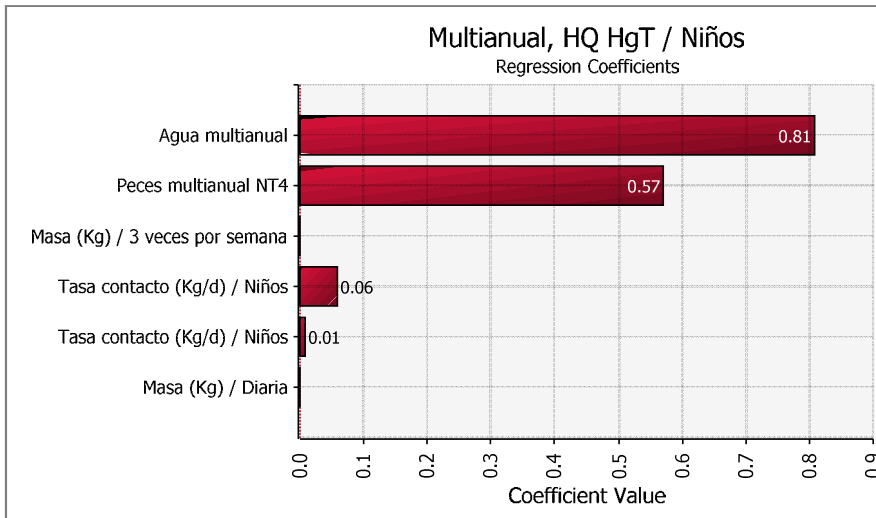
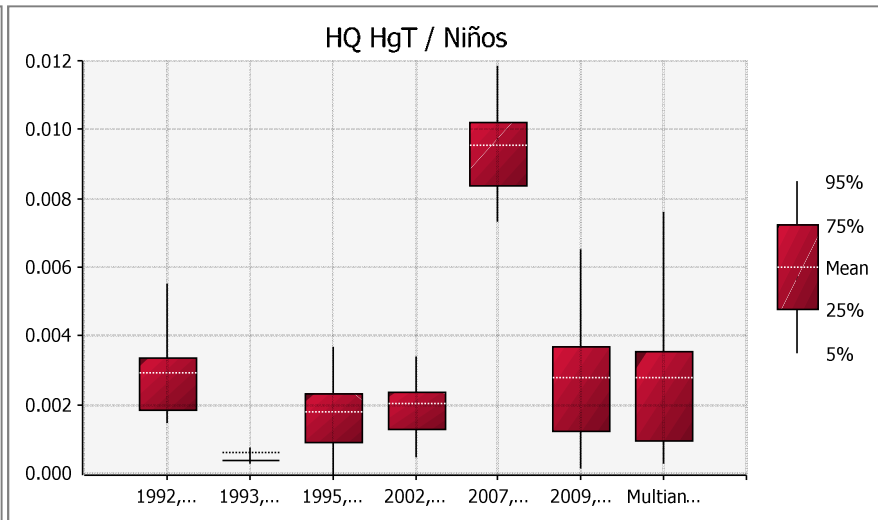
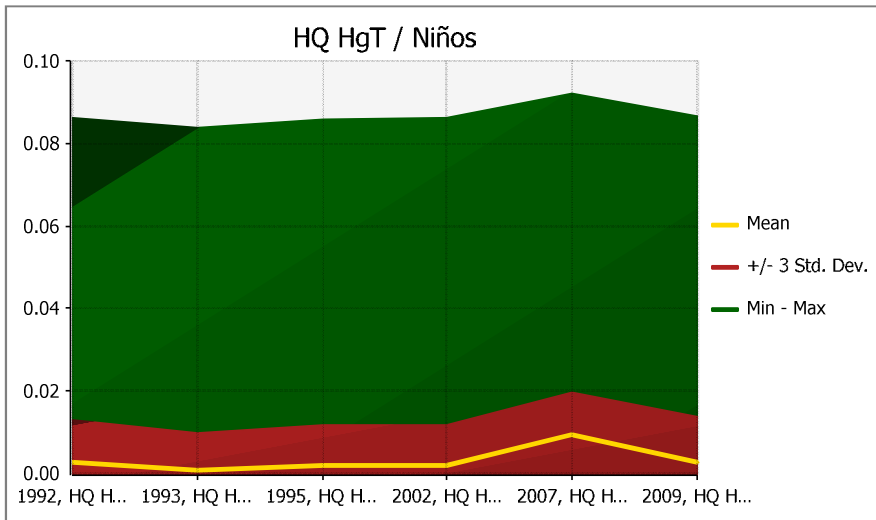


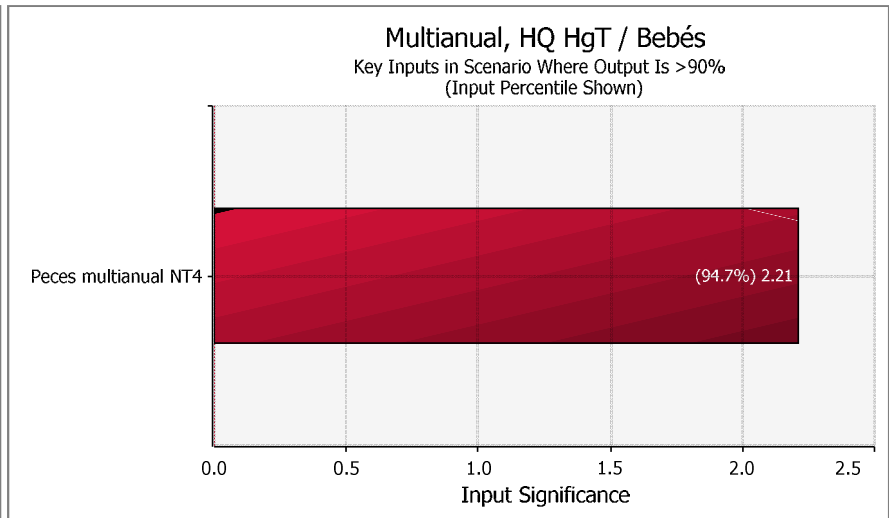
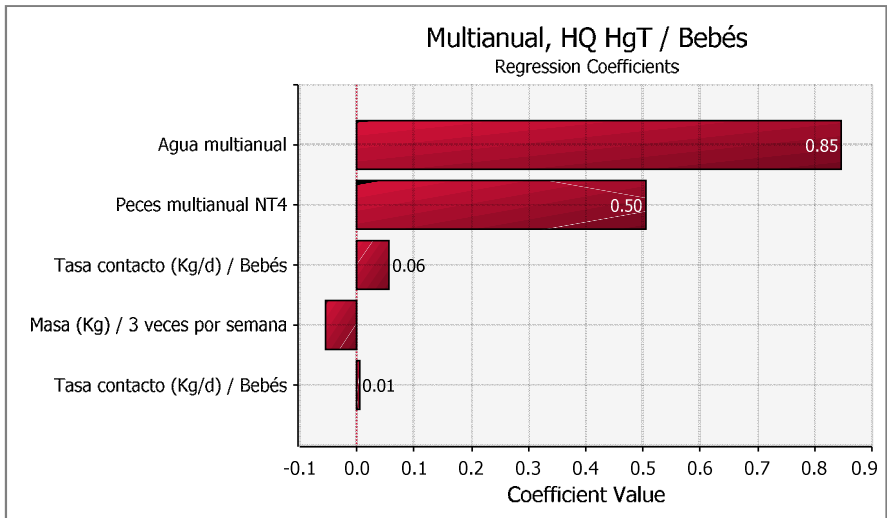
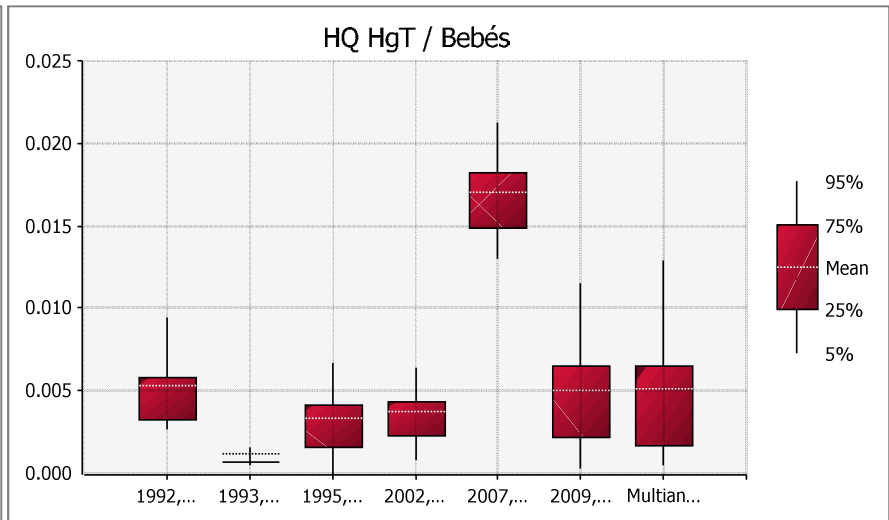
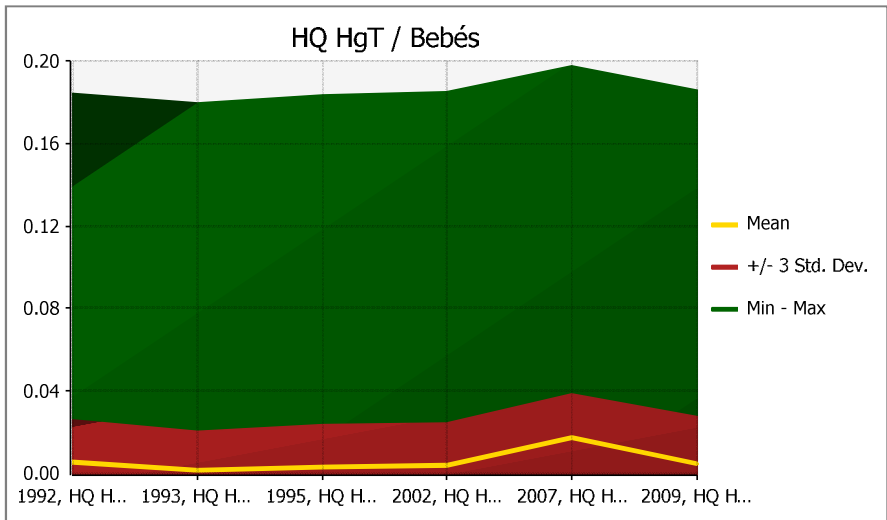


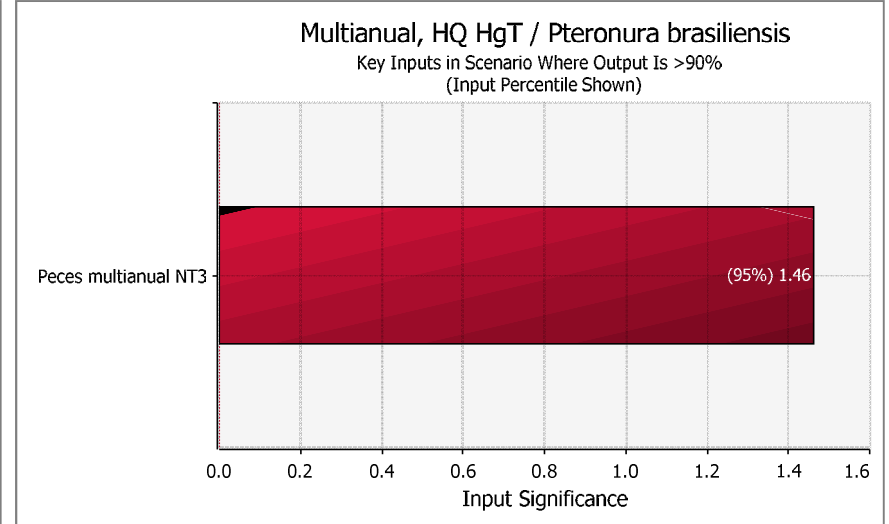
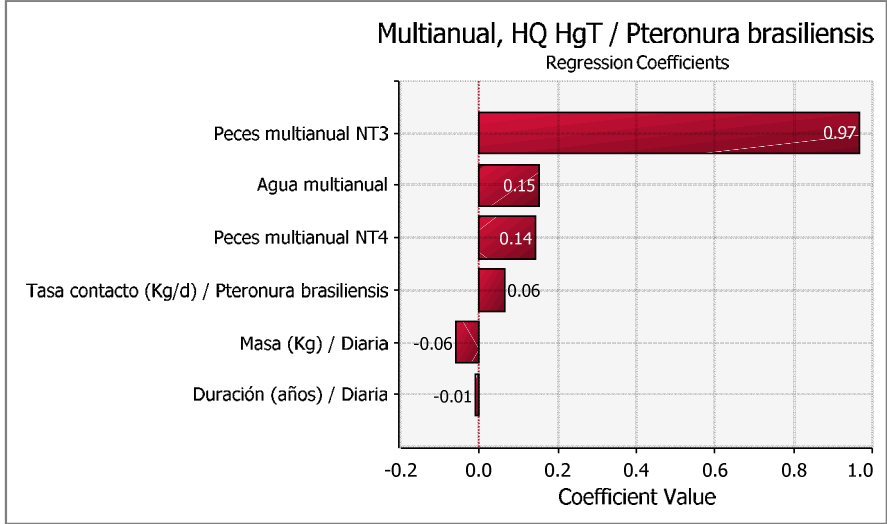
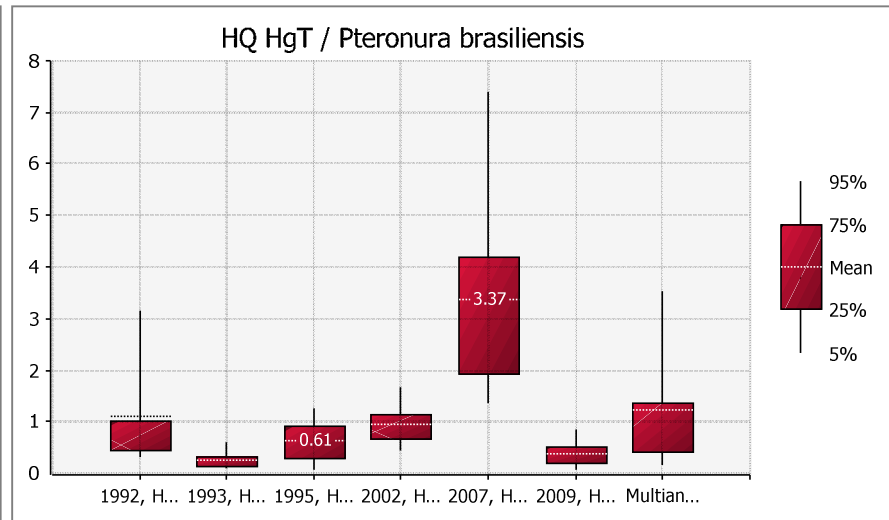
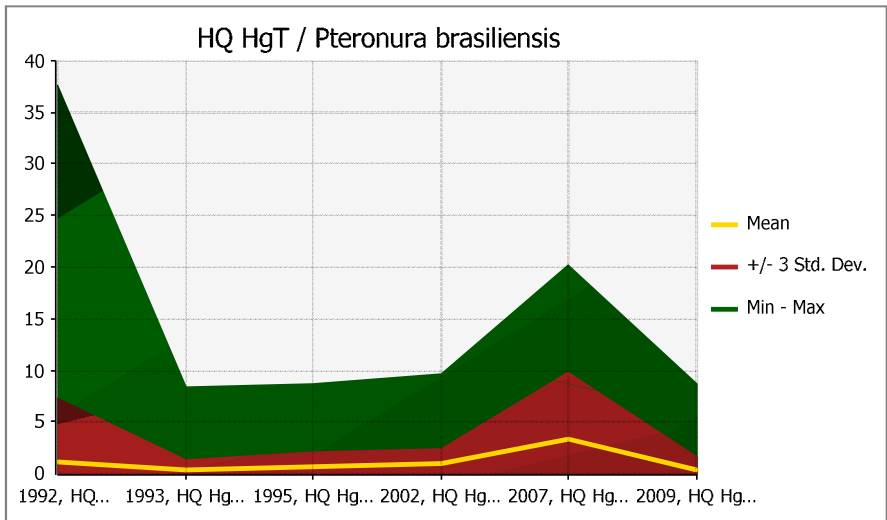
### Cociente de riesgo (HQ) – HgT

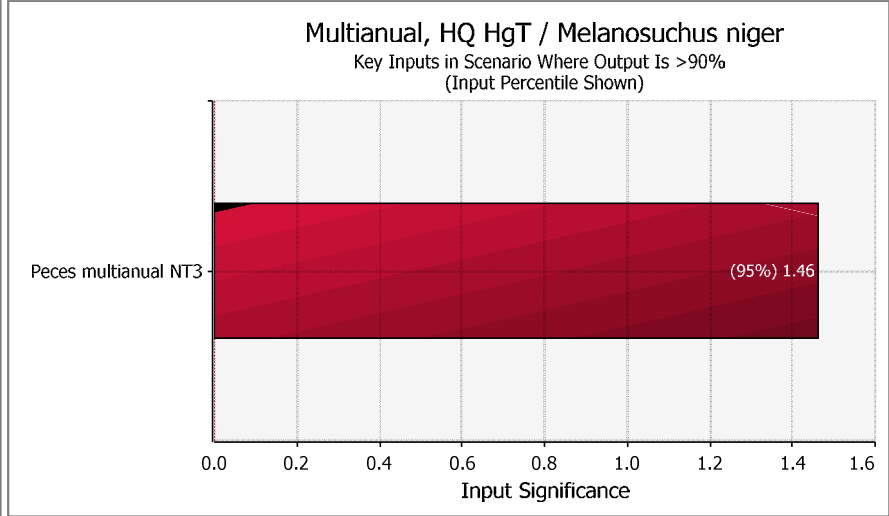
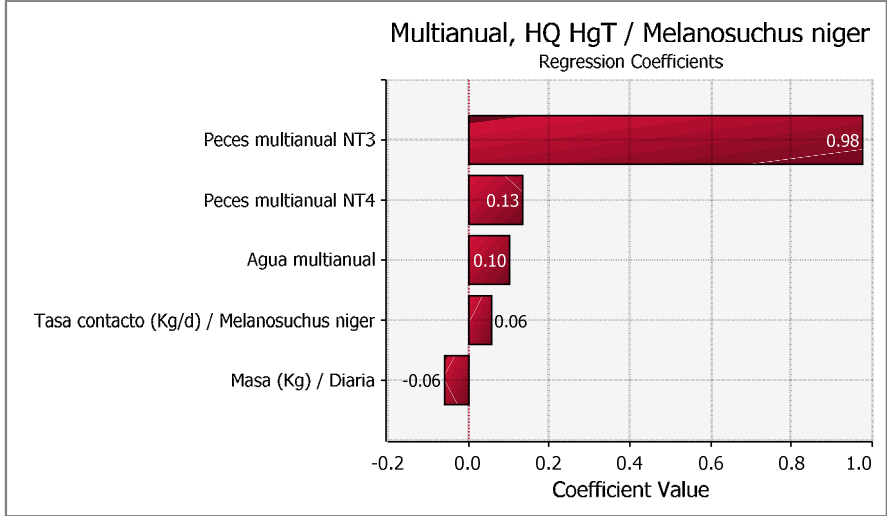
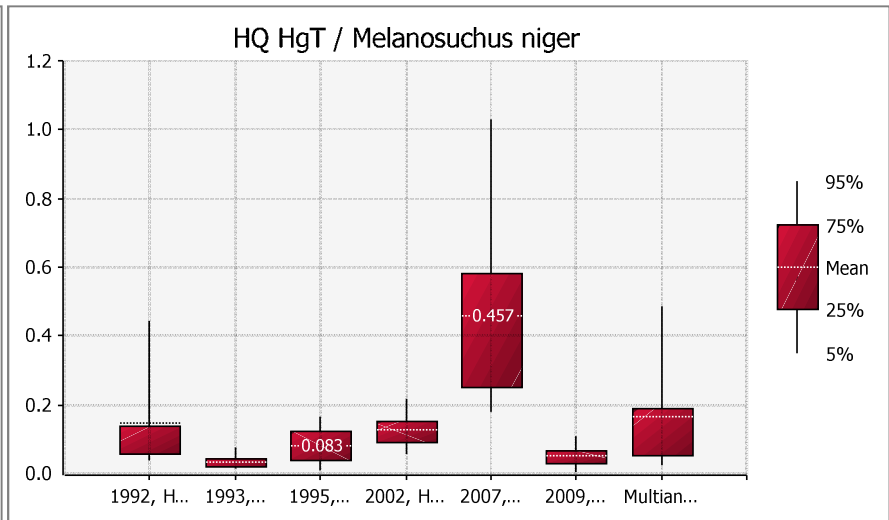
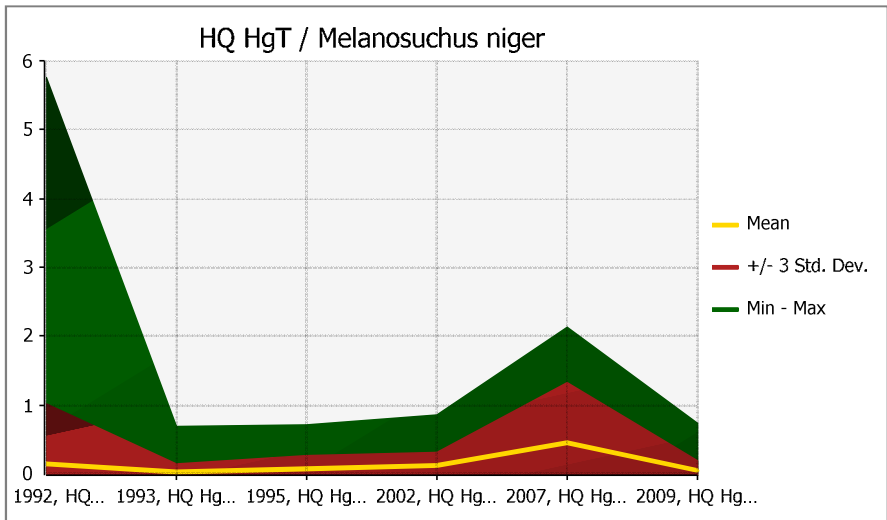




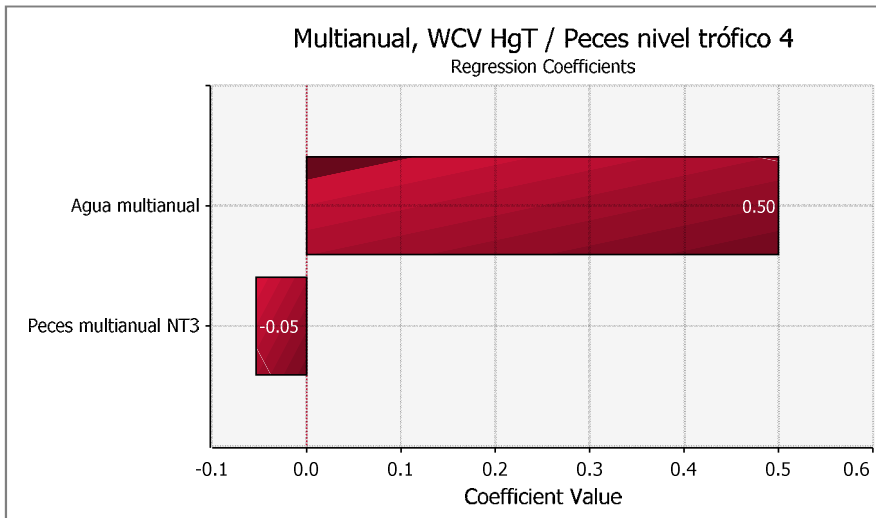
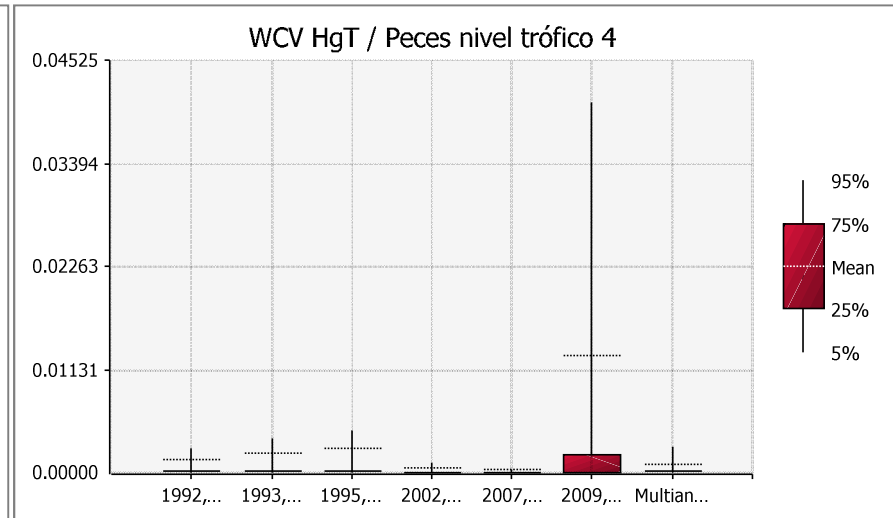
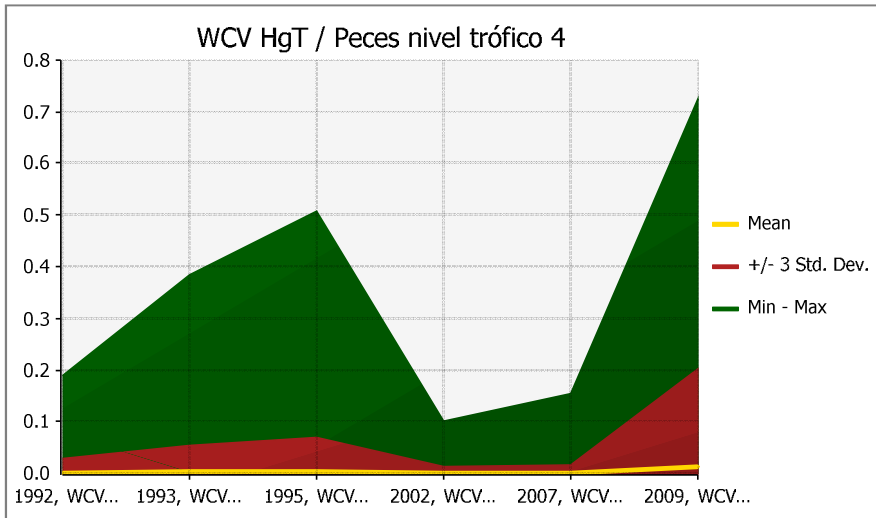


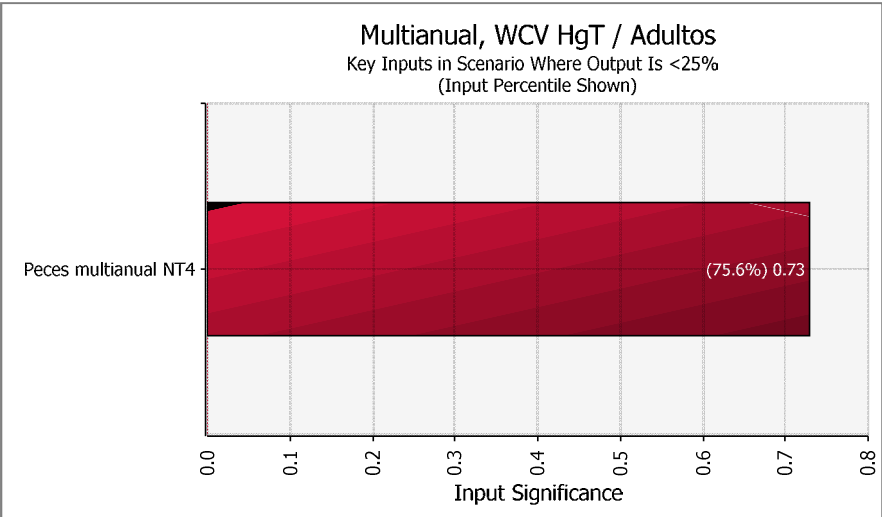
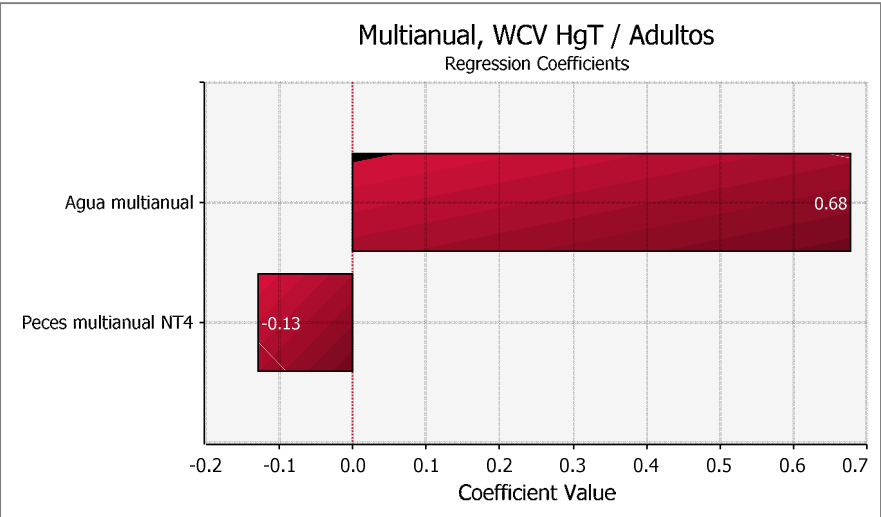
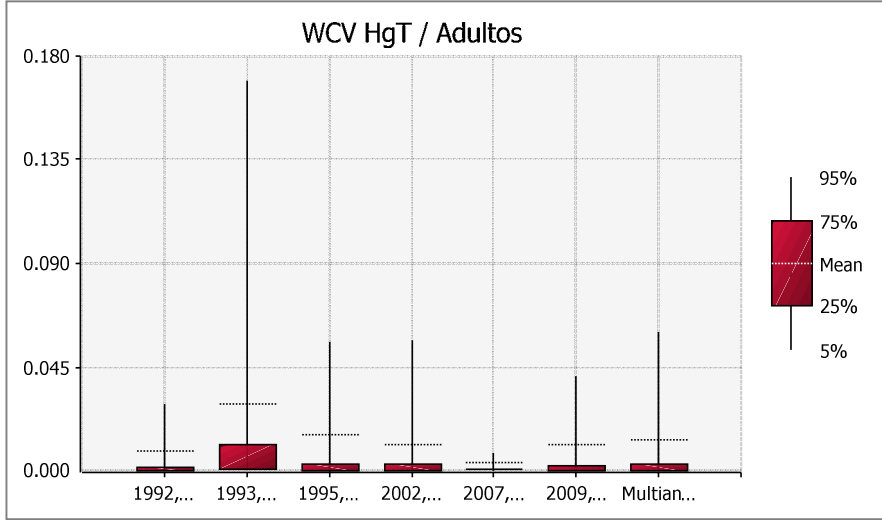
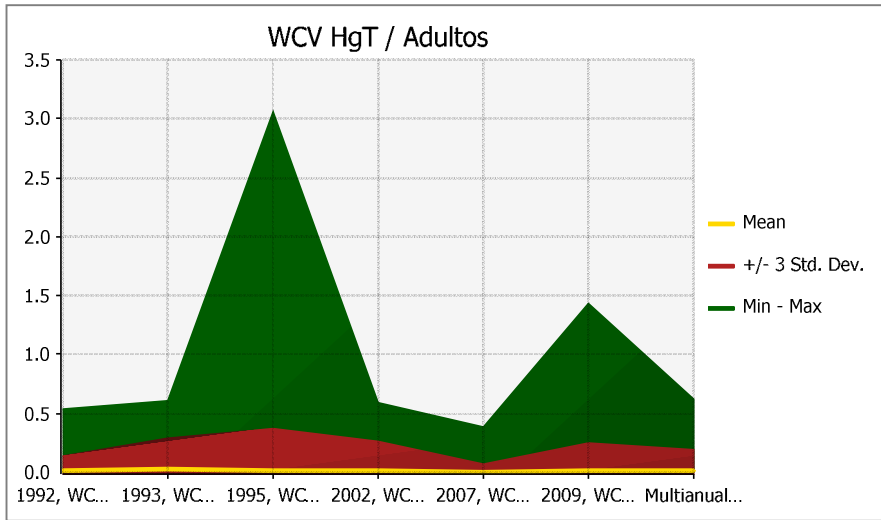




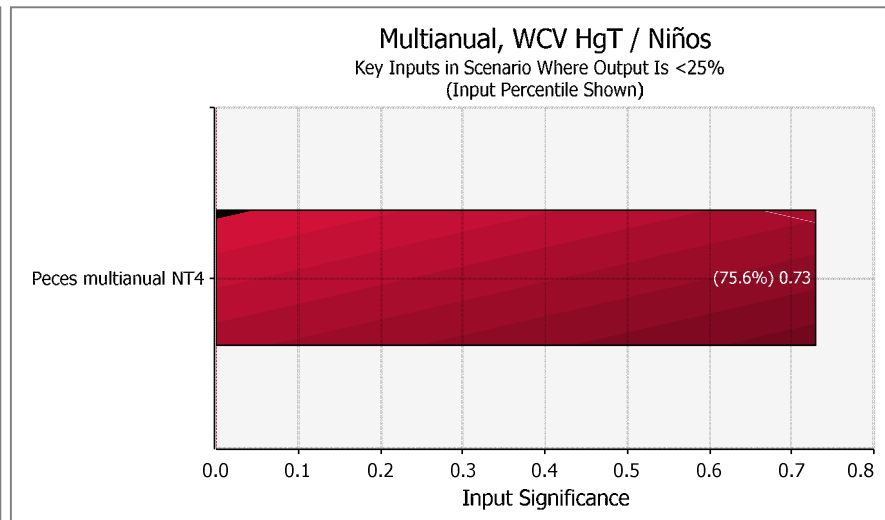
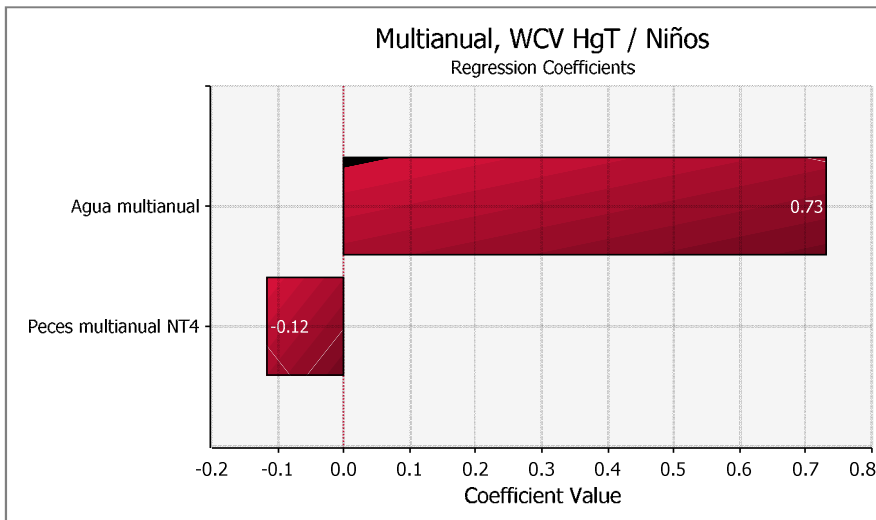
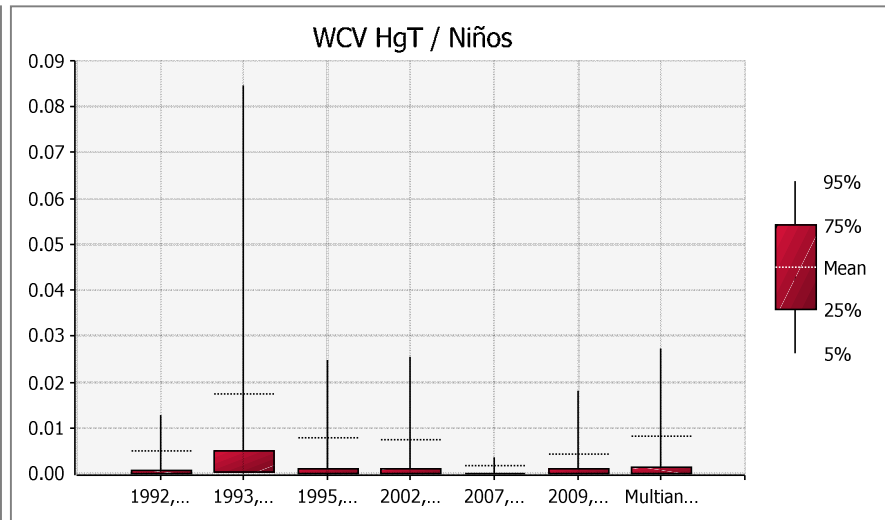
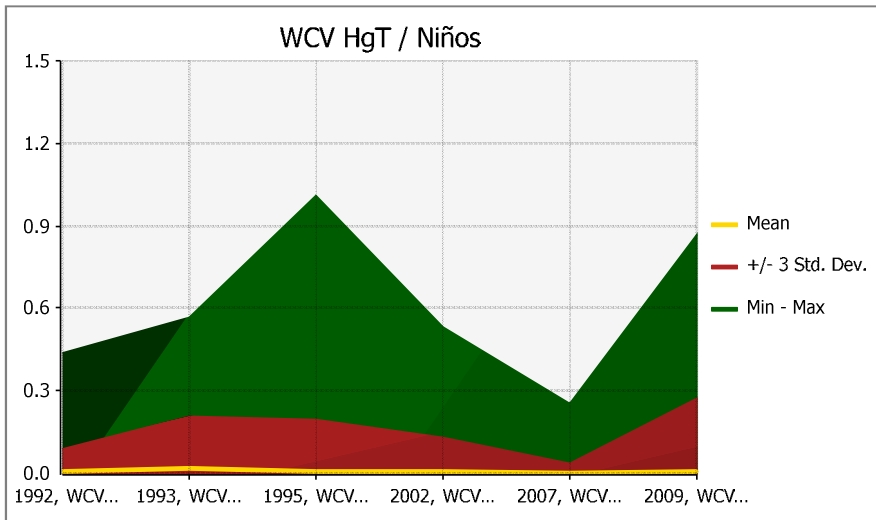


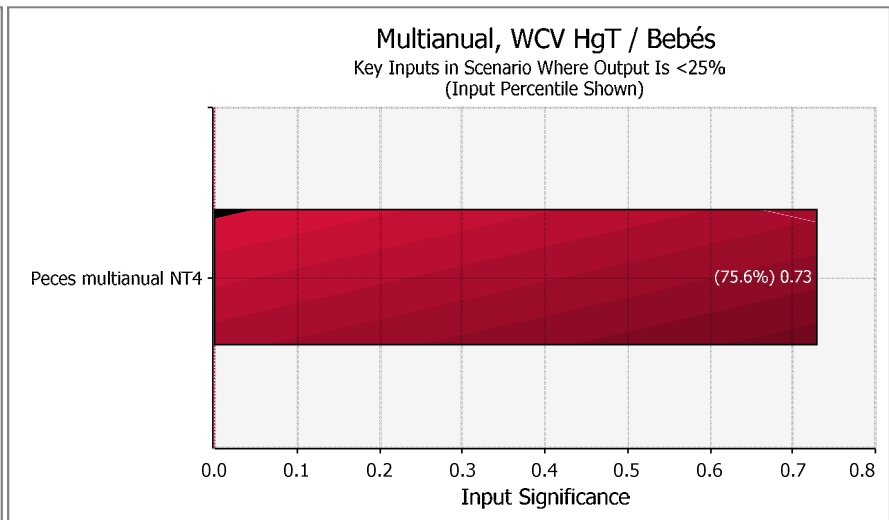
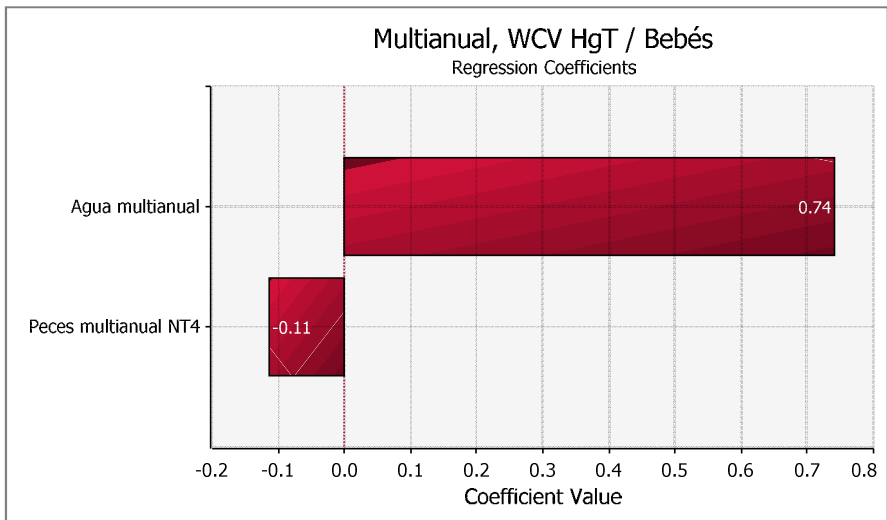
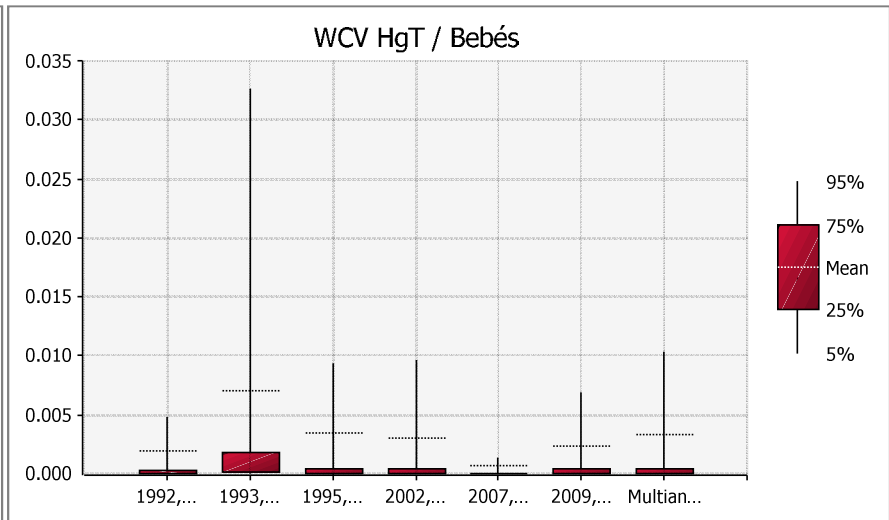
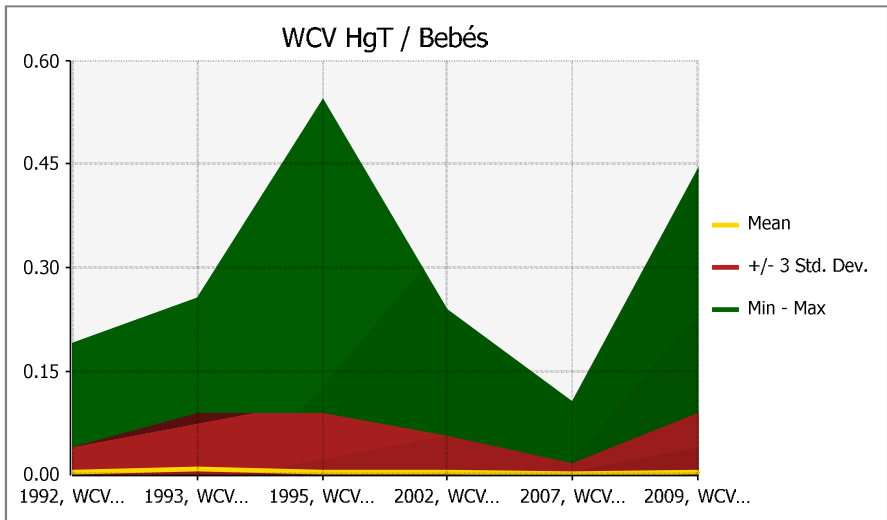
### Valor criterio de protección – HgT

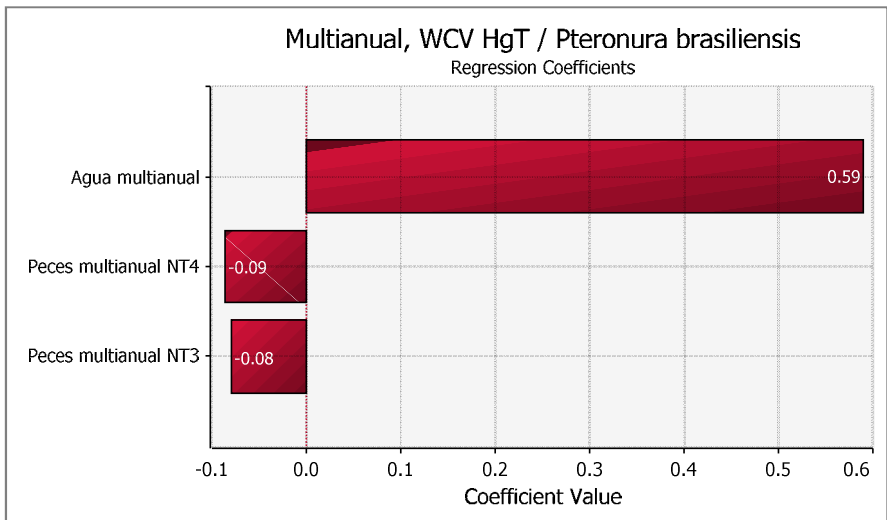
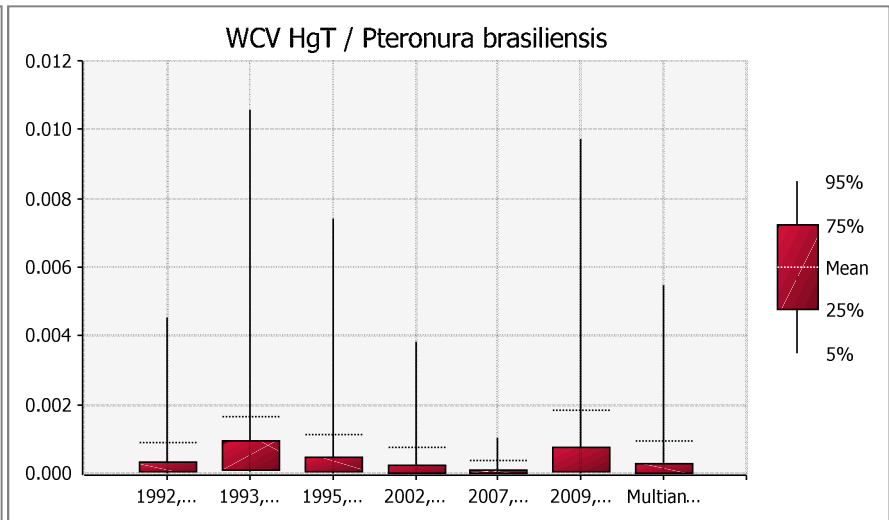
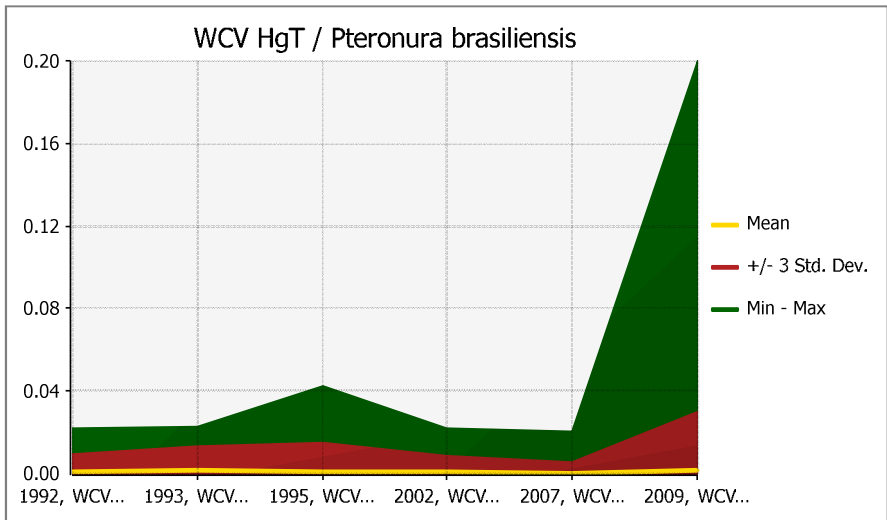


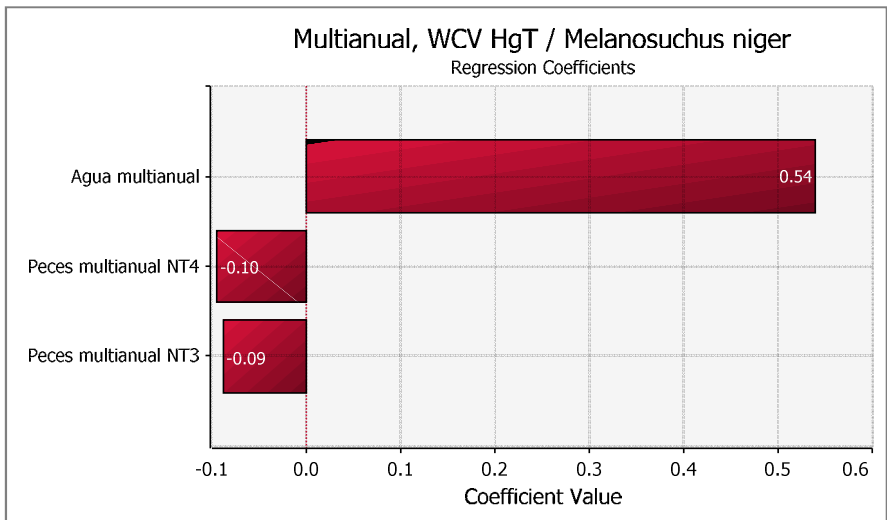
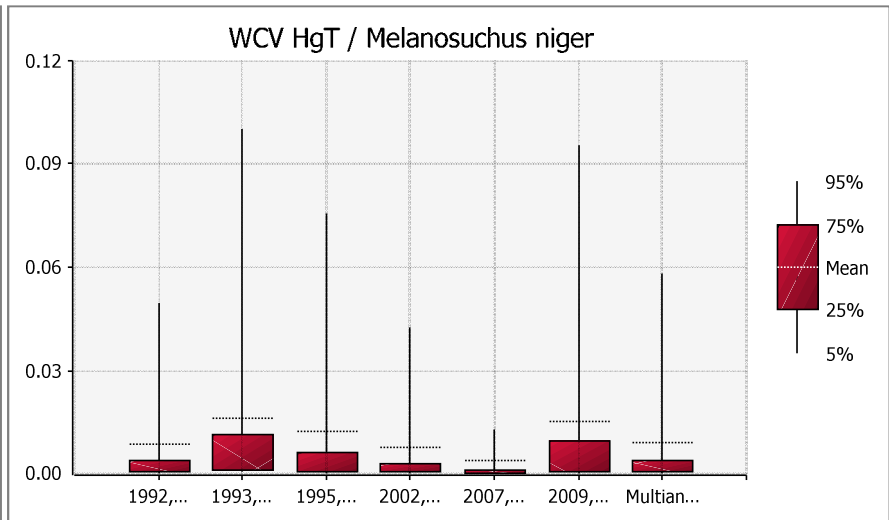
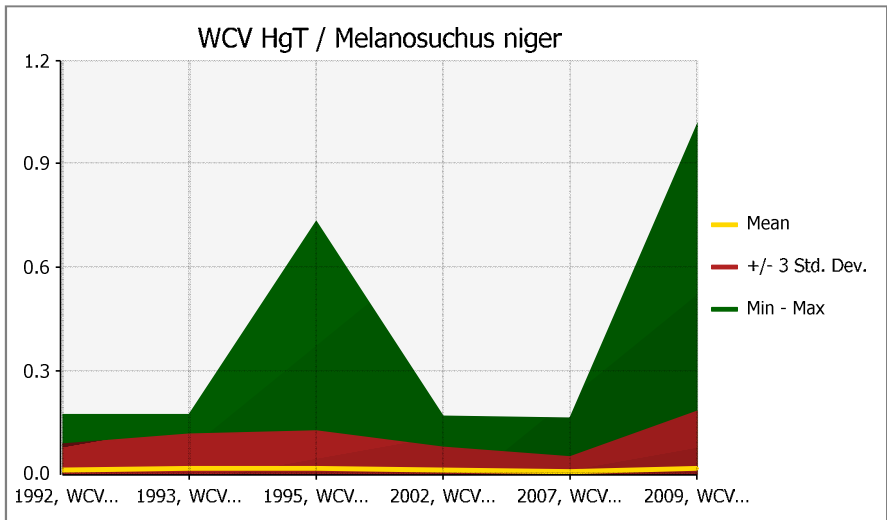




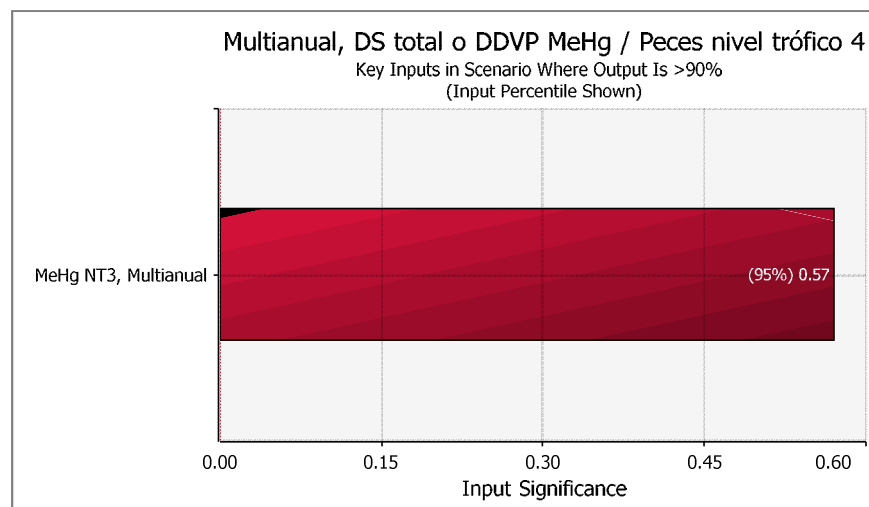
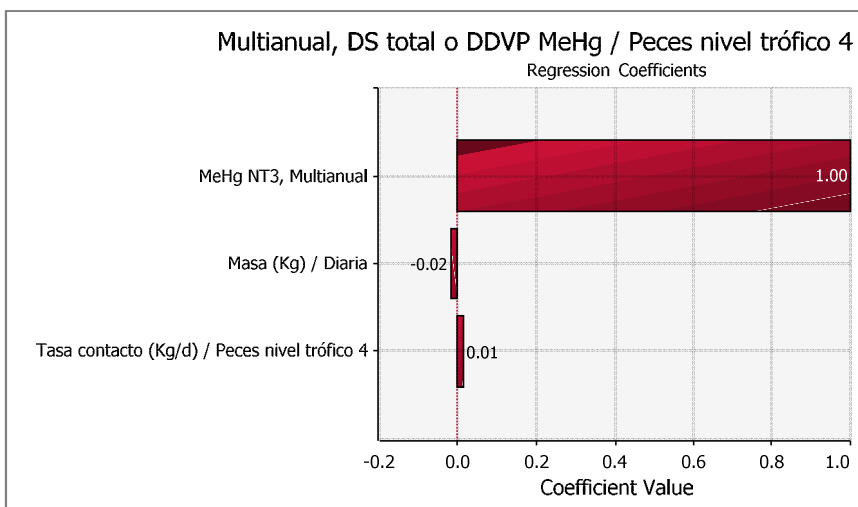
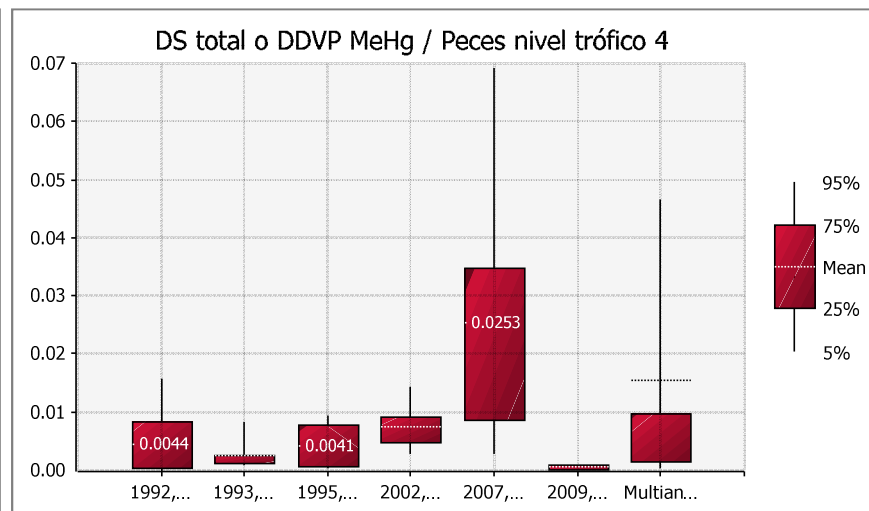
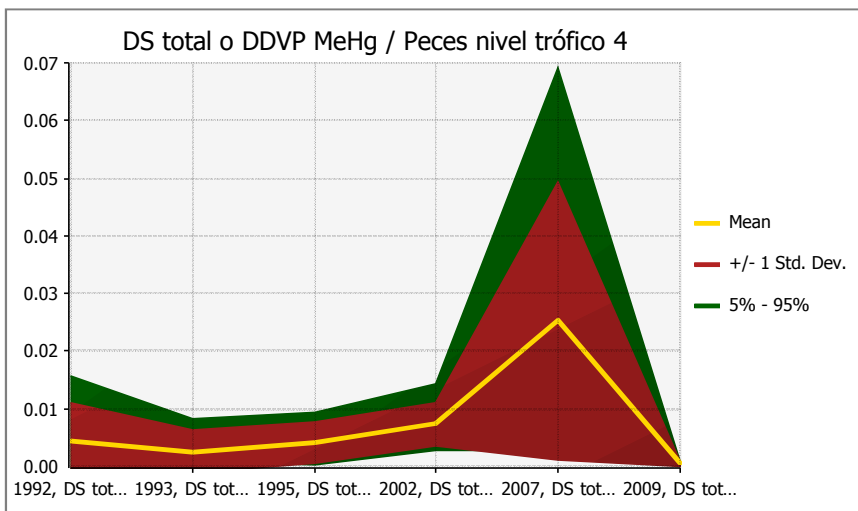




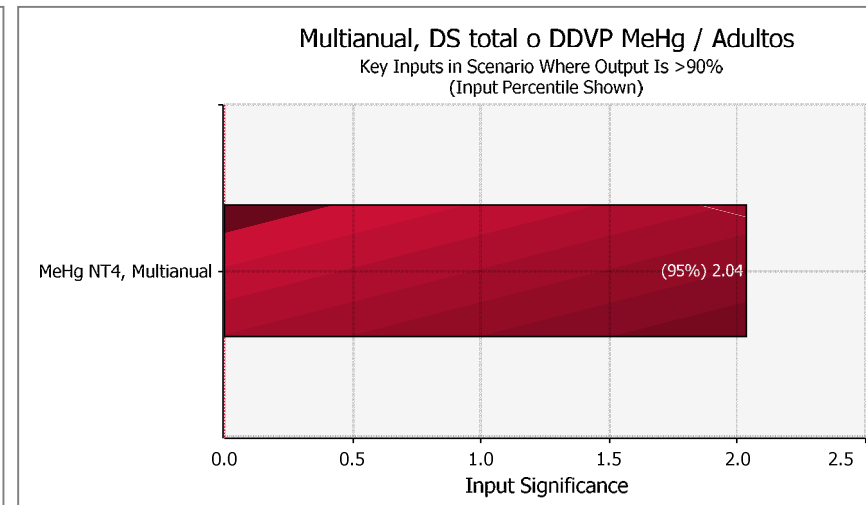
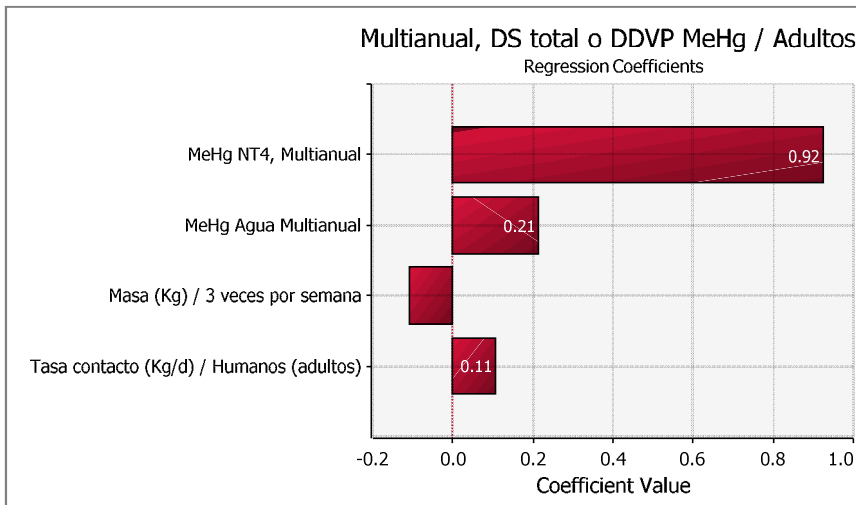
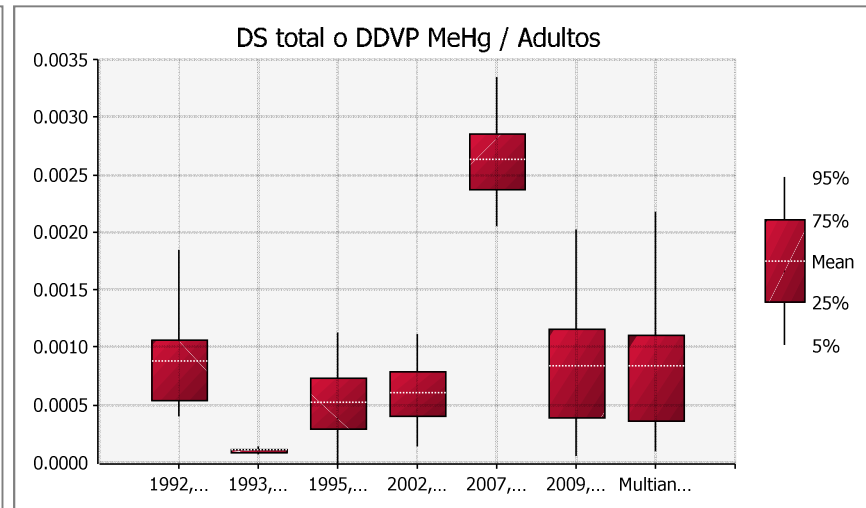
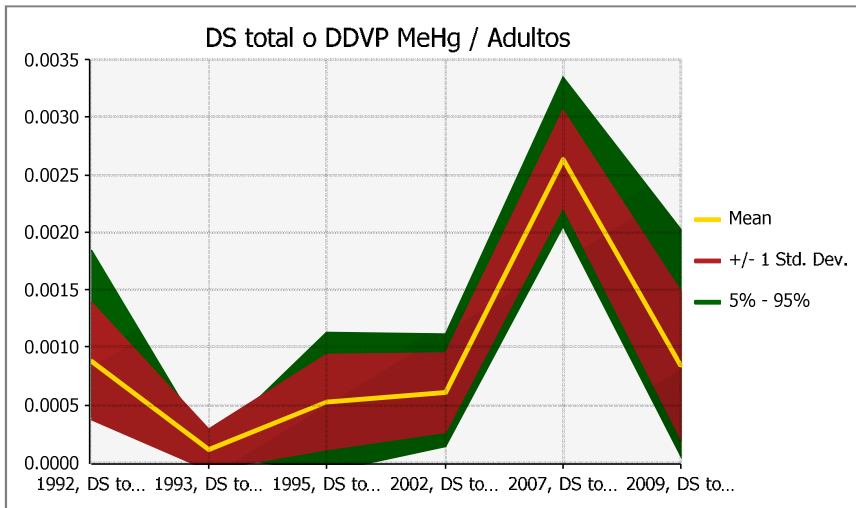


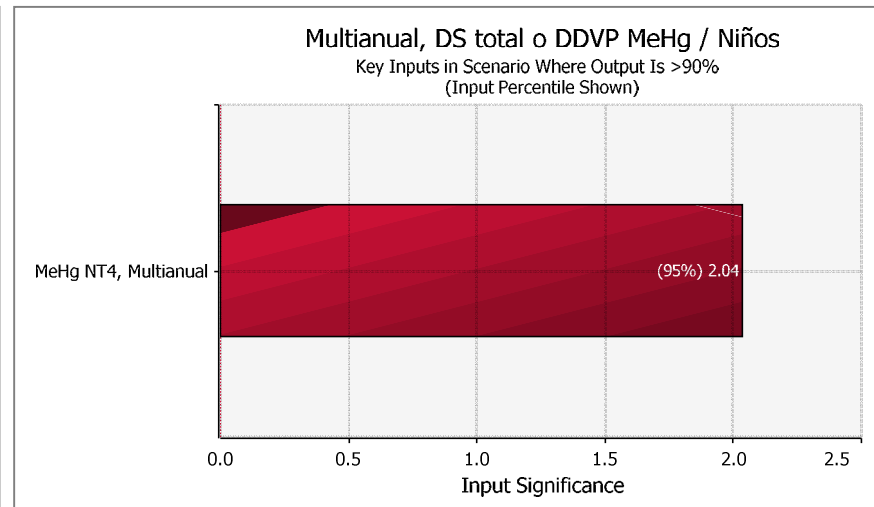
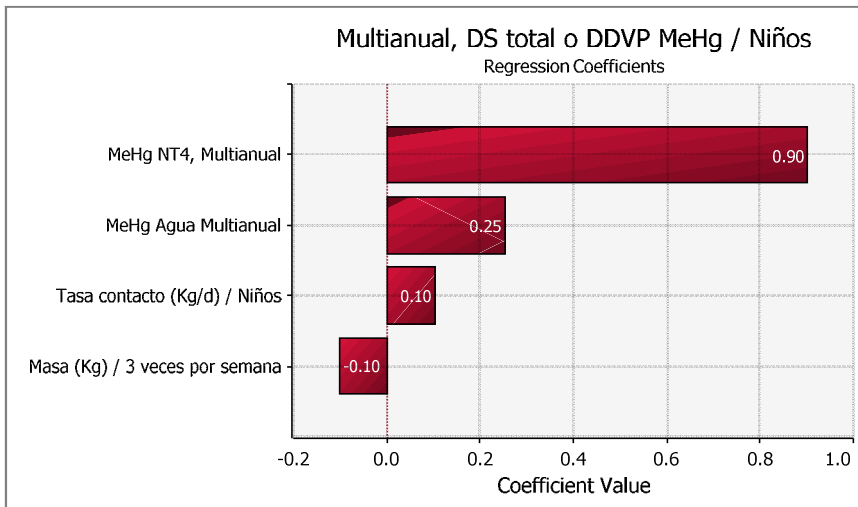
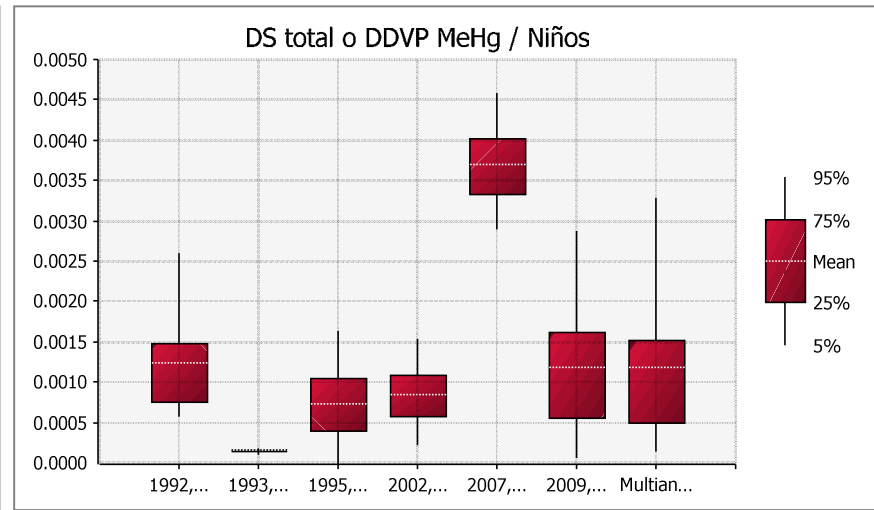
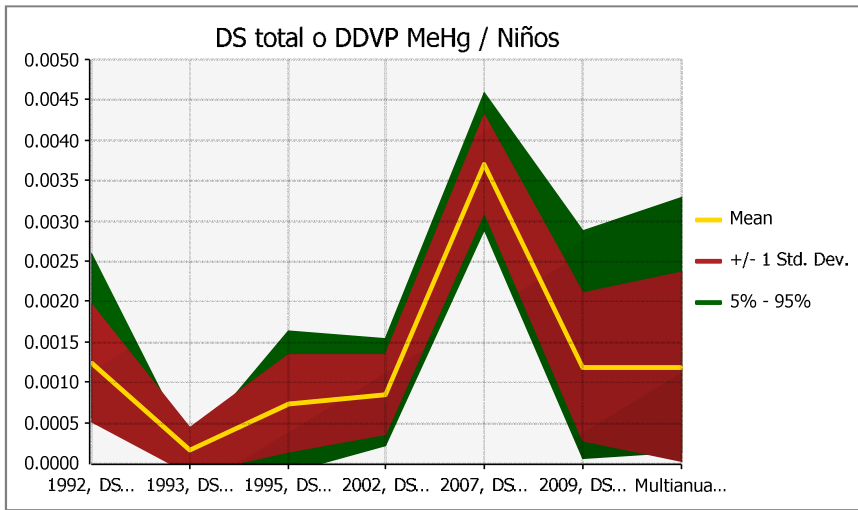


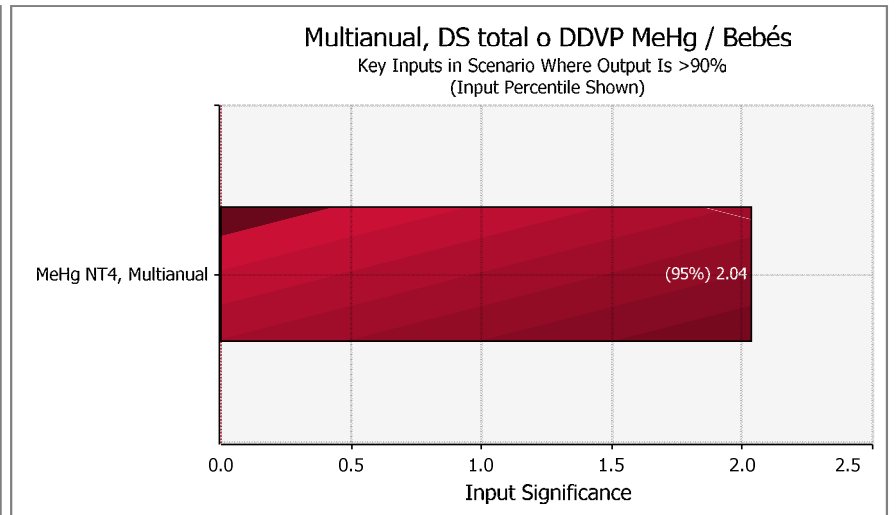
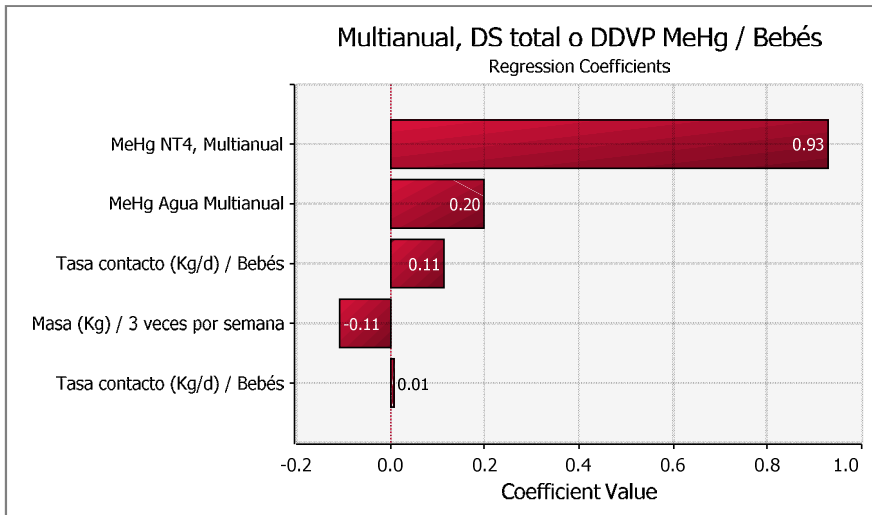
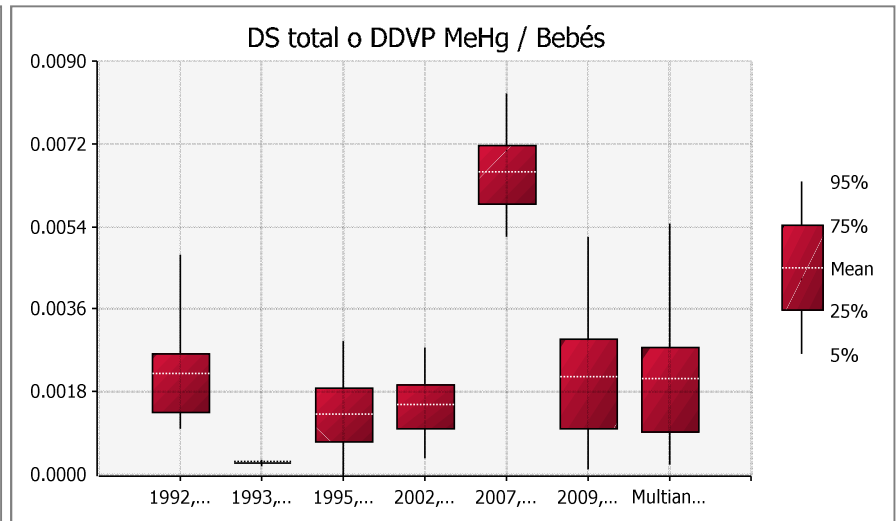
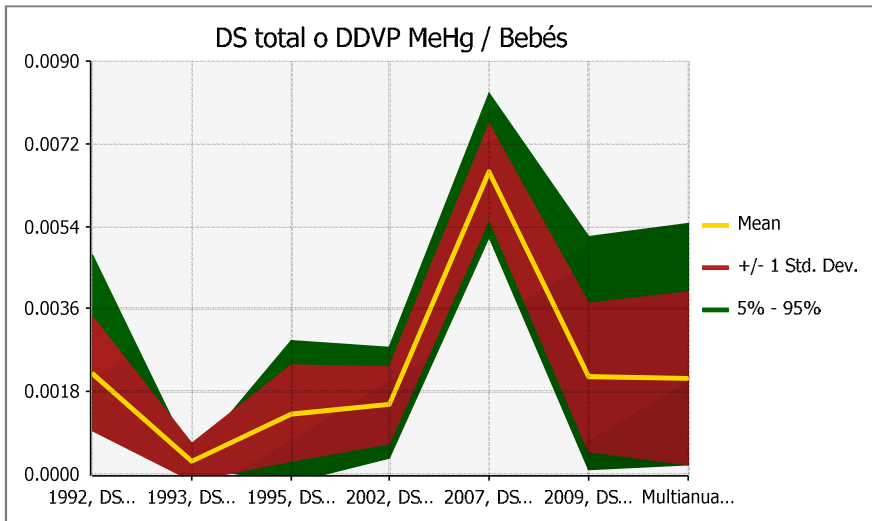
### Dosis suministrada<sup>4</sup> y Riesgo de Cáncer – MeHg



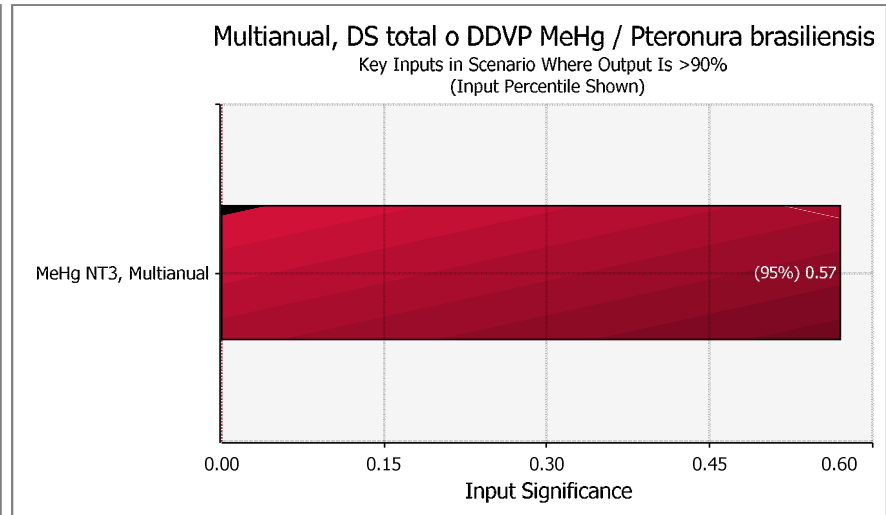
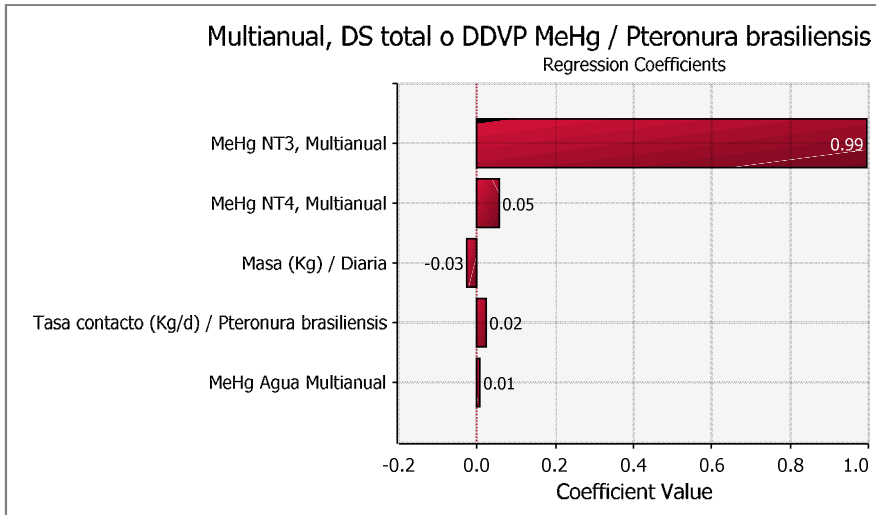
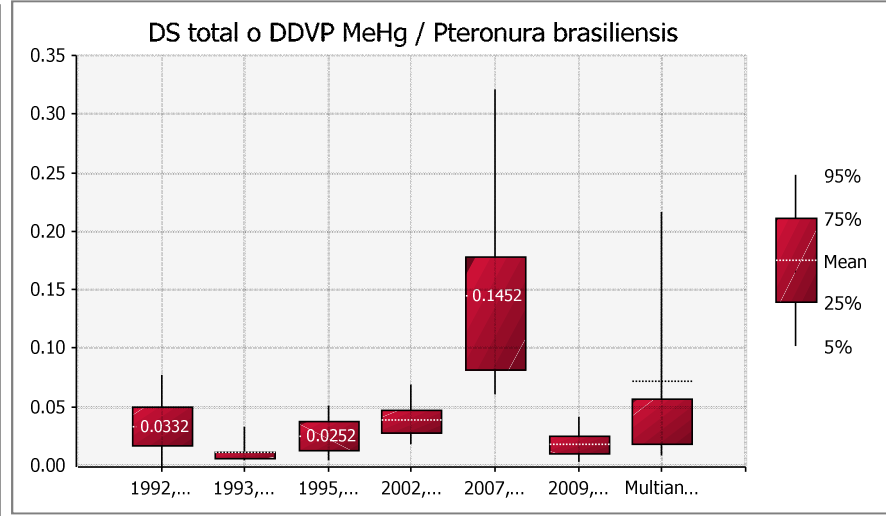
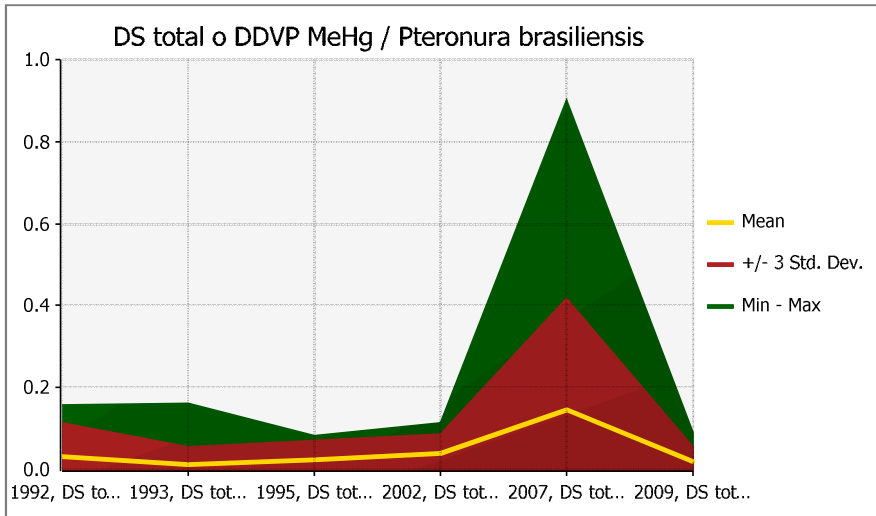
<sup>4</sup> Usando el percentil 95 de la concentración multianual de mercurio en agua.

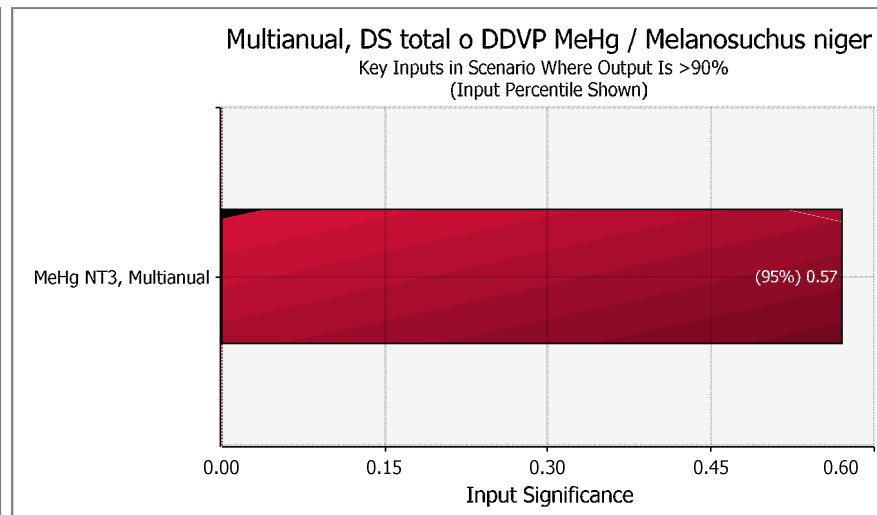
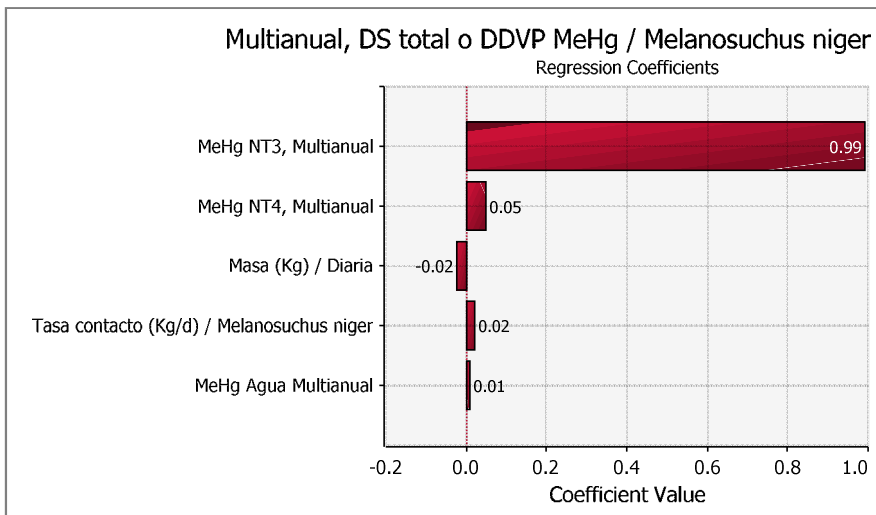
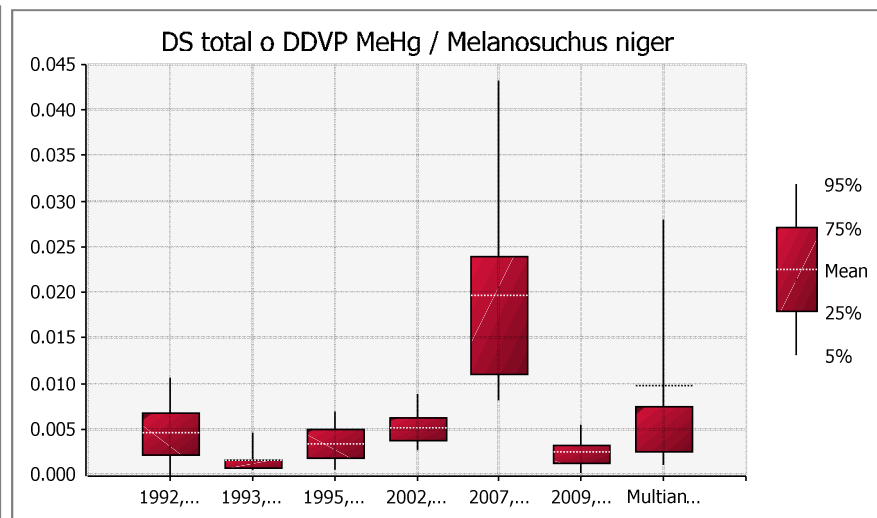
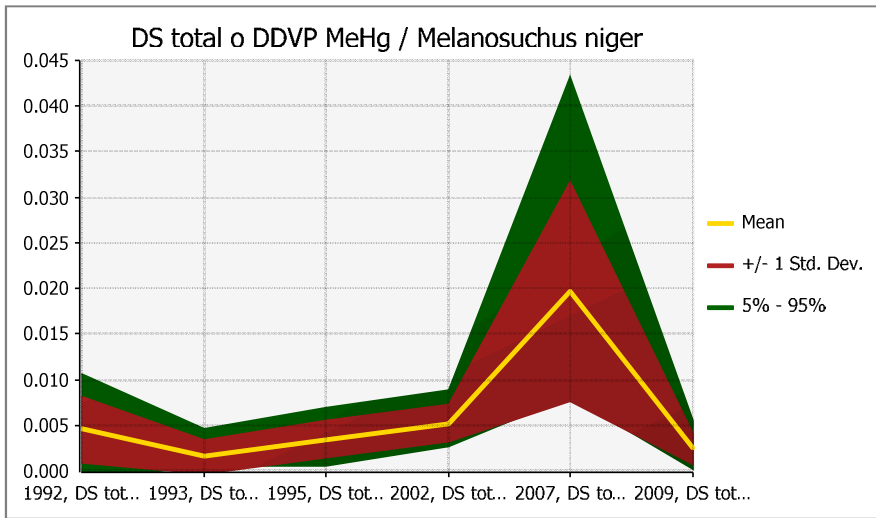




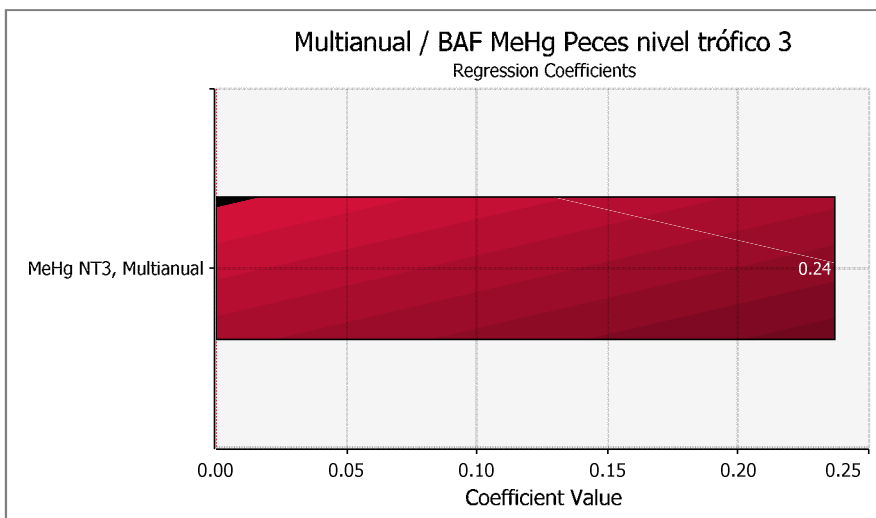
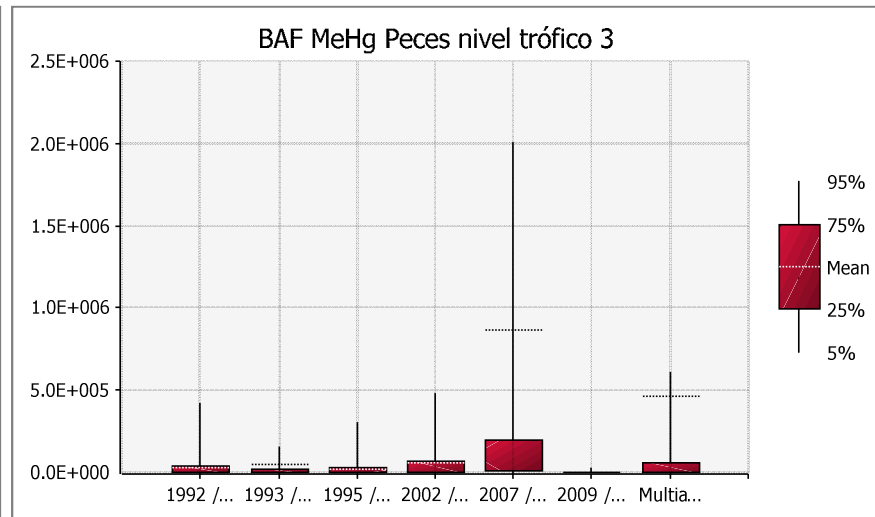
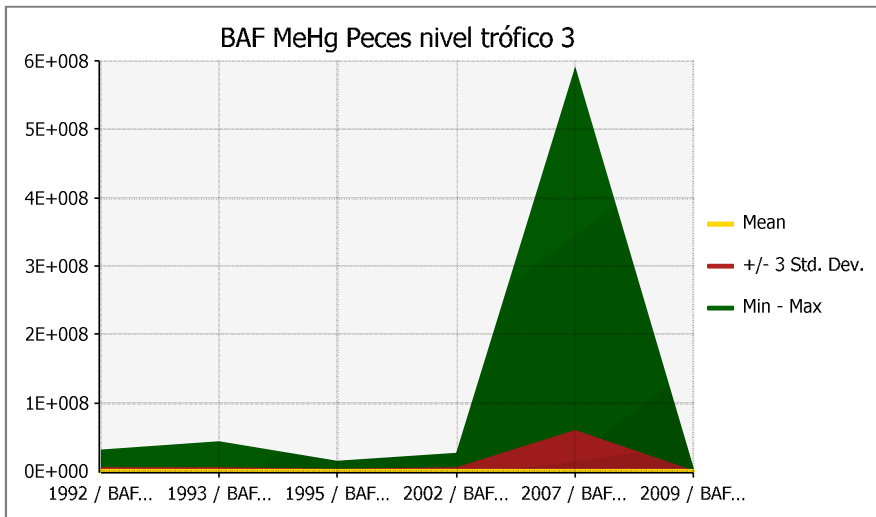


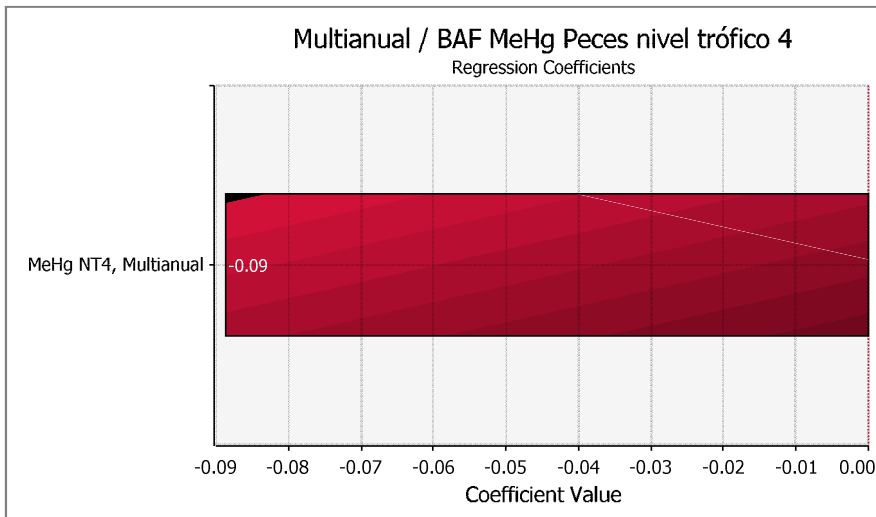
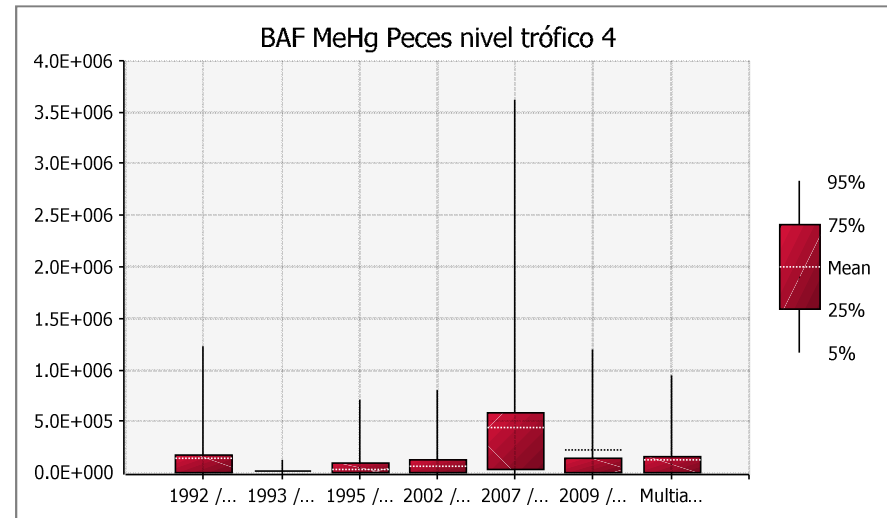
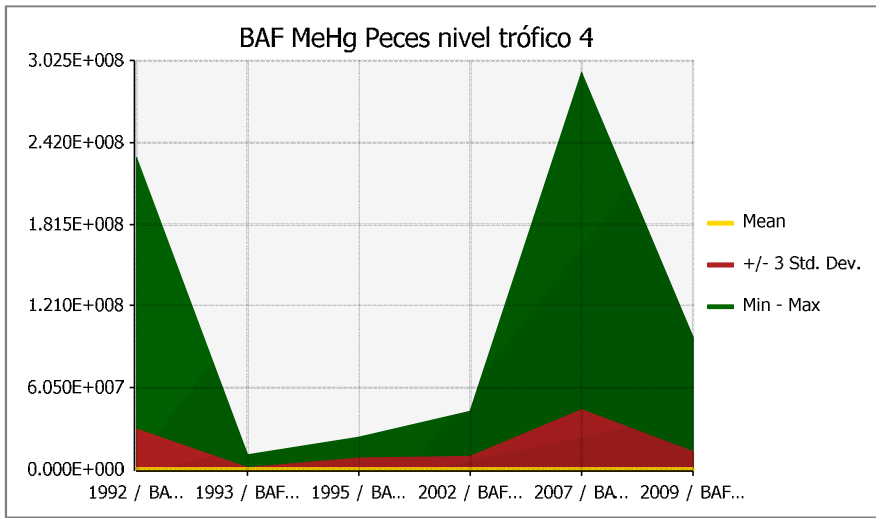




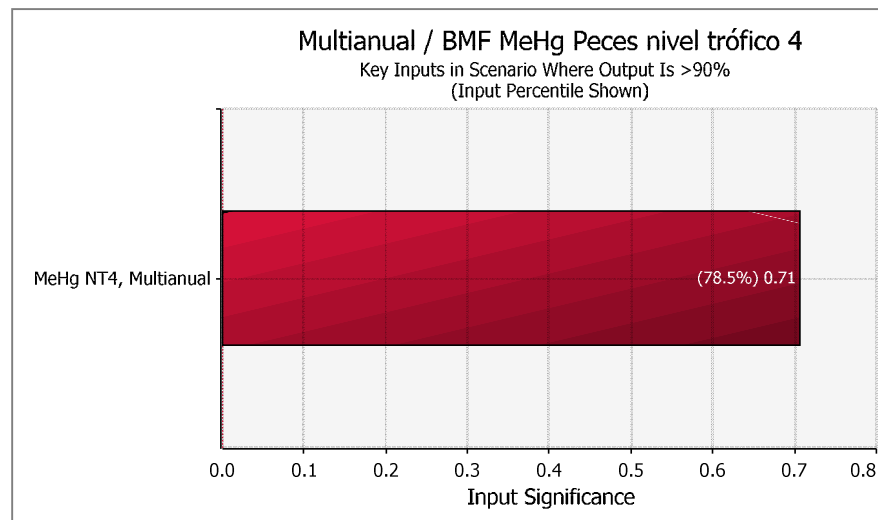
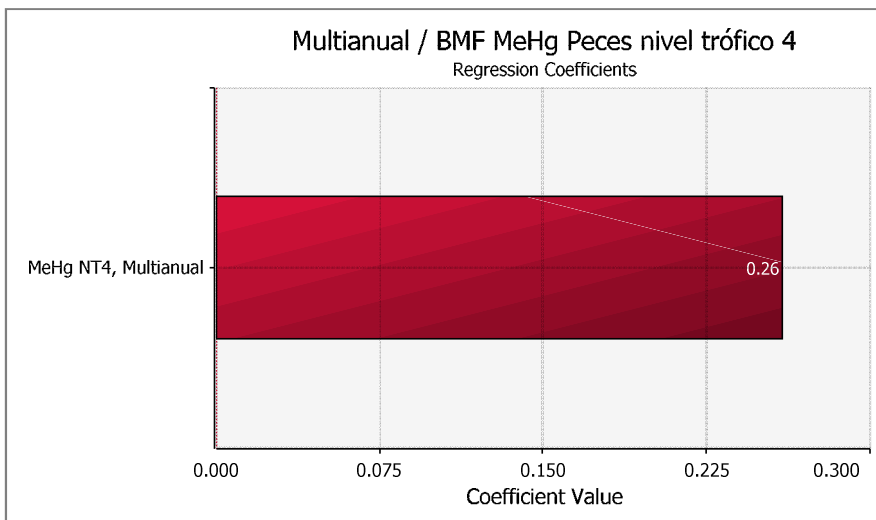
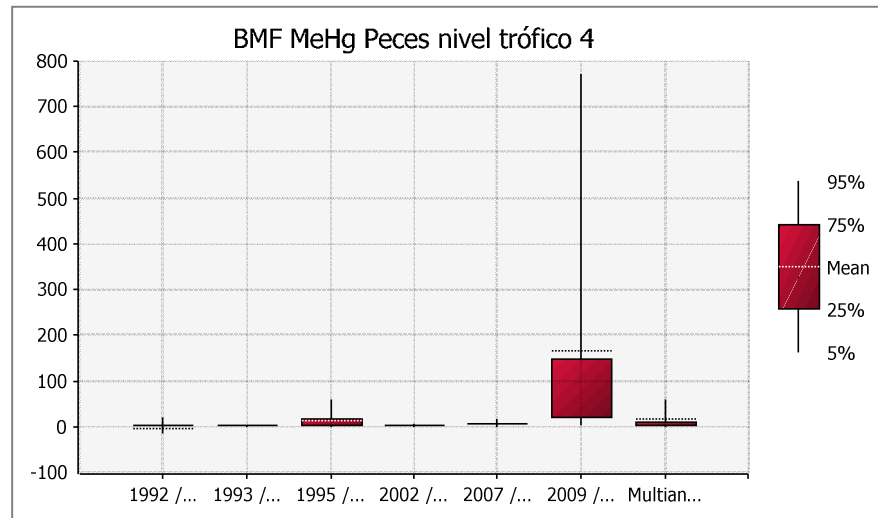
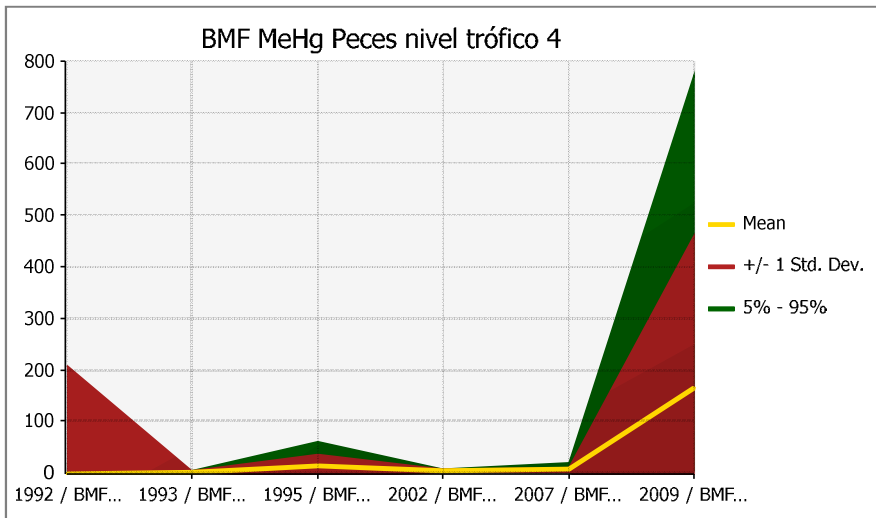


## Factores de bioacumulación - MeHg

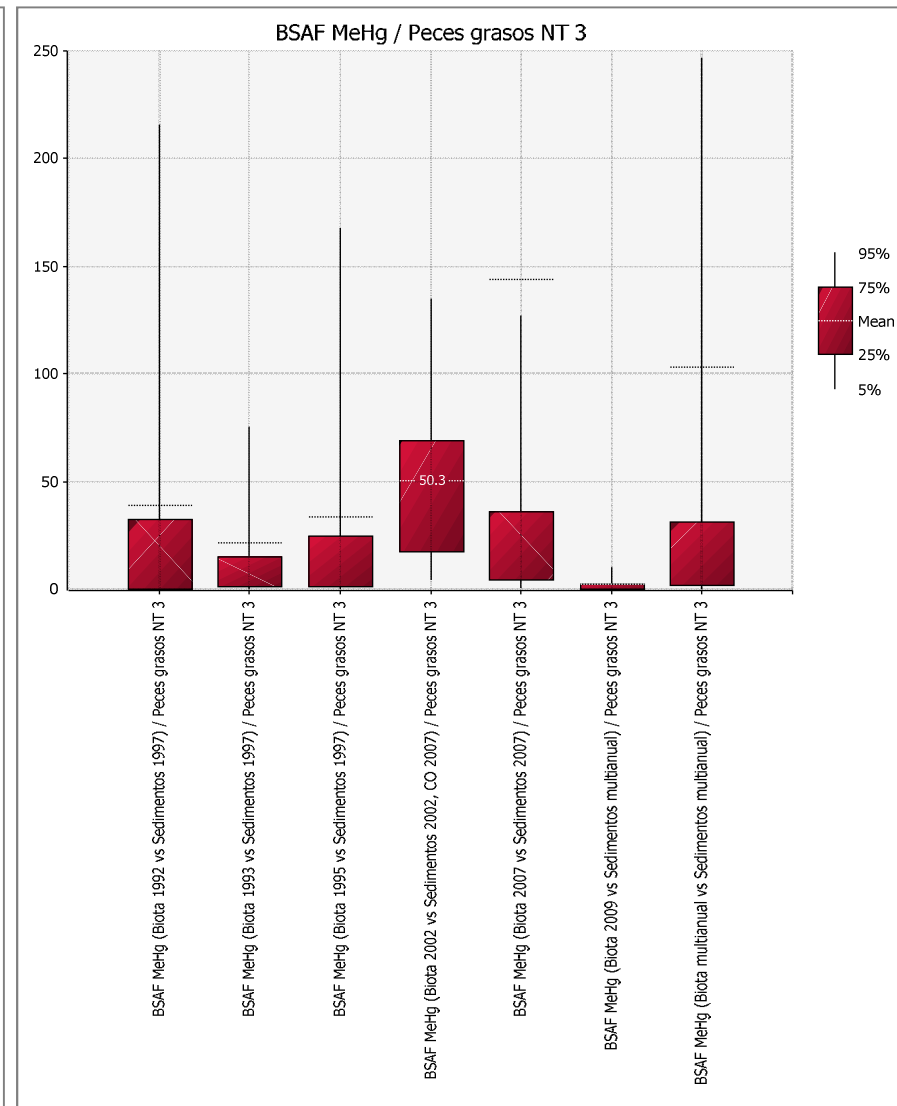
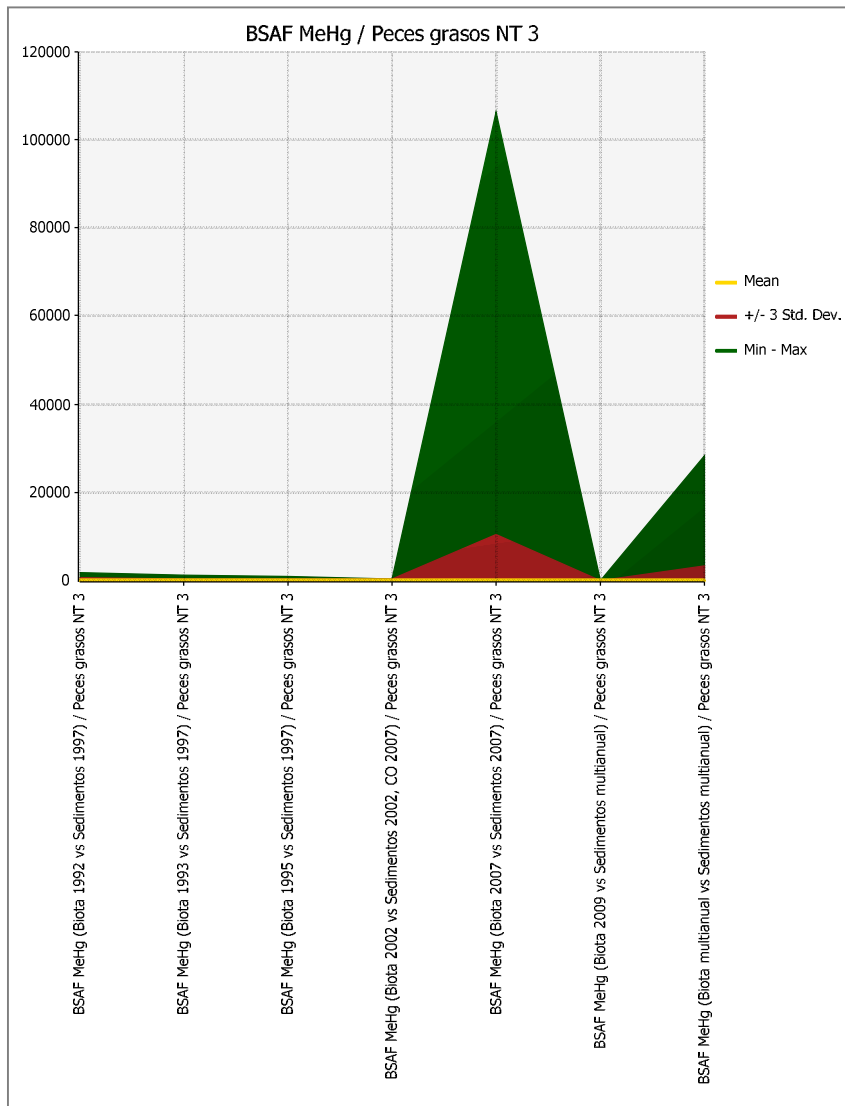


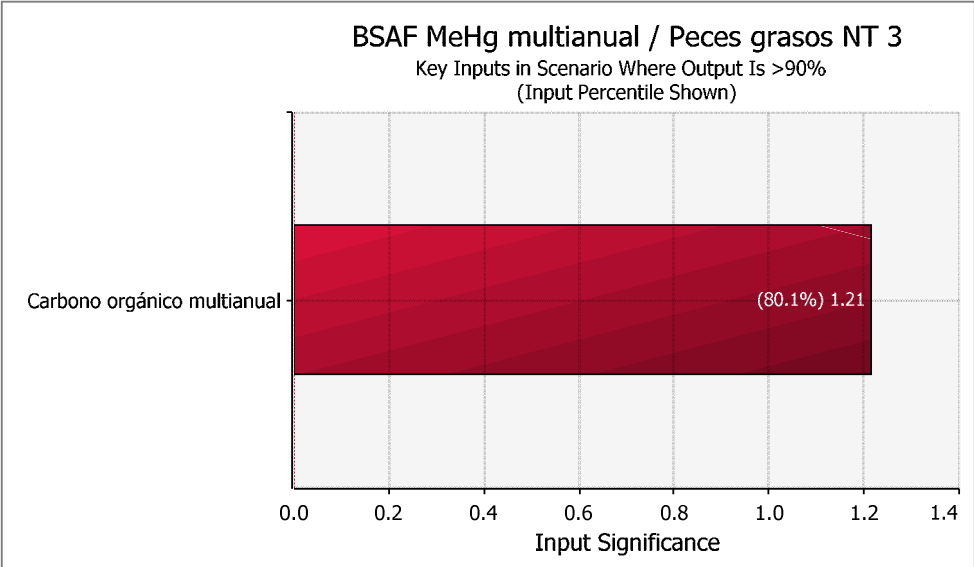
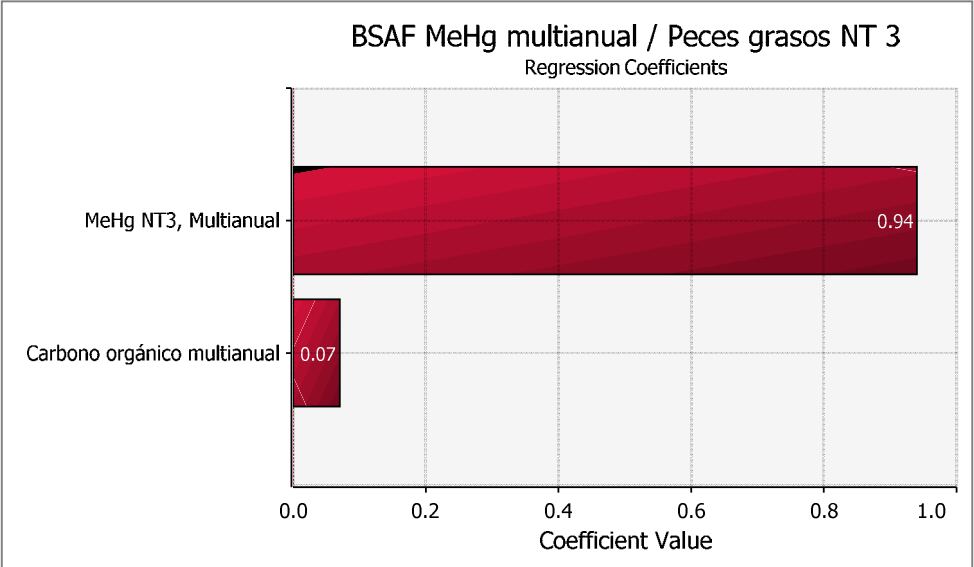


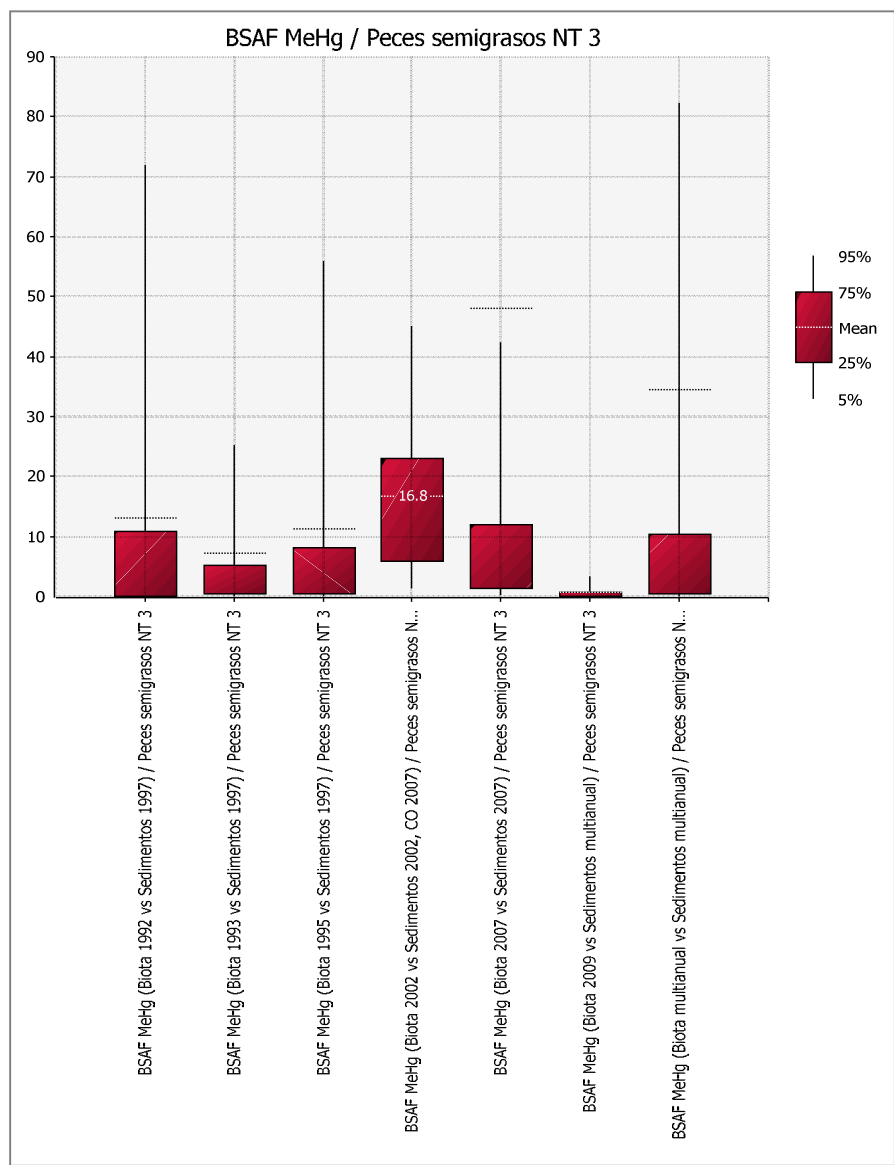
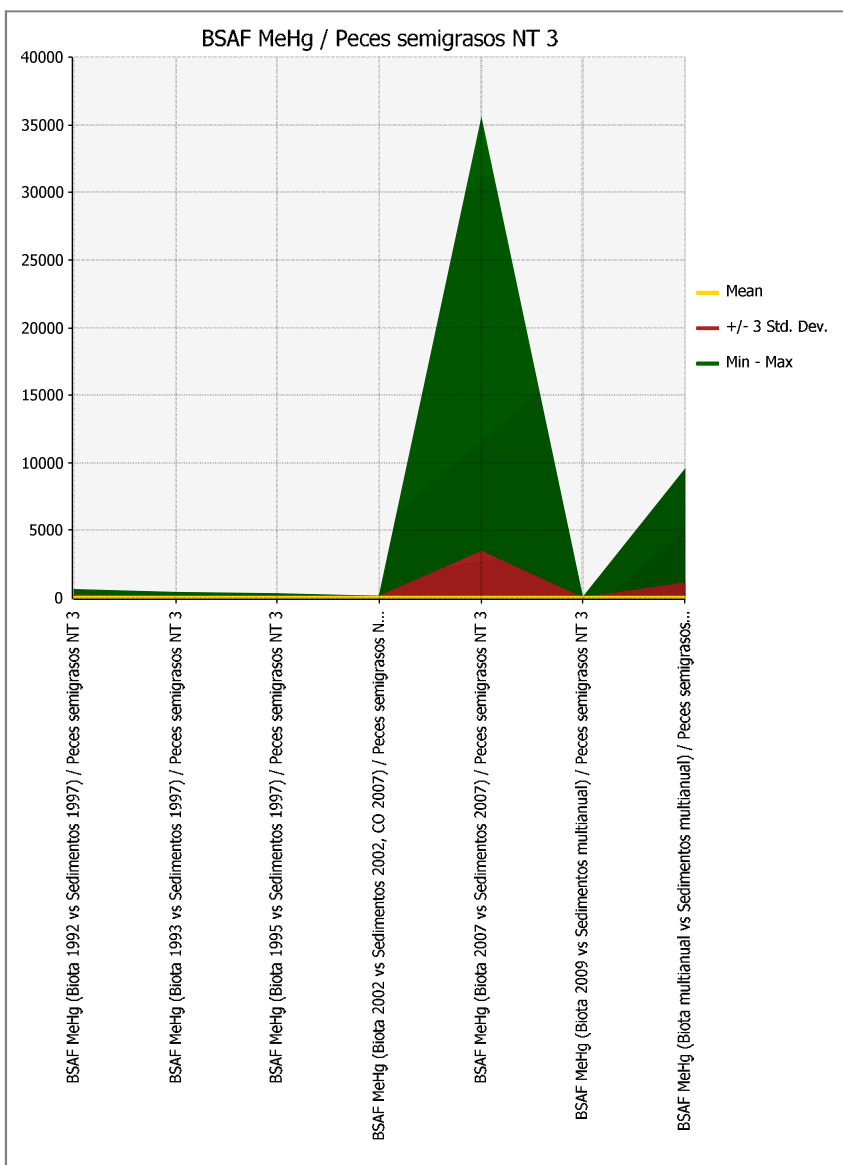
## Factores de biomagnificación - MeHg



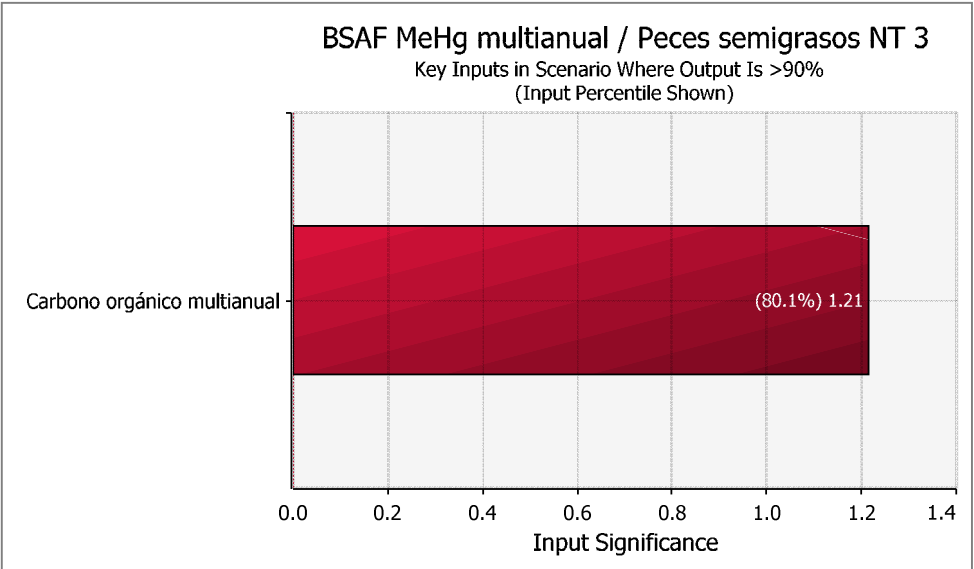
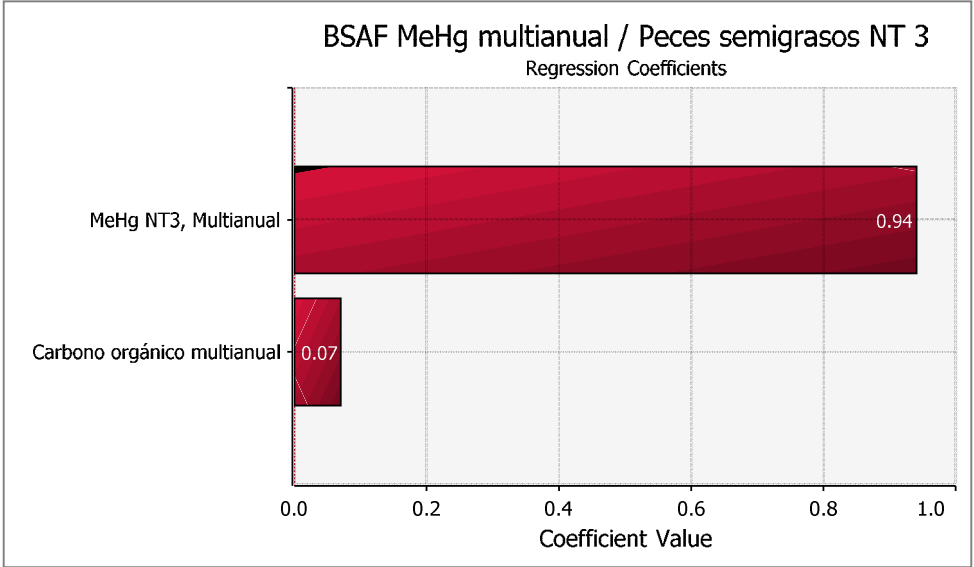
## Factores de bioacumulación biota sedimentos – MeHg

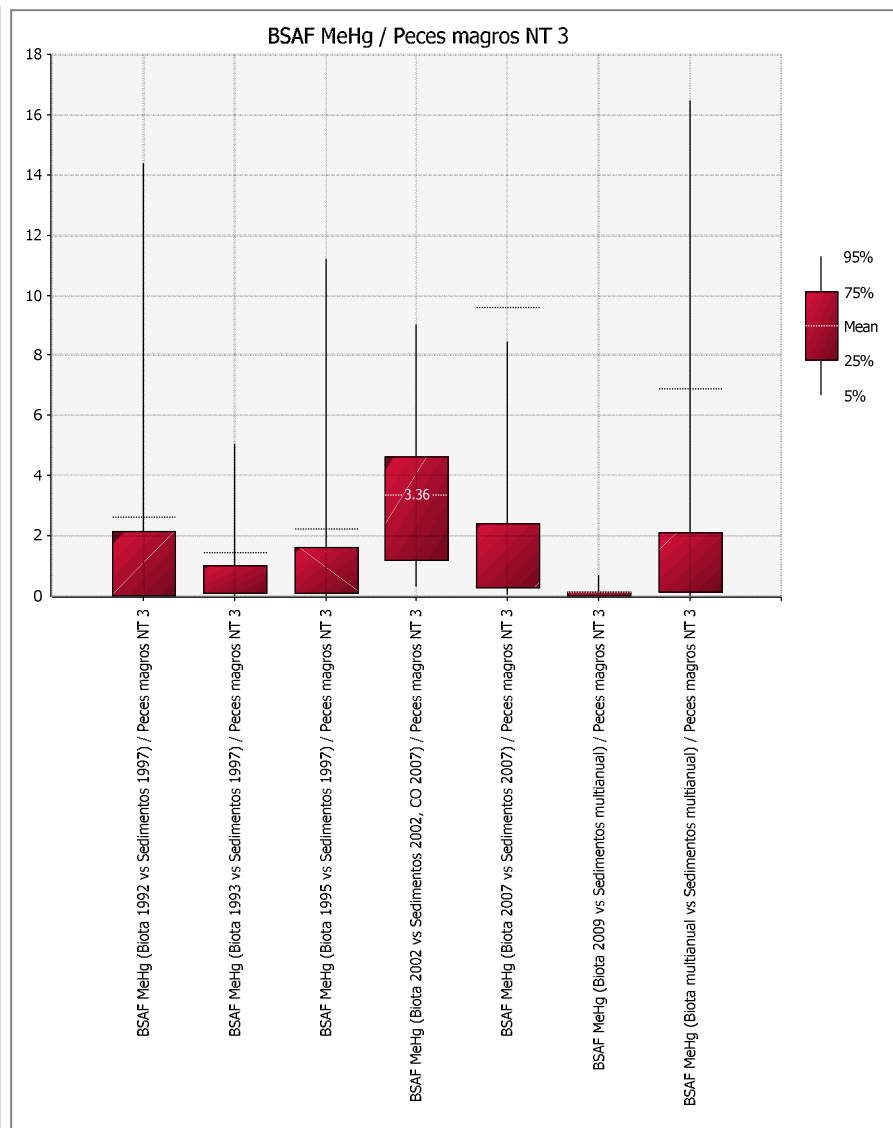
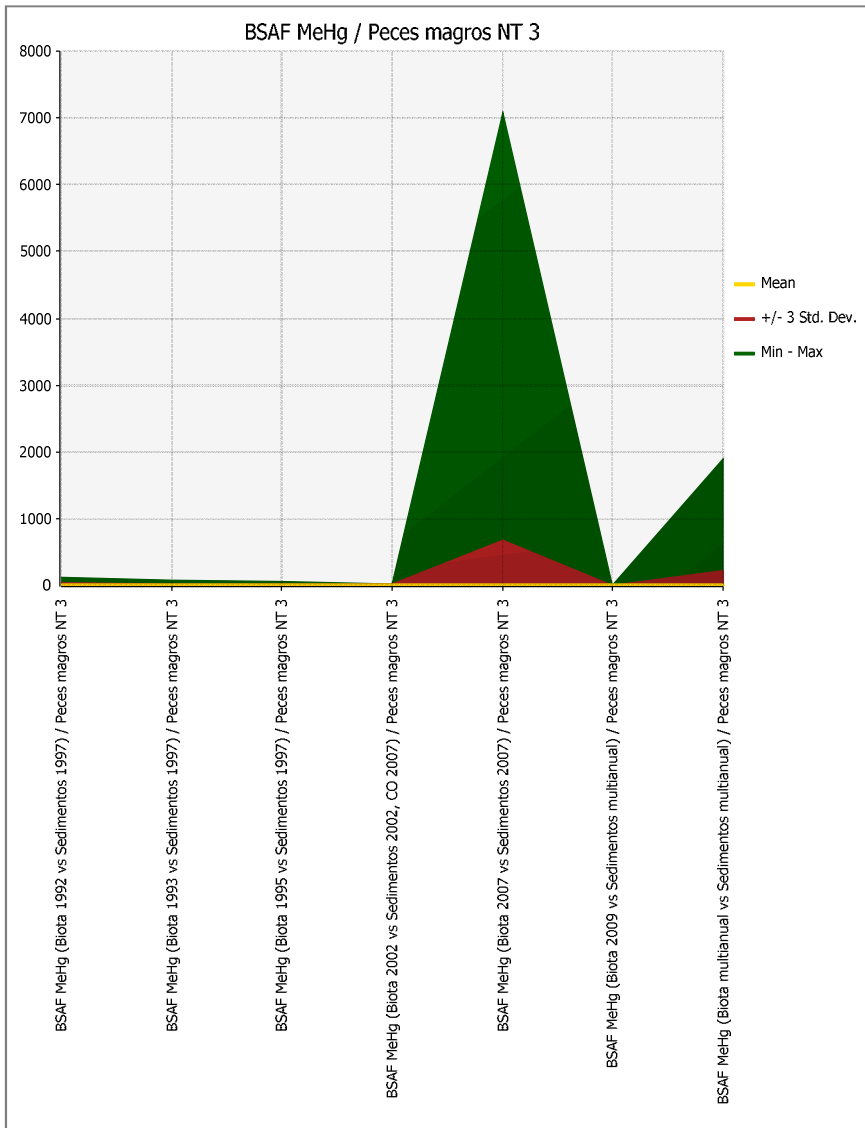


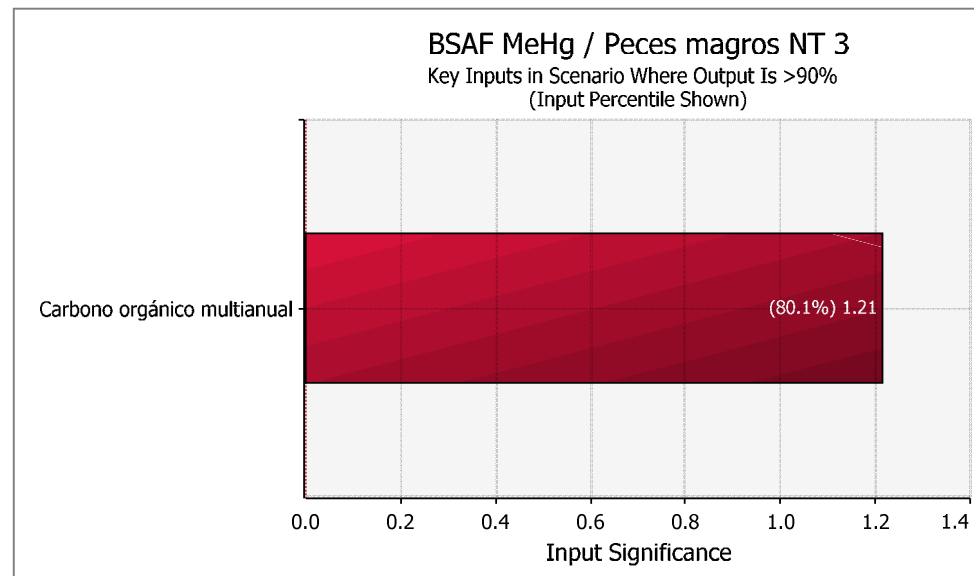
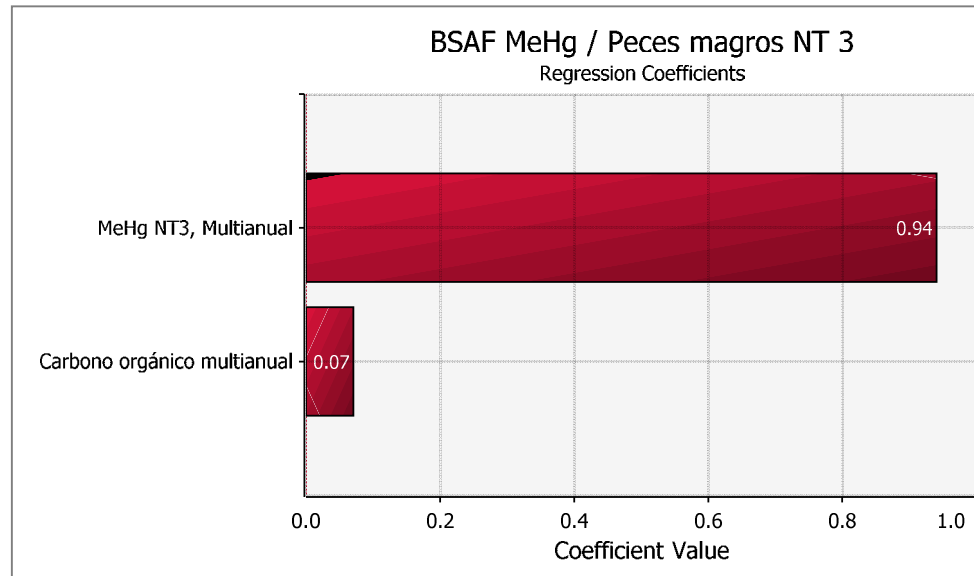


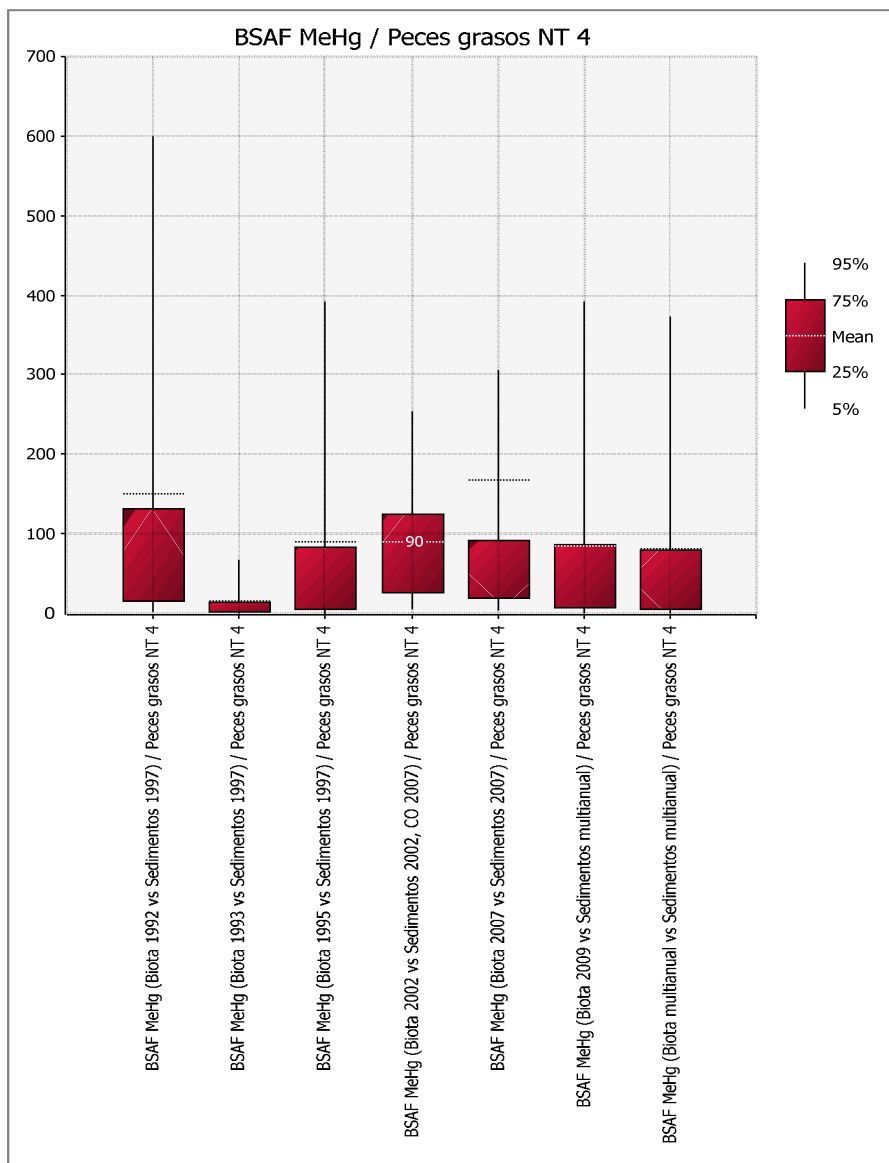
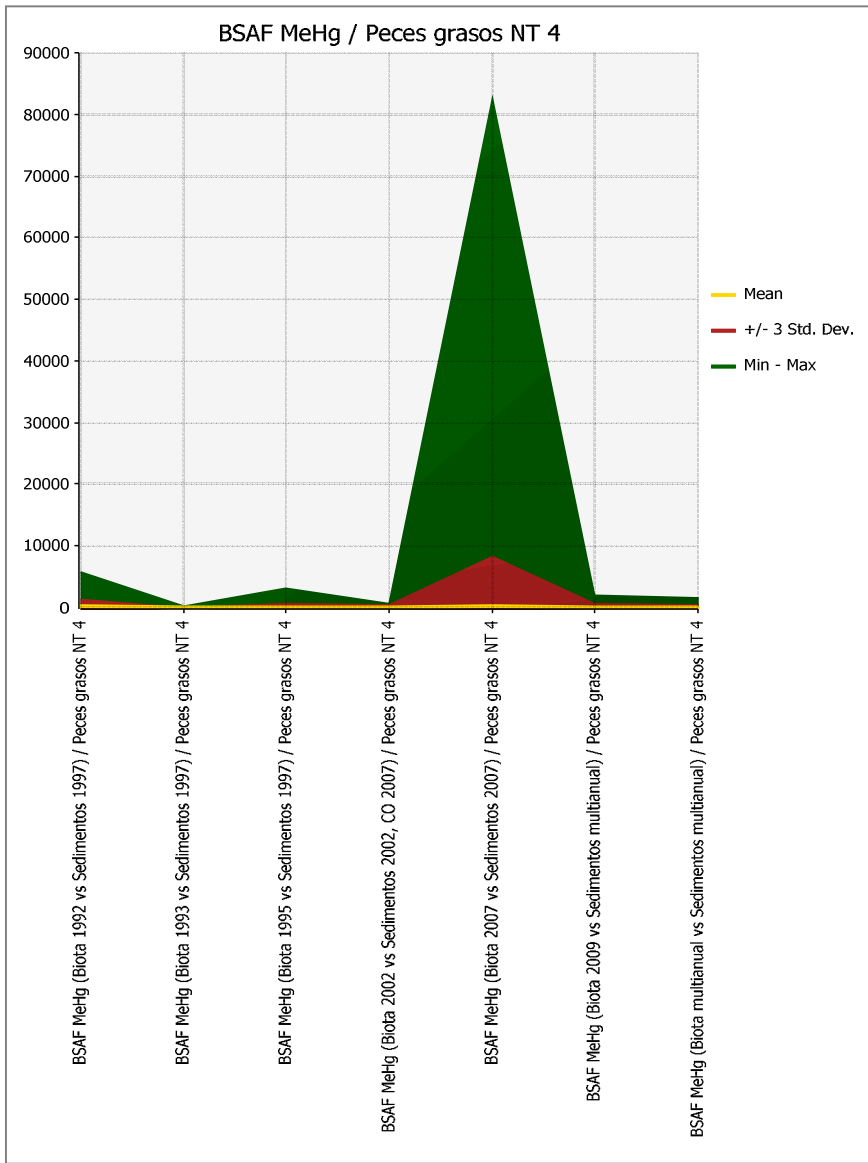


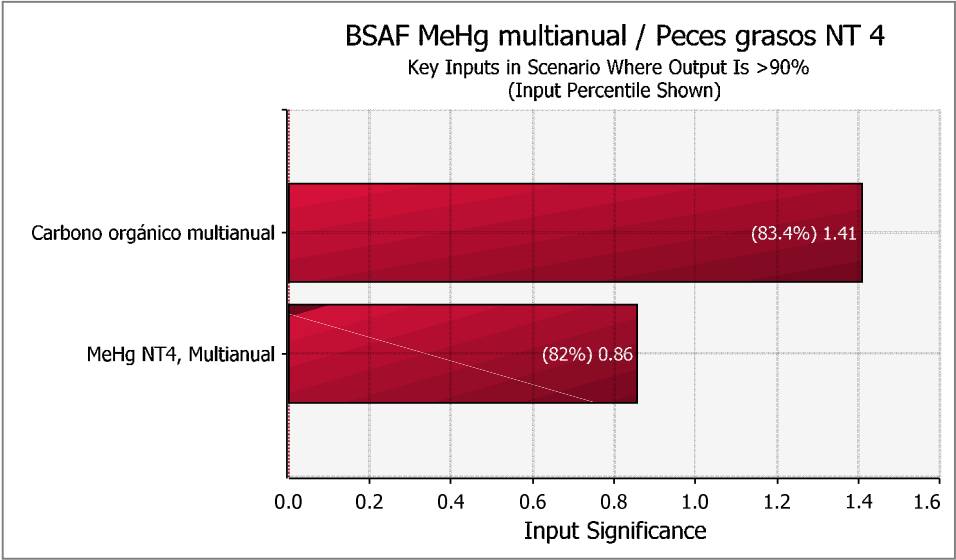
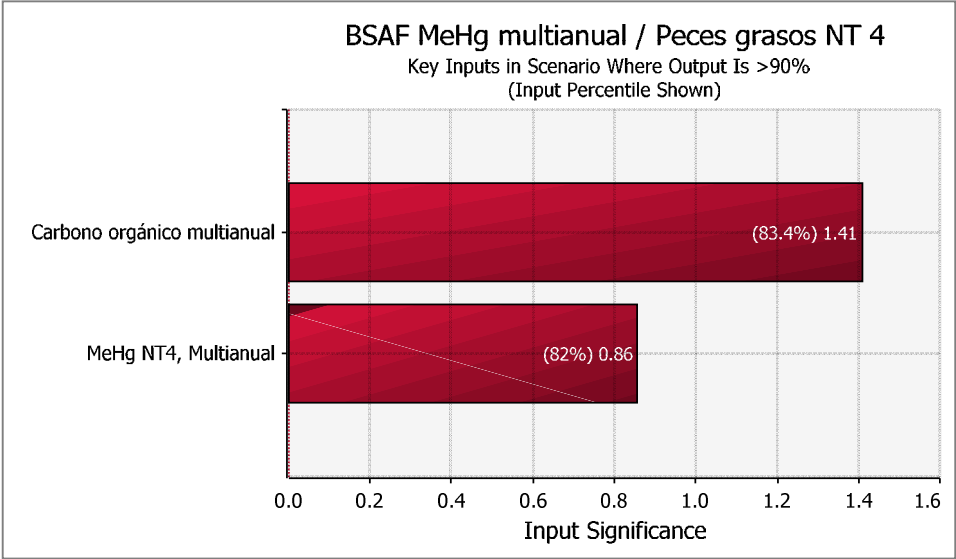


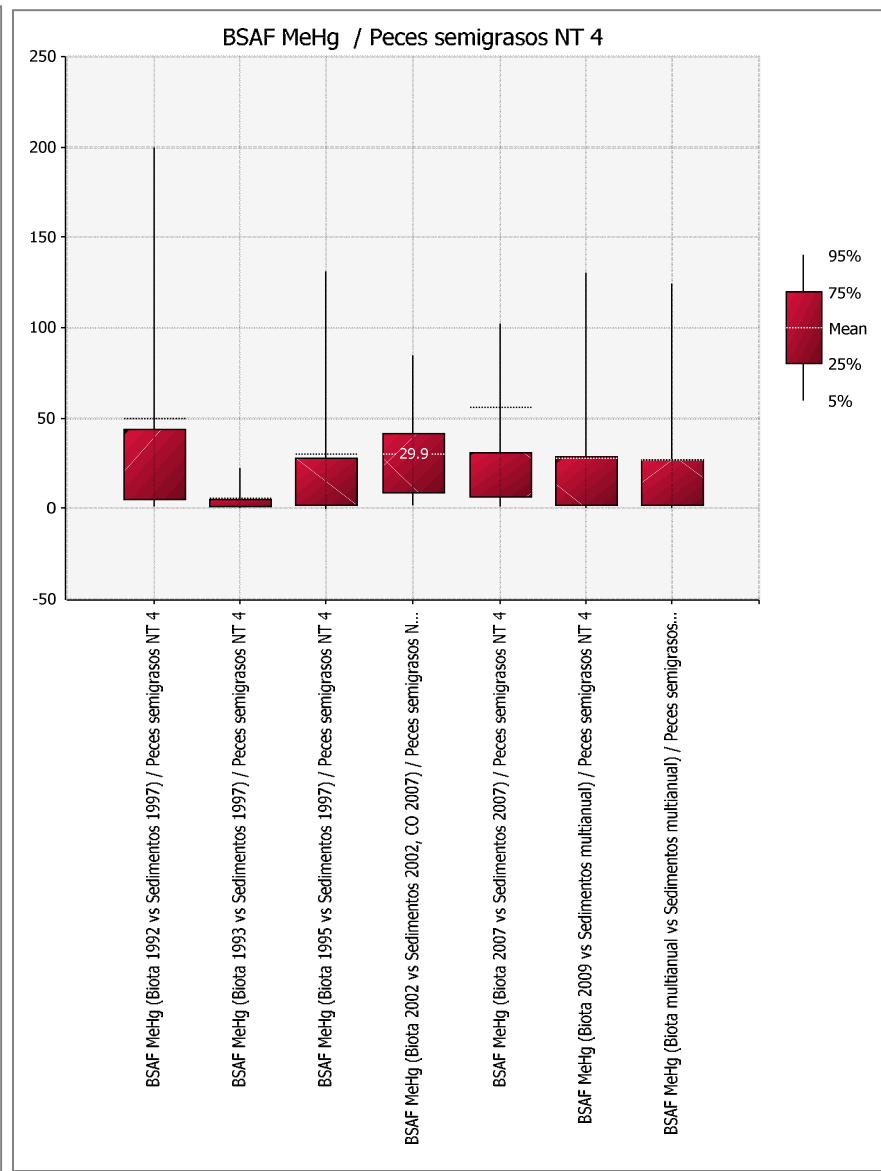
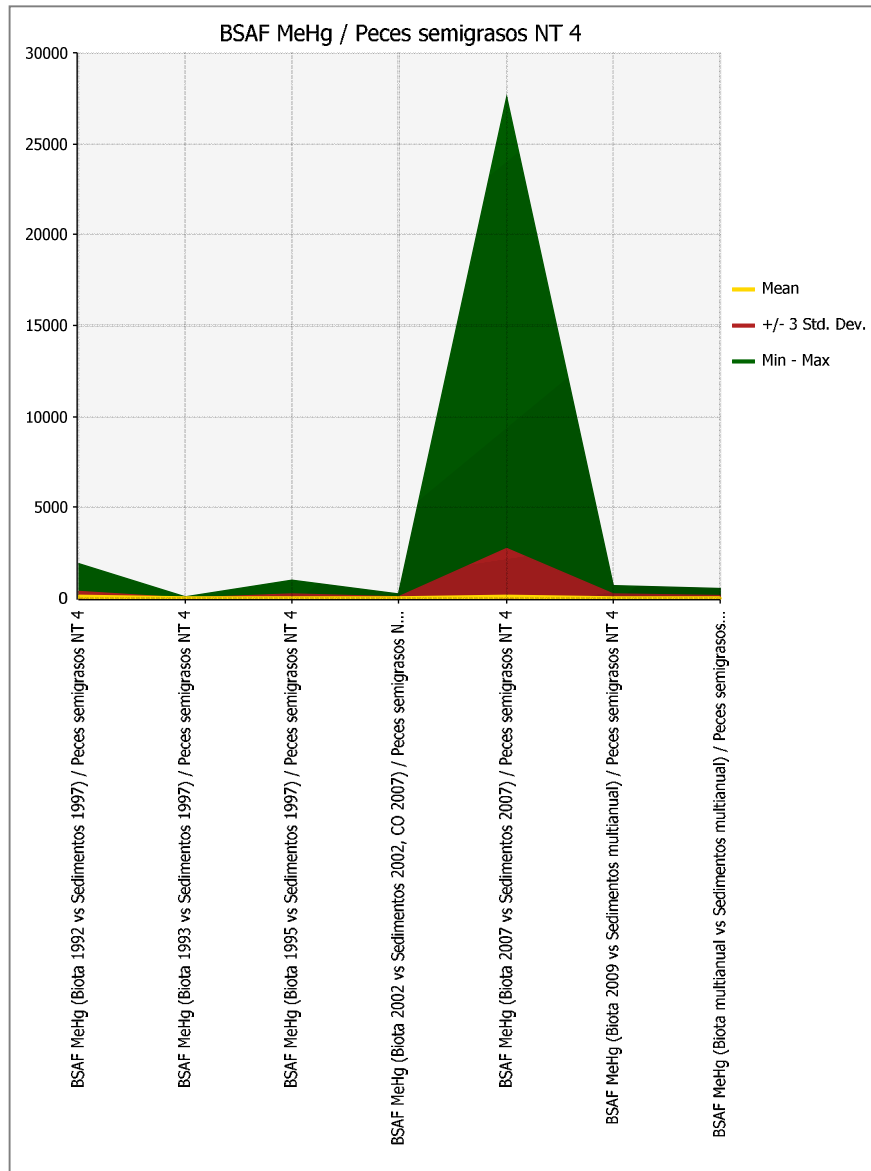


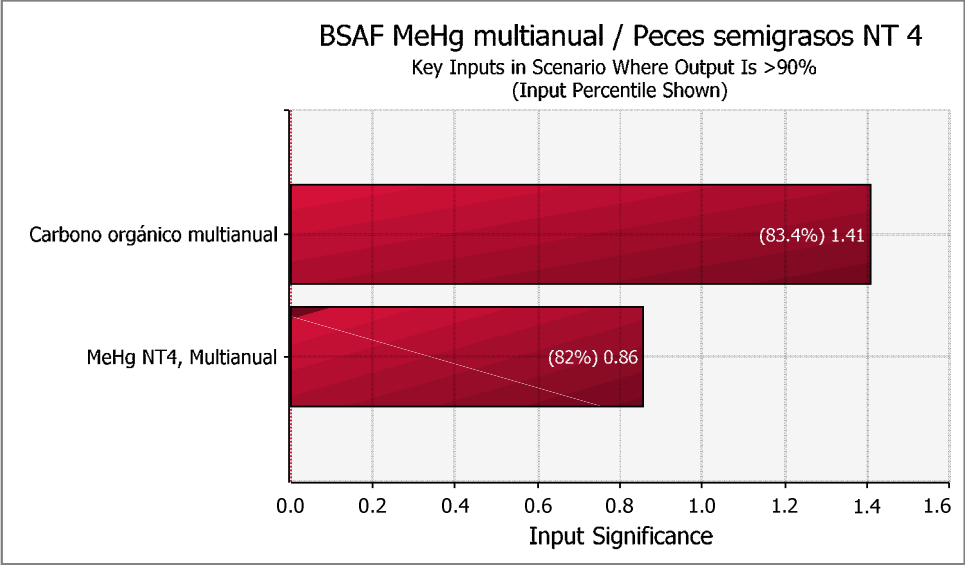
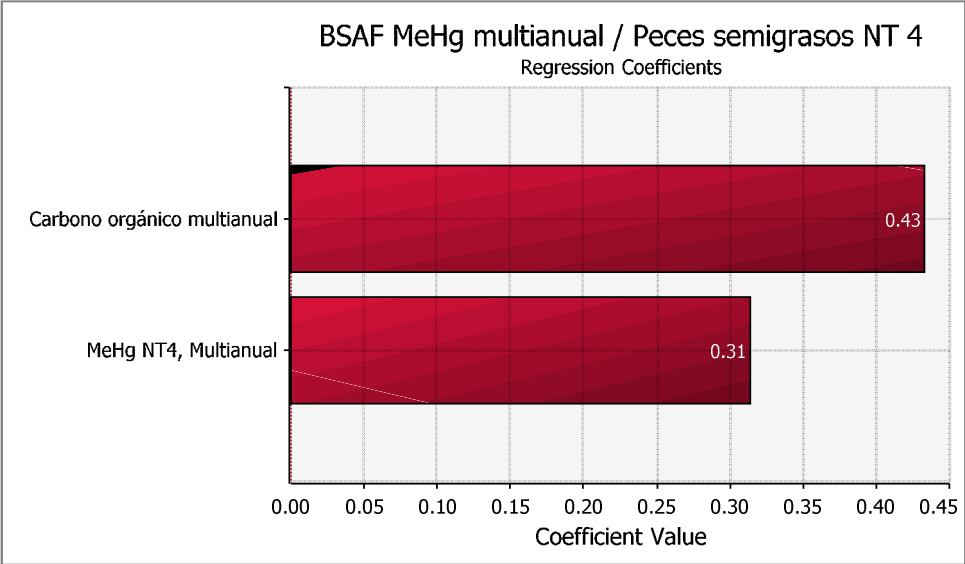


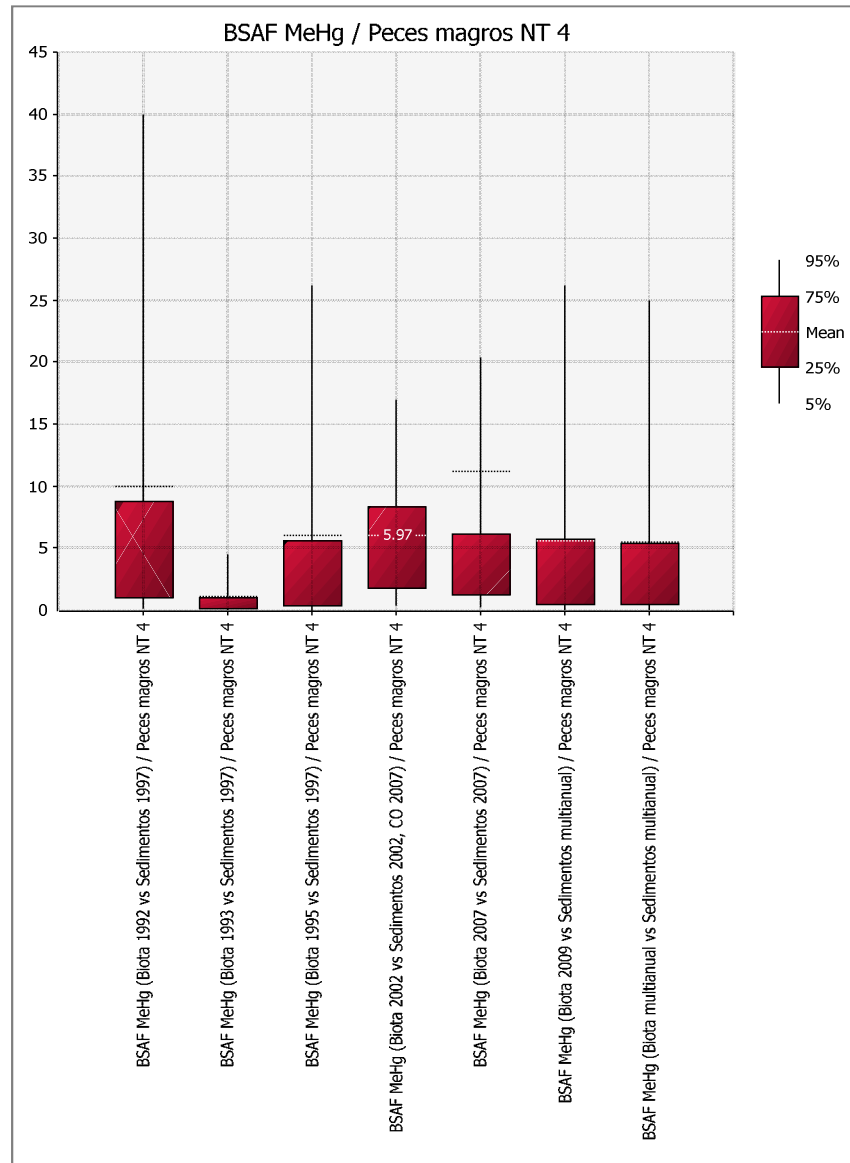
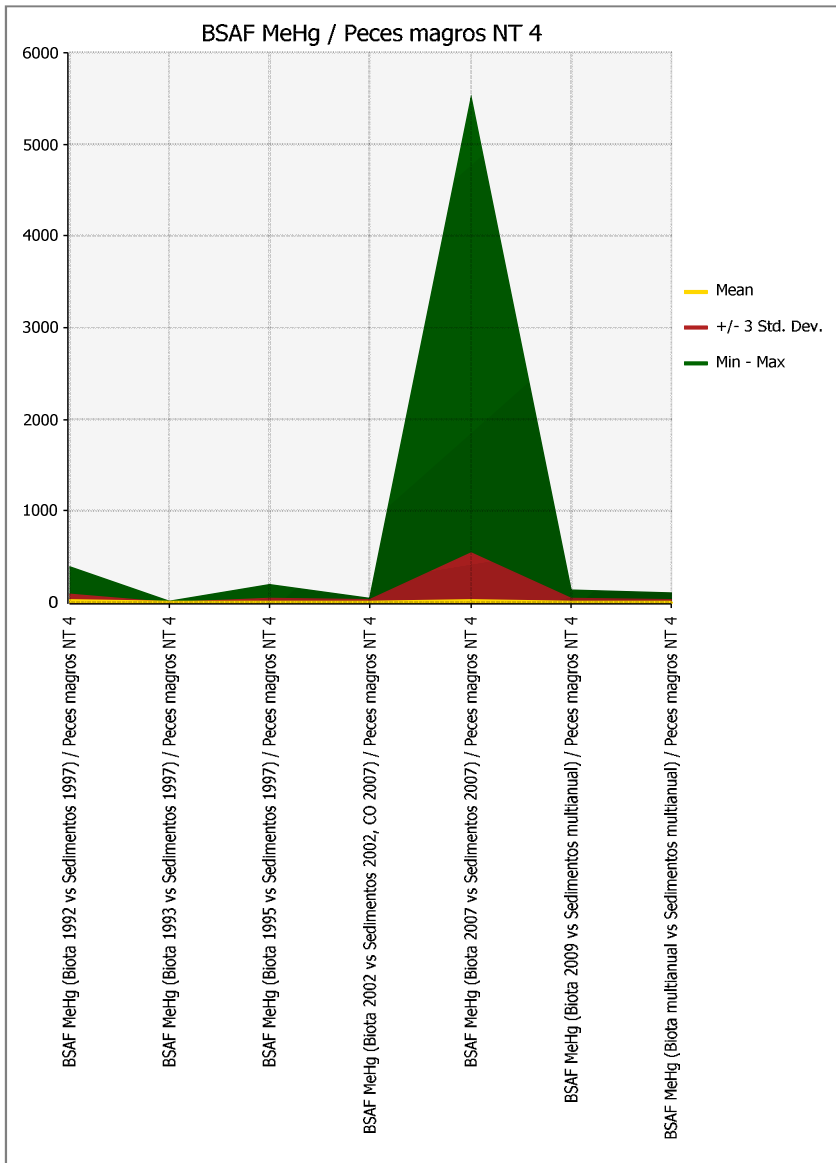




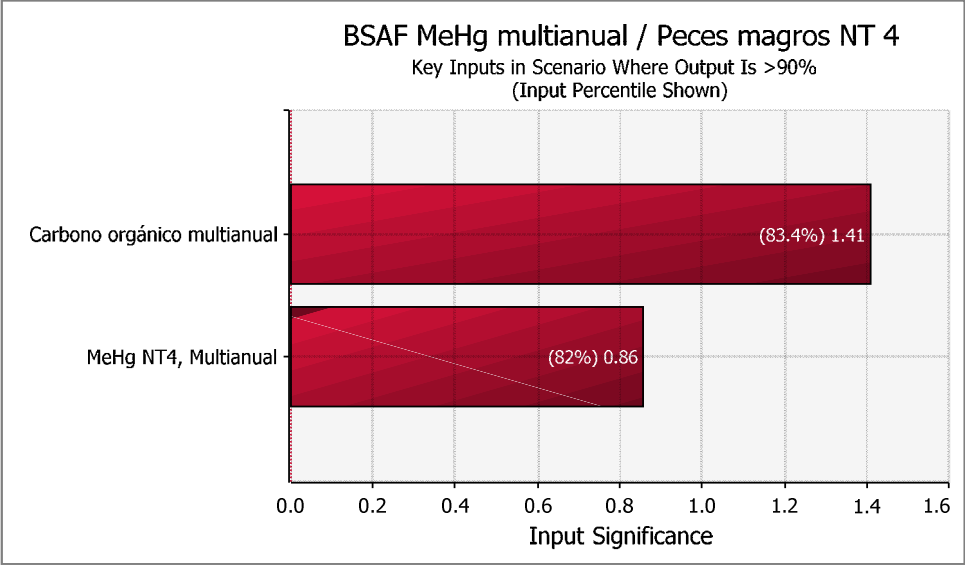
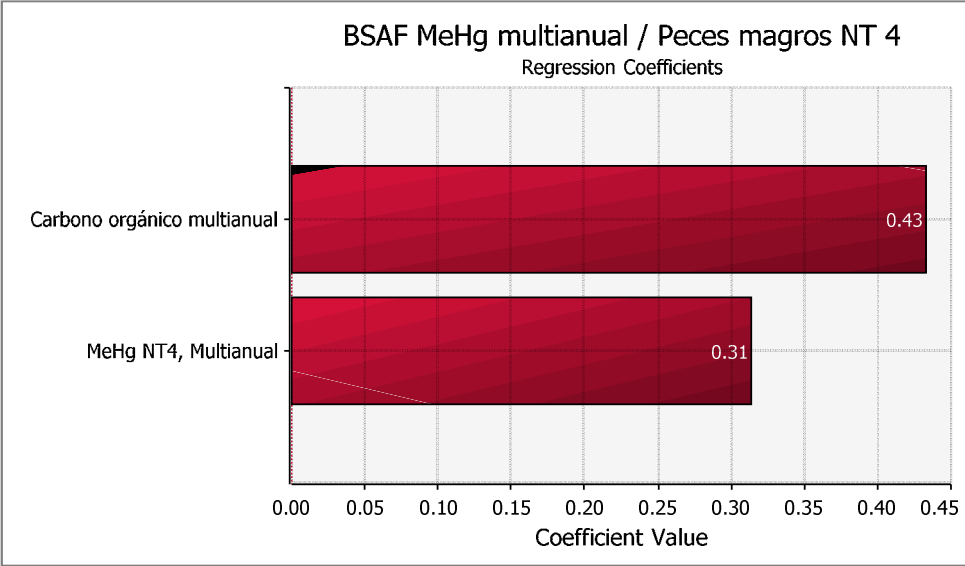




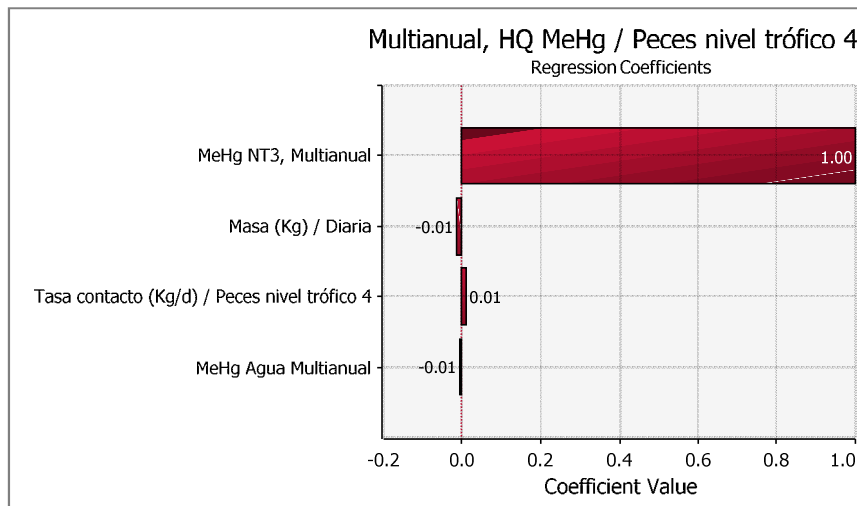
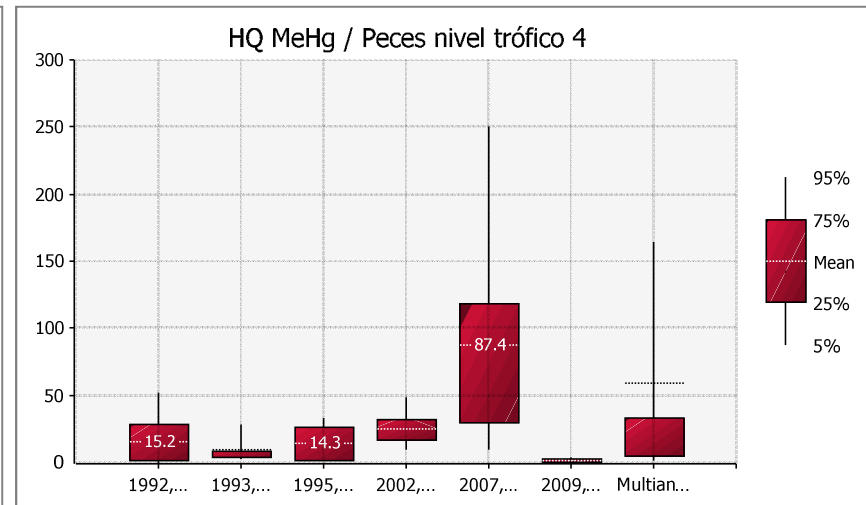
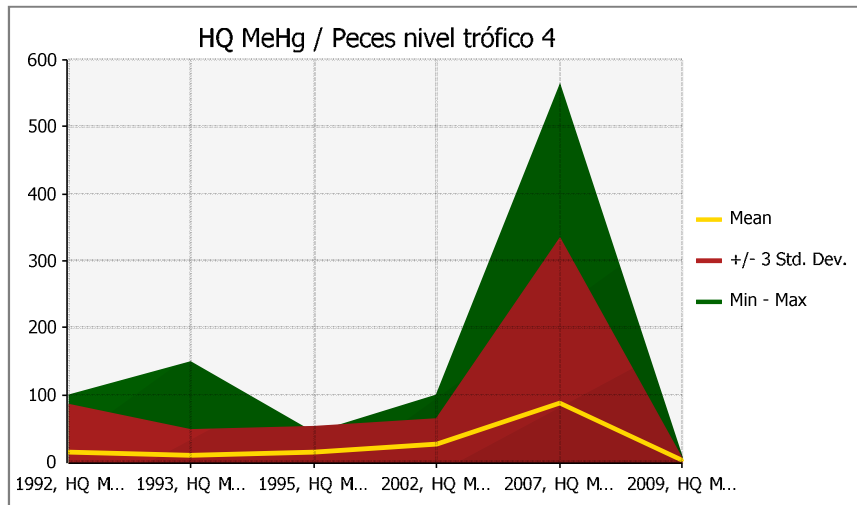


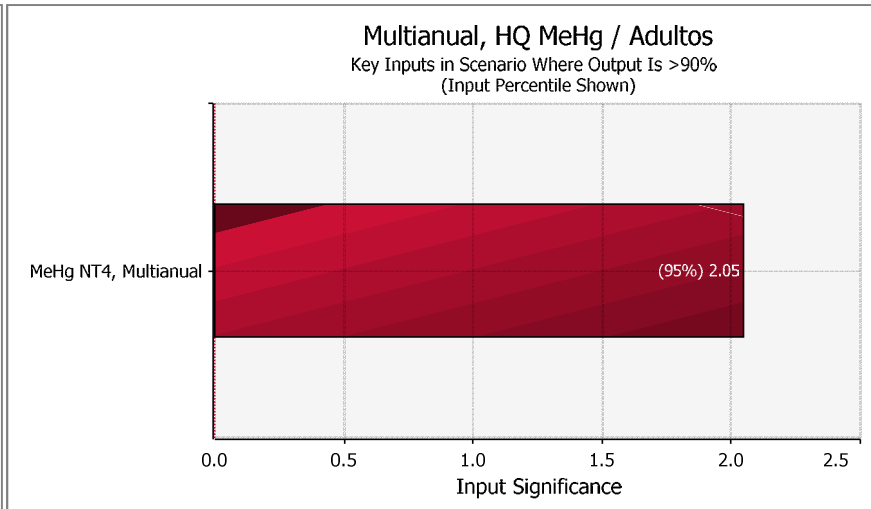
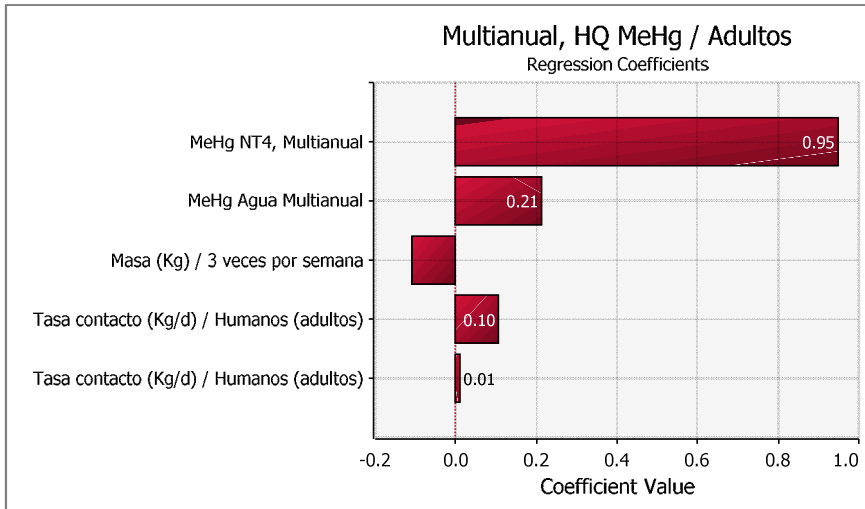
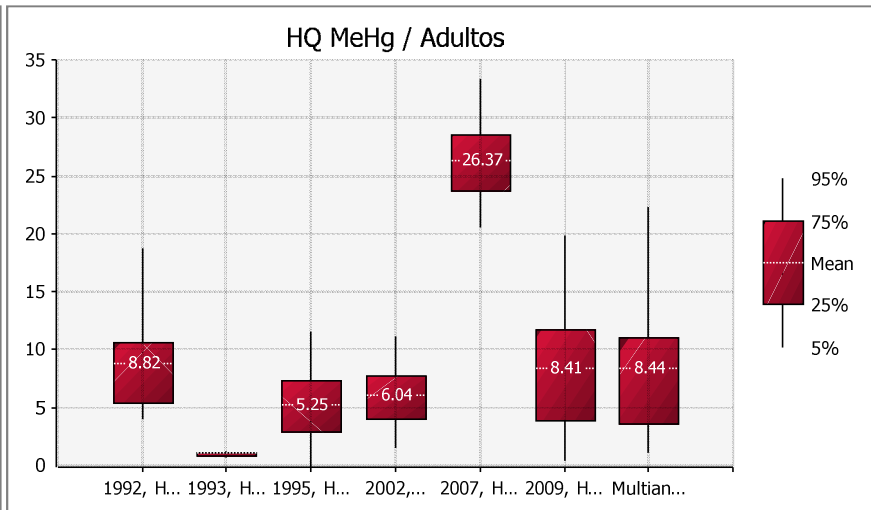
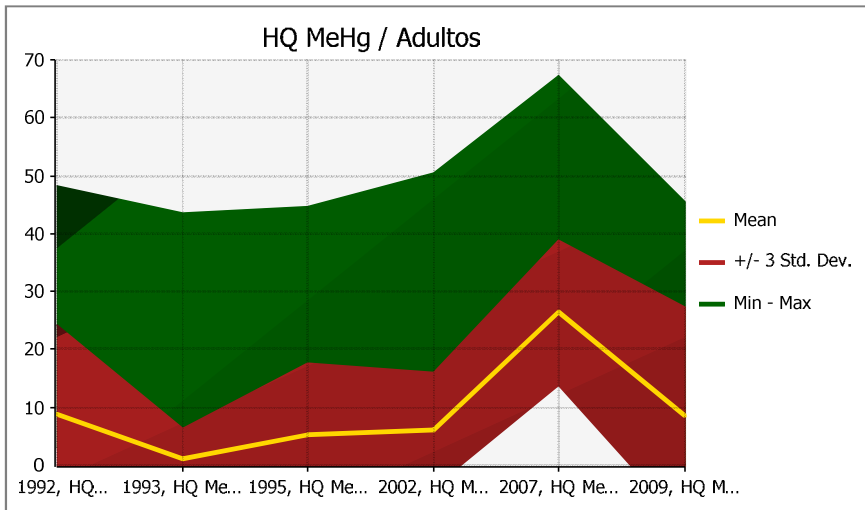


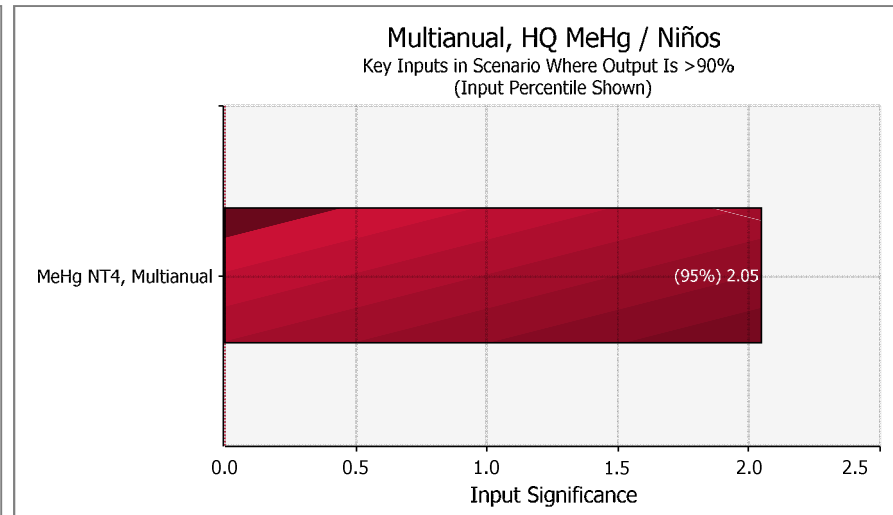
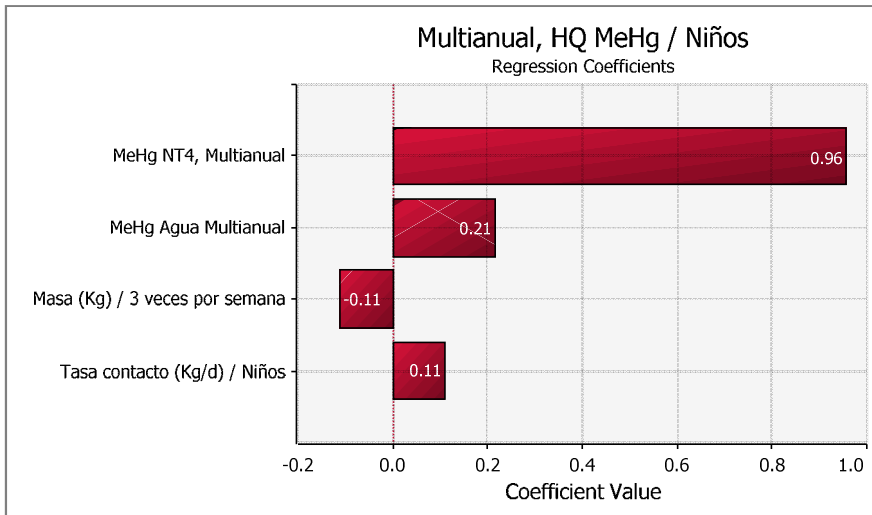
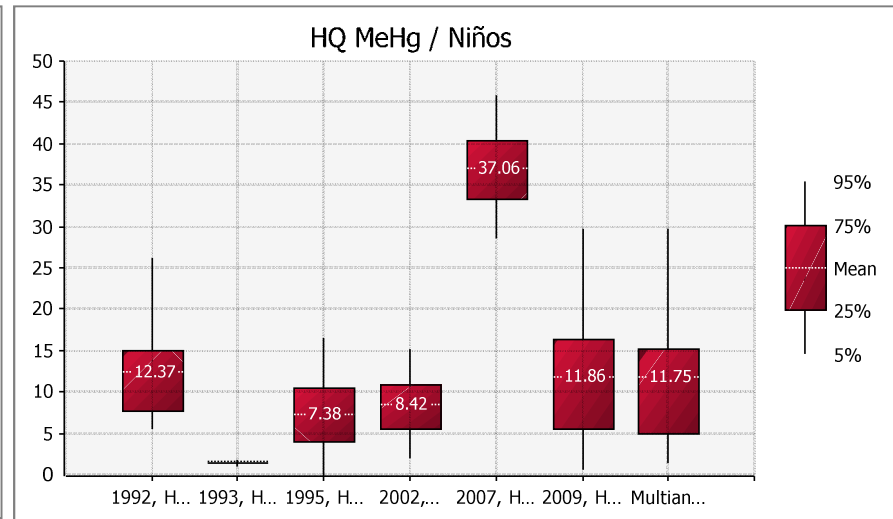
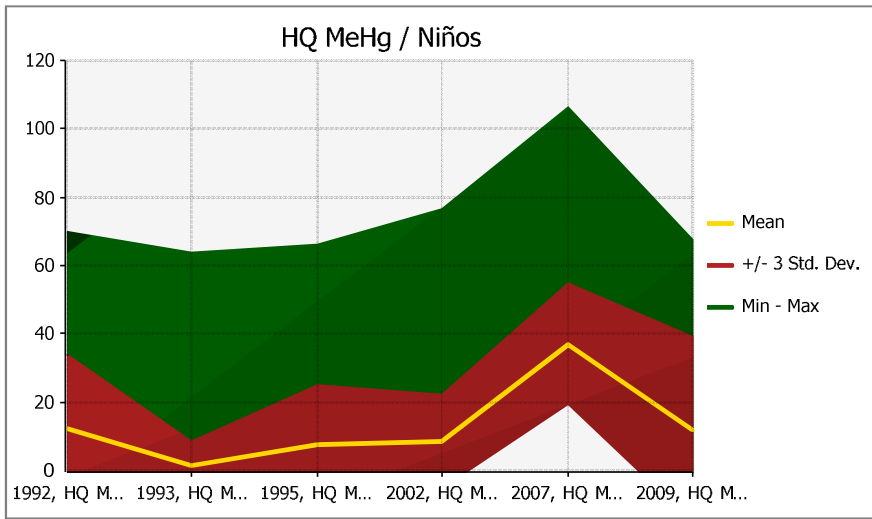


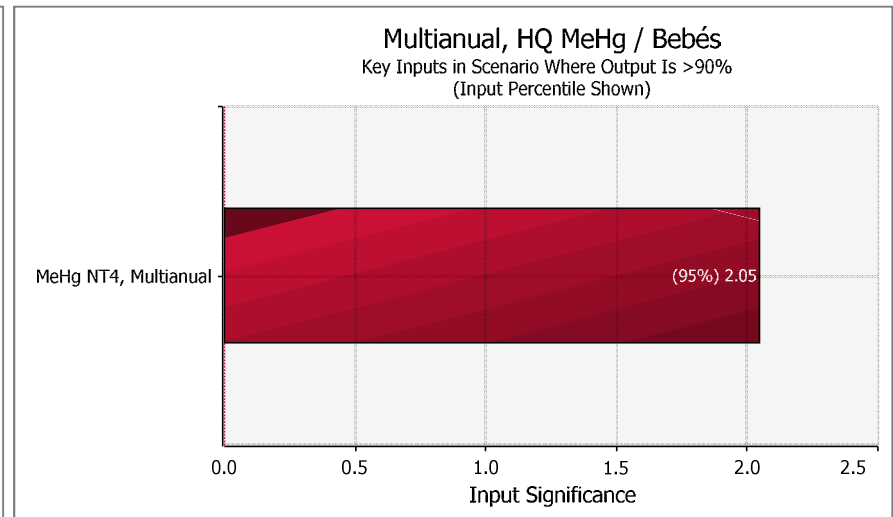
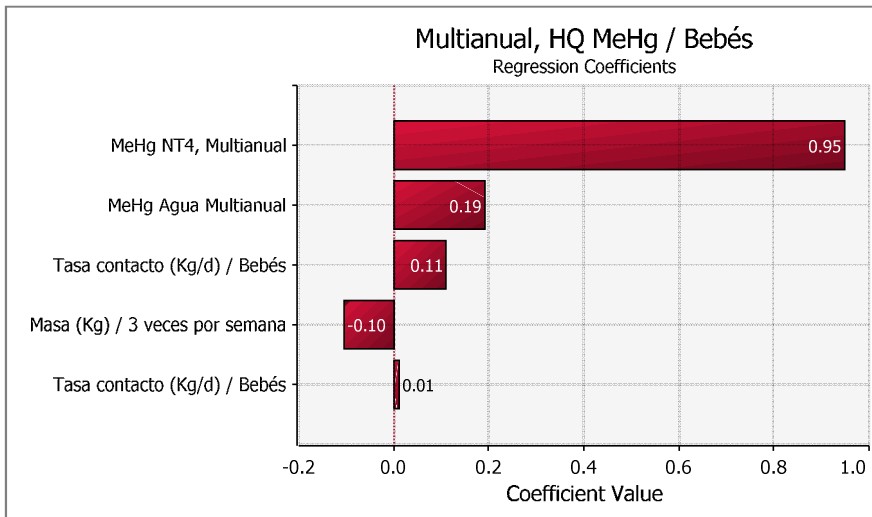
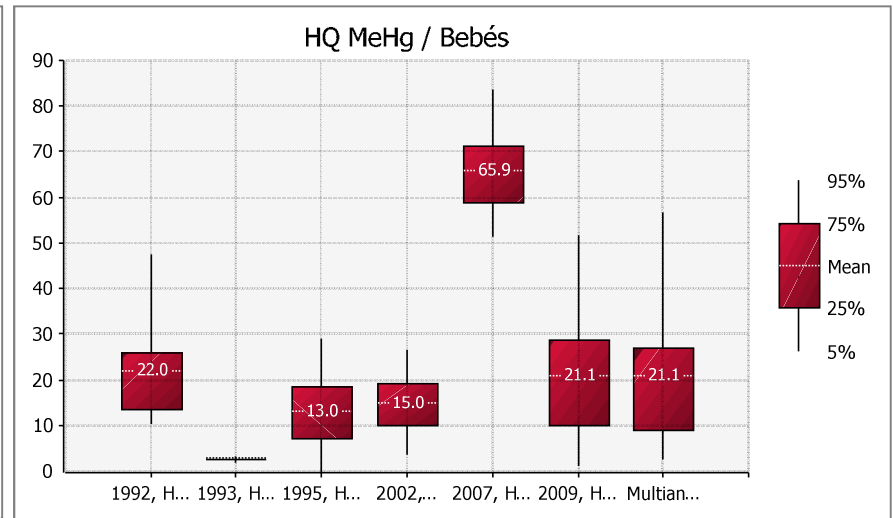
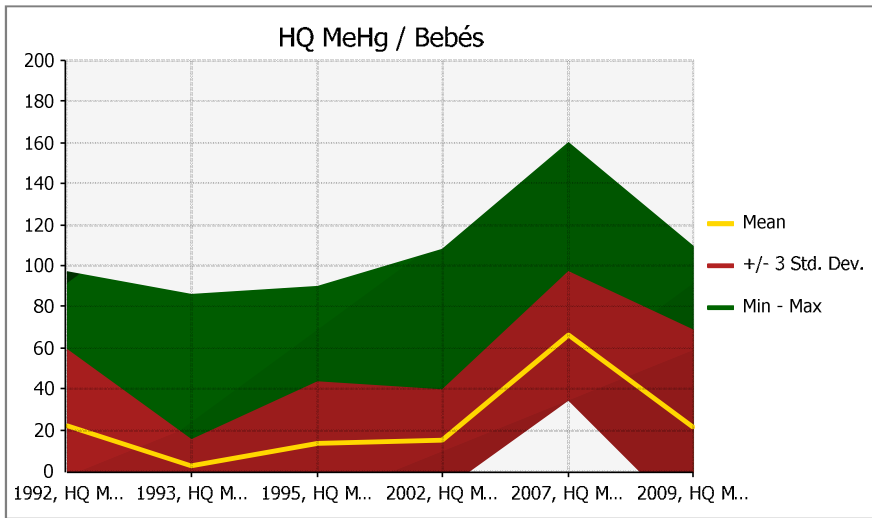


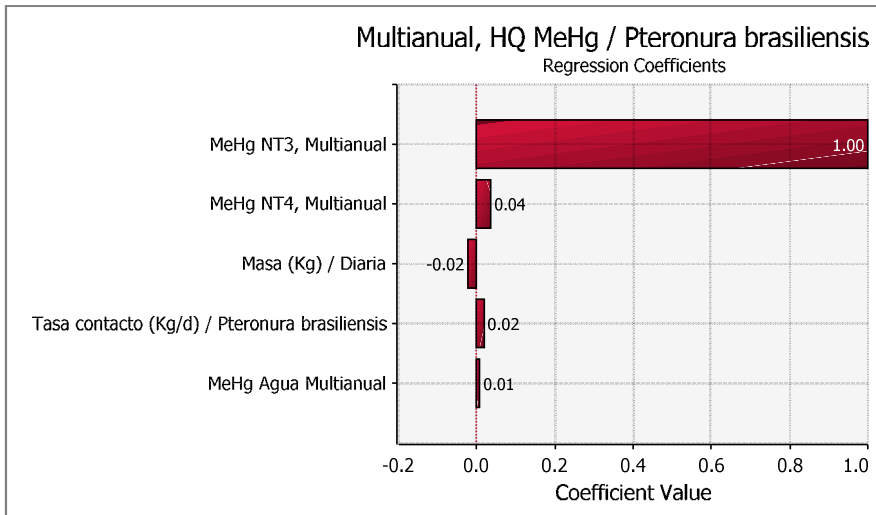
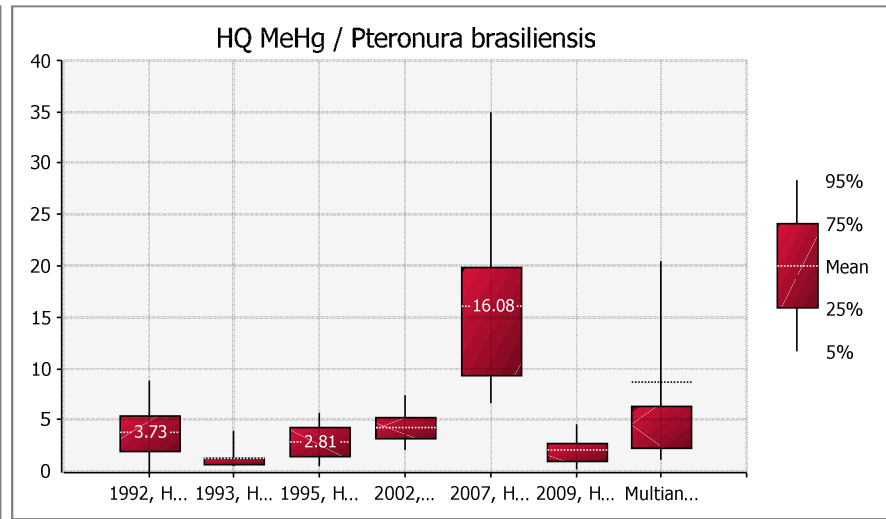
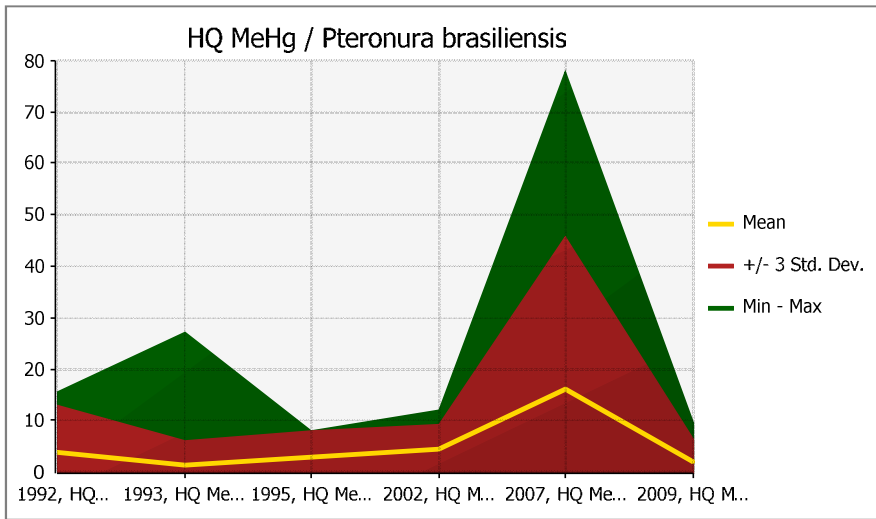
## Cociente de riesgo (HQ) – MeHg

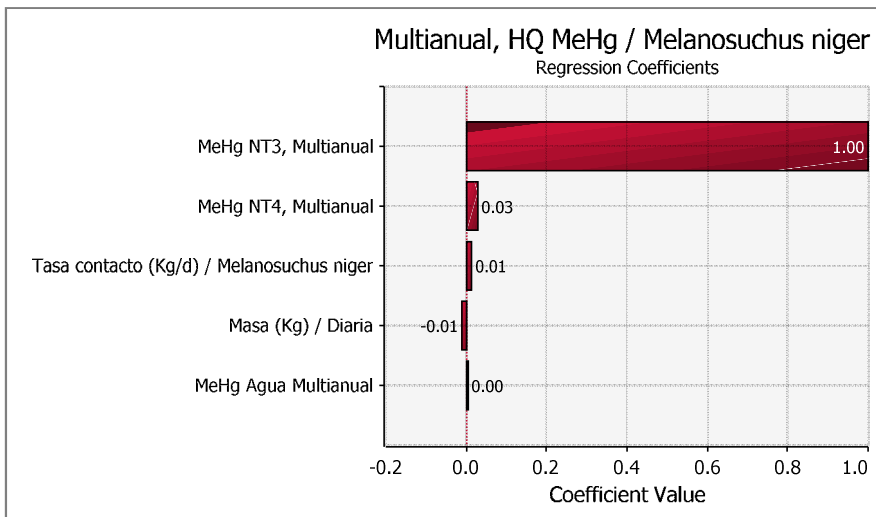
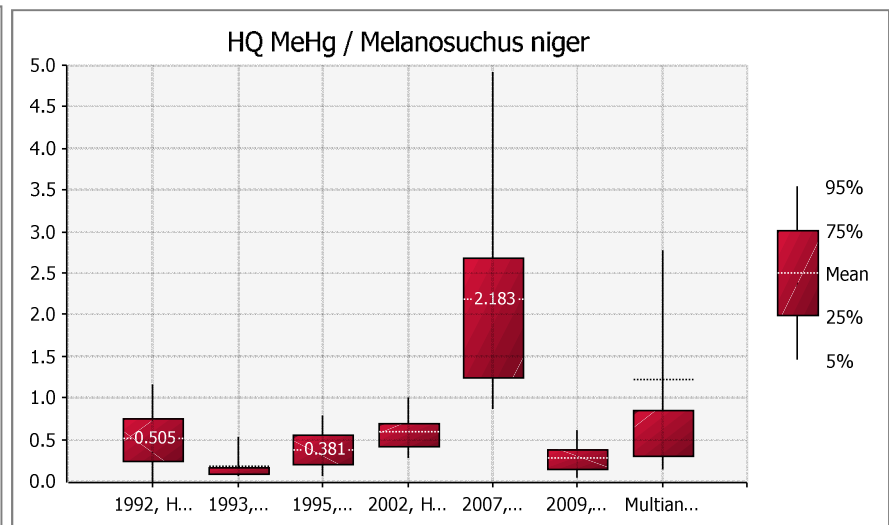
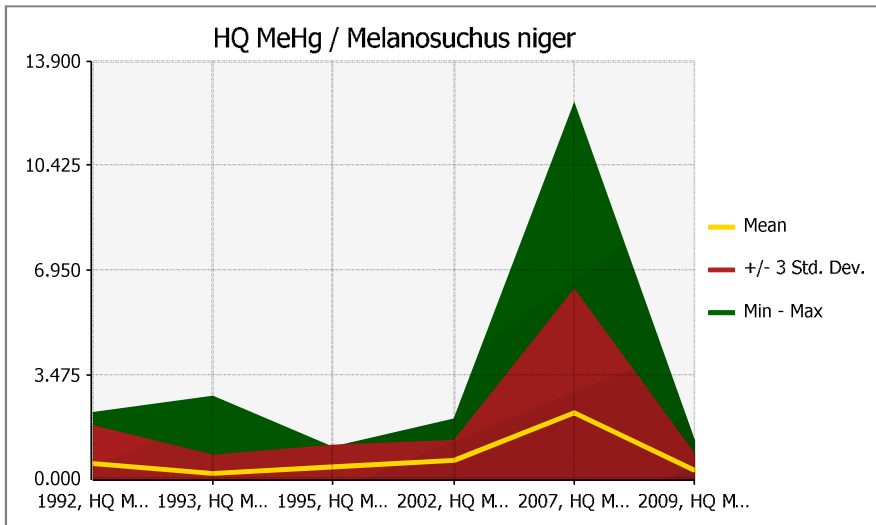




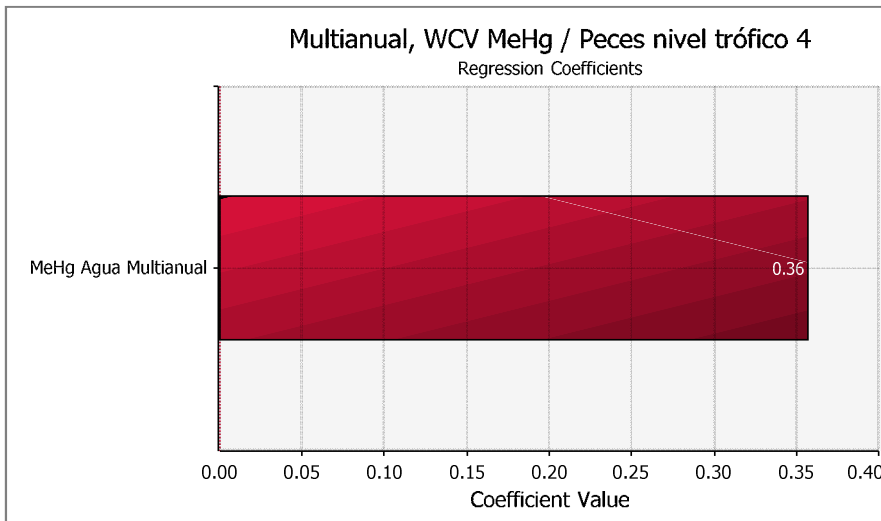
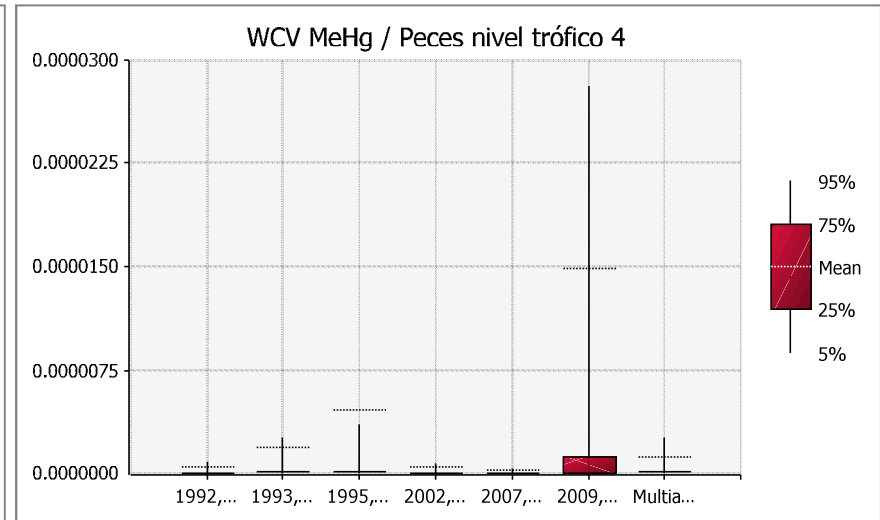
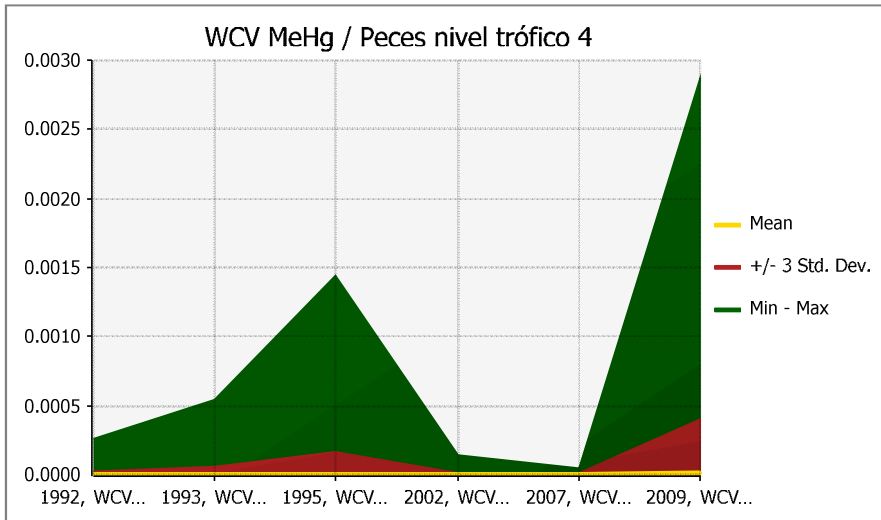




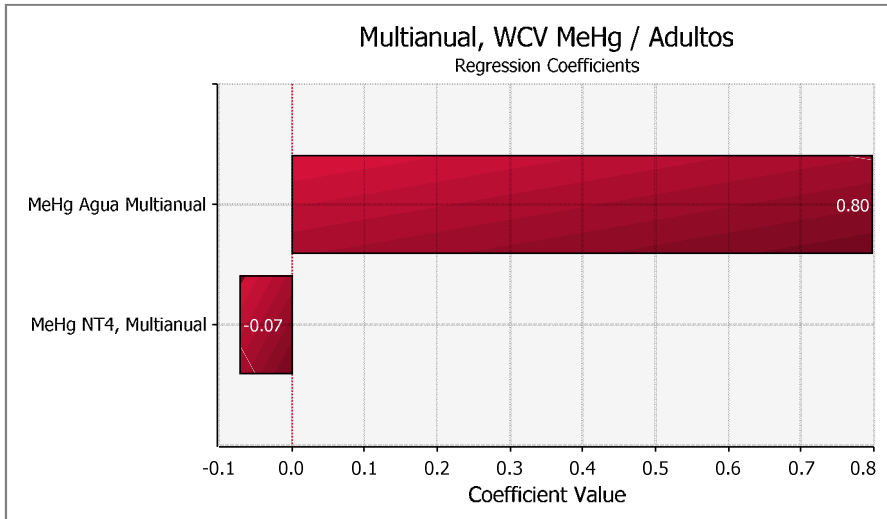
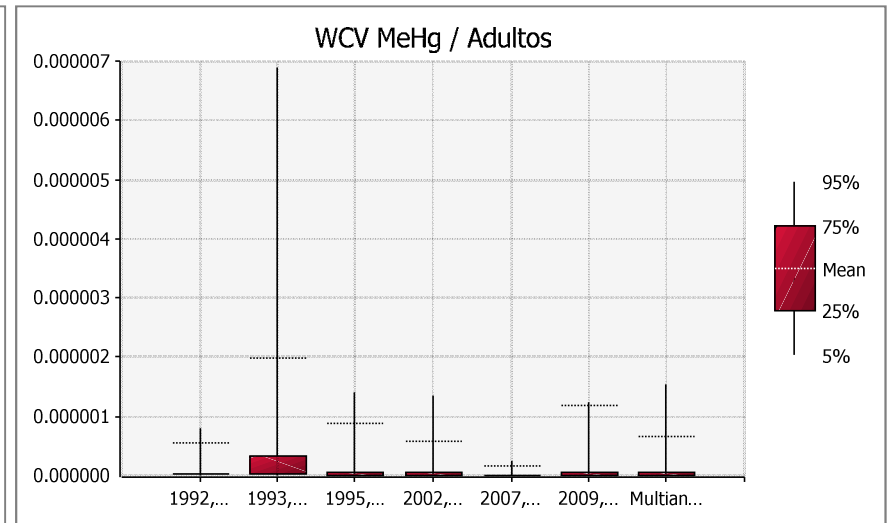
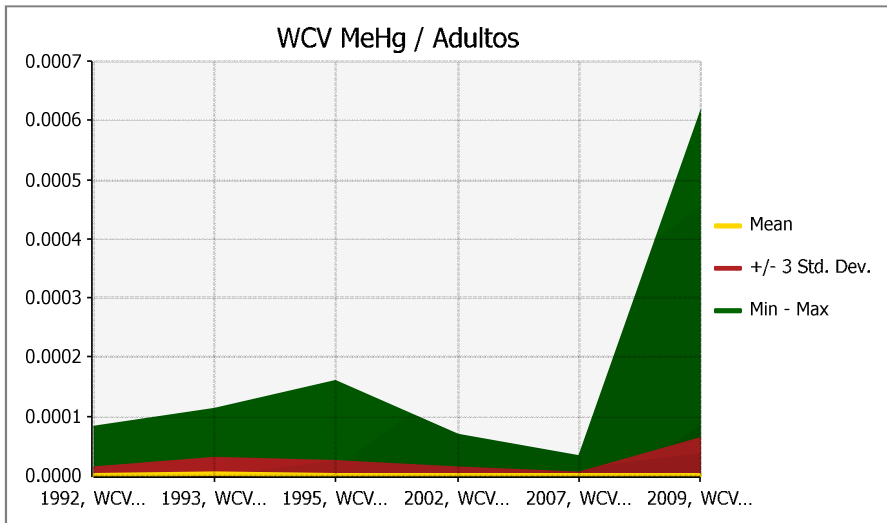


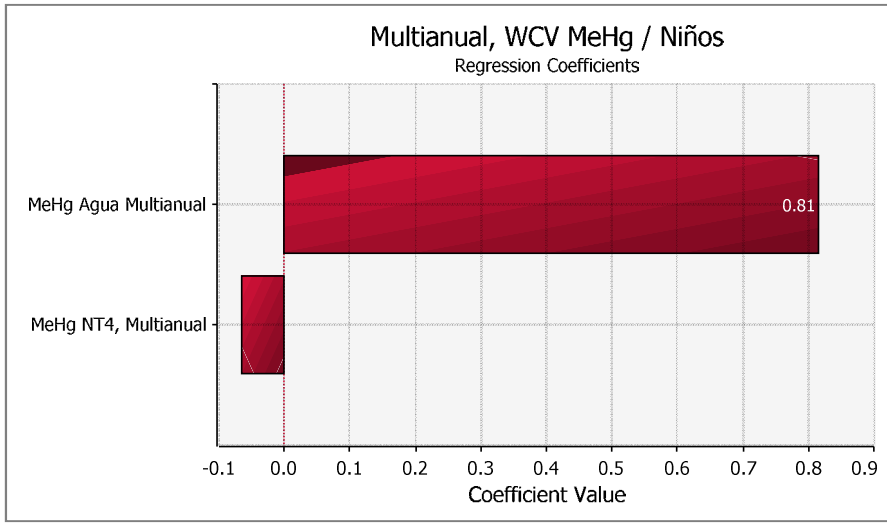
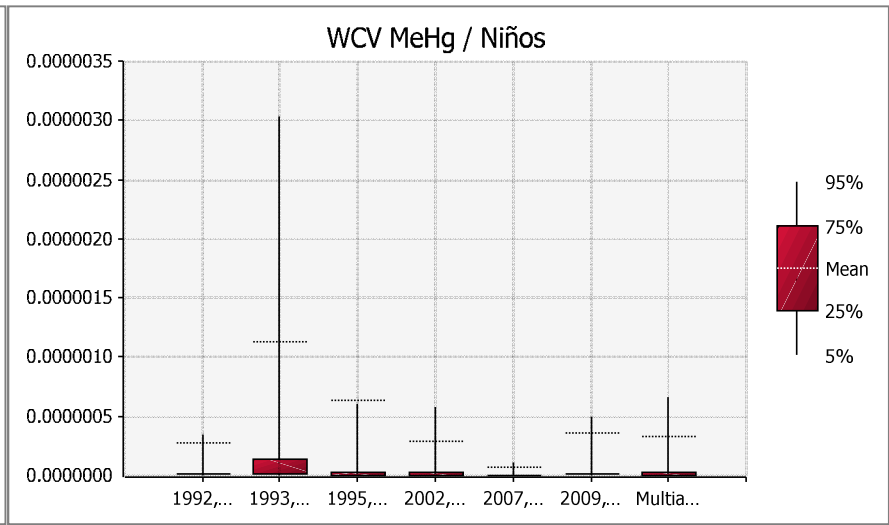
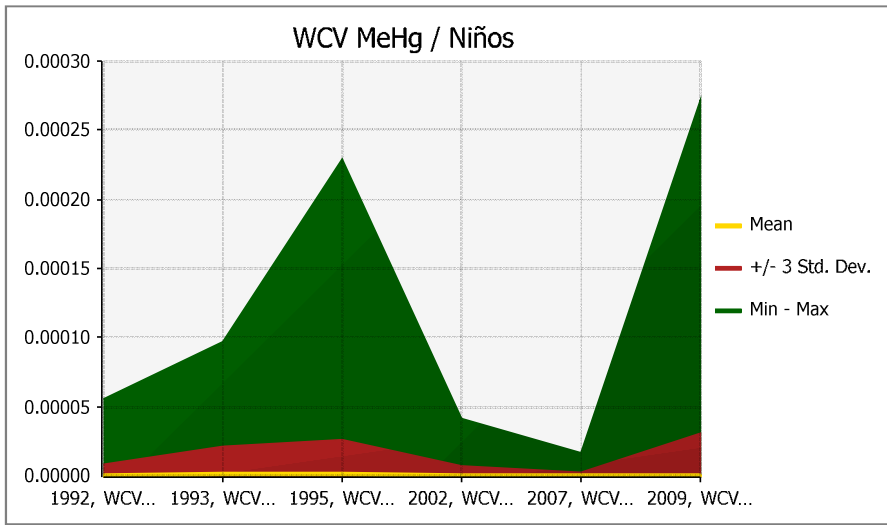


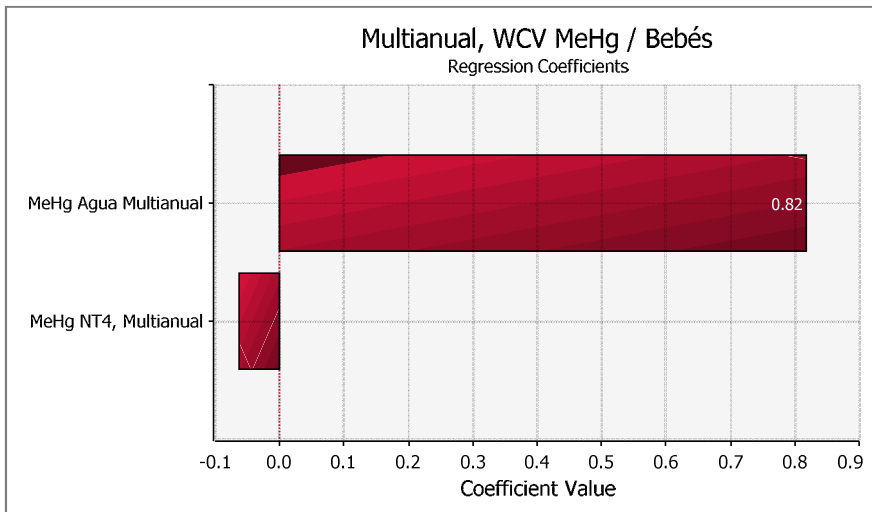
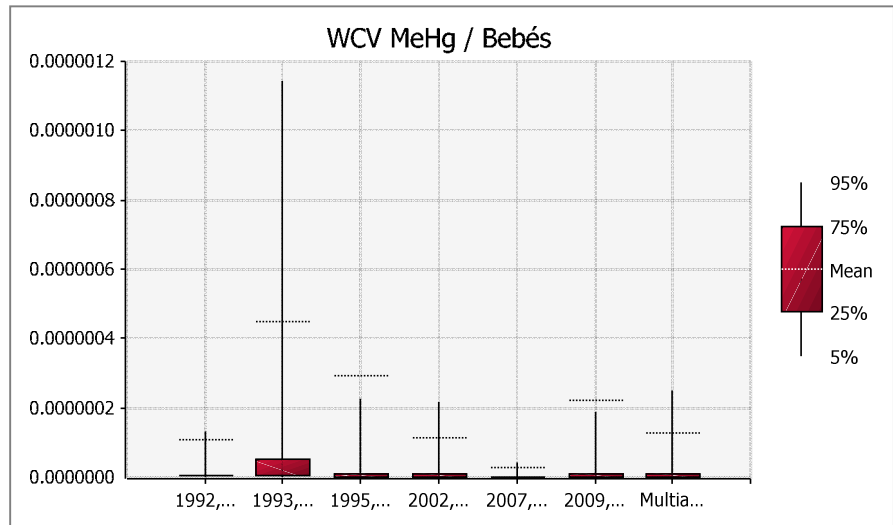
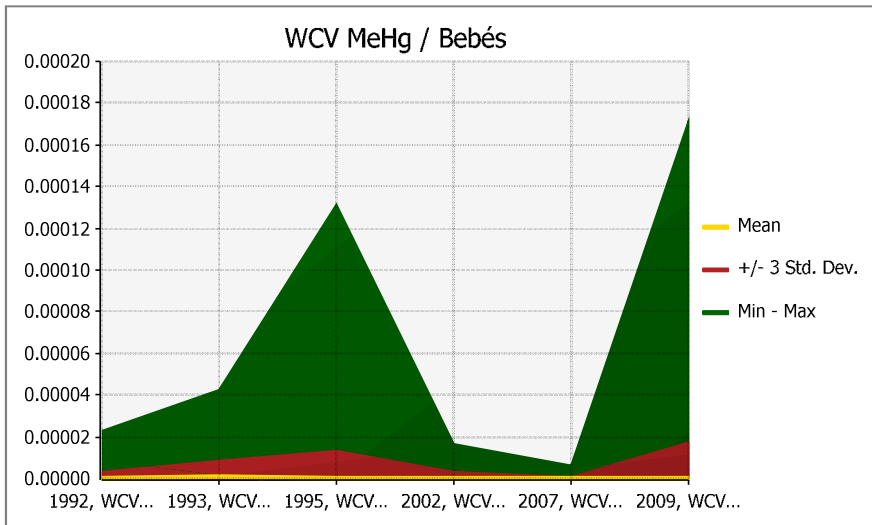
### Valor criterio de protección – MeHg

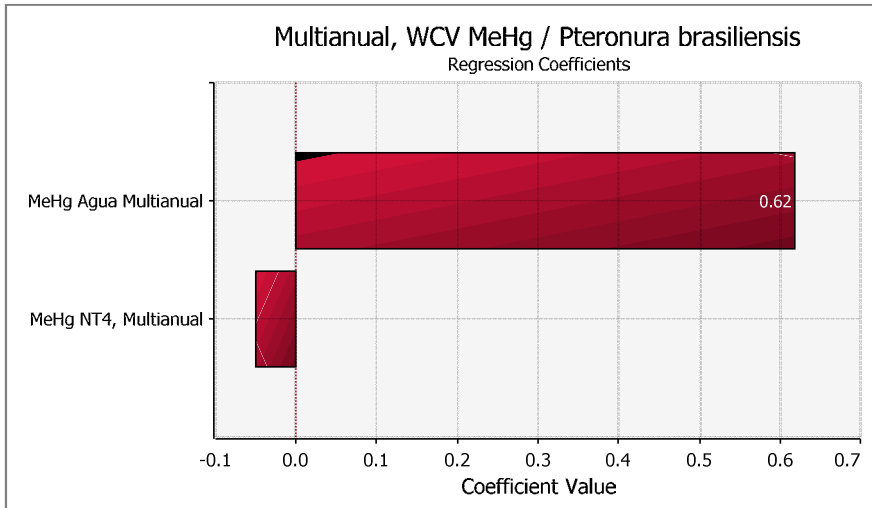
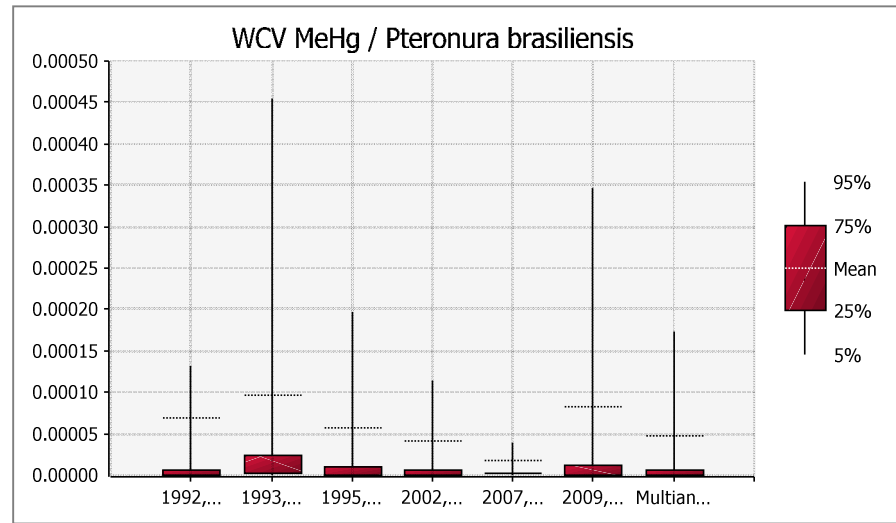
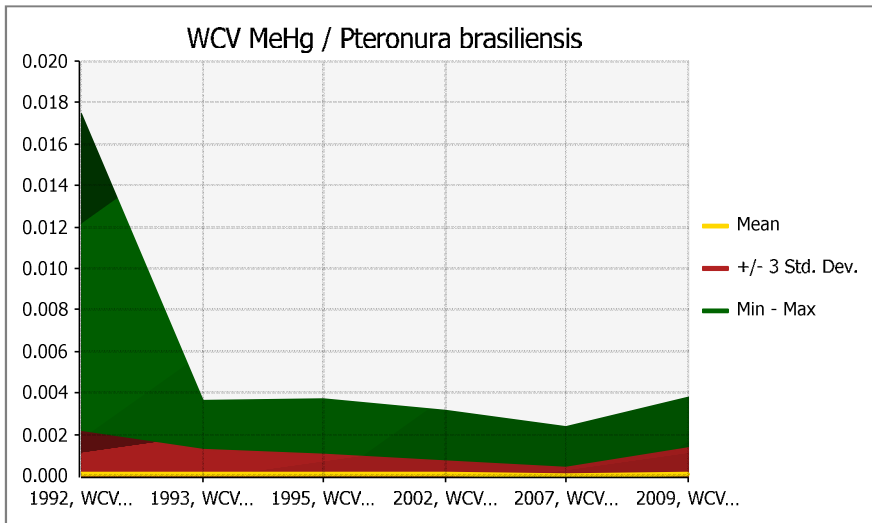


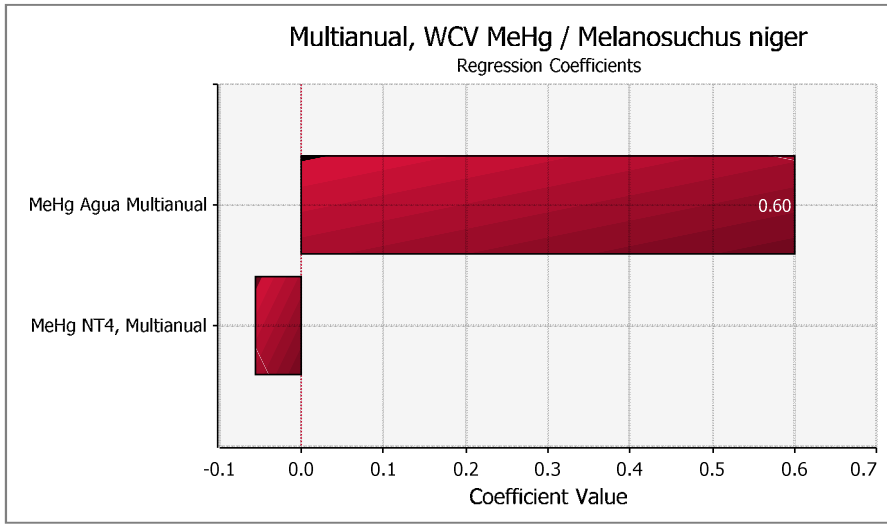
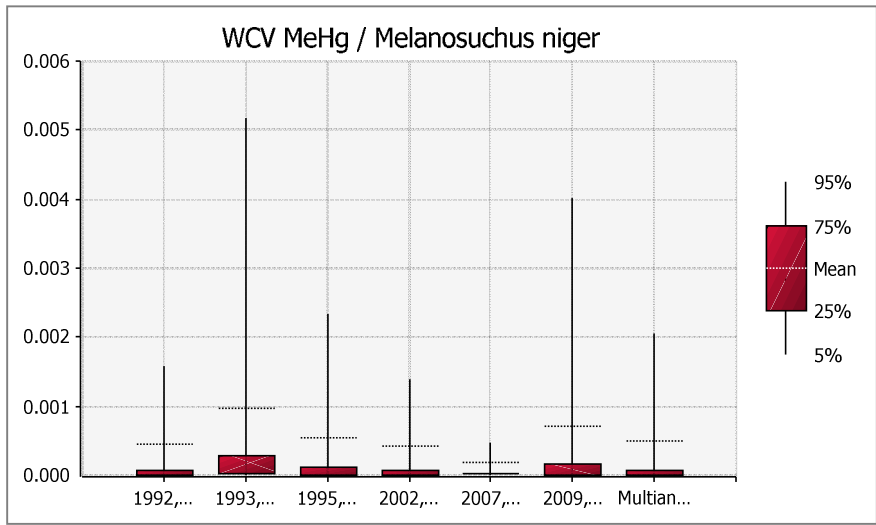
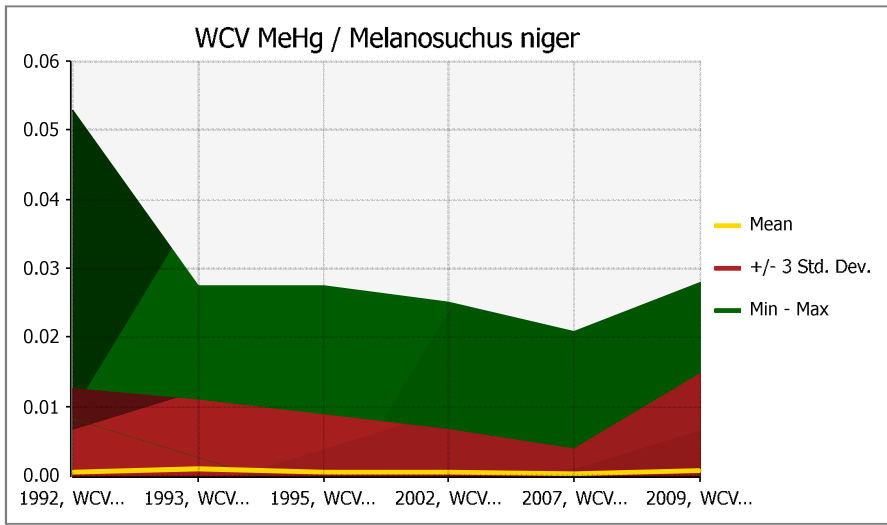






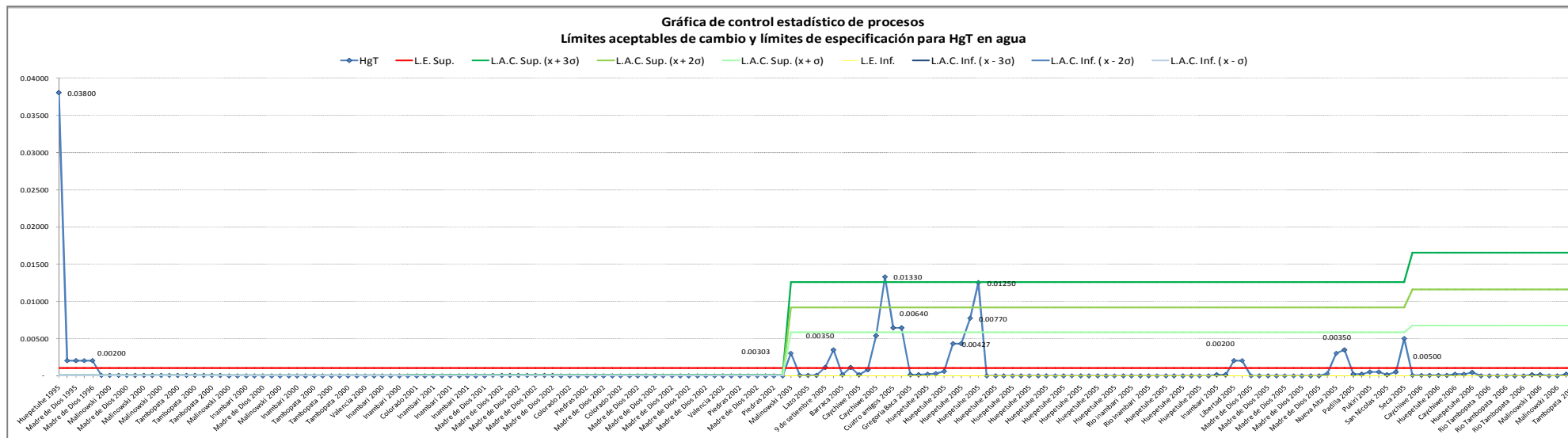
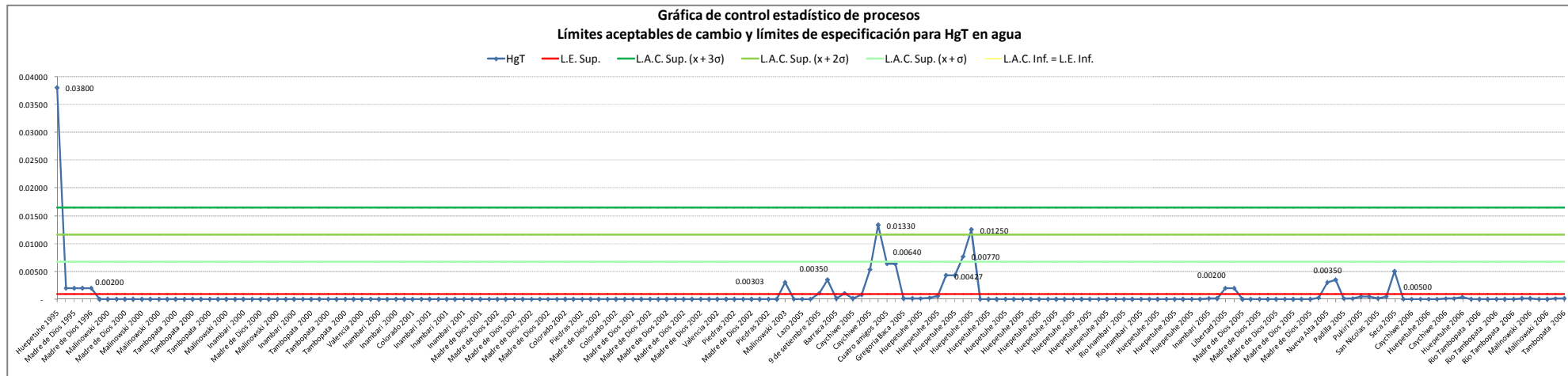




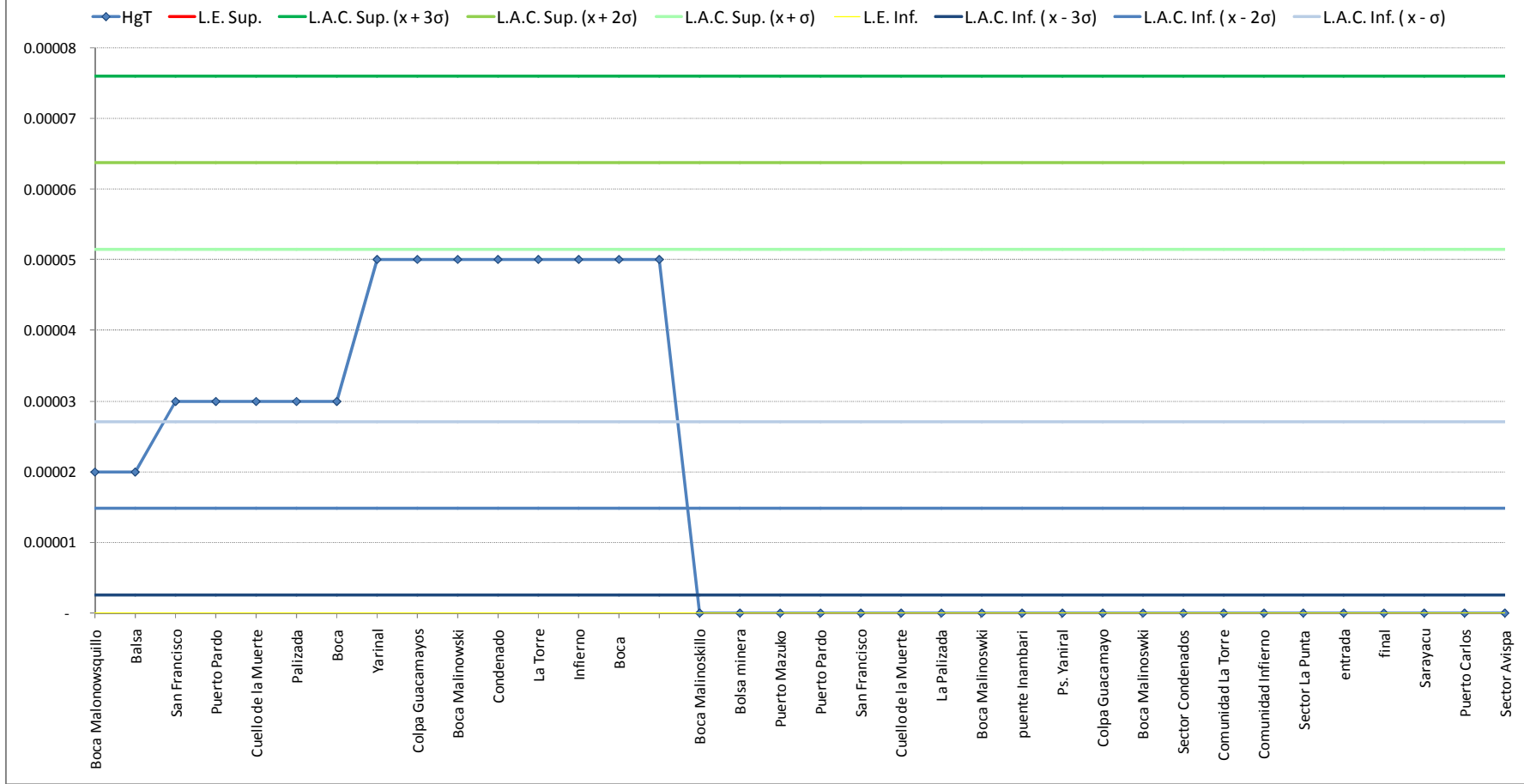


## d) Límites Aceptables de Cambio (LAC)

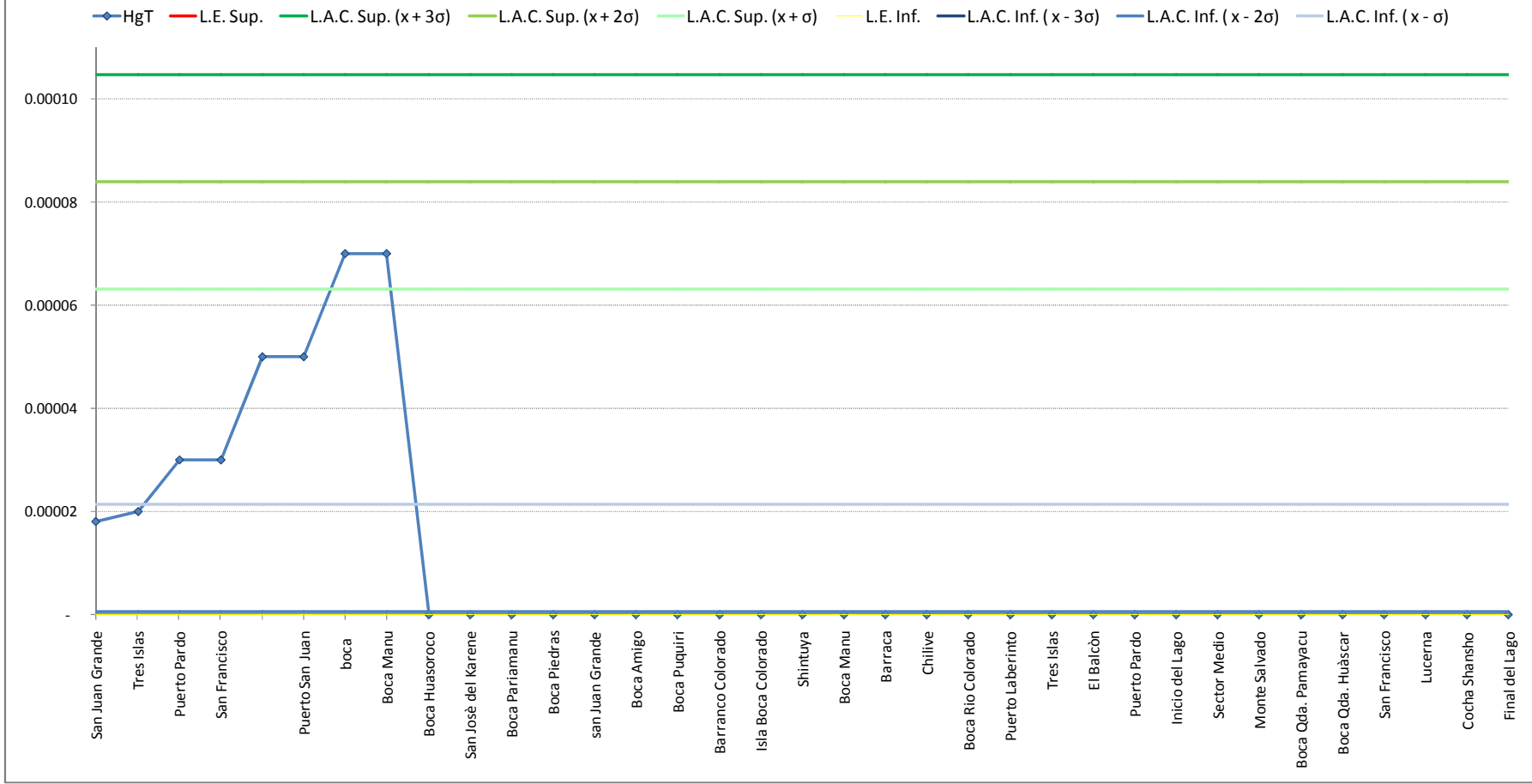
### En agua



**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en agua - Año 2000**

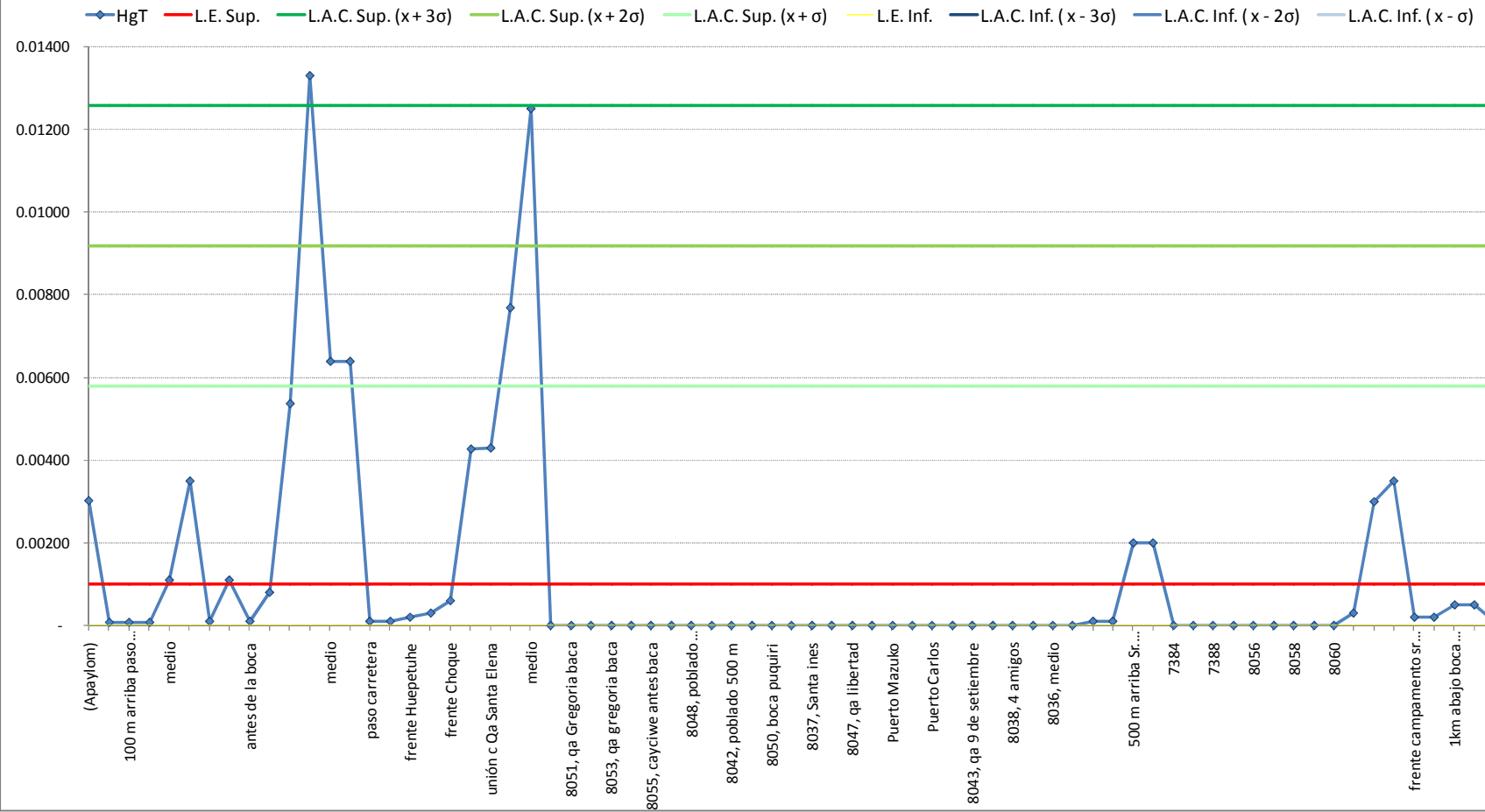


**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en agua - Año 2002**

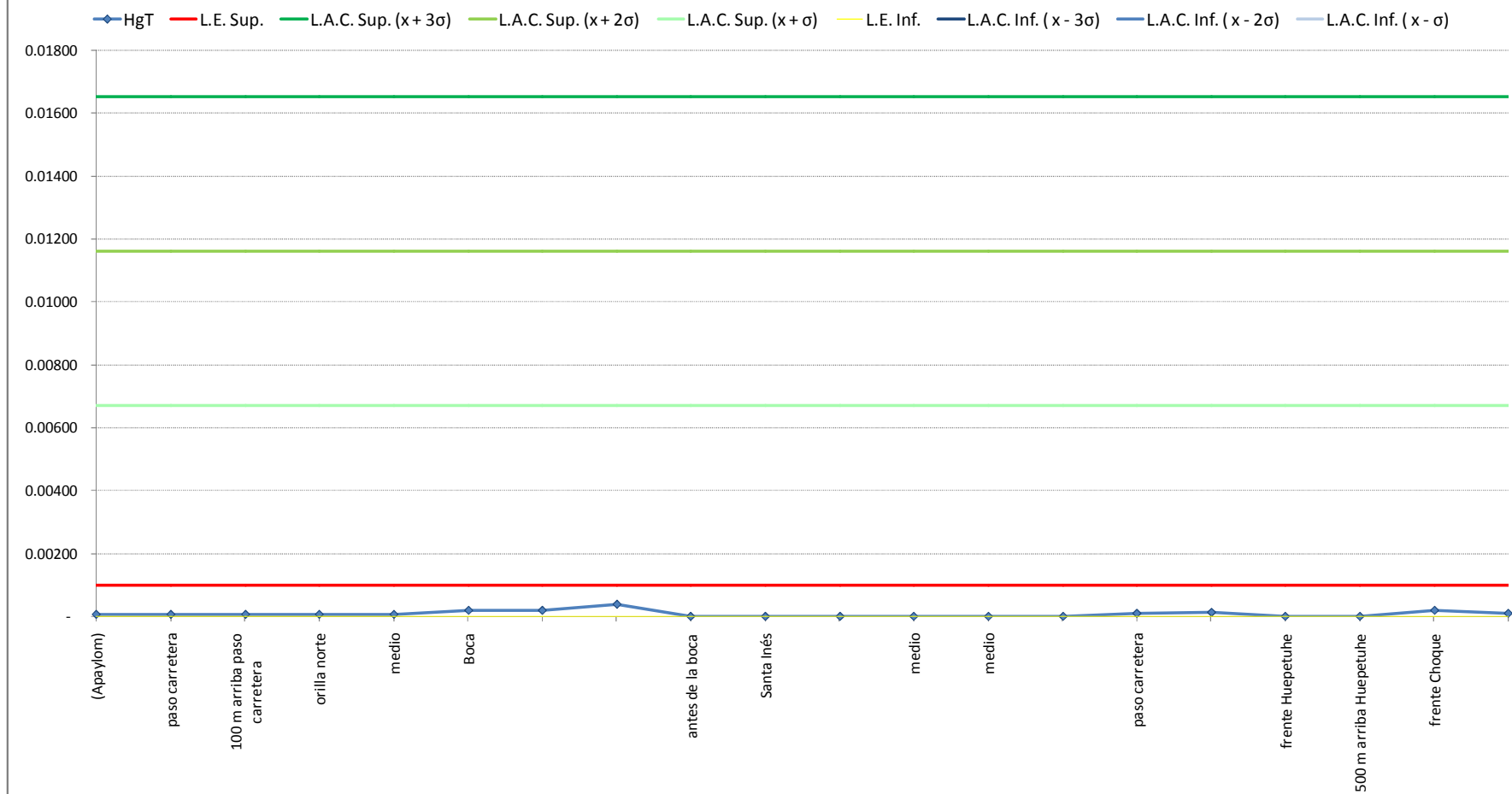




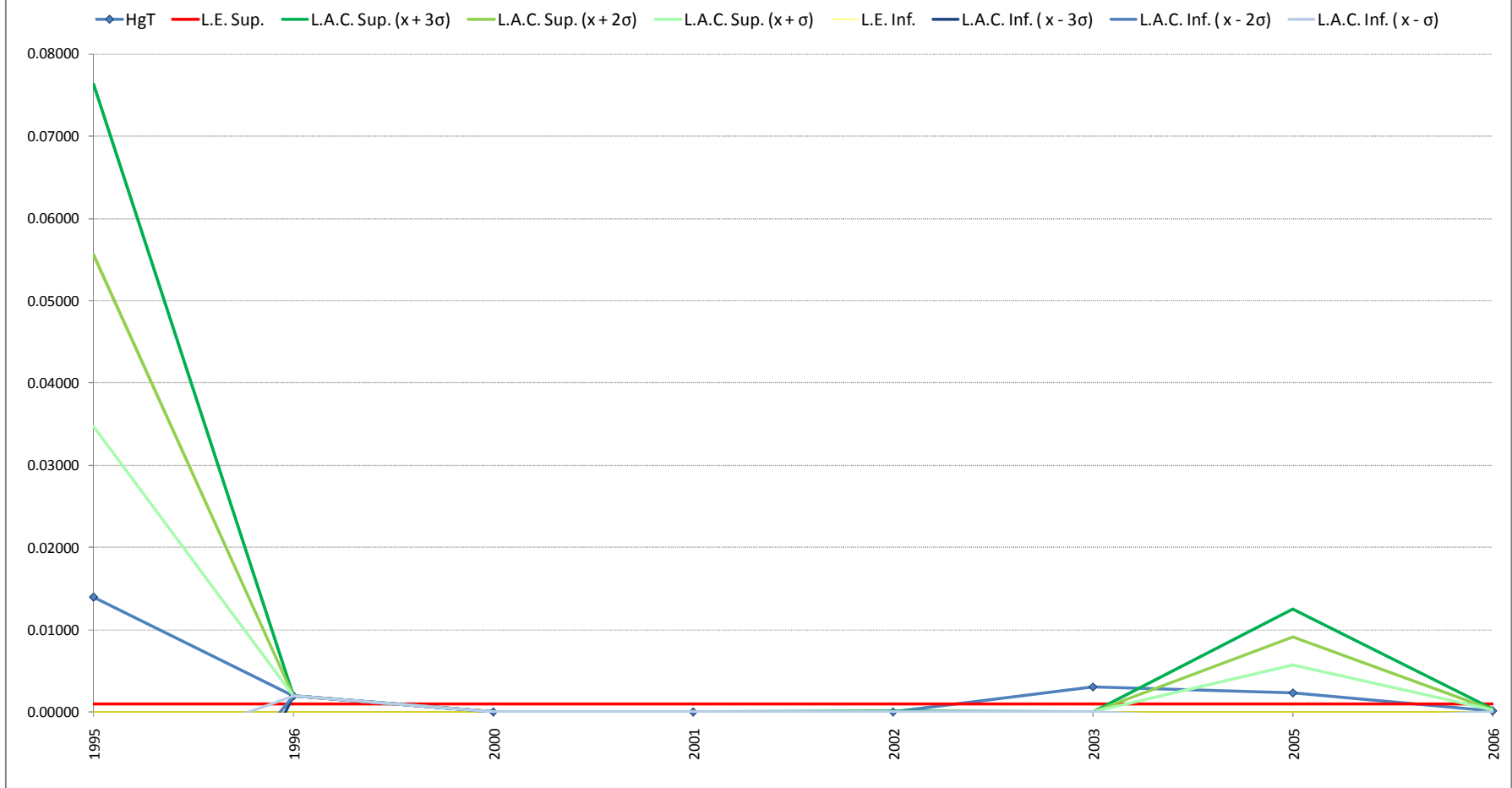
**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en agua - Año 2003-2005**



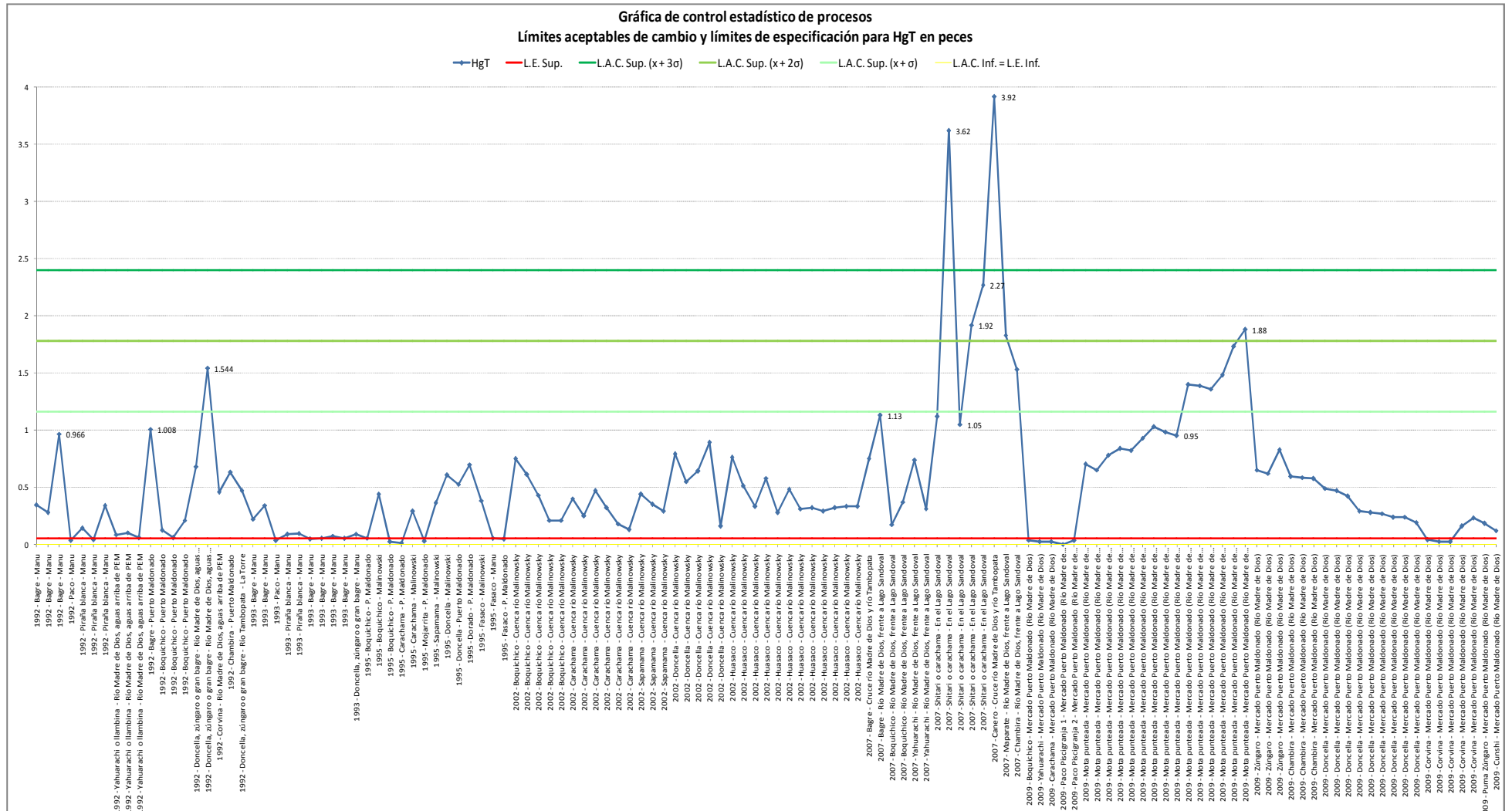
**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en agua - Año 2006**



**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en agua - Data promedio 1995 - 2006**

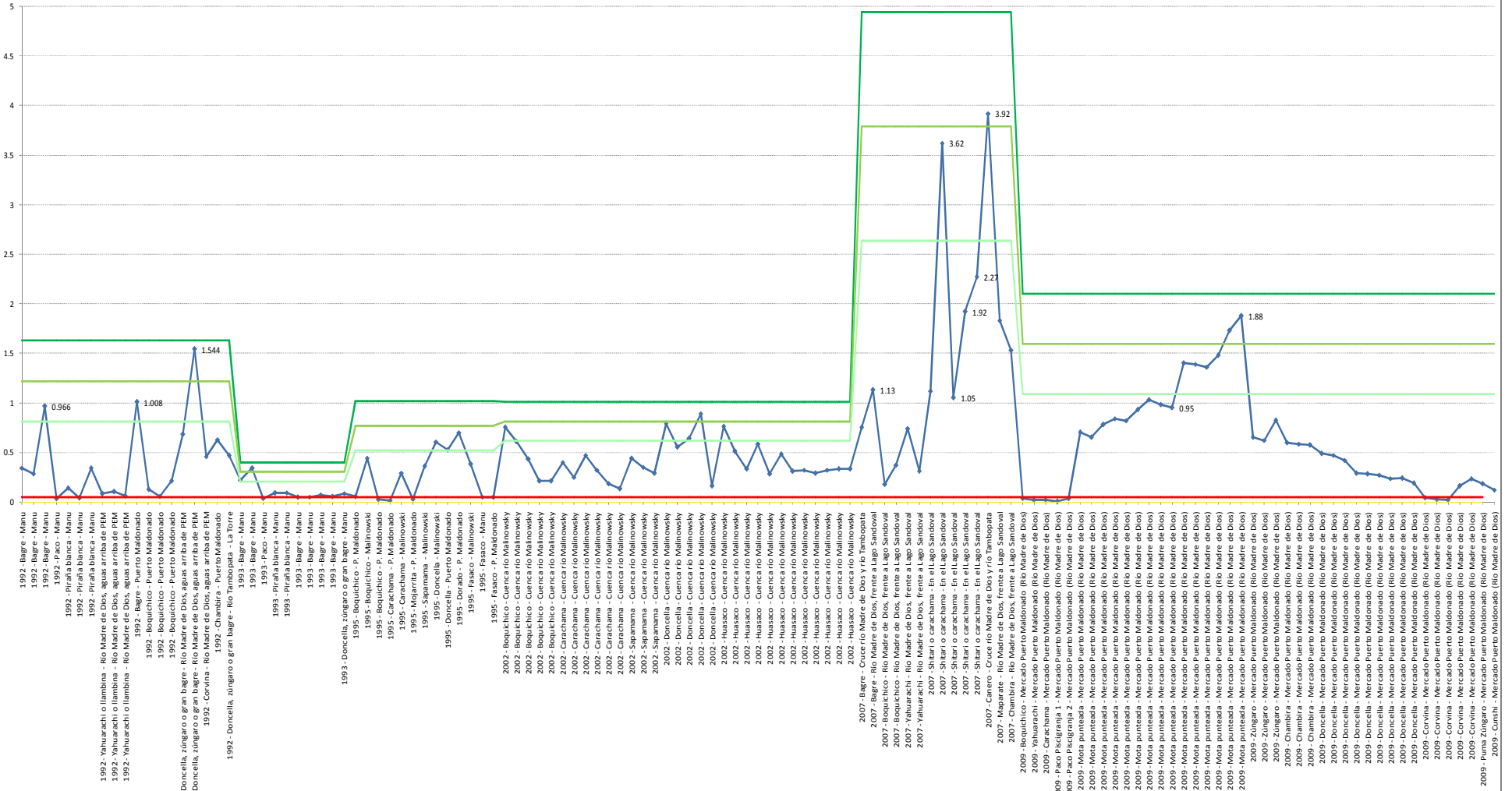


# En peces

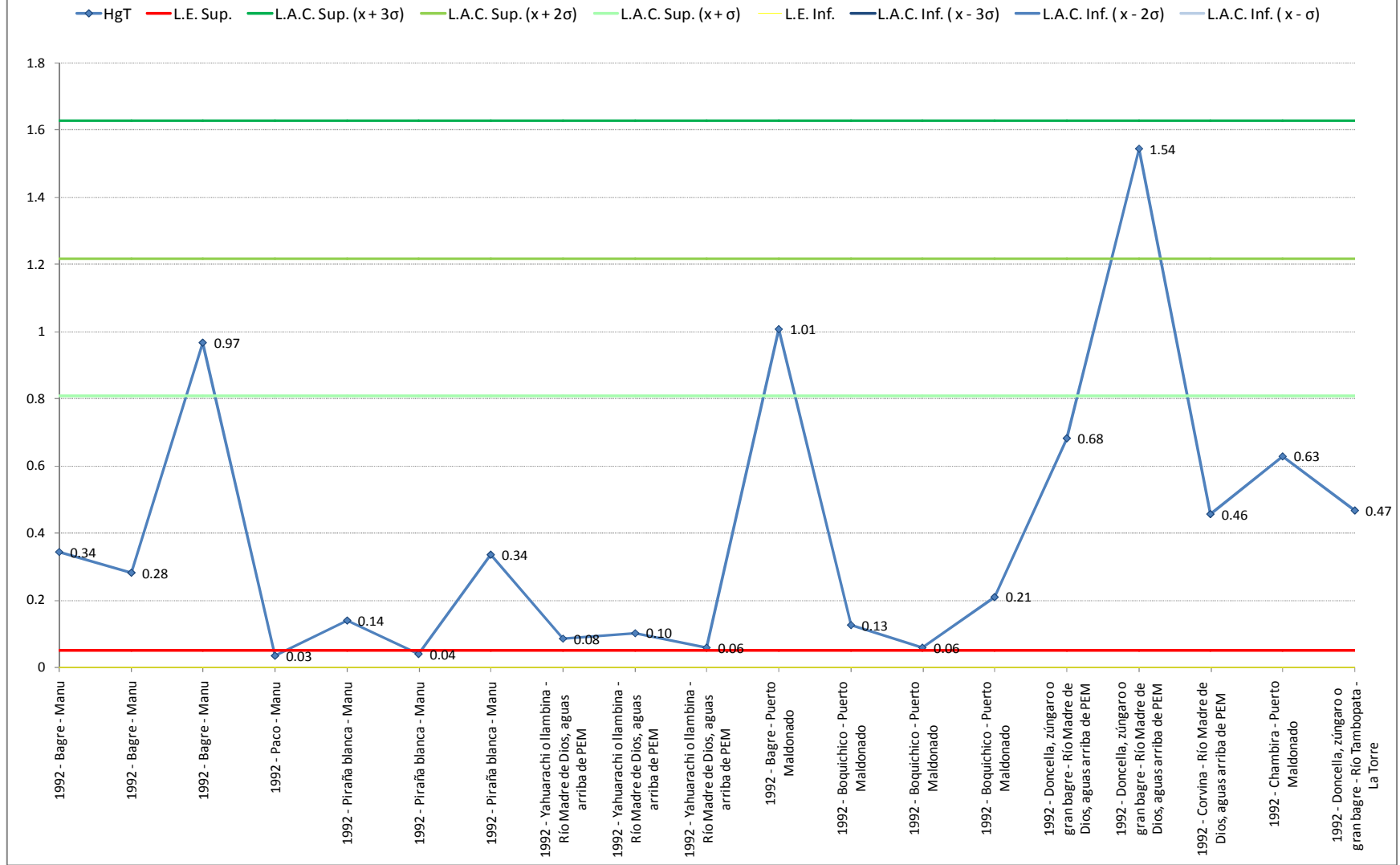


Gráfica de control estadístico de procesos  
 Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en peces

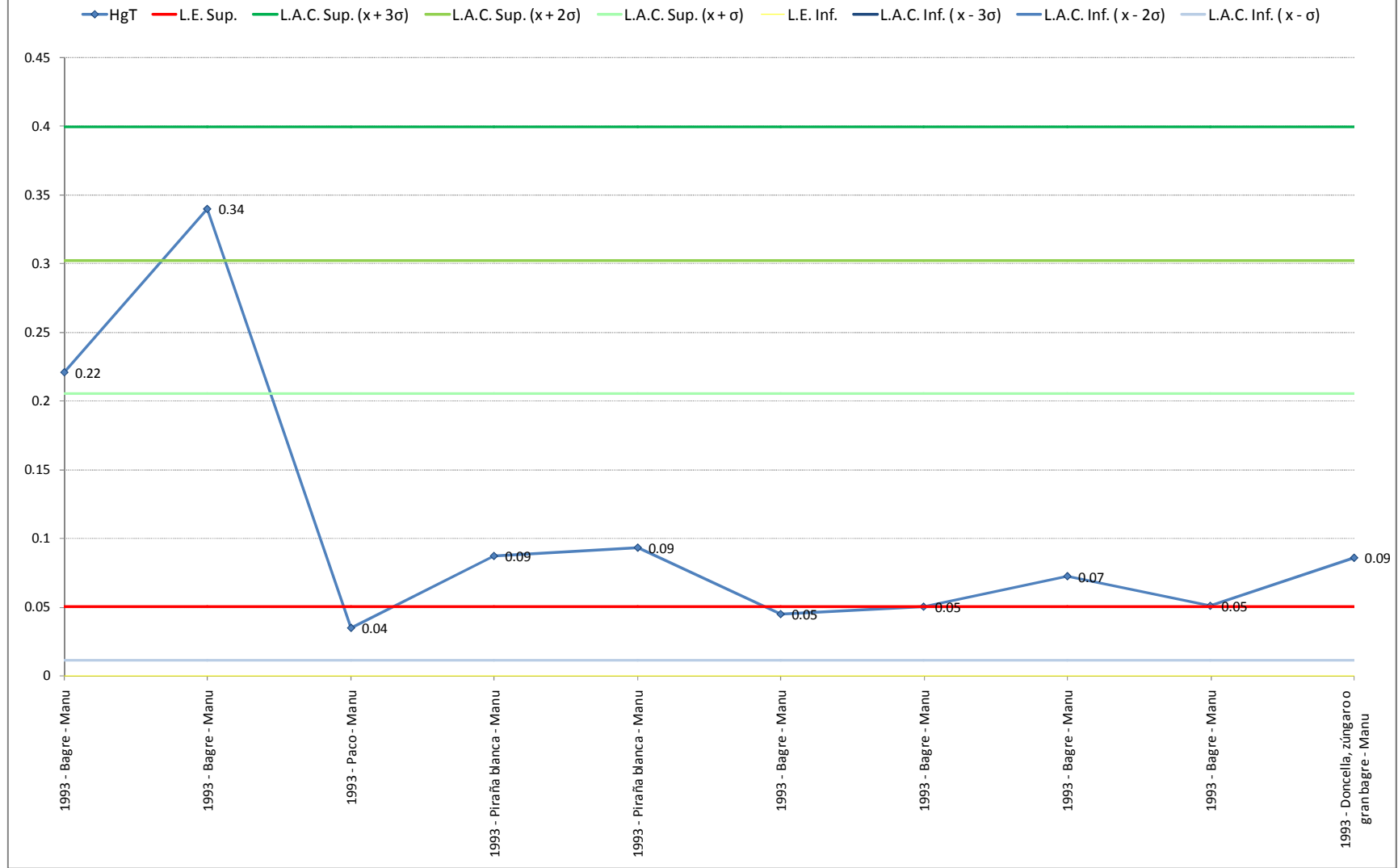
— HgT — L.E. Sup. — L.A.C. Sup. (x + 3σ) — L.A.C. Sup. (x + 2σ) — L.A.C. Sup. (x + σ) — L.A.C. Inf. = L.E. Inf.



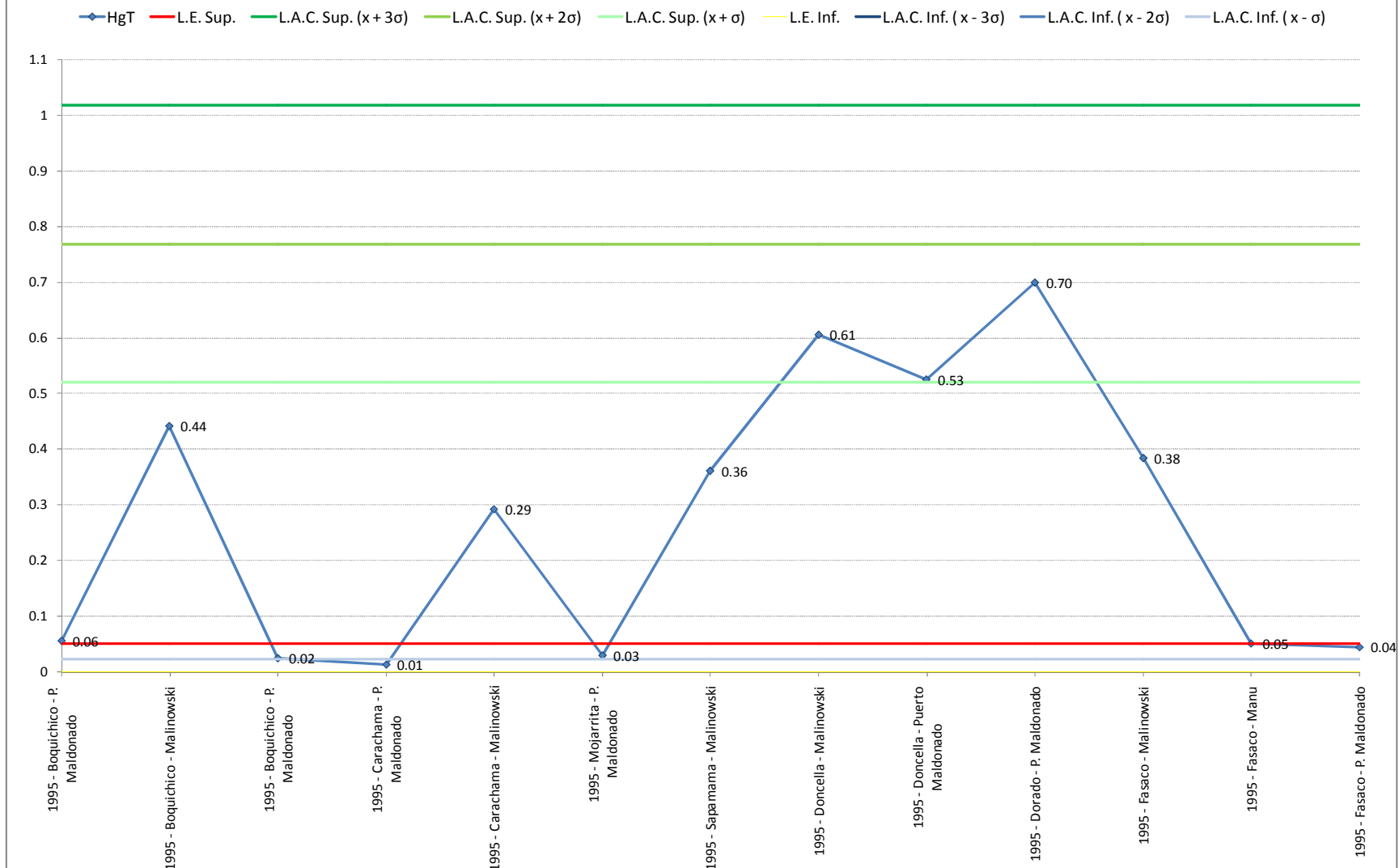
**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en peces - Año 1992**



**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en peces - Año 1993**

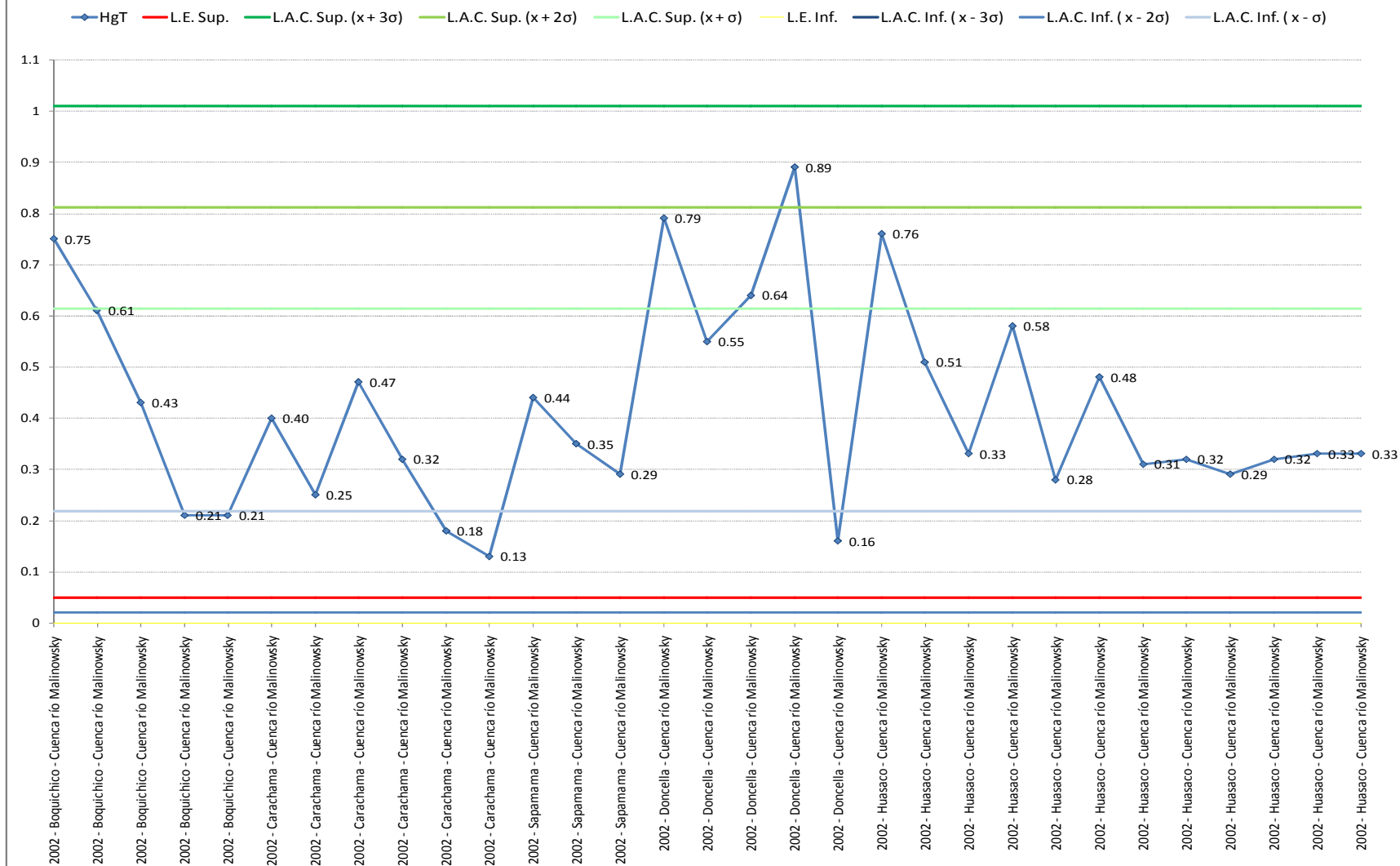


**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en peces - Año 1995**

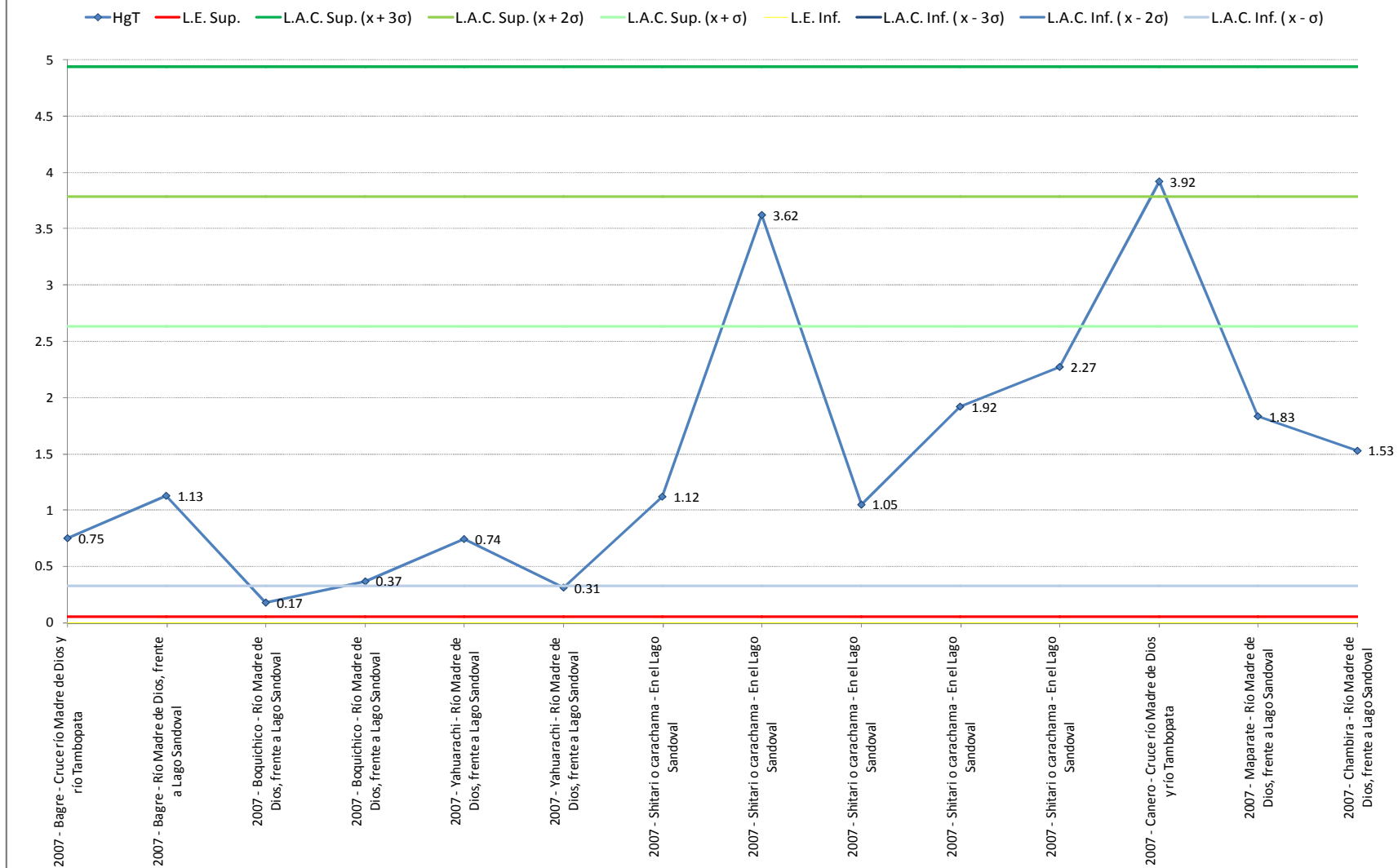




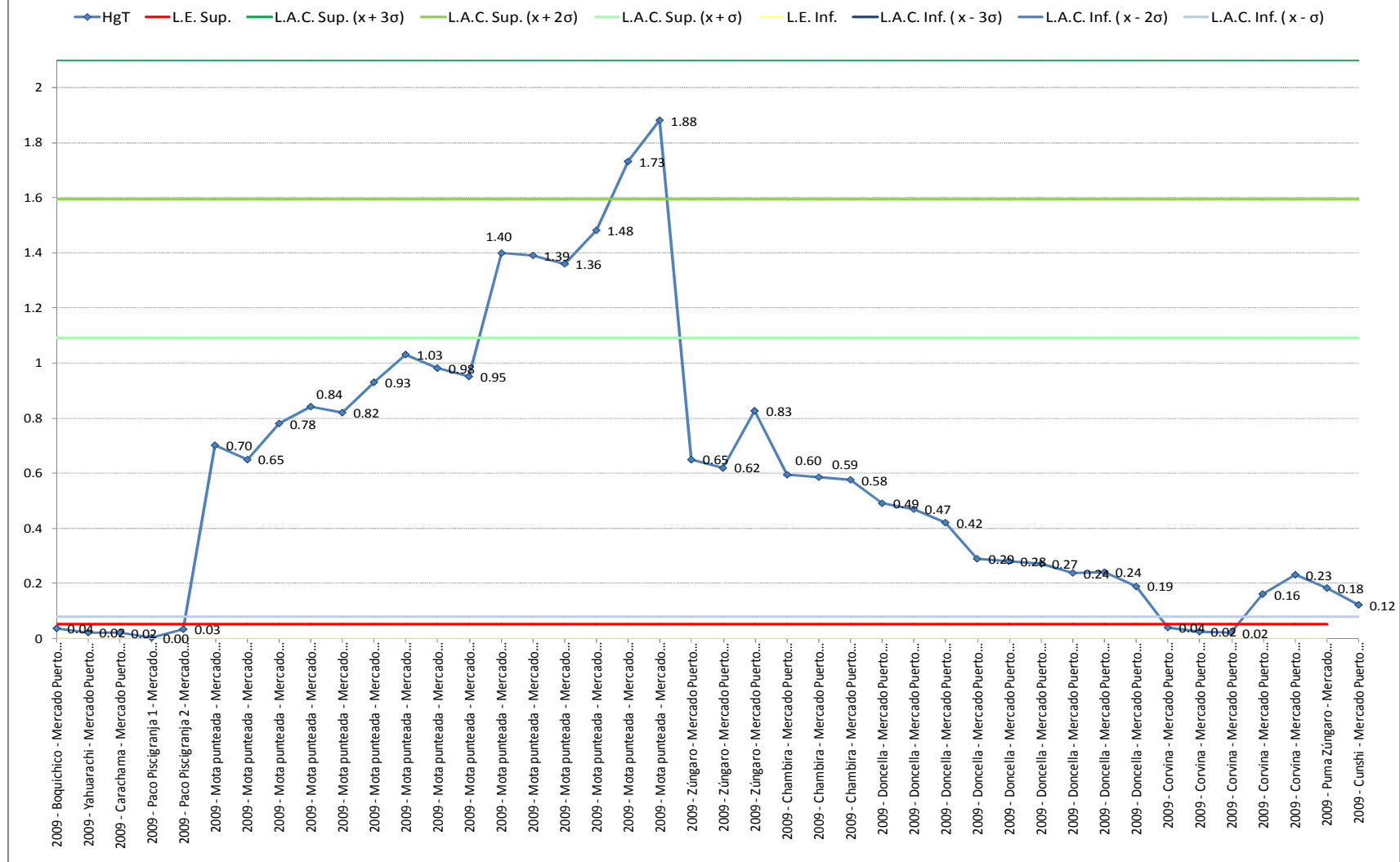
**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en peces - Año 2002**

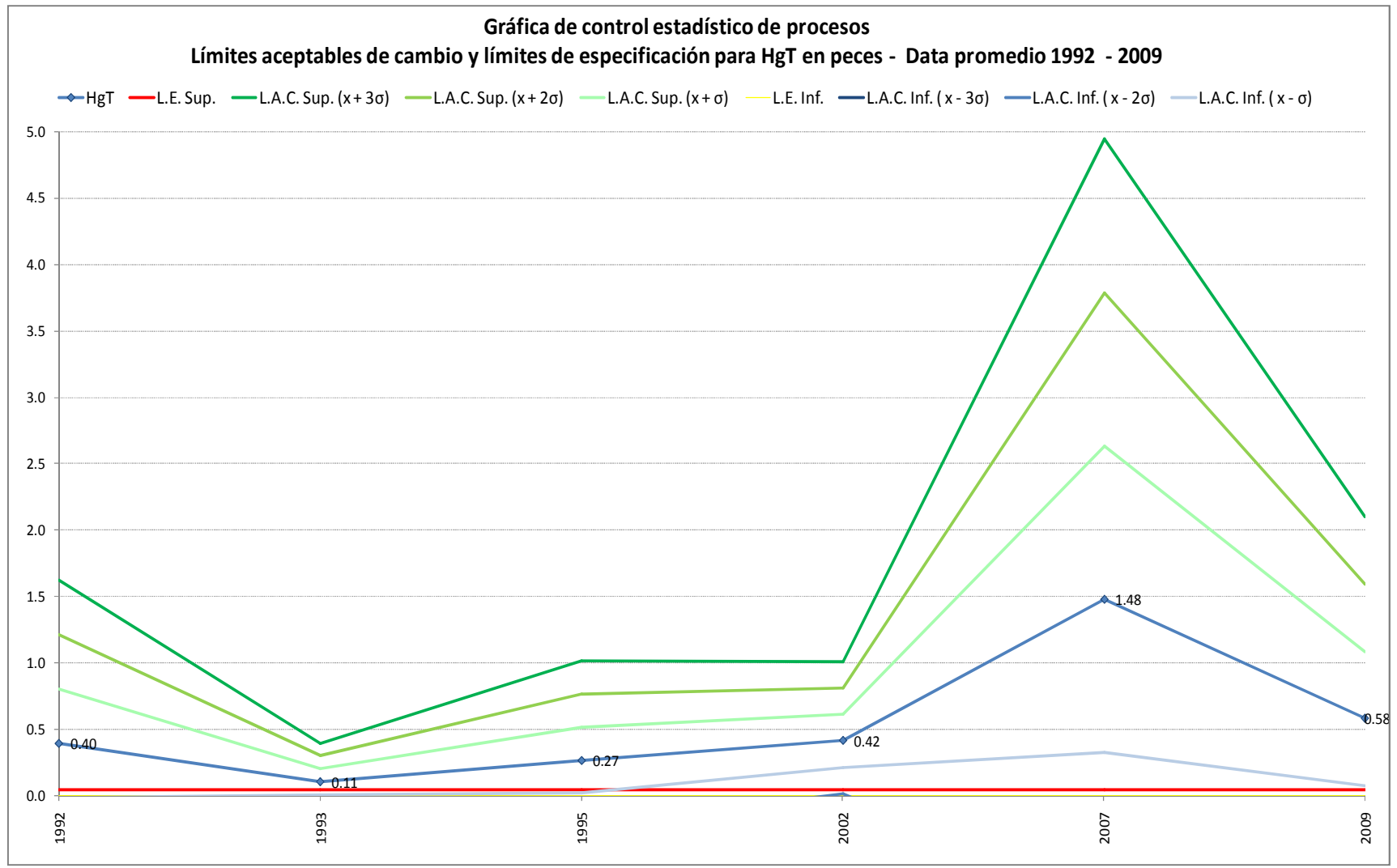


**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en peces - Año 2007**

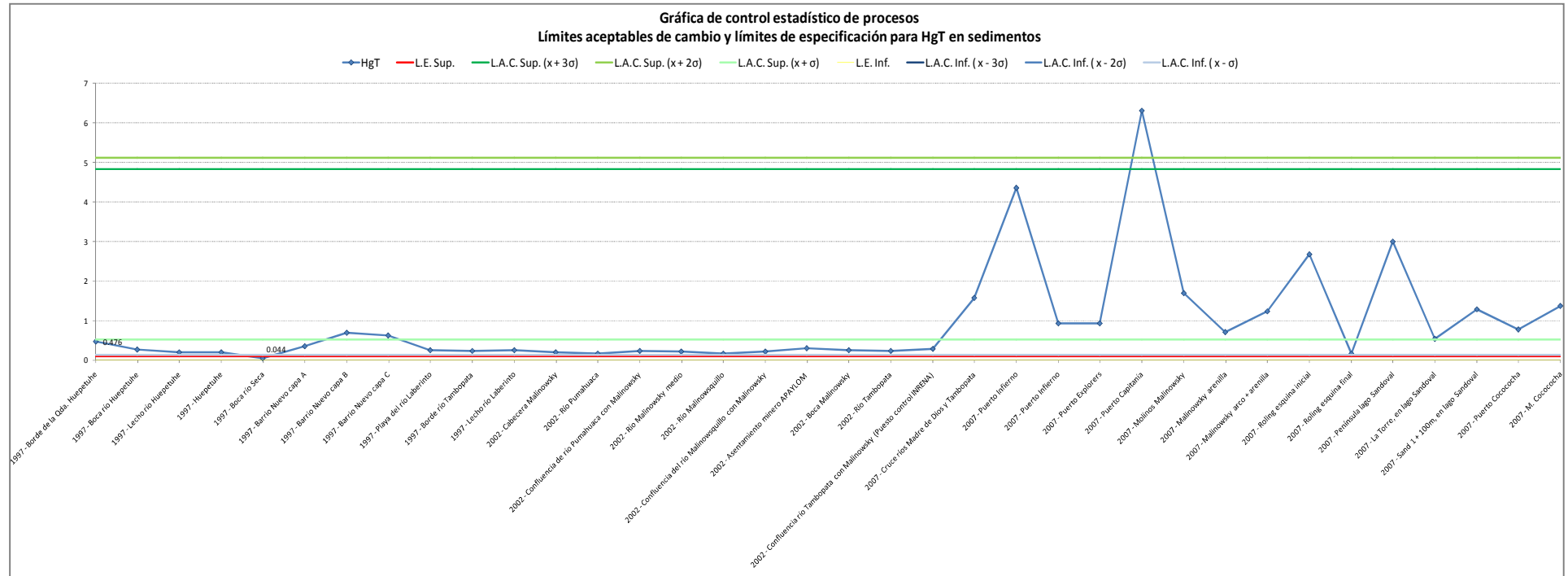


**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en peces - Año 2009**

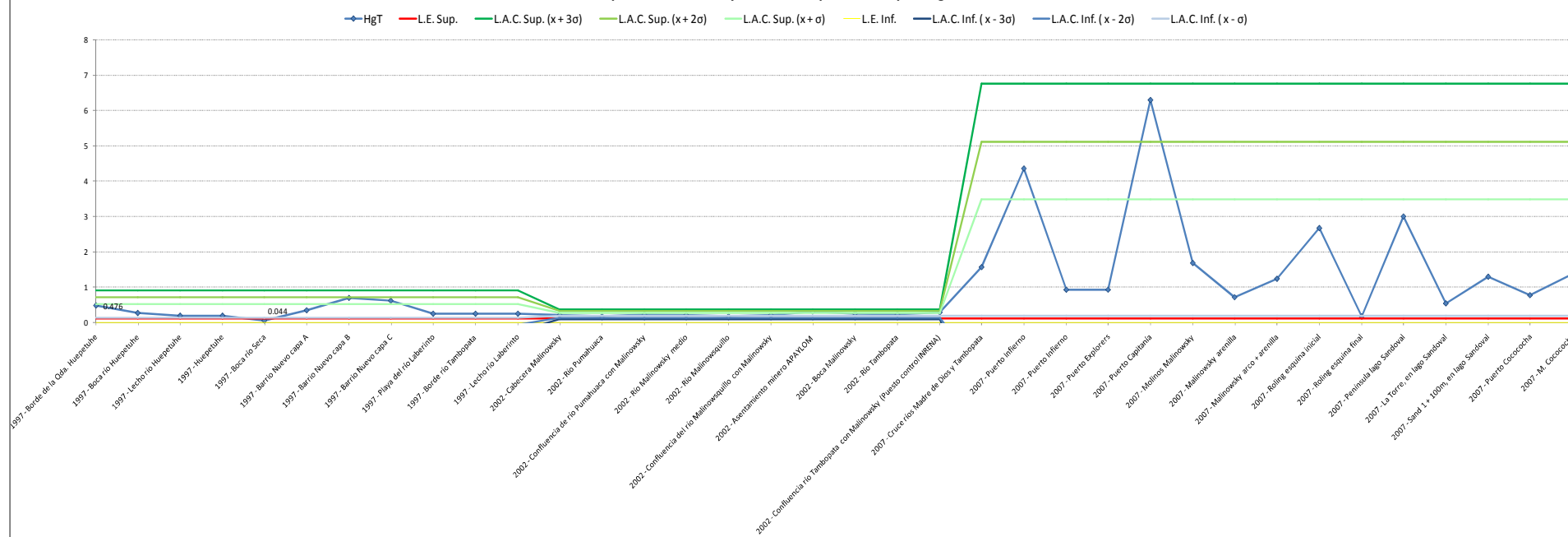




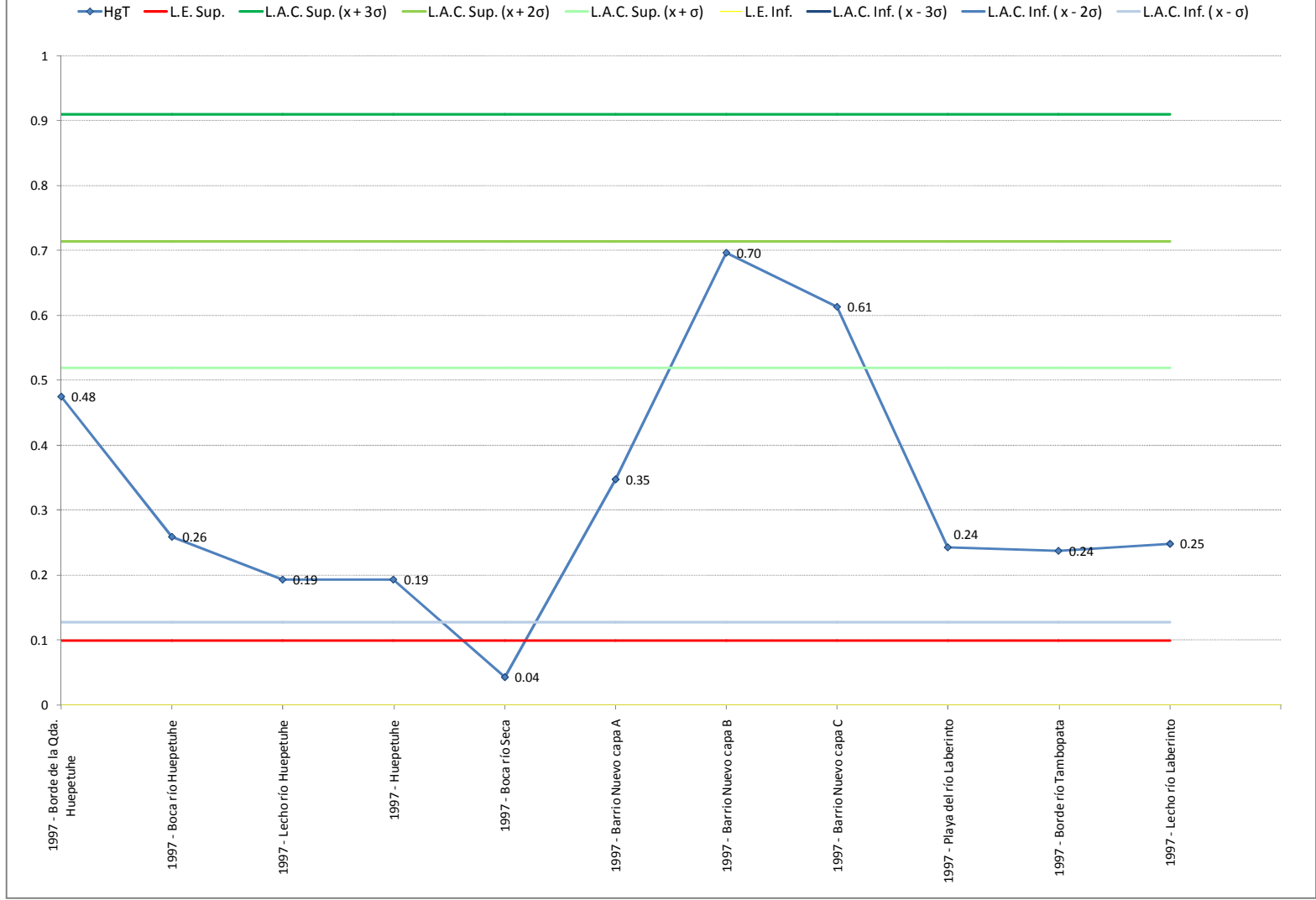
# En sedimentos

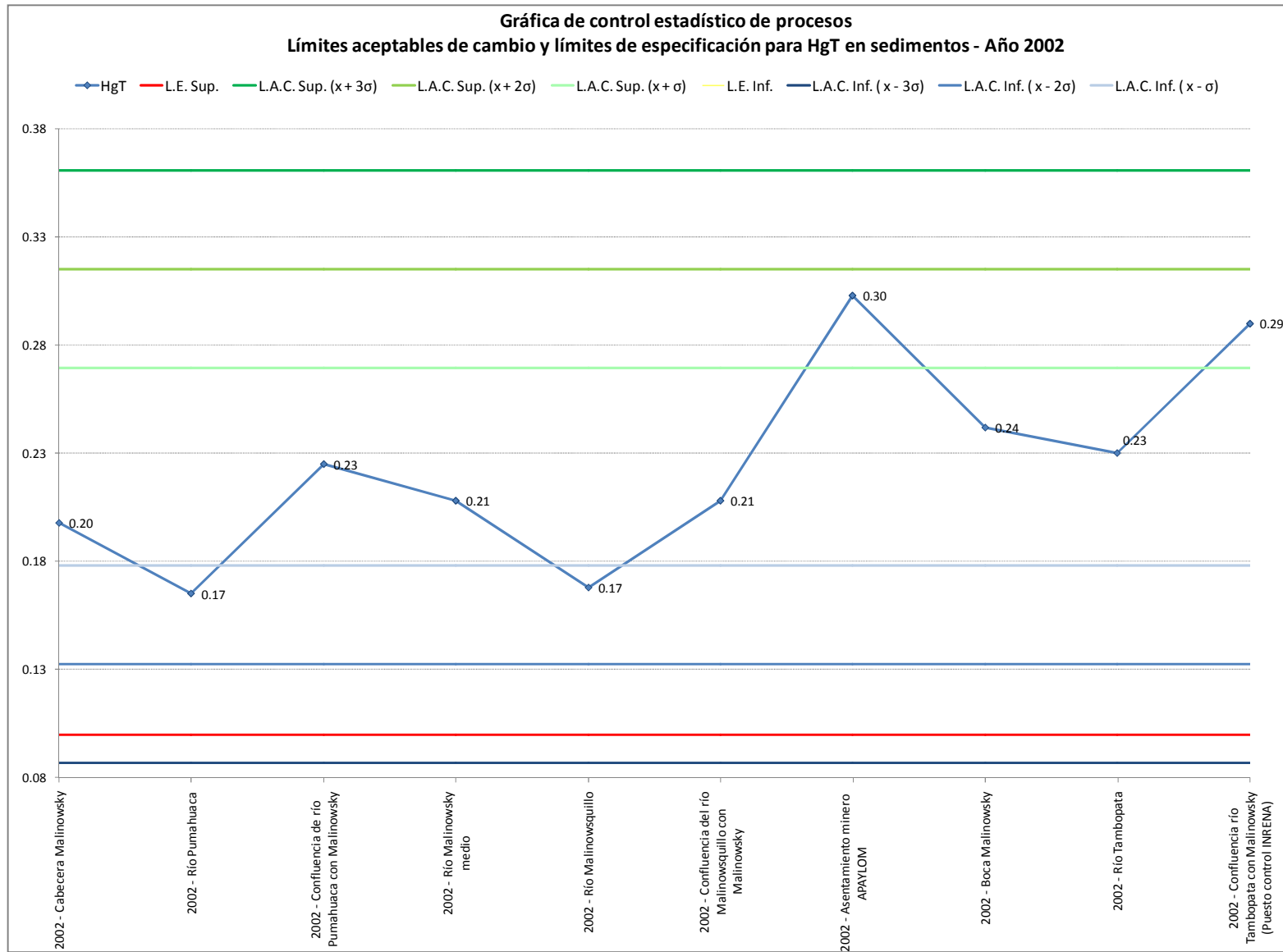


**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en sedimentos**



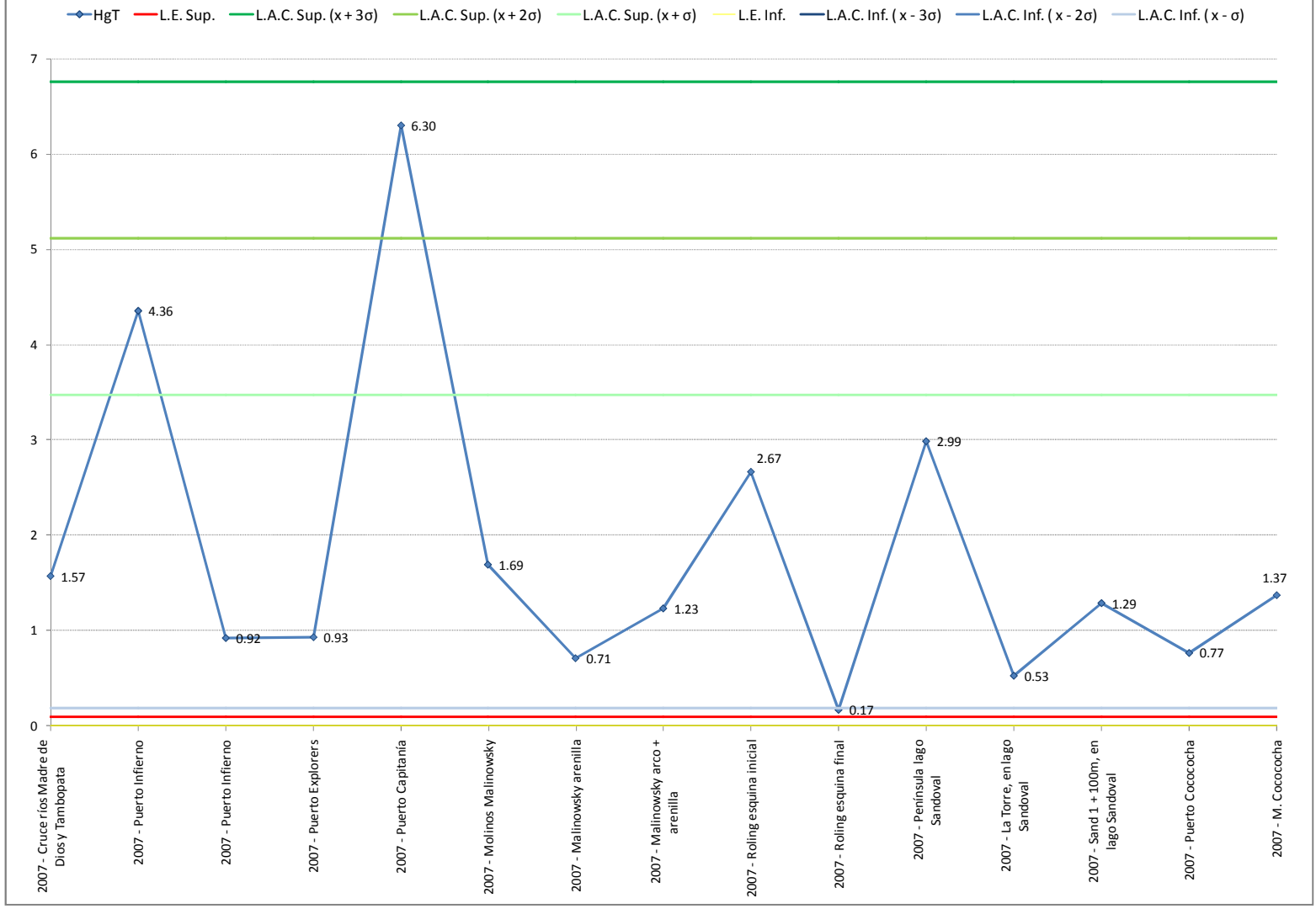
**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en sedimentos - Año 1997**

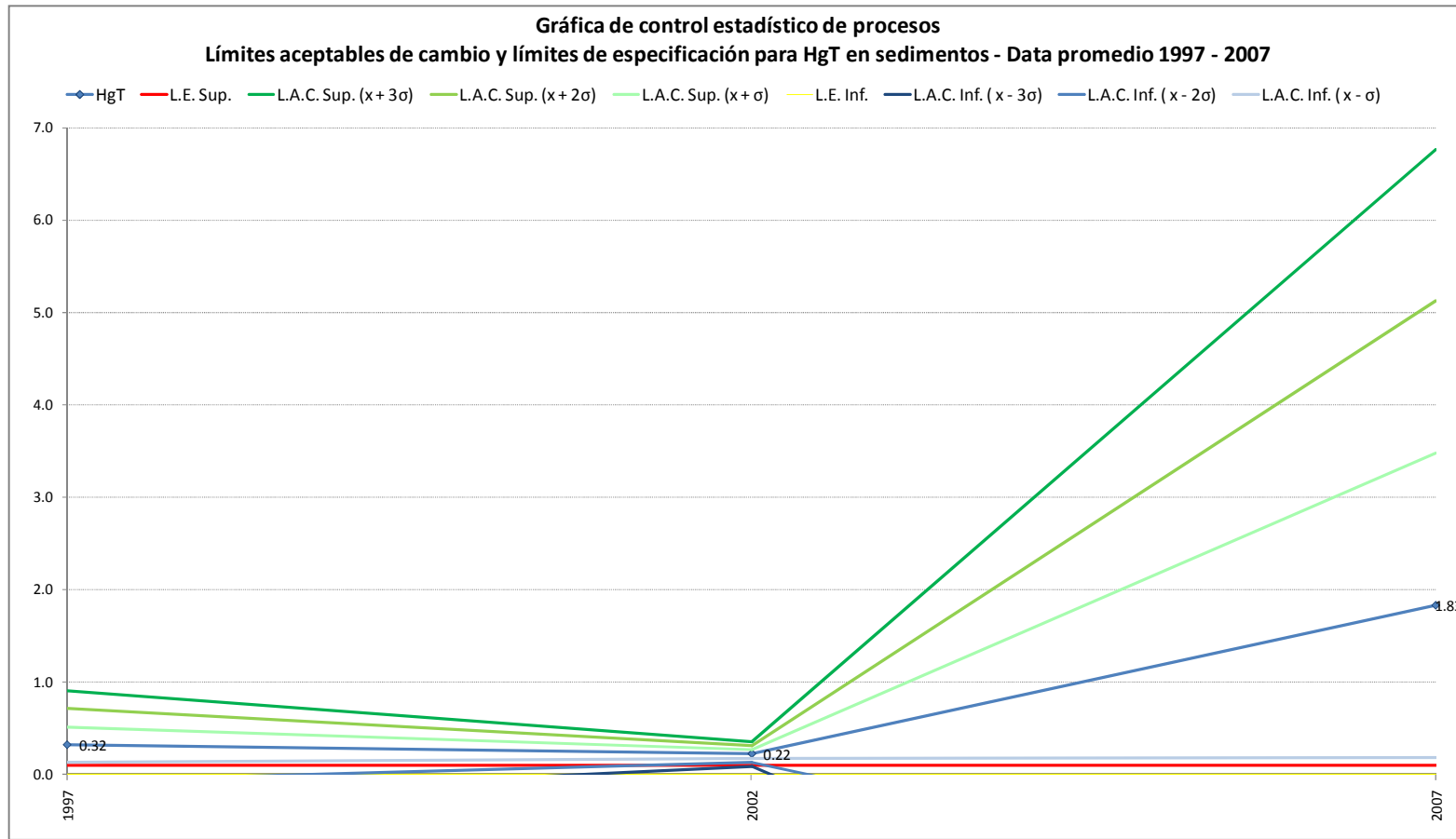






**Gráfica de control estadístico de procesos**  
**Límites aceptables de cambio y límites de especificación para HgT en sedimentos - Año 2007**





**e) Escenarios modelados con SERAFM**

**Hojas de cálculo SERAFM** 

**Datos de entrada - Escenario Actual**

Perturbación priorizada: *Contaminación por mercurio*

| Caso subcuena río Madre de Dios | Valores | Unidades |
|---------------------------------|---------|----------|
|---------------------------------|---------|----------|

| Características de la cuenca en estudio: |                 |                  |
|--|-----------------|------------------|
| Área:                                    | 109,440,600,000 | metros cuadrados |
| % territorio con uso urbano:             | 15%             | %                |
| % territorio humedal:                    | 15%             | %                |
| % territorio aluvial:                    | 10%             | %                |
| % territorio con otros usos:             | 50%             | %                |
| % territorio con suelo contaminado:      | 10%             | %                |

Fuente: Estudio hidrológico cuenca MDD - ANA.

Asumido

Asumido

Asumido

Asumido

Asumido

| Características hidrológicas del cuerpo de agua en estudio |             |                  |
|--|-------------|------------------|
| Superficie del cuerpo de agua en estudio:                  | 327,500,000 | metros cuadrados |
| Profundidad del epilimnion:                                | 14          | metros           |
| Profundidad del hipolimnion:                               | 2           | metros           |
| Hipolimnion anóxico:                                       | Yes         | Sí / No          |
| Tiempo de residencia hidráulico:                           | 0.001       | Años             |

Ancho promedio 500 m. Largo en Perú: 655 Km.

Fuente: Estudio hidrológico cuenca MDD - ANA.

0.1 o menos en caso de ríos o cochas con buena mezcla. En este caso se asume cochas sin buena mezcla.

Si lo es, la tasa de metilación usada es 0.01 al día, si no se usa 0.001 al día.

Equivale a medio día, a más tardar.

| Características de la calidad del agua del cuerpo de agua en estudio |        |                |
|--|--------|----------------|
| pH:  | 7      | -              |
| Temperatura del epilimnion:  | 24     | grados celsius |
| Temperatura del hipolimnion:   | 20     | grados celsius |
| Temperatura del aire:  | 26     | grados celsius |
| Precipitación anual:   | 235.92 | cm/año         |
| COD epilimnion:  | 3.5    | mg/L           |
| COD hipolimnion:   | 10     | mg/L           |

Temperatura anual media

(\*) Ver nota.

(\*\*) Ver nota.

\* Se usan datos promedio para el período de tiempo evaluado: estación, año, etc.

\*\* Si en el epilimnion... COD < 3 es oligotrófico, si 3 mg/L ≤ COD < 5 mg/L es mesotrófico, si 5 mg/L ≤ COD ≤ 10 mg/L es eutrófico, si COD > 10 mg/L y el color > 50 PtCo es distrófico.

| Concentración de mercurio en el afluente |         |      |
|--|---------|------|
| HgT en el afluente (agua no filtrada)    | 0.007   | mg/L |
| HgT en el afluente (agua no filtrada)    | 7000    | ng/L |
| % de Hg0 / HgT en el afluente            | 2%      | %    |
| % de HgII / HgT en el afluente           | 83%     | %    |
| % de MeHg / HgT en el afluente           | 15%     | %    |
| Hg0 en el afluente:                      | 0.00014 | g/m3 |
| HgII en el afluente:                     | 0.00581 | g/m3 |
| MeHg en el afluente:                     | 0.00105 | g/m3 |

Dato introducido para calibrar el modelo.

Dato calculado

Por defecto se asume que en agua la mayor parte de mercurio no está en esta forma.

Por defecto se asume que en agua la mayor parte de mercurio está en esta forma.

En ambientes eutróficos el metilmercurio en agua representa hasta el 15% (Stober et al., 1998)

| Concentración de mercurio en sedimentos |      |      |
|---|------|------|
| HgT (peso seco):                        | 3.33 | ug/g |

Dato de campo. Percentil 95 multianual.

| Constantes de velocidad:                                    |        |                      |
|---|--------|----------------------|
| Metilación - epilimnion                                     | 0.001  | por día              |
| Metilación - hipolimnion                                    | 0.01   | por día              |
| Metilación - sedimentos                                     | 0.001  | por día              |
| Desmetilación - epilimnion                                  | 0.0001 | por día              |
| Desmetilación - hipolimnion                                 | 0.001  | por día              |
| Desmetilación - sedimentos                                  | 0.002  | por día              |
| Reducción biótica - columna de agua                         | 0.03   | por día              |
| Foto - degradación (MeHg → Hg0) - columna de agua           | 0.002  | por día por E/m2-día |
| Foto - reducción (HgII → Hg0) Luz visible - columna de agua | 0.03   | por día por E/m2-día |
| Foto - reducción (HgII → Hg0) UV-B - columna de agua        | 28.25  | por día por E/m2-día |
| Foto - oxidación (Hg0 → HgII) UV-B - columna de agua        | 58.85  | por día por E/m2-día |
| Oxidación oscura  | 1.44   | por día              |

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

| Concentraciones de mercurio          | Escenario Actual |                  |
|--------------------------------------|------------------|------------------|
| [MeHg] filtrado en agua              | 513.48           |                  |
| [MeHg] sin filtrado en agua          | 733.54           |                  |
| [HgT] filtrado en agua               | 3423.19          |                  |
| [HgT] filtrado en agua               | 0.0034           |                  |
| [HgT] sin filtrado en agua           | 0.0049           |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 1: fitoplancton | 253.56           |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 2: zooplancton  | 824.99           |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 2: bentos       | 1270.86          |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 3               | 1.530            | MeHg = 0.739 HgT |
| [MeHg] Nivel trófico 4               | 1.169            | MeHg = 0.924 HgT |
| [HgT] Nivel trófico 3                | 2.071            |                  |
| [HgT] Nivel trófico 4                | 1.265            |                  |

| Unidades             |
|----------------------|
| ng/L                 |
| ng/L                 |
| ng/L                 |
| mg/L                 |
| mg/L                 |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |

513.4780837

USEPA, 1997a

Cambio de unidades

USEPA, 1997b. Asume 70%.

Nota: Estos valores se obtienen de los BAFs del percentil 50%.

Fitoplancton, zooplancton y bentos toman como referencia datos de EE.UU.

Omnívoros y detritívoros

Piscívoros

Omnívoros y detritívoros

Piscívoros

| Factores de bioacumulación del mercurio | Percentiles |          |          |          |          |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|
|   | 5           | 25       | 50       | 75       | 95       |
| Nivel trófico 1: fitoplancton           |             |          | 4.94E+05 |          |          |
| Nivel trófico 2: zooplancton            |             |          | 1.61E+06 |          |          |
| Nivel trófico 2: bentos                 |             |          | 2.48E+06 |          |          |
| Nivel trófico 3: peces                  | 4.60E+05    | 9.50E+05 | 2.98E+03 | 2.60E+06 | 5.40E+06 |
| Nivel trófico 4: peces                  | 3.30E+06    | 5.00E+06 | 2.28E+03 | 9.20E+06 | 1.40E+07 |

$$BAF = \frac{\mu g}{kg} = \frac{\mu g}{L}$$

En base a datos de campo con factor de corrección = 16.97  
En base a datos de campo con factor de corrección = 9.17

| Especies                                       | Parámetros específicos para vida silvestre y humanos expuestos |                      |                             |  |   |  |  |  |                                       |  |
|--|--|----------------------|-----------------------------|--|---|--|--|--|---------------------------------------|--|
|  | Peso   | Tasa de ingestión    | Tasa de ingesta de líquidos | % de la dieta del nivel trófico 1 : fitoplancton y plantas | % de la dieta del nivel trófico 2 : zooplancton | % de la dieta del nivel trófico 2 : bentos | % de la dieta del nivel trófico 3: peces | % de la dieta del nivel trófico 4: peces | % de la dieta de fuentes no acuáticas |  |
|  | [kg in peso húmedo]  | [kg peso húmedo/día] | [L/d]                       | %  | %   | %  | %  | %  | %                                     |  |
| Nutria gigante - <i>Pteronura brasiliensis</i> | 32.5   | 4.5                  | 8.60                        | 0%   | 0%  | 0%   | 80%                                      | 20%                                      | 0%                                    |  |
| Caimán negro - <i>Melanosuchus niger</i>       | 400  | 7.48                 | 14.300                      | 0%   | 0%  | 0%   | 75%                                      | 20%                                      | 5%                                    |  |
| Hombre promedio                                | 78   | 0.50                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |
| Mujer (en embarazo o lactancia)                | 65   | 0.60                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |
| Adulto promedio                                | 70   | 0.50                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |
| Niño promedio                                  | 45   | 0.30                 | 0.9                         | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |
| Bebé promedio                                  | 10   | 0.20                 | 0.74                        | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |

Información tomada de: Mercury Report to Congress, Volume VI, Section 3.3.

y citada en: Nichols, J., S. Bradbury, J. Swartout. 1999. Derivation of Wildlife Values for Mercury. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B. 2:325-255.

TRV "Toxicity Reference Value"

Según Nichols, et al. 1999. el TRV para aves es: 13 ug/kg/d; y para mamíferos: 16 ug/kg/d.

Los valores para humanos han sido tomados del manual de factores de exposición.

La tasa de ingesta de líquidos en bebés es el promedio de niños de 1 a 19 años (0.74 L/d) y en niños, el promedio de 11 a 19 años (0.97 L/d).

El porcentaje de la dieta proveniente de peces del nivel trófico 4 es asumido, dado que la tasa de ingesta en peces es específica para cada especie e individuo.

|  |         |        |  |
|--|---------|--------|--|
| Profundidad de la capa de suelo permeable    | m       | 0.1    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para Hg0       | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para HgII      | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para MeHg      | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para Hg0  | por año | 0.0005 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para HgII | por año | 0      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para MeHg | por año | 0      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

|  |     |     |  |
|--|-----|-----|--|
| Velocidad promedio del viento a 10 m sobre la superficie de agua                   | m/s | 6   | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable | --  | 1   | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable | --  | 1   | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable | --  | 1   | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales              | --  | 0.2 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales              | --  | 0.2 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales              | --  | 4.9 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas        | --  | 0.2 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas        | --  | 0.2 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas        | --  | 2   | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas          | --  | 0.2 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas          | --  | 0.2 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas          | --  | 0.2 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

Los valores por defecto de los ratios vienen de:

Rudd, J.W.M. 1995. Sources of Methyl Mercury to Freshwater Ecosystems: A Review. Water, Air, and Soil Pollution. 80: 697-713.

|                                    |   |          |       |  |
|------------------------------------|---|----------|-------|--|
| Luz en la superficie               | Intensidad de iluminación de la superficie    | E/m2-día | 95.00 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. Obtenido de Zepp (1980), en Mercury Report to Congress, para 40 grados de latitud en días despejados. |
| Nubosidad                          | Factor de reductancia para la fracción nubosa | --       | 0.65  | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Reflectancia                       |   | --       | 0.05  | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Horas de luz diarias en porcentaje |   | --       | 0.50  | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |

|  |         |      |  |
|--|---------|------|--|
| Tasa constante de desmetilación en la termoclina de la columna de agua | por año | 0.00 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa constante de oxidación béntica                                    | por año | 0.00 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

|  |           |          |   |
|--|-----------|----------|---|
| Tasa constante de desmetilación en el bentos | por año   | 0.00     | Valor establecido por SERAFM, por defecto.  |
| Flujo de deposición seca, Hg0                | ug/m2-año | 0        | Valor establecido por SERAFM, por defecto.  |
| Flujo de deposición seca, HgII               | ug/m2-año | 10       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.  |
| Flujo de deposición seca, MeHg               | ug/m2-año | 0.15     | Valor establecido por SERAFM, por defecto.  |
| Concentración en la precipitación, Hg0       | ug/m3     | 0        | Valor establecido por SERAFM, por defecto.  |
| Concentración en la precipitación, HgII      | ug/m3     | 10       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.  |
| Concentración en la precipitación, MeHg      | ug/m3     | 0.15     | Valor establecido por SERAFM, por defecto.  |
| Concentración gaseosa de Hg0                 | ug/m3     | 1.60E-03 | Mason, R.P., W.F. Fitzgerald, F.M.M.Morel. 1994.  |
| Concentración gaseosa de HgII                | ug/m3     | 3.00E-06 | The biogeochemical cycling of elemental mercury: Anthropogenic Influences. Geochimica et Cosmochimica Acta. 58(15): 3191-1918 |
| Concentración gaseosa de MeHg                | ug/m3     | 3.00E-09 | Indica que la atmósfera tiene una concentración promedio de 1.6 ng/m3 = 0.0016 ug/m3 y que 98% de ella es Hg0.                |

|                               |      | Capa 1  | Capa 2  | Sedimentos |
|-------------------------------|------|---------|---------|------------|
| Cl <sup>-</sup>               | mg/L | 0.3     | 0.3     | 0.3        |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | mg/L | 5.0E-03 | 5.0E-03 | 5.0E-03    |
| S <sup>2-</sup>               | mg/L | 1.0E-09 | 1.0E-09 | 1.0E-09    |

Se asume:  
Cl<sup>-</sup> = Cloruro total  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = Sulfato total  
S<sup>2-</sup> = Sulfuro total

|   |         |          |  |
|---|---------|----------|--|
| Sólidos abióticos en la entrada de agua           | g/m3    | 0        | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Sólidos de fitoplancton en la entrada de agua     | g/m3    | 0        | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Sólidos de zooplancton en la entrada de agua      | g/m3    | 0        | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Concentración de fitoplancton en la capa 2        | g/m3    | 0        | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Concentración de zooplancton en la capa 2         | g/m3    | 0        | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Densidad del sedimento                            | g/cm3   | 2.65     | Por defecto se asume en el rango de 2 a 2.7. |
| Porosidad del sedimento                           | cm3/cm3 | 0.95     | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Diámetro promedio de las partículas de sedimentos | um      | 5        | Por defecto de textura limosa moderada.      |
| Velocidad de sedimentación de la biota            | m/día   | 0.2      | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Velocidad de resuspensión abiótica                | m/día   | 1.01E-05 | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Tasa de mortalidad de fitoplancton en la capa 1   | por día | 0.03     | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Profundidad de la capa de sedimentos              | m       | 0.030    | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Tasa de mineralización                            | por año | 0.01     | La mitad de R-MCM                            |
| Velocidad de deposición en bentos                 | m/año   | 0.001    | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Porosidad del sedimento                           | --      | 0.95     | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |

Se asume que todo el zooplancton y fitoplancton está en la 3 capa superficial.  
La arena no debe incluirse dado que no suele 4 resuspenderse.

Al modelar para condiciones estacionarias, la tasa de mortalidad es igual al negativo de la tasa de crecimiento. La mortalidad es modelada como de primer orden, y la productividad como un flujo, por lo que se divide la productividad por la fitoconcentración y el grosor de la capa.

6 Abajo se muestran los rangos típicos de las partículas:

|         |          | Rango de tamaño (um) |
|---------|----------|----------------------|
| Limo    | Grueso   | 62 - 31              |
|         | Mediano  | 31 - 16              |
|         | Fino     | 16 - 8               |
| Arcilla | Muy fino | 8-4                  |
|         | Gruesa   | 4-2                  |
|         | Mediana  | 2-1                  |
|         | Fina     | 1-0.5                |
|         | Muy fina | 0.5-0.24             |

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

Ubicación geográfica respecto al río Mississippi

Este (1) u oeste (2)

Tomado de: Mercury Report to Congress, 1997. citado por Bowie, et al, 1985. Dice que la precipitación es 0.02 - 2 7 m/día, se usa 0.2.

|    |                                  |                      |        |   |
|----|----------------------------------|----------------------|--------|---|
| A  | Pérdida estimada de suelo        | kg/m2/año            | 2.7776 |   |
| R  | Factor de erosividad del suelo   | kg/km2-año           | 100    | Valores calibrados para bosques, en base a IBC. |
| K  | Factor de erodabilidad del suelo | (tons/acre)/(kg/km2) | 0.31   | Valores calibrados para bosques, en base a IBC. |
| LS | Factor topográfico               | --                   | 10     | Valores calibrados para bosques, en base a IBC. |
| C  | Factor de cobertura y manejo     | --                   | 0.04   | Valores calibrados para bosques, en base a IBC. |


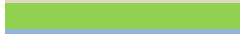

Tomado de: Mercury Report to Congress, 1997. citado por 8 Bowie, et al, 1985. El rango varía de 0.003 a 0.17 por día.

|                                      |         |     |  |
|--------------------------------------|---------|-----|--|
| Tasa de reducción base en sedimentos | por día | 0.4 | Por defecto se asume que no hay reducción en sedimentos. |
|--------------------------------------|---------|-----|--|

**Hoja de cálculo para evaluación del riesgo ambiental por contaminación con mercurio**

Usando SERAFM Versión Beta: 1.0.4a

| <b>Características de la cuenca (datos de ingreso)</b>                 |                 |                 |              |
|--|-----------------|-----------------|--------------|
|  | <b>Valor</b>    | <b>Unidades</b> | <b>Notas</b> |
| Ubicación de la cuenca (Al este u oeste del río Mississippi)           | East            |                 | 0            |
| Área de contribución de la cuenca                                      | 109,440,600,000 | m2              |              |
| Porcentaje impermeable   | 15%             | --              |              |
| Porcentaje de humedales  | 15%             | --              |              |
| Porcentaje de área ribereña  | 10%             | --              |              |
| % con suelo contaminado  | 10%             | --              |              |
| Porcentaje de tierras altas  | 50%             | --              | 1            |
| Área de lagos  | 327,500,000     | m2              | 25%          |
| Profundidad del epilimnion   | 14              | m               |              |
| Profundidad del hipolimnion  | 2               | m               | 2            |
| ¿Hipolimnion anóxico?  | Yes             | --              | 3            |
| Tiempo de residencia hidráulica  | 0.001           | yr              | 4            |
| Afluente   | 4.59E+12        | m3/yr           |              |
| Efluente   | 4.59E+12        | m3/yr           |              |
| pH del agua  | 7               | --              |              |
| Temperatura del agua en el epilimnion                                  | 24              | C               |              |
| Temperatura del agua en el hipolimnion                                 | 20              | C               |              |
| Temperatura del aire   | 26              | C               |              |
| Precipitación anual  | 235.92          | cm/yr           |              |
| Carbono orgánico disuelto (COD) en el epilimnion                       | 3.5             | mg/L            |              |
| Carbono orgánico disuelto (COD) en el hipolimnion                      | 10              | mg/L            |              |
| Carbono orgánico total (COT)   | 1.81            | g org C/m2      |              |
| Color (as PtCo)  |                 | PtCo            | 5            |
| Estatus trófico  | Mesotrófico     |                 | 6            |
| Concentraciones de mercurio en el afluente                             |                 |                 |              |
|  | Hg 0            | 0.00014 g/m3    | 2%           |
|  | Hg II           | 0.00581 g/m3    | 83%          |
|  | MeHg            | 0.00105 g/m3    | 15%          |
| Concentración total de mercurio en sedimentos contaminados (peso seco) |                 |                 |              |
|  | 3.33            | ug/g            | ug/g = ppm   |
| Concentración de mercurio en suelos contaminados                       |                 |                 |              |
|  | Cs,Hg0          | g/m3            | 7            |
|  | Cs,HgII         | g/m3            |              |
|  | Cs,MeHg         | g/m3            |              |
| Máx. cociente de riesgo (HQ) aceptado                                  |                 |                 |              |
|  | 1               |                 |              |

Resultados de interés   
 Datos altamente sensibles   
 Datos usados para calibrar el modelo 

**Notas:**

- 1.- Corresponde al resto del área de la cuenca.
  - 2.- En un río o un lago bien mezclado, el valor es 0.1
  - 3.- Se coloca Sí o No según sea el hipolimnion anóxico o no. Si lo es, la metilación será mayor en el hipolimnion ( $k_{meth} = 0.01/d$  anoxic,  $0.001/d$  oxic).
  - 4.- Se utiliza para calcular el afluente y el efluente, si hay entradas de filtración de agua o suelo, entonces  $Q_{in}$  y  $Q_{out}$  pueden tener un valor.
  - 5.-El color se expresa en términos de PtCo. Si  $PtCo > 50$  entonces el lago se clasifica como distrófico, si no se sabe, se coloca 0.
  - 6.-Si el estado trófico resultante no es el que en la realidad parece ser, este puede ser sobrescrito en la hoja de parámetros actualizando el indicador de estado trófico.
  - 7.- Si se cuenta con información de concentraciones en suelo contaminado, entonces el porcentaje de la cuenca puede ser usado para reemplazar los cálculos de exportación desde la cuenca. La concentración en suelos es usada para calcular la erosión del suelo y la escorrentía.
  - 8.- La concentración objetivo en sedimentos se calcula usando una regresión lineal entre las condiciones de referencia y las condiciones contaminadas. Esto ocasiona que que HI sea cercano (pero no igual) a 1.
- Un resultado exacto puede ser buscado usando la función "buscar objetivo". Se usa la celda Q38 como "celda fija", la celda B43 como "valor final" y la celda H41 como "celda cambiante".

$$Potential\ Dose = \frac{Conc \cdot IngestionRate}{BodyWeight}$$

$$Total\ Dose = \sum \% Diet_{trophiclevel} \cdot Potential\ Dose_i + (drinking\ rate \cdot [Hg]_{water})$$

$$HQ = \frac{Total\ Dose}{TRV\ or\ RfD}$$

| Calculos para escenario contaminado     |   |  |   |  |  |                        |  |         |        |
|---|---|--|---|--|--|------------------------|--|---------|--------|
| Dosis potencial del agua                | Dosis potencial del nivel trófico 1: fitoplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: zooplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: bentos | Dosis potencial del nivel trófico 3: peces | Dosis potencial del nivel trófico 4: peces | Dosis potencial total  | TRV (valor de referencia de toxicidad) | HQ MeHg |        |
| [ng/d/kg]                               | ug Hg / kg peso húmedo / d                        | ug Hg/kg peso húmedo/d                           | ug Hg/kg peso húmedo/d                      | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d | ug Hg/kg peso húmedo/d                 | --      |        |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis | 194.11  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 169.49                                     | 32.38                  | 202.07                                 | 9       | 22.45  |
| Caimán negro - Melanosuchus niger       | 26.22   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 21.46                                      | 4.37                   | 25.86                                  | 9       | 2.87   |
| Hombre promedio                         | 18.81   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 3.75                   | 3.77                                   | 0.1     | 37.67  |
| Mujer (en embarazo o lactancia)         | 22.57   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 5.40                   | 5.42                                   | 0.1     | 54.19  |
| Adulto promedio                         | 20.96   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 4.18                   | 4.20                                   | 0.1     | 41.97  |
| Niño promedio                           | 14.67   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 3.90                   | 3.91                                   | 0.1     | 39.12  |
| Bebé promedio                           | 54.28   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 11.69                  | 11.75                                  | 0.1     | 117.47 |

| Calculos para escenario contaminado     |   |  |   |  |  |                        |  |        |      |
|---|---|--|---|--|--|------------------------|--|--------|------|
| Dosis potencial del agua                | Dosis potencial del nivel trófico 1: fitoplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: zooplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: bentos | Dosis potencial del nivel trófico 3: peces | Dosis potencial del nivel trófico 4: peces | Dosis potencial total  | TRV (valor de referencia de toxicidad) | HQ HgT |      |
| [ng/d/kg]                               | ug Hg / kg peso húmedo / d                        | ug Hg/kg peso húmedo/d                           | ug Hg/kg peso húmedo/d                      | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d | ug Hg/kg peso húmedo/d                 | --     |      |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis | 1,294.04  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 229.35                                     | 35.04                  | 265.69                                 | 55     | 4.83 |
| Caimán negro - Melanosuchus niger       | 174.83  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 29.04                                      | 4.73                   | 33.95                                  | 55     | 0.62 |
| Hombre promedio                         | 125.39  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 4.06                   | 4.18                                   | 500    | 0.01 |
| Mujer (en embarazo o lactancia)         | 150.47  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 5.84                   | 5.99                                   | 500    | 0.01 |
| Adulto promedio                         | 139.72  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 4.52                   | 4.66                                   | 500    | 0.01 |
| Niño promedio                           | 97.81   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 4.22                   | 4.32                                   | 500    | 0.01 |
| Bebé promedio                           | 361.88  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 12.65                  | 13.02                                  | 500    | 0.03 |

## Water Body Hydrology

| Symbol        | Parameter                      | Equation | Units                  | Value    |                    |
|---------------|--------------------------------|----------|------------------------|----------|--------------------|
| Aw            | Surface Area of the Water Body |          | m <sup>2</sup>         | 3.28E+08 | Link               |
| z_1           | Thickness of Layer 1           |          | m                      | 1.40E+01 | Link               |
| z_2           | Thickness of Layer 2           |          | m                      | 2.00E+00 | Link               |
| Vw_1          | Volume of Layer 1              | Aw*z_1   | m <sup>3</sup>         | 4.59E+09 | Calc               |
| Vw_2          | Volume of Layer 2              | Aw*z_2   | m <sup>3</sup>         | 6.55E+08 | Calc               |
| q             | Hydraulic Residence Time       |          | yr                     | 0.001    | Link               |
| Qin           | Inflow                         |          | m <sup>3</sup> /yr     | 4.59E+12 | Calc               |
| Qout          | Outflow                        |          | m <sup>3</sup> /yr     | 4.59E+12 | Calc               |
| Cin_Hg0       | Inflow Hg0 Concentration       |          | g/m <sup>3</sup>       | 0.00014  | User               |
| Cin_HgII      | Inflow HgII Concentration      |          | g/m <sup>3</sup>       | 0.00581  | User               |
| Cin_MeHg      | Inflow MeHg Concentration      |          | g/m <sup>3</sup>       | 0.00105  | User               |
| P             | Average Annual precipitation   |          | cm/yr                  | 235.92   | Link               |
| E             | Average Annual evaporation     |          | cm/yr                  | 100      | not currently used |
| DOC_1         | DOC in Layer 1                 |          | mg/L                   | 3.5      | Link               |
| DOC_2         | DOC in Layer 2                 |          | mg/L                   | 10       | Link               |
| DOC_Sed       | DOC in Sediments               |          | mg/L                   | 10       | not currently used |
| TOC_Sed       | TOC in Sediments               |          | g org C/m <sup>2</sup> | 1.81     | not currently used |
| Trophic Level | Trophic Status, Flagged as 1-4 |          |                        | 2        | Comp               |
| pH 1          | pH in Layer 1                  |          |                        | 7        | Link               |
| pH 2          | pH in Layer 2                  |          |                        | 7        | Link               |
| pH Sed        | pH in sediments                |          |                        | 7        | Link               |

$$Q = \frac{V}{\theta}$$

## Watershed Characteristics

| Symbol                  | Parameter   | Equation | Units            | Value           |                    |
|-------------------------|---|----------|------------------|-----------------|--------------------|
| AC                      | Surface Area of the Catchment                           |          | m <sup>2</sup>   | 109,440,600,000 | Link               |
| Impr_%                  | Percent Impervious                                      |          | --               | 15%             | Link               |
| Wetl_%                  | Percent Wetland   |          | --               | 15%             | Link               |
| Ripar_%                 | Percent Riparian  |          | --               | 10%             | Link               |
| Cont_%                  | Percent Known Contaminated Soils                        |          | --               | 10%             | Link               |
| Upland_%                | Percent Upland (Remainder: 100% - others)               |          | --               | 50%             | Comp               |
| Ac_imperv               | Surface Area of Impervious Catchment                    |          | m <sup>2</sup>   | 16,416,090,000  | Comp               |
| Ac_wetland              | Surface Area of Wetland                                 |          | m <sup>2</sup>   | 16,416,090,000  | Comp               |
| Ac_ripar                | Surface Area of Riparian                                |          | m <sup>2</sup>   | 10,944,060,000  | Comp               |
| Ac_cont_soil            | Surface Area of Contaminated Soils                      |          | m <sup>2</sup>   | 10,944,060,000  | Comp               |
| Ac_upland               | Surface Area of Upland                                  |          | m <sup>2</sup>   | 54,720,300,000  | Comp               |
| zs                      | Depth of pervious soil layer                            |          | m                | 0.1             | Default            |
| ks_RO,Hg0               | soil runoff rate constant, Hg0                          |          | per yr           | 0.001           | Default            |
| ks_RO,HgII              | soil runoff rate constant, HgII                         |          | per yr           | 0.001           | Default            |
| ks_RO,MeHg              | soil runoff rate constant, MeHg                         |          | per yr           | 0.001           | Default            |
| ks_e,Hg0                | soil erosion loss rate constant, Hg0                    |          | per yr           | 0.0005          | Default            |
| ks_e,HgII               | soil erosion loss rate constant, HgII                   |          | per yr           | 0               | Default            |
| ks_e,MeHg               | soil erosion loss rate constant, MeHg                   |          | per yr           | 0               | Default            |
| Cs,Hg0                  | watershed soil concentration, Hg0                       |          | g/m <sup>3</sup> | 0               | Link: Input&Output |
| Cs,HgII                 | watershed soil concentration, HgII                      |          | g/m <sup>3</sup> | 0               | Link: Input&Output |
| Cs,MeHg                 | watershed soil concentration, MeHg                      |          | g/m <sup>3</sup> | 0               | Link: Input&Output |
| Part of Country         | Eastern or Western                                      |          | East             |                 |                    |
| Flag for Part of Countr | Eastern (1) or Western (2)                              |          | 1                |                 | Link               |
| u                       | avg wind speed 10 m above water surface                 |          | m/s              | 6               | Default            |
| R_Impervious, Hg0       | Ratio of Export to Precipitation for Impervious Surface |          | --               | 1               | Default            |
| R_Impervious, HgII      | Ratio of Export to Precipitation for Impervious Surface |          | --               | 1               | Default            |
| R_Impervious, MeHg      | Ratio of Export to Precipitation for Impervious Surface |          | --               | 1               | Default            |
| R_Wetland, Hg0          | Ratio of Export to Precipitation for Wetlands           |          | --               | 0.2             | Default            |
| R_Wetland, HgII         | Ratio of Export to Precipitation for Wetlands           |          | --               | 0.2             | Default            |
| R_Wetland, MeHg         | Ratio of Export to Precipitation for Wetlands           |          | --               | 4.9             | Default            |
| R_Riparian, Hg0         | Ratio of Export to Precipitation for Riparian           |          | --               | 0.2             | Default            |
| R_Riparian, HgII        | Ratio of Export to Precipitation for Riparian           |          | --               | 0.2             | Default            |
| R_Riparian, MeHg        | Ratio of Export to Precipitation for Riparian           |          | --               | 2               | Default            |
| R_Upland, Hg0           | Ratio of Export to Precipitation for Upland             |          | --               | 0.2             | Default            |
| R_Upland, HgII          | Ratio of Export to Precipitation for Upland             |          | --               | 0.2             | Default            |
| R_Upland, MeHg          | Ratio of Export to Precipitation for Upland             |          | --               | 0.2             | Default            |

R values come from: Rudd, J.W.M. 1995. Sources of Methyl Mercury to Freshwater Ecosystems: A Review. Water, Air, and Soil Pollution. 80: 697-713.



## Water Body Characteristics

| Symbol           | Parameter  | Equation | Units          | Value        |                            |                     |
|------------------|--|----------|----------------|--------------|----------------------------|---------------------|
| T_1,C            | Water body temperature, Layer 1, Celsius   |          | Celsius        | 24           |                            | Link                |
| T_1,C            | Water body temperature, Layer 2, Celsius   |          | Celsius        | 20           |                            | Link                |
| T_1,K            | Water body temperature, Layer 1, Kelvin  |          | Kelvin         | 297.15       |                            | Comp                |
| T_2,K            | Water body temperature, Layer 2, Kelvin  |          | Kelvin         | 293          |                            | Comp                |
| T_a              | air temperature, C   |          | Celsius        | 26           |                            | Link                |
| Surface Light    | Surface Light Intensity  |          | E/m2-day       | 95.00        | Default for 40deg Latitude | 4                   |
| Cloud Cover      | Fraction Cloud Reductance Factor   |          | --             | 0.65         | Default                    |                     |
| Reflectance      |  |          | --             | 0.05         | Default                    |                     |
| Percent Daylight |  |          | --             | 0.50         | Default                    |                     |
| Surface Light    | Surface Light Intensity: accounting for weather and reflection   |          | E/m2-day       | 29.33        | Calc                       | 5                   |
| ke               | Light Extinction Coefficient   |          | per m          | 1.05         | Model                      | 1,2                 |
| h UV-B layer 1   | UV light extinction = f(DOC)   |          | per m          | 4.54         | Model                      | 3                   |
| h UV-B layer 2   | UV light extinction = f(DOC)   |          | per m          | 31.98        | Model                      |                     |
| Notes            |  |          | Oligo          | Meso         | Eutro                      | Dystro              |
|                  | 1 Trophic Status is determined DOC in Epilimnion as:<br>from Wetzel  | Flag     | <3<br>1        | 3-5<br>2     | 5-10<br>3                  | 10+<br>4 mg DOC     |
|                  | 2 Light Extinction Coefficient<br>from Wetzel  |          | Oligo<br>0.525 | Meso<br>1.05 | Eutro<br>2.25              | Dystro<br>2.5 per m |
|                  | 3 from Scully and Lean: Scully, N.M., D.R.S. Lean, <i>Arch. Hydrobiol. Beih.</i> 1994. 43,135. as cited by LaLonde, J.D., M. Amyot, A.M.L. Kraepiel, and F.M.M. Morel. 2001. <i>Environ. Sci. Technol.</i> 35 . 1367-1372.         |          |                |              |                            |                     |
|                  | 4 from Zepp (1980), as cited in Mercury Report to Congress. Mean annual incident light at 40 deg latitude is 95 E/m2/day for clear skies   |          |                |              |                            |                     |
|                  | 5 Assuming average cloud reduction factor of 0.65, a surface reflectance of 5%, and averaging half the day getting sunlight<br>Incident Light = Incident Light*reduction factor*(100%-surface reflectance)/100*(fraction daylight) |          |                |              |                            |                     |

**Basic Chemical Dependent Parameters: Hg0, HgII, MeHg**

|        | MW     | H           | Kd-soil | Kd_abio | Kd-sed | Kd_bio  | Kd_DOC    | D_a,i    | D_w,i    |
|--------|--------|-------------|---------|---------|--------|---------|-----------|----------|----------|
|        | g/mole | atm-m3/mole | L/kg    | L/kg    | L/kg   | L/kg    | L/kg      | cm2/sec  | cm2/sec  |
| Hg0    | 201    | 7.10E-03    | 0       | 0       | 0      | 0       | 0         | 5.54E-02 | 6.41E-06 |
| HgII   | 201    | 7.10E-10    | 6,310   | 199,526 | 79,433 | 399,052 | 251188.64 | 5.54E-02 | 6.41E-06 |
| MeHg   | 216    | 4.70E-07    | 631     | 79,433  | 7,943  | 516,313 | 100000    | 5.28E-02 | 6.11E-06 |
| MeHgCl | 251    |             |         |         |        |         |           | 4.77E-02 | 5.53E-06 |
| HgCl2  | 272    | 7.10E-10    |         |         |        |         |           | 4.53E-02 | 5.24E-06 |

**Parameters**

|         |   |
|---------|---|
| MW      | molecular weight                                    |
| H       | Henry's Law Constant                                |
| Kd-soil | Soil-water partition coefficient                    |
| Kd-sed  | Sediment-water partition coefficient                |
| Kd_abio | Suspended sediment-water partition coefficient      |
| Kd_bio  | Suspended biotic solids-water partition coefficient |
| D_a,i   | Diffusivity in air                                  |
| D_w,i   | Diffusivity in water                                |

$$D_{a,i} = \frac{1.9 \text{ cm}^2}{MW^{2/3} \text{ sec}}$$

$$D_{w,i} = \frac{22 \times 10^{-6} \text{ cm}^2}{MW^{2/3} \text{ sec}}$$

Parameter values taken from the Mercury Report to Congress, 1997.

|      |       | Kd-soil          | Kd_abio         | Kd-sed           | Kd_bio  |
|------|-------|------------------|-----------------|------------------|---------|
|      |       | L/kg             | L/kg            | L/kg             | L/kg    |
| HgII | Mean  | 58,000           | 50000           | 100,000          | 200,000 |
|      | Range | 24,000 - 270,000 | 1,380 - 270,000 | 16,000 - 990,000 |         |

|      |       |                |                  |               |         |
|------|-------|----------------|------------------|---------------|---------|
| MeHg | Mean  | 7000           | 3000             | 100,000       | 500,000 |
|      | Range | 2,700 - 31,000 | 94,000 - 250,000 | 2,200 - 7,800 |         |

Note: There is some research suggesting that the partition coefficients for mercury can be functions of pH (e.g., Hudson et al., 1994). However the functionality is unclear, and the parameters must be site-specifically calibrated. Therefore, we leave the direct calibration of the parameters to the user. This can be done by measuring mercury in filtered and unfiltered samples.

|      |       | Kd-soil   | Kd-suspended matter | Kd-sediment | DOC/Water |
|------|-------|-----------|---------------------|-------------|-----------|
|      |       | log(L/kg) | log(L/kg)           | log(L/kg)   | log(L/kg) |
| HgII | mean  | 3.8       | 5.3                 | 4.9         | 5.4       |
|      | range | 2.2-5.8   | 4.2-6.9             | 3.8-6.0     | 5.3-5.6   |
|      | n     | 17        | 35                  | 2           | 3         |
| MeHg | mean  | 2.8       | 4.9                 | 3.9         | 5         |
|      | range | 1.3-4.8   | 4.2-6.2             | 2.8-5.0     | 2.8-5.5   |
|      | n     | 11        | 2                   |             |           |

| Kd-soil | Kd-suspended matter | Kd-sediment | Kd DOC/Water | multiplier for Kd_abio to Kd_bio | Kd-bio  | Avg Kd_bio |
|---------|---------------------|-------------|--------------|----------------------------------|---------|------------|
| L/kg    | L/kg                | L/kg        | L/kg         | --                               | L/kg    |            |
| 6,310   | 199,526             | 79,433      | 251,189      | 1.5                              | 299,289 | 399,052    |
|         |                     |             |              | 2.5                              | 498,816 |            |
| 631     | 79,433              | 7,943       | 100,000      | 5                                | 397,164 | 516,313    |
|         |                     |             |              | 8                                | 635,463 |            |

Allison, J.D. and T.L. Allison. 2000. Partition Coefficients for Metals in Surface Water, Soil, and Waste. Internal USEPA Report.

Mercury Report to Congress, 1997 cites R-MCM (Harris, et al., 1996) stating that partitioning to biotics is 1.5 - 2times that of abiotics for HgII, and 5 - 8 times for MeHg.

Water Body Mercury Concentrations

| Symbol                  | Parameter | Equation | Units | Value    | Conc. in ng/L : |
|-------------------------|-----------|----------|-------|----------|-----------------|
| C_Hg0_1_Aq              |           |          | g/m3  | 2.90E-04 | 289.70          |
| C_HgII_1_Aq             |           |          | g/m3  | 3.90E-03 | 3,897.22        |
| C_MeHg_1_Aq             |           |          | g/m3  | 7.14E-04 | 713.66          |
| C_Hg0_2_Aq              |           |          | g/m3  | 4.44E-04 | 443.60          |
| C_HgII_2_Aq             |           |          | g/m3  | 1.24E-02 | 12,447.87       |
| C_MeHg_2_Aq             |           |          | g/m3  | 7.49E-03 | 7,487.28        |
| C_Hg0_pore              |           |          | g/m3  | 4.44E-04 | 443.60          |
| C_HgII_pore             |           |          | g/m3  | 8.47E-03 | 8,468.21        |
| C_MeHg_pore             |           |          | g/m3  | 4.13E-02 | 41,263.39       |
| C_HgT_1_filtered        |           |          | g/m3  | 4.90E-03 | 4,900.58        |
| C_HgT_2_filtered        |           |          | g/m3  | 2.04E-02 | 20,378.75       |
| C_HgT_Sed_filtered      |           |          | g/m3  | 5.02E-02 | 50,175.21       |
| C_Hg0_1_T               |           |          | g/m3  | 2.90E-04 | 289.70          |
| C_HgII_1_T              |           |          | g/m3  | 5.63E-03 | 5,634.23        |
| C_MeHg_1_T              |           |          | g/m3  | 1.07E-03 | 1,071.31        |
| C_Hg0_2_T               |           |          | g/m3  | 4.44E-04 | 443.60          |
| C_HgII_2_T              |           |          | g/m3  | 2.16E-02 | 21,576.48       |
| C_MeHg_2_T              |           |          | g/m3  | 1.13E-02 | 11,336.74       |
| C_Hg0_sed_bulk          |           |          | g/m3  | 4.21E-04 | 421             |
| C_HgII_1_sed_bulk       |           |          | g/m3  | 1.31E-03 | 1,308,428.037   |
| C_MeHg_1_sed_bulk       |           |          | g/m3  | 6.40E-02 | 639,981.467     |
| C_Hg0_sed_wet           |           |          | g/g   | 3.89E-10 | 0.000           |
| C_HgII_1_sed_wet        |           |          | g/g   | 1.38E-03 | 1,375.121       |
| C_MeHg_1_sed_wet        |           |          | g/g   | 6.72E-11 | 0.000           |
| C_HgT_sed_wet           |           |          | g/g   | 1.38E-03 | 1,375.122       |
| C_Hg0_sed_dry_weight    |           |          | g/g   | 3.18E-09 | 0.0032          |
| C_HgII_1_sed_dry_weight |           |          | g/g   | 9.87E-03 | 9,874.9286      |
| C_MeHg_1_sed_dry_weight |           |          | g/g   | 4.83E-03 | 4,830.0488      |
| C_HgT_1                 |           |          | g/m3  | 7.00E-03 | 6,995.240       |
| C_HgT_2                 |           |          | g/m3  | 3.34E-02 | 33,356.818      |
| C_HgT_Sed_dry_weight    |           |          | g/g   | 1.47E-02 | 14,704.981      |

| Layer     | (%Me MeHg_T/Hg_T) | % HgI  | % HgII | % Hg0 |
|-----------|-------------------|--------|--------|-------|
| Layer 1   | 15.31%            | 80.54% | 1.41%  | 0.00% |
| Layer 2   | 33.99%            | 64.68% | 1.33%  | 0.00% |
| Sediments | 32.85%            | 67.15% | 0.00%  | 0.00% |

| Q'   | Bulk Exchange Flow             | m3/yr | 13,208,128.952    |
|------|--------------------------------|-------|-------------------|
| Qin  | Inflow                         | m3/yr | 4,585,000,000.000 |
| Qout | Outflow                        | m3/yr | 4,585,000,000.000 |
| Aw   | Surface Area of the Water Body | m2    | 327,500,000       |
| E    | Exchange rate                  | m2/yr | 323               |
| V_1  | Volume of Layer 1              | m3    | 4,585,000,000     |
| V_2  | Volume of Layer 2              | m3    | 655,000,000       |
| z1   | depth of first water layer     | m     | 1                 |
| z2   | depth of second water layer    | m     | 2                 |

|                 |   |       |
|-----------------|---|-------|
| f_aq_Hg0_w_1    | aqueous phase fraction of Hg0 in water column, layer 1              | 1.000 |
| f_aq_HgII_w_1   | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 1             | 0.368 |
| f_aq_MeHg_w_1   | aqueous phase fraction of MeHg in water column, layer 1             | 0.493 |
| f_aq_Hg0_w_2    | aqueous phase fraction of Hg0 in water column, layer 2              | 1.000 |
| f_aq_HgII_w_2   | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 2             | 0.164 |
| f_aq_MeHg_w_2   | aqueous phase fraction of MeHg in water column, layer 2             | 0.330 |
| f_DOC_Hg0_w_1   | DOC complexed fraction of Hg0 in water column, layer 1              | 0.000 |
| f_DOC_HgII_w_1  | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 1             | 0.324 |
| f_DOC_MeHg_w_1  | DOC complexed fraction of MeHg in water column, layer 1             | 0.173 |
| f_DOC_Hg0_w_2   | DOC complexed fraction of Hg0 in water column, layer 2              | 0.000 |
| f_DOC_HgII_w_2  | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 2             | 0.413 |
| f_DOC_MeHg_w_2  | DOC complexed fraction of MeHg in water column, layer 2             | 0.330 |
| f_abio_Hg0_w_1  | abiotic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1  | 0.000 |
| f_abio_HgII_w_1 | abiotic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1 | 0.242 |
| f_abio_MeHg_w_1 | abiotic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1 | 0.129 |
| f_abio_Hg0_w_2  | abiotic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2  | 0.000 |
| f_abio_HgII_w_2 | abiotic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2 | 0.423 |
| f_abio_MeHg_w_2 | abiotic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2 | 0.338 |

|                |   |       |
|----------------|---|-------|
| f_zoo_Hg0_w_1  | zooplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1  | 0.000 |
| f_zoo_HgII_w_1 | zooplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1 | 0.007 |
| f_zoo_MeHg_w_1 | zooplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1 | 0.102 |
| f_zoo_Hg0_w_2  | zooplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2  | 0.000 |
| f_zoo_HgII_w_2 | zooplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2 | 0.000 |
| f_zoo_MeHg_w_2 | zooplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2 | 0.000 |

|                  |   |       |
|------------------|---|-------|
| f_phyto_Hg0_w_1  | phytoplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1  | 0.000 |
| f_phyto_HgII_w_1 | phytoplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1 | 0.059 |
| f_phyto_MeHg_w_1 | phytoplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1 | 0.102 |
| f_phyto_Hg0_w_2  | phytoplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2  | 0.000 |
| f_phyto_HgII_w_2 | phytoplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2 | 0.000 |
| f_phyto_MeHg_w_2 | phytoplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2 | 0.000 |

|                |   |       |
|----------------|---|-------|
| f_org_Hg0_w_1  | organic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1  | 0.000 |
| f_org_HgII_w_1 | organic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1 | 0.001 |
| f_org_MeHg_w_1 | organic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1 | 0.001 |
| f_org_Hg0_w_2  | organic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2  | 0.000 |
| f_org_HgII_w_2 | organic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2 | 0.001 |
| f_org_MeHg_w_2 | organic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2 | 0.001 |

|               |   |          |
|---------------|---|----------|
| f_aq_Hg0_sed  | aqueous phase fraction of Hg0 in sediments  | 1.00E+00 |
| f_aq_HgII_sed | aqueous phase fraction of HgII in sediments | 6.15E-06 |
| f_aq_MeHg_sed | aqueous phase fraction of MeHg in sediments | 6.13E-05 |

$$Q' = \frac{E_{12} A_{12}}{0.5 \cdot (z_1 + z_2)}$$

Q' Bulk exchange flow [L3/T]

Equations for Total Mercury Concentrations of given species (i.e., total Hg0: sorbed + dissolved)

$$V_w \frac{dC_{Hg0}^{total}}{dt} = I_{T,Hg0} + Q_{in} C_{in,Hg0} + [k_{w,red} V_{red} + k_{w,ox} V_{ox} + k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} - [Q_{out} - Q - k_{w,red} V_{red} - k_{w,ox} V_{ox} - k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} - [k_{w,red} V_{red} + k_{w,ox} V_{ox} + k_{w,photore} V_{photore}] C_{Hg0}^{total} + Q_{in} C_{in,Hg0}$$

$$V_w \frac{dC_{HgII}^{total}}{dt} = I_{T,HgII} + Q_{in} C_{in,HgII} + [k_{w,red} V_{red} + k_{w,ox} V_{ox} + k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} - [Q_{out} - Q - k_{w,red} V_{red} - k_{w,ox} V_{ox} - k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} - [k_{w,red} V_{red} + k_{w,ox} V_{ox} + k_{w,photore} V_{photore}] C_{HgII}^{total} + Q_{in} C_{in,HgII}$$

$$V_w \frac{dC_{MeHg}^{total}}{dt} = I_{T,MeHg} + Q_{in} C_{in,MeHg} + [k_{w,red} V_{red} + k_{w,ox} V_{ox} + k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} - [Q_{out} - Q - k_{w,red} V_{red} - k_{w,ox} V_{ox} - k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} - [k_{w,red} V_{red} + k_{w,ox} V_{ox} + k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} + Q_{in} C_{in,MeHg}$$

$$V_w \frac{dC_{Hg0}^{sed}}{dt} = [k_{w,red} V_{red} + k_{w,ox} V_{ox} + k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} - [Q - k_{w,red} V_{red} - k_{w,ox} V_{ox} - k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} + Q_{in} C_{in,Hg0}^{sed} + \left[ R_{sw} \frac{f_{aq,Hg0}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,Hg0}^{sed}}{\theta_{sed}} \right] C_{MeHg0}^{sed}$$

$$V_w \frac{dC_{HgII}^{sed}}{dt} = [k_{w,red} V_{red} + k_{w,ox} V_{ox} + k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} - [Q - k_{w,red} V_{red} - k_{w,ox} V_{ox} - k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} + Q_{in} C_{in,HgII}^{sed} + \left[ R_{sw} \frac{f_{aq,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}} \right] C_{MeHgII}^{sed}$$

$$V_w \frac{dC_{MeHg}^{sed}}{dt} = [k_{w,red} V_{red} + k_{w,ox} V_{ox} + k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} - [Q - k_{w,red} V_{red} - k_{w,ox} V_{ox} - k_{w,photore} V_{photore}] C_{MeHg}^{total} + Q_{in} C_{in,MeHg}^{sed} + \left[ R_{sw} \frac{f_{aq,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}} \right] C_{MeHg}^{sed}$$

$$V_s \frac{dC_{MeHg}^{sed}}{dt} = [R_{sw} f_{aq,Hg0}^{sed} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,Hg0}^{sed}}{\theta_{sed}}] C_{MeHg0}^{sed} + [R_{sw} \frac{f_{aq,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}}] C_{MeHgII}^{sed} + [R_{sw} \frac{f_{aq,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}}] C_{MeHg}^{sed}$$

$$V_b \frac{dC_{MeHg}^{sed}}{dt} = [R_{sw} f_{aq,Hg0}^{sed} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,Hg0}^{sed}}{\theta_{sed}}] C_{MeHg0}^{sed} + [R_{sw} \frac{f_{aq,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}}] C_{MeHgII}^{sed} + [R_{sw} \frac{f_{aq,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}}] C_{MeHg}^{sed}$$

$$V_s \frac{dC_{MeHg}^{sed}}{dt} = [R_{sw} f_{aq,Hg0}^{sed} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,Hg0}^{sed}}{\theta_{sed}}] C_{MeHg0}^{sed} + [R_{sw} \frac{f_{aq,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}}] C_{MeHgII}^{sed} + [R_{sw} \frac{f_{aq,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \frac{f_{sed,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}}] C_{MeHg}^{sed}$$

$$Q' = \frac{E_{12} A_{12}}{0.5 \cdot (z_1 + z_2)}$$

$$E_z = 0.0142 \cdot Z^{1.49} \cdot 365 d/yr$$

where Z is mean total depth (i.e., z1 + z2) from Mortimer (1941), cited in Schnoor, 1996, pg. 57. for rivers, this will be different (see Schnoor)

| Matrix A     | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | Matrix    | Solution     |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|
| C_Hg0_1_T    | -7.31E+12 | 2.60E+11  | 6.68E+09  | 1.32E+10  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | -6.42E+08 | C_Hg0_1_T    | 2.897E-04 |
| C_HgII_1_T   | 2.64E+12  | -4.91E+12 | 1.16E+08  | 0.00E+00  | 1.32E+10  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | -2.66E+10 | C_HgII_1_T   | 5.634E-03 |
| C_MeHg_1_T   | 0.00E+00  | 6.16E+08  | -4.64E+12 | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 1.32E+10  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | -4.81E+09 | C_MeHg_1_T   | 1.071E-03 |
| C_Hg0_2_T    | 1.321E+10 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | -3.58E+11 | 7.17E+09  | 2.42E+03  | 2.21E+08  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | C_Hg0_2_T    | 4.436E-04 |
| C_HgII_2_T   | 0.000E+00 | 6.931E+10 | 0.000E+00 | 3.44E+11  | -1.19E+11 | 1.38E+08  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 1.54E+06  | C_HgII_2_T   | 2.158E-02 |
| C_MeHg_2_T   | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 4.317E+10 | 0.00E+00  | 1.38E+08  | -9.20E+10 | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 1.55E+06  | C_MeHg_2_T   | 1.134E-02 |
| C_Hg0_sed    | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 2.10E+08  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | -2.21E+08 | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | C_Hg0_sed    | 4.214E-04 |
| C_HgII_1_sed | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 9.82E+10  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | -5.13E+06 | 7.17E+06  | 0.00E+00  | C_HgII_1_sed | 1.308E-03 |
| C_MeHg_1_sed | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 0.00E+00  | 7.86E+10  | 0.00E+00  | 3.59E+06  | -8.72E+06 | 0.00E+00  | C_MeHg_1_sed | 6.400E-02 |

A\*x=b

Conversion for Sediment Concentrations

Model Calculates as g Hg per cubic meter (or sediment particles)

$$C_{sed}^{total} \left[ \frac{g \ Hg}{g \ sed} \right] = \frac{C_{sed}^{bulk}}{\rho_{particles} (1 - \theta_{sed})} = \left[ \frac{g \ Hg}{m^3 \ bulk} \right] \left[ \frac{cm^3 \ water}{cm^3 \ sed} \right] \left[ \frac{m^3 \ bulk}{m^3} \right] \left[ 10^6 \frac{cm^3}{m^3} \right]$$

$$k_{w,v,j} = \frac{K_{v,j} \cdot f_{ag,j}}{z_i}$$

$$\frac{[Hg(OH)] [H^+]}{[Hg^{2+}]} = 10^{-6.2}$$

$$C_{sed}^{total} \left[ \frac{g \ Hg}{g \ sed} \right] = \frac{C_{sed}^{bulk}}{\rho_{water}(\theta_{sed}) + \rho_{particles}(1 - \theta_{sed})} = \left[ \frac{g \ Hg}{m^3 \ bulk} \right] \left\{ \frac{g \ water}{cm^3 \ water} \left[ \frac{m^3 \ water}{m^3 \ bulk} \right] \left[ 10^6 \frac{cm^3}{m^3} \right] + \frac{g \ sed}{cm^3 \ sed} \left[ \frac{m^3 \ water}{m^3 \ bulk} \right] \left[ 10^6 \frac{cm^3}{m^3} \right] \right\}$$

|   |   |                         |             |
|---|---|-------------------------|-------------|
| f_sed_Hg0_sed   | particulate phase fraction of Hg0 in sediments        |                         | 0.00E+00    |
| f_sed_HgII_sed  | particulate phase fraction of HgII in sediments       |                         | 1.00E+00    |
| f_sed_MeHg_sed  | particulate phase fraction of MeHg in sediments       |                         | 1.00E+00    |
| L_T_Hg0   | Total Load, Hg0                                       | g/yr                    | 3.97E+02    |
| L_T_HgII  | Total Load, HgII                                      | g/yr                    | 1.11E+06    |
| L_T_MeHg  | Total Load, MeHg                                      | g/yr                    | 6.55E+04    |
| <b>Rate Constants</b>   |   |                         |             |
| kw_v_Hg0  | water column volatilization loss rate constant, Hg0   | per yr                  | 15.75       |
| kw_v_HgII   | water column volatilization loss rate constant, HgII  | per yr                  | 0.00        |
| kw_v_MeHg   | water column volatilization loss rate constant, MeHg  | per yr                  | 0.42        |
| kw_oxid_1   | water column oxidation rate constant                  | per yr                  | 575.18      |
| kw_oxid_2   | water column oxidation rate constant                  | per yr                  | 525.60      |
| kw_red_1  | water column reduction rate constant, layer 2         | per yr                  | 56.60       |
| kw_red_2  | water column reduction rate constant, layer 2         | per yr                  | 10.95       |
| kw_meth_1   | water column methylation rate constant, layer 1       | per yr                  | 0.13        |
| kw_meth_2   | water column methylation rate constant, layer 2       | per yr                  | 0.21        |
| kw_demeth_1   | water column demethylation rate constant, layer 1     | per yr                  | 0.03        |
| kw_demeth_2   | water column demethylation rate constant, layer 2     | per yr                  | 0.21        |
| kw_photograd_1  | water column photoreduction rate for layer 1          | per yr                  | 1.46        |
| kw_photograd_2  | water column photoreduction rate for layer 2          | per yr                  | 0.00        |
| kw_mer  | water column mer cleavage demethylation rate constant | per yr                  | 0.00        |
| kb_oxid   | benthic oxidation rate constant                       | per yr                  | 0.00        |
| kb_red  | benthic reduction rate constant                       | per yr                  | 0.00        |
| kb_methy  | benthic methylation rate constant                     | per yr                  | 0.37        |
| kb_demeth   | benthic demethylation rate constant                   | per yr                  | 0.73        |
| kb_mer  | benthic mer cleavage demethylation rate constant      | per yr                  | 0.00        |
|   |   |                         |             |
| v_sA  | abiotic settling velocity                             | m/yr                    | 708.97      |
| v_sB  | biotic settling velocity                              | m/yr                    | 73          |
| v_rs  | resuspension velocity                                 | m/yr                    | 0.003700005 |
| k_mort  | phytoplankton mortality rate                          | per yr                  | 10.95       |
| v_min   | mineralization rate                                   | per yr                  | 0.01        |
| v_bur   | burial rate   | m/yr                    | 0.001       |
|   |   |                         |             |
| R_sw_Hg0  | pore water diffusive volume, Hg0                      | m <sup>3</sup> /yr      | 2.10E+08    |
| R_sw_HgII   | pore water diffusive volume, HgII                     | m <sup>3</sup> /yr      | 2.10E+08    |
| R_sw_MeHg   | pore water diffusive volume, MeHg                     | m <sup>3</sup> /yr      | 2.00E+08    |
| E_sw_Hg0  | pore water diffusion coefficient, Hg0                 | m <sup>2</sup> /sec     | 6.41E-10    |
| E_sw_HgII   | pore water diffusion coefficient, HgII                | m <sup>2</sup> /sec     | 6.41E-10    |
| E_sw_MeHg   | pore water diffusion coefficient, MeHg                | m <sup>2</sup> /sec     | 6.11E-10    |
| rho_s   | Sediment Particle Density                             | g/cm <sup>3</sup>       | 2.65E+00    |
| q_sed   | sediment porosity                                     |                         | 0.95        |
| z_sed   | sediment layer char mixing length                     | m                       | 0.030       |
| V_sed   | Volume of Sediment                                    | Aw*z_sed m <sup>3</sup> | 9825000     |
|   |   |                         |             |
| TSS_1   |   | mg/L                    | 3.89        |
| TSS+2   |   | mg/L                    | 12.90       |
| <b>Effective Partition Coefficients for each Hg species and layer</b> |   |                         |             |
| K_eff_Hg0_1   | Effective K for Hg0 in layer 1                        | L/kg                    | 0.00E+00    |
| K_eff_HgII_1  | Effective K for HgII in layer 1                       | L/kg                    | 1.14E+05    |
| K_eff_MeHg_1  | Effective K for MeHg in layer 1                       | L/kg                    | 1.29E+05    |
| K_eff_Hg0_2   | Effective K for Hg0 in layer 2                        | L/kg                    | 0.00E+00    |
| K_eff_HgII_2  | Effective K for HgII in layer 2                       | L/kg                    | 5.69E+04    |
| K_eff_MeHg_2  | Effective K for MeHg in layer 2                       | L/kg                    | 3.99E+04    |

$$R_{sw} = \frac{E_{sw} \cdot A_w \cdot \theta_{sed}}{z_{sed}} \cdot 3.1536 \times 10^7$$

$$K_{eff,i}^j = \frac{(S_{abio}^j C_{abio,i}^j + S_{org}^j C_{org,i}^j + S_{phyto}^j C_{phyto,i}^j + S_{sw}^j C_{sw,i}^j) (C_{sw,filtered,i}^j - C_{filtered,i}^j)}{S_{abio}^j + S_{org}^j + S_{phyto}^j + S_{sw}^j} = \frac{TSS}{C_{filtered,i}^j}$$

Water Body Mercury Concentrations

| Symbol                  | Parameter         | Equation | Units  | Value     | Conc. in ng/L : ug/g |
|-------------------------|-------------------|----------|--------|-----------|----------------------|
| C_Hg0_1_Aq              |                   |          | g/m3   | 2.87E-04  | 287.24               |
| C_HgII_1_Aq             |                   |          | g/m3   | 3.86E-03  | 3,862.61             |
| C_MeHg_1_Aq             |                   |          | g/m3   | 6.93E-04  | 693.20               |
| C_Hg0_2_Aq              |                   |          | g/m3   | 7.99E-05  | 79.87                |
| C_HgII_2_Aq             |                   |          | g/m3   | 1.99E-03  | 1,991.37             |
| C_MeHg_2_Aq             |                   |          | g/m3   | 3.67E-04  | 367.02               |
| C_Hg0_pore              |                   |          | g/m3   | 7.99E-05  | 79.87                |
| C_HgII_pore             |                   |          | g/m3   | -2.09E-05 | -20.94               |
| C_MeHg_pore             |                   |          | g/m3   | 2.37E-04  | 237.09               |
| C_HgT_1_filtered        |                   |          | g/m3   | 4.84E-03  | 4,843.05             |
| C_HgT_2_filtered        |                   |          | g/m3   | 2.44E-03  | 2,438.25             |
| C_HgT_Sed_filtered      |                   |          | g/m3   | 2.96E-04  | 296.01               |
| C_Hg0_1_T               |                   |          | g/m3   | 2.87E-04  | 287.24               |
| C_HgII_1_T              |                   |          | g/m3   | 5.58E-03  | 5,584.20             |
| C_MeHg_1_T              |                   |          | g/m3   | 1.04E-03  | 1,040.59             |
| C_Hg0_2_T               |                   |          | g/m3   | 7.99E-05  | 79.87                |
| C_HgII_2_T              |                   |          | g/m3   | 3.45E-03  | 3,451.73             |
| C_MeHg_2_T              |                   |          | g/m3   | 5.56E-04  | 555.72               |
| C_Hg0_sed               |                   |          | g/m3   | 7.59E-05  | 75.87                |
| C_HgII_1_sed            |                   |          | g/m3   | -3.24E+00 | -3236067.98          |
| C_MeHg_1_sed            |                   |          | g/m3   | 3.68E-00  | 3677217.11           |
| C_Hg0_sed_wet           |                   |          | g/g    | 2.86E-11  | 0.000                |
| C_HgII_1_sed_wet        |                   |          | g/g    | -2.99E-06 | -2.989               |
| C_MeHg_1_sed_wet        |                   |          | g/g    | 3.86E-06  | 3.865                |
| C_HgT_sed_wet           |                   |          | g/g    | 8.75E-07  | 0.875                |
| C_Hg0_sed_dry_weight    |                   |          | g/g    | 5.73E-10  | 0.00                 |
| C_HgII_1_sed_dry_weight |                   |          | g/g    | -2.44E-05 | -24.42               |
| C_MeHg_1_sed_dry_weight |                   |          | g/g    | 2.78E-05  | 27.75                |
| C_HgT_1                 |                   |          | g/m3   | 6.91E-03  | 6912.03              |
| C_HgT_2                 |                   |          | g/m3   | 4.09E-03  | 4087.31              |
| C_HgT_Sed               |                   |          | g/g    | 3.33E-06  | 3.33                 |
| Layer 1                 | (%Me MeHg_T/Hg_T) |          | % MeHg | 15.03%    | % Hg0                |
| Layer 2                 |                   |          | % MeHg | 13.60%    | 84.45%               |
| Sediments               |                   |          | % MeHg | 83.41%    | -733.43%             |

$$Q' = \frac{E_{12} A_{12}}{0.5 \cdot (z_1 + z_2)}$$

Q' Bulk exchange flow [L3/T]

Equations for Total Mercury Concentrations of given species (i.e., total Hg0: sorbed + dissolved)

$$V_w \frac{dC_{Hg0}}{dt} = I_{T,Hg0} + Q_{in} C_{in,Hg0} + [k_{w,at} \cdot V_w] \cdot C_{Hg0}^{at} + [k_{w,er} \cdot V_w + k_{w,photod} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{at} + [Q_{sw} - Q - k_{w,at} V_w - k_{w,er} V_w - k_{w,photod} V_w - v_{sA} \cdot f_{sed,Hg0}^{sed} \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{sed,Hg0}^{sed} \cdot A_w] \cdot C_{Hg0}^{at} + Q_{in} C_{in,Hg0}$$

$$V_w \frac{dC_{HgII}}{dt} = I_{T,HgII} + Q_{in} C_{in,HgII} + [k_{w,at} \cdot V_w] \cdot C_{HgII}^{at} + [k_{w,er} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{at} + [Q_{sw} - Q - k_{w,at} V_w - k_{w,er} V_w - k_{w,photod} V_w - v_{sA} \cdot f_{sed,HgII}^{sed} \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{sed,HgII}^{sed} \cdot A_w] \cdot C_{HgII}^{at} + Q_{in} C_{in,HgII}$$

$$V_w \frac{dC_{MeHg}}{dt} = I_{T,MeHg} + Q_{in} C_{in,MeHg} + [k_{w,at} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{at} + [Q_{sw} - Q - k_{w,at} V_w - k_{w,er} V_w - k_{w,photod} V_w - v_{sA} \cdot f_{sed,MeHg}^{sed} \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{sed,MeHg}^{sed} \cdot A_w] \cdot C_{MeHg}^{at} + Q_{in} C_{in,MeHg}$$

$$V_w \frac{dC_{Hg0}^{sed}}{dt} = [k_{w,er} \cdot V_w] \cdot C_{Hg0}^{sed} + [k_{w,er} \cdot V_w + k_{w,photod} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed} + [Q - k_{w,at} V_w - v_{sA} \cdot f_{sed,Hg0}^{sed} \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{sed,Hg0}^{sed} \cdot A_w - R_{sw} \cdot f_{aq,Hg0}^{sed}] \cdot C_{Hg0}^{sed} + Q_{in} C_{in,Hg0}^{sed} + \left[ R_{sw} \cdot \frac{f_{aq,Hg0}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,Hg0}^{sed} \cdot A_w \right] \cdot C_{aq,Hg0}^{sed}$$

$$V_w \frac{dC_{HgII}^{sed}}{dt} = [k_{w,er} \cdot V_w] \cdot C_{HgII}^{sed} + [k_{w,er} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed} + [Q - k_{w,at} V_w - k_{w,er} V_w - v_{sA} \cdot f_{sed,HgII}^{sed} \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{sed,HgII}^{sed} \cdot A_w - R_{sw} \cdot f_{aq,HgII}^{sed}] \cdot C_{HgII}^{sed} + Q_{in} C_{in,HgII}^{sed} + \left[ R_{sw} \cdot \frac{f_{aq,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,HgII}^{sed} \cdot A_w \right] \cdot C_{aq,HgII}^{sed}$$

$$V_w \frac{dC_{MeHg}^{sed}}{dt} = [k_{w,er} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed} + [Q - k_{w,at} V_w - k_{w,er} V_w - k_{w,photod} V_w - v_{sA} \cdot f_{sed,MeHg}^{sed} \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{sed,MeHg}^{sed} \cdot A_w - R_{sw} \cdot f_{aq,MeHg}^{sed}] \cdot C_{MeHg}^{sed} + Q_{in} C_{in,MeHg}^{sed} + \left[ R_{sw} \cdot \frac{f_{aq,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,MeHg}^{sed} \cdot A_w \right] \cdot C_{aq,MeHg}^{sed}$$

$$V_w \frac{dC_{Hg0}^{sed}}{dt} = [R_{sw} \cdot f_{aq,Hg0}^{sed} + (v_{rs} \cdot f_{sed,Hg0}^{sed} + v_{sb} \cdot f_{sed,Hg0}^{sed}) \cdot A_w] \cdot C_{Hg0}^{sed} + \left[ -R_{sw} \cdot \left( \frac{f_{aq,Hg0}^{sed}}{\theta_{sed}} \right) - (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,Hg0}^{sed} \cdot A_w - k_{b,sed} \cdot V_{sed} \right] \cdot C_{sed,Hg0}^{sed} + [k_{b,er} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed} + [k_{b,er} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed}$$

$$V_w \frac{dC_{HgII}^{sed}}{dt} = [R_{sw} \cdot f_{aq,HgII}^{sed} + (v_{rs} \cdot f_{sed,HgII}^{sed} + v_{sb} \cdot f_{sed,HgII}^{sed}) \cdot A_w] \cdot C_{HgII}^{sed} + [k_{b,sed} \cdot V_{sed}] \cdot C_{sed,HgII}^{sed} + \left[ -R_{sw} \cdot \left( \frac{f_{aq,HgII}^{sed}}{\theta_{sed}} \right) - (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,HgII}^{sed} \cdot A_w - (k_{b,sed} + k_{b,er}) \cdot V_{sed} \right] \cdot C_{sed,HgII}^{sed} + [k_{b,er} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed}$$

$$V_w \frac{dC_{MeHg}^{sed}}{dt} = [R_{sw} \cdot f_{aq,MeHg}^{sed} + (v_{rs} \cdot f_{sed,MeHg}^{sed} + v_{sb} \cdot f_{sed,MeHg}^{sed}) \cdot A_w] \cdot C_{MeHg}^{sed} + [k_{b,sed} \cdot V_{sed}] \cdot C_{sed,MeHg}^{sed} + \left[ -R_{sw} \cdot \left( \frac{f_{aq,MeHg}^{sed}}{\theta_{sed}} \right) - (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,MeHg}^{sed} \cdot A_w - (k_{b,sed} + k_{b,er}) \cdot V_{sed} \right] \cdot C_{sed,MeHg}^{sed} + [k_{b,er} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed}$$

$$\sim 0.5 \cdot (z_2 + z_1)$$

$$E_z = U \cdot 0.14 Z \cdot Z \cdot \rho \cdot g / \gamma$$

where Z is mean total depth (i.e., z1 + z2) from Mortimer, cited in Schnoor, 1996, pg. 57. for rivers, this will be different (see Schnoor)

| Matrix A     | C_Hg0 1 T | C_HgII 1 T | C_MeHg 1 T | C_Hg0 2 T | C_HgII 2 T | C_MeHg 2 T | C_Hg0 1 sed | C_HgII 1 sed | C_MeHg 1 sed | Matrix    | Solution Matrix |
|--------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-------------|--------------|--------------|-----------|-----------------|
|              | 1         | 2          | 3          | 4         | 5          | 6          | 7           | 8            | 9            | b         |                 |
| C_Hg0 1 T    | -7.31E+12 | 2.60E+11   | 6.68E+09   | 1.32E+10  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | -6.42E+08 | C_Hg0 1 T       |
| C_HgII 1 T   | 2.64E+12  | -4.91E+12  | 1.16E+08   | 0.00E+00  | 1.32E+10   | 0.00E+00   | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | -2.66E+10 | C_HgII 1 T      |
| C_MeHg 1 T   | 0.00E+00  | 6.16E+08   | -4.44E+12  | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 1.32E+10   | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | -4.81E+09 | C_MeHg 1 T      |
| C_Hg0 2 T    | 1.32E+10  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | -3.58E+11 | 7.17E+09   | 2.42E+03   | 2.21E+08    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | 0.00E+00  | C_Hg0 2 T       |
| C_HgII 2 T   | 0.00E+00  | 6.93E+10   | 0.00E+00   | 3.44E+11  | -1.19E+11  | 1.38E+10   | 0.00E+00    | 1.54E+06     | 0.00E+00     | 0.00E+00  | C_HgII 2 T      |
| C_MeHg 2 T   | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 4.31E+10   | 0.00E+00  | 1.38E+08   | -9.20E+10  | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 1.55E+06     | 0.00E+00  | C_MeHg 2 T      |
| C_Hg0_sed    | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 2.10E+08  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | -2.21E+08   | 0.00E+00     | 0.00E+00     | 0.00E+00  | C_Hg0_sed       |
| C_HgII_1_sed | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 1.00E+00    | 1.00E+00     | 1.00E+00     | 4.41E-01  | C_HgII_1_sed    |
| C_MeHg_1_sed | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 8.72E+06    | -3.59E+06    | 0.00E+00     | 0.00E+00  | C_MeHg_1_sed    |

A\*x=b

C\_T\_sed 0.441225 g/m3

$$C_{sed} \left[ \frac{g \ Hg}{g \ sed} \right] = \frac{C_{bulk}^{Hg}}{\rho_{partic} (1 - \theta_{sed})} = \frac{\left[ \frac{g \ Hg}{m^3 \ bulk} \right]}{\left[ \frac{g \ sed}{cm^3 \ sed} \right] \left[ \frac{m^3 \ bulk}{m^3} \right] \left[ 10^6 \frac{cm^3}{m^3} \right]}$$

$$k_{w,v,j} = \frac{K_{v,j} \cdot f_{org,j}}{z_i}$$

$$\left[ \frac{Hg(OH)}{Hg^{2+}} \right]_{T=10^{-12}}$$

|                  |   |       |
|------------------|---|-------|
| f_aq_Hg0_w_1     | aqueous phase fraction of Hg0 in water column, layer 1                    | 1.000 |
| f_aq_HgII_w_1    | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 1                   | 0.368 |
| f_aq_MeHg_w_1    | aqueous phase fraction of MeHg in water column, layer 1                   | 0.493 |
| f_aq_Hg0_w_2     | aqueous phase fraction of Hg0 in water column, layer 2                    | 1.000 |
| f_aq_HgII_w_2    | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 2                   | 0.164 |
| f_aq_MeHg_w_2    | aqueous phase fraction of MeHg in water column, layer 2                   | 0.330 |
| f_DOC_Hg0_w_1    | DOC complexed fraction of Hg0 in water column, layer 1                    | 0.000 |
| f_DOC_Hg0_w_2    | DOC complexed fraction of Hg0 in water column, layer 2                    | 0.324 |
| f_DOC_HgII_w_1   | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 1                   | 0.173 |
| f_DOC_HgII_w_2   | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 2                   | 0.000 |
| f_DOC_MeHg_w_1   | DOC complexed fraction of MeHg in water column, layer 1                   | 0.413 |
| f_DOC_MeHg_w_2   | DOC complexed fraction of MeHg in water column, layer 2                   | 0.330 |
| f_abio_Hg0_w_1   | abiotic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1        | 0.000 |
| f_abio_HgII_w_1  | abiotic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1       | 0.242 |
| f_abio_MeHg_w_1  | abiotic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1       | 0.129 |
| f_abio_Hg0_w_2   | abiotic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2        | 0.000 |
| f_abio_HgII_w_2  | abiotic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2       | 0.423 |
| f_abio_MeHg_w_2  | abiotic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2       | 0.338 |
| f_zoo_Hg0_w_1    | zooplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1    | 0.000 |
| f_zoo_HgII_w_1   | zooplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1   | 0.007 |
| f_zoo_MeHg_w_1   | zooplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1   | 0.102 |
| f_zoo_Hg0_w_2    | zooplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2    | 0.000 |
| f_zoo_HgII_w_2   | zooplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2   | 0.000 |
| f_zoo_MeHg_w_2   | zooplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2   | 0.000 |
| f_phyto_Hg0_w_1  | phytoplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1  | 0.000 |
| f_phyto_HgII_w_1 | phytoplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1 | 0.059 |
| f_phyto_MeHg_w_1 | phytoplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1 | 0.102 |
| f_phyto_Hg0_w_2  | phytoplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2  | 0.000 |
| f_phyto_HgII_w_2 | phytoplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2 | 0.000 |
| f_phyto_MeHg_w_2 | phytoplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2 | 0.000 |
| f_org_Hg0_w_1    | organic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1        | 0.000 |
| f_org_HgII_w_1   | organic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1       | 0.001 |

|                |   |       |
|----------------|---|-------|
| f_org_MeHg_w_1 | organic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1 | 0.001 |
| f_org_Hg0_w_2  | organic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2  | 0.000 |
| f_org_HgII_w_2 | organic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2 | 0.001 |
| f_org_MeHg_w_2 | organic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2 | 0.001 |

|               |   |          |
|---------------|---|----------|
| f_aq_Hg0_sed  | aqueous phase fraction of Hg0 in sediments  | 1.00E+00 |
| f_aq_HgII_sed | aqueous phase fraction of HgII in sediments | 6.15E-06 |
| f_aq_MeHg_sed | aqueous phase fraction of MeHg in sediments | 6.13E-05 |

|                |   |          |
|----------------|---|----------|
| f_sed_Hg0_sed  | particulate phase fraction of Hg0 in sediments  | 0.00E+00 |
| f_sed_HgII_sed | particulate phase fraction of HgII in sediments | 1.00E+00 |
| f_sed_MeHg_sed | particulate phase fraction of MeHg in sediments | 1.00E+00 |

|          |                  |      |          |
|----------|------------------|------|----------|
| L_T.Hg0  | Total Load, Hg0  | g/yr | 3.97E+02 |
| L_T.HgII | Total Load, HgII | g/yr | 1.11E+06 |
| L_T.MeHg | Total Load, MeHg | g/yr | 6.55E+04 |

**Rate Constants**

|                  |   |        |        |
|------------------|---|--------|--------|
| kw_v.Hg0         | water column volatilization loss rate constant, Hg0   | per yr | 15.75  |
| kw_v.HgII        | water column volatilization loss rate constant, HgII  | per yr | 0.00   |
| kw_v.MeHg        | water column volatilization loss rate constant, MeHg  | per yr | 0.42   |
| kw_oxid_1        | water column oxidation rate constant                  | per yr | 575.18 |
| kw_oxid_2        | water column oxidation rate constant                  | per yr | 525.60 |
| kw_red_1         | water column reduction rate constant, layer 2         | per yr | 56.60  |
| kw_red_2         | water column reduction rate constant, layer 2         | per yr | 10.95  |
| kw_meth_1        | water column methylation rate constant, layer 1       | per yr | 0.13   |
| kw_meth_2        | water column methylation rate constant, layer 2       | per yr | 0.21   |
| kw_demeth_1      | water column demethylation rate constant, layer 1     | per yr | 0.03   |
| kw_demeth_2      | water column demethylation rate constant, layer 2     | per yr | 0.21   |
| kw_photodegrad_1 | water column photoreduction rate for layer 1          | per yr | 1.46   |
| kw_photodegrad_2 | water column photoreduction rate for layer 2          | per yr | 0.00   |
| kw_mer           | water column mer cleavage demethylation rate constant | per yr | 0.00   |
| kb_oxid          | benthic oxidation rate constant                       | per yr | 0.00   |
| kb_red           | benthic reduction rate constant                       | per yr | 0.00   |
| kb_methy         | benthic methylation rate constant                     | per yr | 0.37   |
| kb_demeth        | benthic demethylation rate constant                   | per yr | 0.73   |
| kb_mer           | benthic mer cleavage demethylation rate constant      | per yr | 0.00   |

$$R_{sw} = \frac{E_{sw} \cdot A_w \cdot \theta_{sed} \cdot 3.1536 \times 10^7}{z_{sed}}$$

$$C_{dry}^{sed} \left[ \frac{g \ Hg}{g \ sed} \right] = \frac{C_{sed}^{bulk}}{\rho_{particle} (1-n)}$$

|        |                              |        |             |
|--------|------------------------------|--------|-------------|
| v_sA   | abiotic settling velocity    | m/yr   | 708.9687    |
| v_sB   | biotic settling velocity     | m/yr   | 73          |
| v_rs   | resuspension velocity        | m/yr   | 0.003700005 |
| k_mort | phytoplankton mortality rate | per yr | 10.95       |
| v_min  | mineralization rate          | per yr | 0.01        |
| v_bur  | burial rate                  | m/yr   | 0.001       |

|           |  |                                  |          |
|-----------|--|----------------------------------|----------|
| R_sw_Hg0  | pore water diffusive volume, Hg0       | m <sup>3</sup> /yr               | 2.10E-08 |
| R_sw_HgII | pore water diffusive volume, HgII      | m <sup>3</sup> /yr               | 2.10E-08 |
| R_sw_MeHg | pore water diffusive volume, MeHg      | m <sup>3</sup> /yr               | 2.00E-08 |
| E_sw_Hg0  | pore water diffusion coefficient, Hg0  | m <sup>2</sup> /sec              | 6.41E-10 |
| E_sw_HgII | pore water diffusion coefficient, HgII | m <sup>2</sup> /sec              | 6.41E-10 |
| E_sw_MeHg | pore water diffusion coefficient, MeHg | m <sup>2</sup> /sec              | 6.11E-10 |
| rho_s     | Sediment Particle Density              | g/cm <sup>3</sup>                | 2.65E+00 |
| q_sed     | sediment porosity                      | cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> | 0.95     |
| z_sed     | sediment layer, char mixing length     | m                                | 0.03     |
| V_sed     | Volume of Sediment                     | m <sup>3</sup>                   | 9825000  |

|       |  |      |       |
|-------|--|------|-------|
| TSS_1 |  | mg/L | 3.89  |
| TSS+2 |  | mg/L | 12.90 |

**Effective Partition Coefficients for each Hg species and layer**

|              |                                 |      |          |
|--------------|---------------------------------|------|----------|
| K_eff_Hg0_1  | Effective K for Hg0 in layer 1  | L/kg | 0.00E+00 |
| K_eff_HgII_1 | Effective K for Hg0 in layer 2  | L/kg | 1.14E+05 |
| K_eff_MeHg_1 | Effective K for HgII in layer 1 | L/kg | 1.29E+05 |
| K_eff_Hg0_2  | Effective K for HgII in layer 2 | L/kg | 0.00E+00 |
| K_eff_HgII_2 | Effective K for MeHg in layer 1 | L/kg | 5.69E+04 |
| K_eff_MeHg_2 | Effective K for MeHg in layer 2 | L/kg | 3.99E+04 |

$$K_{eff,j}^j = \frac{(S_{abio}^j C_{abio}^j + S_{org}^j C_{org,j}^j + S_{phys}^j C_{phys,j}^j + S_{soc}^j C_{soc,j}^j)}{S_{abio}^j + S_{org}^j + S_{phys}^j + S_{soc}^j} = \frac{(C_{unfiltered,j}^j - C_{filtered,j}^j)}{C_{filtered,j}^j}$$

**Water Body Mercury Concentrations**

| Symbol                  | Parameter   | Equation | Units   | Value             | Conc. in ng/L : ug/g |
|-------------------------|---|----------|---------|-------------------|----------------------|
| C_Hg0_1_Aq              |   |          | g/m3    | 2.87E-04          | 287.24               |
| C_HgII_1_Aq             |   |          | g/m3    | 3.86E-03          | 3,862.60             |
| C_MeHg_1_Aq             |   |          | g/m3    | 6.93E-04          | 693.19               |
| C_Hg0_2_Aq              |   |          | g/m3    | 7.98E-05          | 79.78                |
| C_HgII_2_Aq             |   |          | g/m3    | 1.99E-03          | 1,989.00             |
| C_MeHg_2_Aq             |   |          | g/m3    | 3.65E-04          | 365.41               |
| C_Hg0_pore              |   |          | g/m3    | 7.98E-05          | 79.78                |
| C_HgII_pore             |   |          | g/m3    | -2.29E-05         | -22.87               |
| C_MeHg_pore             |   |          | g/m3    | 2.28E-04          | 227.80               |
| C_HgT_1_filtered        |   |          | g/m3    | 4.84E-03          | 4,843.03             |
| C_HgT_2_filtered        |   |          | g/m3    | 2.43E-03          | 2,434.19             |
| C_HgT_Sed_filtered      |   |          | g/m3    | 2.85E-04          | 284.72               |
| C_Hg0_1_T               |   |          | g/m3    | 2.87E-04          | 287.24               |
| C_HgII_1_T              |   |          | g/m3    | 5.58E-03          | 5,584.19             |
| C_MeHg_1_T              |   |          | g/m3    | 1.04E-03          | 1,040.58             |
| C_Hg0_2_T               |   |          | g/m3    | 7.98E-05          | 79.78                |
| C_HgII_2_T              |   |          | g/m3    | 3.45E-03          | 3,447.62             |
| C_MeHg_2_T              |   |          | g/m3    | 5.53E-04          | 553.28               |
| C_Hg0_sed               |   |          | g/m3    | 7.58E-05          | 75.79                |
| C_HgII_1_sed            |   |          | g/m3    | -3.53E+00         | -3533166.69          |
| C_MeHg_1_sed            |   |          | g/m3    | 3.53E+00          | 3533090.90           |
| C_Hg0_sed_wet           |   |          | g/g     | 2.86E-11          | 0.000                |
| C_HgII_1_sed_wet        |   |          | g/g     | -3.26E-06         | -3.264               |
| C_MeHg_1_sed_wet        |   |          | g/g     | 3.71E-06          | 3.713                |
| C_HgT_sed_wet           |   |          | g/g     | 4.49E-07          | 0.449                |
| C_Hg0_sed_dry_weight    |   |          | g/g     | 5.72E-10          | 0.0006               |
| C_HgII_1_sed_dry_weight |   |          | g/g     | -2.67E-05         | -26.6654             |
| C_MeHg_1_sed_dry_weight |   |          | g/g     | 2.67E-05          | 26.6648              |
| C_HgT_1                 |   |          | g/m3    | 6.91E-03          | 6912.01              |
| C_HgT_2                 |   |          | g/m3    | 4.08E-03          | 4080.68              |
| C_HgT_Sed_dry_weight    |   |          | g/g     | 0.00E+00          | 0.00                 |
| Layer 1                 | (% MeHg_T/Hg_T)   |          | % MeHg  | 80.79%            | % Hg0                |
| Layer 2                 |   |          | 13.56%  | 84.49%            | 4.16%                |
| Sediments               |   |          | #DIV/0! | #DIV/0!           | 1.96%                |
|                         |   |          |         |                   | #DIV/0!              |
| Q'                      | Bulk Exchange Flow  |          | m3/yr   | 13,208,128,952    |                      |
| Qin                     | Inflow  |          | m3/yr   | 4,585,000,000,000 |                      |
| Qout                    | Outflow   |          | m3/yr   | 4,585,000,000,000 |                      |
| Aw                      | Surface Area of the Water Body  |          | m2      | 327,500,000       |                      |
| E                       | Exchange rate   |          | m2/yr   | 323               |                      |
| V_1                     | Volume of Layer 1   | Aw*z_1   | m3      | 4,585,000,000     |                      |
| V_2                     | Volume of Layer 2   | Aw*z_2   | m3      | 655,000,000       |                      |
| z1                      | depth of first water layer  |          | m       | 1                 |                      |
| z2                      | depth of second water layer   |          | m       | 2                 |                      |
| f_aq_Hg0_w_1            | aqueous phase fraction of Hg0 in water column, layer 1                  |          |         | 1.000             |                      |
| f_aq_HgII_w_1           | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 1                 |          |         | 0.368             |                      |
| f_aq_MeHg_w_1           | aqueous phase fraction of MeHg in water column, layer 1                 |          |         | 0.493             |                      |
| f_aq_Hg0_w_2            | aqueous phase fraction of Hg0 in water column, layer 2                  |          |         | 1.000             |                      |
| f_aq_HgII_w_2           | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 2                 |          |         | 0.164             |                      |
| f_aq_MeHg_w_2           | aqueous phase fraction of MeHg in water column, layer 2                 |          |         | 0.330             |                      |
| f_DOC_Hg0_w_1           | DOC complexed fraction of Hg0 in water column, layer 1                  |          |         | 0.000             |                      |
| f_DOC_Hg0_w_2           | DOC complexed fraction of Hg0 in water column, layer 1                  |          |         | 0.324             |                      |
| f_DOC_HgII_w_1          | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 1                 |          |         | 0.173             |                      |
| f_DOC_HgII_w_2          | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 2                 |          |         | 0.000             |                      |
| f_DOC_MeHg_w_1          | DOC complexed fraction of MeHg in water column, layer 2                 |          |         | 0.413             |                      |
| f_DOC_MeHg_w_2          | DOC complexed fraction of MeHg in water column, layer 2                 |          |         | 0.330             |                      |
| f_abio_Hg0_w_1          | abiotic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1      |          |         | 0.000             |                      |
| f_abio_HgII_w_1         | abiotic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1     |          |         | 0.242             |                      |
| f_abio_MeHg_w_1         | abiotic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1     |          |         | 0.129             |                      |
| f_abio_Hg0_w_2          | abiotic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2      |          |         | 0.000             |                      |
| f_abio_HgII_w_2         | abiotic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2     |          |         | 0.423             |                      |
| f_abio_MeHg_w_2         | abiotic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2     |          |         | 0.338             |                      |
| f_zoo_Hg0_w_1           | zooplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1  |          |         | 0.000             |                      |
| f_zoo_HgII_w_1          | zooplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1 |          |         | 0.007             |                      |
| f_zoo_MeHg_w_1          | zooplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1 |          |         | 0.102             |                      |
| f_zoo_Hg0_w_2           | zooplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2  |          |         | 0.000             |                      |
| f_zoo_HgII_w_2          | zooplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2 |          |         | 0.000             |                      |
| f_zoo_MeHg_w_2          | zooplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2 |          |         | 0.000             |                      |

$$Q' = \frac{E_{12} A_{12}}{0.5 \cdot (z_1 + z_2)}$$

Q' Bulk exchange flow [L3/T]

Equations for Total Mercury Concentrations of given species (i.e., total Hg0: sorbed + dissolved)

$$V_w \frac{dC_{Hg0}^w}{dt} = L_{T,Hg0} + Q_{in} C_{in,Hg0} + [k_{w,red} \cdot V_w] \cdot C_{HgII}^w + [k_{w,er} \cdot V_w + k_{w,photoread} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^w + [-Q_{out} - Q - k_{w,red} \cdot V_w - k_{w,er} \cdot V_w - v_{sA} \cdot f_{abio,Hg0}^w \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{bio,Hg0}^w \cdot A_w] \cdot C_{Hg0}^w + Q' \cdot C_{Hg0}^w$$

$$V_w \frac{dC_{HgII}^w}{dt} = L_{T,HgII} + Q_{in} C_{in,HgII} + [k_{w,oxid} \cdot V_w] \cdot C_{HgII}^w + [k_{w,demeth} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^w + [-Q_{out} - Q - k_{w,red} \cdot V_w - k_{w,er} \cdot V_w - v_{sA} \cdot f_{abio,HgII}^w \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{bio,HgII}^w \cdot A_w] \cdot C_{HgII}^w + Q' \cdot C_{HgII}^w$$

$$V_w \frac{dC_{MeHg}^w}{dt} = L_{T,MeHg} + Q_{in} C_{in,MeHg} + [k_{w,er} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^w + [-Q_{out} - Q - k_{w,red} \cdot V_w - k_{w,er} \cdot V_w - k_{w,photoread} \cdot V_w - v_{sA} \cdot f_{abio,MeHg}^w \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{bio,MeHg}^w \cdot A_w] \cdot C_{MeHg}^w + Q' \cdot C_{MeHg}^w$$

$$V_w \frac{dC_{Hg0}^{sed}}{dt} = [-k_{w,red} \cdot V_w] \cdot C_{HgII}^{sed} + [k_{w,er} \cdot V_w + k_{w,photoread} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed} + [-Q - k_{w,oxid} \cdot V_w - v_{sA} \cdot f_{abio,Hg0}^{sed} \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{bio,Hg0}^{sed} \cdot A_w - R_{sw} \cdot f_{aq,Hg0}^{sed}] \cdot C_{Hg0}^{sed} + Q' \cdot C_{Hg0}^{sed} + \left[ R_{sw} \cdot \frac{f_{sed,Hg0}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,Hg0}^{sed} \cdot A_w \right] \cdot C_{aq,Hg0}^{sed}$$

$$V_w \frac{dC_{HgII}^{sed}}{dt} = [k_{w,oxid} \cdot V_w] \cdot C_{HgII}^{sed} + [k_{w,demeth} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed} + [-Q - k_{w,red} \cdot V_w - k_{w,er} \cdot V_w - v_{sA} \cdot f_{abio,HgII}^{sed} \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{bio,HgII}^{sed} \cdot A_w - R_{sw} \cdot f_{aq,HgII}^{sed}] \cdot C_{HgII}^{sed} + Q' \cdot C_{HgII}^{sed} + \left[ R_{sw} \cdot \frac{f_{sed,HgII}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,HgII}^{sed} \cdot A_w \right] \cdot C_{aq,HgII}^{sed}$$

$$V_w \frac{dC_{MeHg}^{sed}}{dt} = [k_{w,er} \cdot V_w] \cdot C_{MeHg}^{sed} + [-Q - k_{w,red} \cdot V_w - k_{w,er} \cdot V_w - k_{w,photoread} \cdot V_w - v_{sA} \cdot f_{abio,MeHg}^{sed} \cdot A_w - v_{sB} \cdot f_{bio,MeHg}^{sed} \cdot A_w - R_{sw} \cdot f_{aq,MeHg}^{sed}] \cdot C_{MeHg}^{sed} + Q' \cdot C_{MeHg}^{sed} + \left[ R_{sw} \cdot \frac{f_{sed,MeHg}}{\theta_{sed}} + (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,MeHg}^{sed} \cdot A_w \right] \cdot C_{aq,MeHg}^{sed}$$

$$V_b \frac{dC_{Hg0}^{sed}}{dt} = [R_{sw} \cdot f_{aq,Hg0}^{sed} + (v_{sA} \cdot f_{abio,Hg0}^{sed} + v_{sB} \cdot f_{bio,Hg0}^{sed}) \cdot A_w] \cdot C_{Hg0}^{sed} + \left[ -R_{sw} \cdot \left( \frac{f_{sed,Hg0}}{\theta_{sed}} \right) - (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,Hg0}^{sed} \cdot A_w - k_{b,oxid} \cdot V_{sed} \right] \cdot C_{Hg0}^{sed} + [k_{b,red} \cdot V_b] \cdot C_{HgII}^{sed} + [k_{b,er} \cdot V_{sed}] \cdot C_{MeHg}^{sed}$$

$$V_b \frac{dC_{HgII}^{sed}}{dt} = [R_{sw} \cdot f_{aq,HgII}^{sed} + (v_{sA} \cdot f_{abio,HgII}^{sed} + v_{sB} \cdot f_{bio,HgII}^{sed}) \cdot A_w] \cdot C_{HgII}^{sed} + [k_{b,oxid} \cdot V_{sed}] \cdot C_{HgII}^{sed} + \left[ -R_{sw} \cdot \left( \frac{f_{sed,HgII}}{\theta_{sed}} \right) - (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,HgII}^{sed} \cdot A_w - (k_{b,red} + k_{b,er}) \cdot V_{sed} \right] \cdot C_{HgII}^{sed} + [k_{b,demeth} \cdot V_{sed}] \cdot C_{MeHg}^{sed}$$

$$V_b \frac{dC_{MeHg}^{sed}}{dt} = [R_{sw} \cdot f_{aq,MeHg}^{sed} + (v_{sA} \cdot f_{abio,MeHg}^{sed} + v_{sB} \cdot f_{bio,MeHg}^{sed}) \cdot A_w] \cdot C_{MeHg}^{sed} + [k_{b,er} \cdot V_{sed}] \cdot C_{MeHg}^{sed} + \left[ -R_{sw} \cdot \left( \frac{f_{sed,MeHg}}{\theta_{sed}} \right) - (v_{rs} + v_b) \cdot f_{sed,MeHg}^{sed} \cdot A_w - (k_{b,oxid} + k_{b,er}) \cdot V_{sed} \right] \cdot C_{MeHg}^{sed}$$

$$Q' = \frac{E_{12} A_{12}}{0.5 \cdot (z_2 + z_1)}$$

$$E_z = 0.0142 \cdot Z^{1.49} \cdot 365 d/yr$$

where Z is mean total depth (i.e., z1 + z2) from Mortimer, cited in Schnoor, 1996, pg. 57. for rivers, this will be different (see Schnoor)

| Matrix A     | C_Hg0 1 T | C_HgII 1 T | C_MeHg 1 T | C_Hg0 2 T | C_HgII 2 T | C_MeHg 2 T | C_Hg0 1 sed | C_HgII 1 sed | C_MeHg 1 sed | Matrix    | Solution Matrix |
|--------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-------------|--------------|--------------|-----------|-----------------|
|              | 1         | 2          | 3          | 4         | 5          | 6          | 7           | 8            | 9            | b         |                 |
| C_Hg0 1 T    | -7.31E+12 | 2.60E+11   | 6.68E+09   | 1.32E+10  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | -6.42E+08 | C_Hg0 1 T       |
| C_HgII 1 T   | 2.64E+12  | -4.91E+12  | 1.16E+08   | 0.00E+00  | 1.32E+10   | 0.00E+00   | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | -2.66E+10 | C_HgII 1 T      |
| C_MeHg 1 T   | 0.00E+00  | 6.16E+08   | -4.64E+12  | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 1.32E+10   | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | -4.81E+09 | C_MeHg 1 T      |
| C_Hg0 2 T    | 1.321E+10 | 0.000E+00  | 0.000E+00  | -3.58E+11 | 7.17E+09   | 2.42E+03   | 2.21E+08    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | 0.00E+00  | C_Hg0 2 T       |
| C_HgII 2 T   | 0.000E+00 | 6.931E+10  | 0.000E+00  | 3.44E+11  | -1.19E+11  | 1.38E+08   | 0.00E+00    | 1.54E+06     | 0.00E+00     | 0.00E+00  | C_HgII 2 T      |
| C_MeHg 2 T   | 0.000E+00 | 0.000E+00  | 4.317E+10  | 0.00E+00  | 1.38E+08   | -9.20E+10  | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 1.55E+06     | 0.00E+00  | C_MeHg 2 T      |
| C_Hg0_sed    | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 2.10E+08  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | -2.21E+08   | 0.00E+00     | 0.00E+00     | 0.00E+00  | C_Hg0_sed       |
| C_HgII_1_sed | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 1.00E+00    | 1.00E+00     | 1.00E+00     | 0.00E+00  | C_HgII_1_sed    |
| C_MeHg_1_sed | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 0.00E+00   | 0.00E+00  | 0.00E+00   | 7.86E+10   | 0.00E+00    | 3.59E+06     | -8.72E+06    | 0.00E+00  | C_MeHg_1_sed    |

A\*x=b

C\_T\_sed 0.00E+00 g/g

$$k_{w,v,j} = \frac{K_{v,d} \cdot f_{org}^{v-1}}{z_1}$$

|                  |  |       |
|------------------|--|-------|
| f_phyto_Hg0_w_1  | phytoplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column  | 0.000 |
| f_phyto_HgII_w_1 | phytoplankton particulate phase fraction of HgII in water column | 0.059 |
| f_phyto_MeHg_w_1 | phytoplankton particulate phase fraction of MeHg in water column | 0.102 |
| f_phyto_Hg0_w_2  | phytoplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column  | 0.000 |
| f_phyto_HgII_w_2 | phytoplankton particulate phase fraction of HgII in water column | 0.000 |
| f_phyto_MeHg_w_2 | phytoplankton particulate phase fraction of MeHg in water column | 0.000 |

$$\frac{[Hg(OH)] [H^+]}{[Hg^{2+}]} = 10^{-4.2}$$

|                |   |       |
|----------------|---|-------|
| f_org_Hg0_w_1  | organic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1  | 0.000 |
| f_org_HgII_w_1 | organic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1 | 0.001 |
| f_org_MeHg_w_1 | organic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1 | 0.001 |
| f_org_Hg0_w_2  | organic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2  | 0.000 |
| f_org_HgII_w_2 | organic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2 | 0.001 |
| f_org_MeHg_w_2 | organic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2 | 0.001 |

$$C_{dry}^{sed} \left[ \frac{g \ Hg}{g \ sed} \right] = \frac{C_{sed}^{bulk}}{\rho_{particle} (1 - \theta_{sed})} = \frac{\left[ \frac{g \ Hg}{m^3 \ bulk} \right]}{\left[ \frac{g \ sed}{cm^3 \ sed} \right] \left[ \frac{m^3}{m^3 \ bulk} \right] \left[ 10^6 \frac{cm^3}{m^3} \right]}$$

|               |   |          |
|---------------|---|----------|
| f_aq_Hg0_sed  | aqueous phase fraction of Hg0 in sediments  | 1.00E+00 |
| f_aq_HgII_sed | aqueous phase fraction of HgII in sediments | 6.15E-06 |
| f_aq_MeHg_sed | aqueous phase fraction of MeHg in sediments | 6.13E-05 |

|                |   |          |
|----------------|---|----------|
| f_sed_Hg0_sed  | particulate phase fraction of Hg0 in sediments  | 0.00E+00 |
| f_sed_HgII_sed | particulate phase fraction of HgII in sediments | 1.00E+00 |
| f_sed_MeHg_sed | particulate phase fraction of MeHg in sediments | 1.00E+00 |

|          |                  |      |          |
|----------|------------------|------|----------|
| L_T.Hg0  | Total Load, Hg0  | g/yr | 3.97E+02 |
| L_T.HgII | Total Load, HgII | g/yr | 1.11E+06 |
| L_T.MeHg | Total Load, MeHg | g/yr | 6.55E+04 |

**Rate Constants**

|                  |   |        |        |
|------------------|---|--------|--------|
| kw_v.Hg0         | water column volatilization loss rate constant        | per yr | 15.75  |
| kw_v.HgII        | water column volatilization loss rate constant        | per yr | 0.00   |
| kw_v.MeHg        | water column volatilization loss rate constant        | per yr | 0.42   |
| kw_oxid_1        | water column oxidation rate constant                  | per yr | 575.18 |
| kw_oxid_2        | water column oxidation rate constant                  | per yr | 525.60 |
| kw_red_1         | water column reduction rate constant, layer 1         | per yr | 56.60  |
| kw_red_2         | water column reduction rate constant, layer 2         | per yr | 10.95  |
| kw_meth_1        | water column methylation rate constant, layer 1       | per yr | 0.13   |
| kw_meth_2        | water column methylation rate constant, layer 2       | per yr | 0.21   |
| kw_demeth_1      | water column demethylation rate constant, layer 1     | per yr | 0.03   |
| kw_demeth_2      | water column demethylation rate constant, layer 2     | per yr | 0.21   |
| kw_photodegrad_1 | water column photoreduction rate for layer 1          | per yr | 1.46   |
| kw_photodegrad_2 | water column photoreduction rate for layer 2          | per yr | 0.00   |
| kw_mer           | water column mer cleavage demethylation rate constant | per yr | 0.00   |
| kb_oxid          | benthic oxidation rate constant                       | per yr | 0.00   |
| kb_red           | benthic reduction rate constant                       | per yr | 0.00   |
| kb_methy         | benthic methylation rate constant                     | per yr | 0.37   |
| kb_demeth        | benthic demethylation rate constant                   | per yr | 0.73   |
| kb_mer           | benthic mer cleavage demethylation rate constant      | per yr | 0.00   |

$$R_{sw} = \frac{E_{sw} \cdot A_w \cdot \theta_{sed}}{z_{sed}} \cdot 3.1536 \times 10^7$$

|        |                              |        |             |
|--------|------------------------------|--------|-------------|
| v_sA   | abiotic settling velocity    | m/yr   | 708.9687    |
| v_sB   | biotic settling velocity     | m/yr   | 73          |
| v_rs   | resuspension velocity        | m/yr   | 0.003700005 |
| k_mort | phytoplankton mortality rate | per yr | 10.95       |
| v_min  | mineralization rate          | per yr | 0.01        |
| v_bur  | burial rate                  | m/yr   | 0.001       |

|           |  |          |          |
|-----------|--|----------|----------|
| R_sw_Hg0  | pore water diffusive volume, Hg0       | m3/yr    | 2.10E+08 |
| R_sw_HgII | pore water diffusive volume, HgII      | m3/yr    | 2.10E+08 |
| R_sw_MeHg | pore water diffusive volume, MeHg      | m3/yr    | 2.00E+08 |
| E_sw_Hg0  | pore water diffusion coefficient, Hg0  | m2/sec   | 6.41E-10 |
| E_sw_HgII | pore water diffusion coefficient, HgII | m2/sec   | 6.41E-10 |
| E_sw_MeHg | pore water diffusion coefficient, MeHg | m2/sec   | 6.11E-10 |
| rho_s     | Sediment Particle Density              | g/cm3    | 2.65     |
| q_sed     | sediment porosity                      | cm3/cm3  | 0.95     |
| z_sed     | sediment layer, char mixing length     | m        | 0.03     |
| V_sed     | Volume of Sediment                     | Aw*z_sed | 9825000  |

|       |  |      |       |
|-------|--|------|-------|
| TSS_1 |  | mg/L | 3.89  |
| TSS+2 |  | mg/L | 12.90 |

**Effective Partition Coefficients for each Hg species and layer**

|              |                                 |      |          |
|--------------|---------------------------------|------|----------|
| K_eff_Hg0_1  | Effective K for Hg0 in layer 1  | L/kg | 0.00E+00 |
| K_eff_HgII_1 | Effective K for HgII in layer 1 | L/kg | 1.14E+05 |
| K_eff_MeHg_1 | Effective K for MeHg in layer 1 | L/kg | 1.29E+05 |
| K_eff_Hg0_2  | Effective K for Hg0 in layer 2  | L/kg | 0.00E+00 |
| K_eff_HgII_2 | Effective K for HgII in layer 2 | L/kg | 5.69E+04 |
| K_eff_MeHg_2 | Effective K for MeHg in layer 2 | L/kg | 3.99E+04 |

$$K_{eff,i}^j = \frac{(S_{abio}^j C_{abio,i}^j + S_{org}^j C_{org,i}^j + S_{phyto}^j C_{phyto,i}^j + S_{zoo}^j C_{zoo,i}^j)}{C_{diss,i}^j + C_{DOC,i}^j} = \frac{(C_{unfiltered,i}^j - C_{filtered,i}^j)}{C_{filtered,i}^j}$$



**Mercury Loading to Water Body**

$$L_{T,i} = L_{Dep,i} + L_{RI,i} + L_{RW,i} + L_{RR,i} + L_{RU,i} + L_{R,i} + L_{E,i} + L_{Diff,i}$$

| Symbol   | Parameter        | Equation | Units | Value      |
|----------|------------------|----------|-------|------------|
| L_T,Hg0  | Total Load, Hg0  |          | g/yr  | 396.91     |
| L_T,HgII | Total Load, HgII |          | g/yr  | 1114564.77 |
| L_T,MeHg | Total Load, MeHg |          | g/yr  | 65512.37   |

**Direct Deposition Load**  $L_{Dep,i} = (D_{dry,i} + D_{wet,i}) \bullet A_w$

| Symbol         | Parameter                | Equation    | Units    | Value    |
|----------------|--------------------------|-------------|----------|----------|
| L_Dep,Hg0      | Deposition Loading, Hg0  | Flux*Area   | g/yr     | 0.00E+00 |
| L_Dep,HgII     | Deposition Loading, HgII | Flux*Area   | g/yr     | 11001.38 |
| L_Dep,MeHg     | Deposition Loading, MeHg | Flux*Area   | g/yr     | 165.0207 |
| Net Flux, Hg0  |                          | D_wet+D_dry | ug/m2-yr | 0        |
| Net Flux, HgII |                          | D_wet+D_dry | ug/m2-yr | 33.592   |
| Net Flux, MeHg |                          | D_wet+D_dry | ug/m2-yr | 0.50388  |

**Wet and Dry Deposition**  $D_{wet,i} = C_{precip,i} \bullet P$

|                |                                   |  |          |        |      |
|----------------|-----------------------------------|--|----------|--------|------|
| D_dry,Hg0      | Dry Deposition Flux, Hg0          |  | ug/m2-yr | 0      | User |
| D_dry,HgII     | Dry Deposition Flux, HgII         |  | ug/m2-yr | 10     | User |
| D_dry,MeHg     | Dry Deposition Flux, MeHg         |  | ug/m2-yr | 0.15   | User |
| D_wet,Hg0      | Wet Deposition Flux, Hg0          |  | ug/m2-yr | 0      | User |
| D_wet,HgII     | Wet Deposition Flux, HgII         |  | ug/m2-yr | 23.6   | User |
| D_wet,MeHg     | Wet Deposition Flux, MeHg         |  | ug/m2-yr | 0.4    | User |
| C_Precip,Hg0   | Conc in Precip, Hg0               |  | ug/m3    | 0      | User |
| C_Precip,HgII  | Conc in Precip, HgII              |  | ug/m3    | 10     | User |
| C_Precip, MeHg | Conc in Precip, MeHg              |  | ug/m3    | 0.15   | User |
| P              | Average Annual Precipitation Rate |  | cm/yr    | 235.92 |      |

**Impervious Surface Runoff Load**  $L_{RI,i} = (D_{dry,i} + D_{wet,i}) \bullet A_{C,I} \bullet R_{I,i}$

| Symbol    | Parameter               | Equation | Units | Value     |
|-----------|-------------------------|----------|-------|-----------|
| L_RI,Hg0  | Impervious Runoff, Hg0  |          | g/yr  | 0.00      |
| L_RI,HgII | Impervious Runoff, HgII |          | g/yr  | 551449.30 |
| L_RI,MeHg | Impervious Runoff, MeHg |          | g/yr  | 8271.74   |

**Wetland Runoff Load**  $L_{RW,i} = (D_{dry,i} + D_{wet,i}) \bullet A_{C,W} \bullet R_{W,i}$

| Symbol    | Parameter            | Equation | Units | Value     |
|-----------|----------------------|----------|-------|-----------|
| L_RW,Hg0  | Wetland Runoff, Hg0  |          | g/yr  | 0.00      |
| L_RW,HgII | Wetland Runoff, HgII |          | g/yr  | 110289.86 |
| L_RW,MeHg | Wetland Runoff, MeHg |          | g/yr  | 40531.52  |

**Riparian Runoff Load**  $L_{RR,i} = (D_{dry,i} + D_{wet,i}) \bullet A_{C,R} \bullet R_{L,i}$

| Symbol    | Parameter             | Equation | Units | Value    |
|-----------|-----------------------|----------|-------|----------|
| L_RR,Hg0  | Riparian Runoff, Hg0  |          | g/yr  | 0.00     |
| L_RR,HgII | Riparian Runoff, HgII |          | g/yr  | 73526.57 |
| L_RR,MeHg | Riparian Runoff, MeHg |          | g/yr  | 11028.99 |

**Upland Runoff Load**  $L_{RU,i} = (D_{dry,i} + D_{wet,i}) \bullet A_{C,U} \bullet R_{U,i}$

| Symbol    | Parameter               | Equation | Units | Value     |
|-----------|-------------------------|----------|-------|-----------|
| L_RU,Hg0  | Impervious Runoff, Hg0  |          | g/yr  | 0.00      |
| L_RU,HgII | Impervious Runoff, HgII |          | g/yr  | 367632.86 |
| L_RU,MeHg | Impervious Runoff, MeHg |          | g/yr  | 5514.49   |

**Contaminated Soils Runoff Load**  $L_{CW,i} = kS_{RO,i} \bullet A_{C,C} \bullet z_s \bullet C_{s,i}$

| Symbol    | Parameter               | Equation | Units | Value |
|-----------|-------------------------|----------|-------|-------|
| L_RU,Hg0  | Impervious Runoff, Hg0  |          | g/yr  | 0.00  |
| L_RU,HgII | Impervious Runoff, HgII |          | g/yr  | 0.00  |
| L_RU,MeHg | Impervious Runoff, MeHg |          | g/yr  | 0.00  |

**Pervious Surface Runoff Load**  $L_{R,i} = L_{RW,i} + L_{RR,i} + L_{RU,i} + L_{CW,i}$

| Symbol   | Parameter             | Equation | Units | Value     |
|----------|-----------------------|----------|-------|-----------|
| L_R,Hg0  | Pervious Runoff, Hg0  |          | g/yr  | 0.00      |
| L_R,HgII | Pervious Runoff, HgII |          | g/yr  | 551449.30 |
| L_R,MeHg | Pervious Runoff, MeHg |          | g/yr  | 57075.00  |

**Soil Erosion Load**  $L_{E,i} = kS_{e,i} \bullet V_s \bullet C_{s,i}$

| Symbol   | Parameter          | Equation | Units | Value |
|----------|--------------------|----------|-------|-------|
| L_E,Hg0  | Erosion load, Hg0  |          | g/yr  | 0     |
| L_E,HgII | Erosion load, HgII |          | g/yr  | 0     |
| L_E,MeHg | Erosion load, MeHg |          | g/yr  | 0     |

**Gaseous Diffusion Load (Volatilization)**

| Symbol      | Parameter                    | Equation | Units | Value  |
|-------------|------------------------------|----------|-------|--------|
| L_Diff,Hg0  | Gaseous Diffusion Load, Hg0  |          | g/yr  | 396.91 |
| L_Diff,HgII | Gaseous Diffusion Load, HgII |          | g/yr  | 664.80 |
| L_Diff,MeHg | Gaseous Diffusion Load, MeHg |          | g/yr  | 0.61   |

**Gaseous Diffusion Loading**

| Symbol      | Parameter                       | Equation | Units | Value    |
|-------------|---------------------------------|----------|-------|----------|
| L_Diff,Hg0  | Gaseous Diffusion Loading, Hg0  |          | g/yr  | 3.97E+02 |
| L_Diff,HgII | Gaseous Diffusion Loading, HgII |          | g/yr  | 6.65E+02 |
| L_Diff,MeHg | Gaseous Diffusion Loading, MeHg |          | g/yr  | 6.08E-01 |
| C_a,Hg0     | Gaseous Concentration of Hg0    |          | ug/m3 | 1.60E-03 |
| C_a,HgII    | Gaseous Concentration of HgII   |          | ug/m3 | 3.00E-06 |
| C_a,MeHg    | Gaseous Concentration of MeHg   |          | ug/m3 | 3.00E-09 |

$$L_{Diff,i} = K_{v,i} \cdot A_w \cdot \left( \frac{C_{a,i} \cdot 10^{-6}}{\frac{H_i}{RT}} \right)$$

Mason, R.P., W.F. Fitzgerald, F.M.M.Morel. 1994. The biogeochemical cycling of elemental mercury: Anthropogenic Influences. Geochimica et Cosmochimica Acta. 58(15): 3191-1918  
States that the atmosphere has an average concentration of 1.6 ng/m3 = 0.0016 ug/m3 and that 98% of this is Hg0

| Symbol     | Parameter                              | Equation | Units         | Value    |
|------------|--|----------|---------------|----------|
| K_v,Hg0,T  | overall transfer rate, Hg0, adj for T  |          | m/yr          | 2.21E+02 |
| K_v,HgII,T | overall transfer rate, HgII, adj for T |          | m/yr          | 1.97E-02 |
| K_v,MeHg,T | overall transfer rate, MeHg, adj for T |          | m/yr          | 1.19E+01 |
| Theta      | T correction factor                    |          | --            | 1.026    |
| H,Hg0      | Henry's Law Constant, Hg0              |          | atm-m3/mole   | 7.10E-03 |
| H,HgII     | Henry's Law Constant, HgII             |          | atm-m3/mole   | 7.10E-10 |
| H,MeHg     | Henry's Law Constant, MeHg             |          | atm-m3/mole   | 4.70E-07 |
| R          | Universal Gas Constant                 |          | atm-m3/mole-K | 8.21E-05 |
| T          | water body temperature                 |          | Kelvin        | 297.15   |
| Aw         | Surface area of the waterbody          |          | m2            | 3.28E+08 |

**Overall transfer rate, K\_v,i**

| Symbol    | Parameter                              | Equation | Units | Value    |
|-----------|--|----------|-------|----------|
| K_v,Hg0   | overall transfer rate, Hg0             |          | m/yr  | 1.89E+02 |
| K_v,HgII  | overall transfer rate, HgII            |          | m/yr  | 1.69E-02 |
| K_v,MeHg  | overall transfer rate, MeHg            |          | m/yr  | 1.02E+01 |
| K_L,Hg0   | liquid phase transfer coefficient,Hg0  |          | m/yr  | 1.89E+02 |
| K_L,HgII  | liquid phase transfer coefficient,HgII |          | m/yr  | 1.89E+02 |
| K_L,MeHg  | liquid phase transfer coefficient,MeHg |          | m/yr  | 1.83E+02 |
| K_G, Hg0  | gas phase transfer coefficient, Hg0    |          | m/yr  | 5.80E+05 |
| K_G, HgII | gas phase transfer coefficient, HgII   |          | m/yr  | 5.80E+05 |
| K_G, MeHg | gas phase transfer coefficient, MeHg   |          | m/yr  | 5.62E+05 |

$$K_{v,i} = K_{L,i} + K_{G,i} \left( \frac{H_i}{RT_a} \right)$$

**Liquid transfer coefficient, K\_L,i**

| Symbol    | Parameter                              | Equation | Units  | Value    |
|-----------|--|----------|--------|----------|
| K_L,Hg0   | liquid phase transfer coefficient,Hg0  |          | m/yr   | 1.89E+02 |
| K_L,HgII  | liquid phase transfer coefficient,HgII |          | m/yr   | 1.89E+02 |
| K_L,MeHg  | liquid phase transfer coefficient,MeHg |          | m/yr   | 1.83E+02 |
| Sc_w,Hg0  | Schmidt number for water, Hg0          |          | --     | 2.98E+03 |
| Sc_w,HgII | Schmidt number for water, HgII         |          | --     | 2.98E+03 |
| Sc_w,MeHg | Schmidt number for water, MeHg         |          | --     | 3.12E+03 |
| Tw        | Temperature of reference water (T=20)  |          | C      | 20       |
| mw        | viscosity of water                     |          | g/cm-s | 0.019049 |

Calculated for T = 20 C (293.15 K)

$$K_{L,i} = u \cdot \left( \frac{\rho_a}{\rho_w} \right)^{0.5} \left( \frac{k^{0.33}}{\lambda_2} \right) Sc_{w,i}^{-0.67} (3.15 \times 10^7)$$

$$Sc_{w,i} = \frac{\mu_w}{\rho_w D_{w,i}}$$

$$\log(\mu_w) = \left[ \frac{1301}{998.333 + 8.155(T_w - 20) + 0.00585(T_w - 20)^2} \right] - 3.0233$$

**Gas transfer coefficient, K\_G,i**

| Symbol    | Parameter                            | Equation | Units | Value    |
|-----------|--------------------------------------|----------|-------|----------|
| K_G, Hg0  | gas phase transfer coefficient, Hg0  |          | m/yr  | 5.80E+05 |
| K_G, HgII | gas phase transfer coefficient, HgII |          | m/yr  | 5.80E+05 |
| K_G, MeHg | gas phase transfer coefficient, MeHg |          | m/yr  | 5.62E+05 |
| Sc_a,Hg0  | Schmidt number for air, Hg0          |          | --    | 2.81E+00 |
| Sc_a,HgII | Schmidt number for air, HgII         |          | --    | 2.81E+00 |
| Sc_a,MeHg | Schmidt number for air, MeHg         |          | --    | 2.94E+00 |

Calculated for T = 20 C (293.15 K)

$$Sc_{a,i} = \frac{v_a}{D_{a,i}}$$

$$K_{G,i} = u \cdot \left( \frac{k^{0.33}}{\lambda_2} \right) Sc_{a,i}^{-0.67} (3.15 \times 10^7)$$

**Parameters used in calculations of transfer coefficients**

| Symbol | Parameter                               | Equation     | Units   | Value     |
|--------|---|--------------|---------|-----------|
| u      | shear velocity                          | u=sqrt(Cd)*W | m/s     | 0.1989975 |
| Cd     | drag coefficient                        |              | --      | 0.0011    |
| W      | wind velocity, 10 m above water surface |              | m/s     | 6         |
| ra     | density of air                          |              | g/cm3   | 1.20E-03  |
| rw     | density of water                        |              | g/cm3   | 0.99824   |
| k      | von Karman's constant                   |              |         | 0.4       |
| l2     | viscous sublayer thickness              |              |         | 4         |
| va     | dynamic viscosity of air                |              | cm2/sec | 0.1554    |
| Ta     | air temperature                         |              | C       | 26        |

$$\mu^* = C_d^{0.5} W$$

density 1.204 kg/m3 at 20 C [if we want to change with T, we'll need formula]

$$\rho_w = 1 - 8.8 \times 10^{-5} T_w$$

$$v_a = (1.32 + 0.009 \cdot T_a) \times 10^{-4}$$

### Divalent Mercury Speciation

Predominant Mercury Species Present

|                                   | log K | alphas   |          |          |
|-----------------------------------|-------|----------|----------|----------|
|                                   |       | layer 1  | layer 2  | Sediment |
| Hg <sup>++</sup>                  | --    | 1.58E-08 | 1.58E-08 | 1.58E-08 |
| HgCl <sub>2</sub>                 | 13.2  | 1.80E-05 | 1.80E-05 | 1.80E-05 |
| Hg(OH) <sub>2</sub>               | 21.8  | 1.00E+00 | 1.00E+00 | 1.00E+00 |
| Hg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 1.34  | 1.80E-14 | 1.80E-14 | 1.80E-14 |
| HgS                               | -53   | 4.94E-75 | 4.94E-75 | 4.94E-75 |

|                               |         | layer 1  | layer 2  | Sediment |
|-------------------------------|---------|----------|----------|----------|
| Cl <sup>-</sup>               | Moles/L | 8.46E-06 | 8.46E-06 | 8.46E-06 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Moles/L | 5.21E-08 | 5.21E-08 | 5.21E-08 |
| S <sup>2-</sup>               | Moles/L | 3.12E-14 | 3.12E-14 | 3.12E-14 |
| OH <sup>-</sup>               | Moles/L | 1.00E-07 | 1.00E-07 | 1.00E-07 |

|    |    |   |   |   |
|----|----|---|---|---|
| pH | -- | 7 | 7 | 7 |
|----|----|---|---|---|

Concentrations

|                               |      | layer 1 | layer 2 | Sediment |
|-------------------------------|------|---------|---------|----------|
| Cl <sup>-</sup>               | mg/L | 0.3     | 0.3     | 0.3      |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | mg/L | 5.0E-03 | 5.0E-03 | 5.0E-03  |
| S <sup>2-</sup>               | mg/L | 1.0E-09 | 1.0E-09 | 1.0E-09  |

Molecular Weights

|                               |     |        |        |        |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|
| Cl <sup>-</sup>               | amu | 35.45  | 35.45  | 35.45  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | amu | 96.056 | 96.056 | 96.056 |
| S <sup>2-</sup>               | amu | 32.06  | 32.06  | 32.06  |

$$[Hg^{++}] = \alpha_0 C_{T, Hg^{++}}$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{1 + K_{HgCl} [Cl^-]^2 + K_{Hg(OH)_2} [OH^-]^2 + K_{HgSO_4} [SO_4^{2-}] + K_{HgS} [S^{2-}]}$$

$$\alpha_1 = K_{HgCl} [Cl^-]^2 \alpha_0$$

$$\alpha_2 = K_{Hg(OH)_2} [OH^-]^2 \alpha_0$$

$$\alpha_3 = K_{HgSO_4} [SO_4^{2-}] \alpha_0$$

$$\alpha_4 = K_{HgS} [S^{2-}] \alpha_0$$

Assumption

Cl<sup>-</sup> = Total Chloride

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = Total Sulfate

S<sup>2-</sup> = Total Sulfide

| Symbol           | Parameter   | Equation | Units        | Value   |
|------------------|---|----------|--------------|---|
| f_aq_Hg0_w_1     | aqueous phase fraction of Hg0 in water column, layer 1                    |          |              | 1.00E+00                                      |
| f_aq_Hg0_w_2     | aqueous phase fraction of Hg0 in water column, layer 2                    |          |              | 1.00E+00                                      |
| f_aq_HgII_w_1    | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 1                   |          |              | 3.68E-01                                      |
| f_aq_HgII_w_2    | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 2                   |          |              | 1.64E-01                                      |
| f_aq_MeHg_w_1    | aqueous phase fraction of MeHg in water column, layer 1                   |          |              | 4.93E-01                                      |
| f_aq_MeHg_w_2    | aqueous phase fraction of MeHg in water column, layer 2                   |          |              | 3.30E-01                                      |
| f_DOC_Hg0_w_1    | DOC complexed fraction of Hg0 in water column, layer 1                    |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_DOC_Hg0_w_2    | DOC complexed fraction of Hg0 in water column, layer 2                    |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_DOC_HgII_w_1   | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 1                   |          |              | 3.24E-01                                      |
| f_DOC_HgII_w_2   | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 2                   |          |              | 4.13E-01                                      |
| f_DOC_MeHg_w_1   | DOC complexed fraction of MeHg in water column, layer 1                   |          |              | 1.73E-01                                      |
| f_DOC_MeHg_w_2   | DOC complexed fraction of MeHg in water column, layer 2                   |          |              | 3.30E-01                                      |
| f_abio_Hg0_w_1   | abiotic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1        |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_abio_Hg0_w_2   | abiotic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2        |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_abio_HgII_w_1  | abiotic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1       |          |              | 2.42E-01                                      |
| f_abio_HgII_w_2  | abiotic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2       |          |              | 4.23E-01                                      |
| f_abio_MeHg_w_1  | abiotic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1       |          |              | 1.29E-01                                      |
| f_abio_MeHg_w_2  | abiotic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2       |          |              | 3.38E-01                                      |
| f_zoo_Hg0_w_1    | zooplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1    |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_zoo_Hg0_w_2    | zooplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2    |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_zoo_HgII_w_1   | zooplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1   |          |              | 7.34E-03                                      |
| f_zoo_HgII_w_2   | zooplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2   |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_zoo_MeHg_w_1   | zooplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1   |          |              | 1.02E-01                                      |
| f_zoo_MeHg_w_2   | zooplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2   |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_phyto_Hg0_w_1  | phytoplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1  |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_phyto_Hg0_w_2  | phytoplankton particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2  |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_phyto_HgII_w_1 | phytoplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1 |          |              | 5.88E-02                                      |
| f_phyto_HgII_w_2 | phytoplankton particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2 |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_phyto_MeHg_w_1 | phytoplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1 |          |              | 1.02E-01                                      |
| f_phyto_MeHg_w_2 | phytoplankton particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2 |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_org_Hg0_w_1    | organic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 1        |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_org_Hg0_w_2    | organic particulate phase fraction of Hg0 in water column, layer 2        |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_org_HgII_w_1   | organic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 1       |          |              | 6.38E-04                                      |
| f_org_HgII_w_2   | organic particulate phase fraction of HgII in water column, layer 2       |          |              | 5.44E-04                                      |
| f_org_MeHg_w_1   | organic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 1       |          |              | 1.11E-03                                      |
| f_org_MeHg_w_2   | organic particulate phase fraction of MeHg in water column, layer 2       |          |              | 1.42E-03                                      |
| f_aq_Hg0_sed     | aqueous phase fraction of Hg0 in sediments                                |          |              | 1.00E+00                                      |
| f_aq_HgII_sed    | aqueous phase fraction of HgII in sediments                               |          |              | 6.15E-06                                      |
| f_aq_MeHg_sed    | aqueous phase fraction of MeHg in sediments                               |          |              | 6.13E-05                                      |
| f_sed_Hg0_sed    | particulate phase fraction of Hg0 in sediments                            |          |              | 0.00E+00                                      |
| f_sed_HgII_sed   | particulate phase fraction of HgII in sediments                           |          |              | 1.00E+00                                      |
| f_sed_MeHg_sed   | particulate phase fraction of MeHg in sediments                           |          |              | 1.00E+00                                      |
| Sbio_phyto,1     | Concentration of Phytoplankton, Layer 1                                   |          | g/m3         | 0.4 from 'Solids Balance'                     |
| Sbio_zoo,1       | Concentration of Zooplankton, Layer 1                                     |          | g/m3         | 0.2   |
| Sbio_phyto,2     | Concentration of Phytoplankton, Layer 2                                   |          | g/m3         | 0   |
| Sbio_zoo,2       | Concentration of Zooplankton, Layer 2                                     |          | g/m3         | 0   |
| Sabio_1          | Concentration of suspended inorganic particles, Layer 1                   |          | g/m3         | 3.29  |
| Sabio_2          | Concentration of suspended inorganic particles, Layer 2                   |          | g/m3         | 12.89   |
| Sbio_dead,1      | Concentration of non-living (dead) particles, Layer 1                     |          | g/m3         | 0.00  |
| Sbio_dead,2      | Concentration of non-living (dead) particles, Layer 2                     |          | g/m3         | 0.01  |
| S_abio_sed       | Concentration of inorganic particles in sediment                          |          | g/m3         | 1,944,551.06                                  |
| S_bio_dead_sed   | Concentration of non-living (dead) particles in sediment                  |          | g/m3         | 121.24  |
| DOC_1            | Dissolved Organic Carbon Concentration in Layer 1                         |          | g/m3         | 3.5   |
| DOC_2            | Dissolved Organic Carbon Concentration in Layer 2                         |          | g/m3         | 10  |
| <b>Symbol</b>    | <b>Parameter</b>  |          | <b>Units</b> | <b>Value</b>                                  |
| K_aq_abio_Hg0    | partition coefficient for Hg0 to abiotic solids                           |          | L/kg         | 0   |
| K_aq_abio_HgII   | partition coefficient for HgII to abiotic solids                          |          | L/kg         | 199526.2315                                   |
| K_aq_abio_MeHg   | partition coefficient for MeHg to abiotic solids                          |          | L/kg         | 79432.82347                                   |
| K_aq_phyto_Hg0   | partition coefficient for Hg0 to phytoplankton                            |          | L/kg         | 0   |
| K_aq_phyto_HgII  | partition coefficient for HgII to phytoplankton                           |          | L/kg         | 399052.463                                    |
| K_aq_phyto_MeHg  | partition coefficient for MeHg to phytoplankton                           |          | L/kg         | 516313.3526                                   |
| K_aq_zoo_Hg0     | partition coefficient for Hg0 to zooplankton                              |          | L/kg         | 0   |
| K_aq_zoo_HgII    | partition coefficient for HgII to zooplankton                             |          | L/kg         | 99763.11575 assumed to be 0.25* phytoplankton |
| K_aq_zoo_MeHg    | partition coefficient for MeHg to zooplankton                             |          | L/kg         | 1032626.705 assumed to be 2 * phytoplankton   |
| K_aq_org_Hg0     | partition coefficient for Hg0 to dead biomass                             |          | L/kg         | 0 assumed the same as phytoplankton           |
| K_aq_org_HgII    | partition coefficient for HgII to dead biomass                            |          | L/kg         | 399052.463 assumed the same as phytoplankton  |
| K_aq_org_MeHg    | partition coefficient for MeHg to dead biomass                            |          | L/kg         | 516313.3526 assumed the same as phytoplankton |
| K_DOC_Hg0        | partition coefficient for Hg0 to DOC                                      |          | L/kg         | 0   |
| K_DOC_HgII       | partition coefficient for HgII to DOC                                     |          | L/kg         | 251188.6432                                   |
| K_DOC_MeHg       | partition coefficient for MeHg to DOC                                     |          | L/kg         | 100000  |
| K_B_Hg0          | partition coefficient for Hg0 to benthic solids                           |          | L/kg         | 0   |
| K_B_HgII         | partition coefficient for HgII to benthic solids                          |          | L/kg         | 79432.82347                                   |
| K_B_MeHg         | partition coefficient for MeHg to benthic solids                          |          | L/kg         | 7943.282347                                   |
| q_B              | sediment porosity   |          | L/L          | 0.95  |

$$f_{aq,i}^{w,j} = \frac{1}{1 + 10^6 (K_{abio}^{aq} \cdot S_{abio} + K_{bio\_zoo}^{aq} \cdot S_{bio\_zoo} + K_{bio\_phyto}^{aq} \cdot S_{bio\_phyto} + K_{bio\_dead}^{aq} \cdot S_{bio\_dead} + K_{DOC} \cdot S_{DOC})}$$

$$f_{abio,i}^{w,j} = \frac{K_{abio}^{aq} \cdot S_{abio} \cdot 10^6}{1 + 10^6 (K_{abio}^{aq} \cdot S_{abio} + K_{bio\_zoo}^{aq} \cdot S_{bio\_zoo} + K_{bio\_phyto}^{aq} \cdot S_{bio\_phyto} + K_{bio\_dead}^{aq} \cdot S_{bio\_dead} + K_{DOC} \cdot S_{DOC})} = K_{abio}^{aq} \cdot S_{abio} \cdot 10^6 \cdot f_{aq,i}^{w,j}$$

$$f_{DOG,i}^{w,j} = \frac{K_{DOG} \cdot S_{DOC} \cdot 10^6}{1 + 10^6 (K_{abio}^{aq} \cdot S_{abio} + K_{bio\_zoo}^{aq} \cdot S_{bio\_zoo} + K_{bio\_phyto}^{aq} \cdot S_{bio\_phyto} + K_{bio\_dead}^{aq} \cdot S_{bio\_dead} + K_{DOC} \cdot S_{DOC})} = K_{DOG} \cdot S_{DOC} \cdot 10^6 \cdot f_{aq,i}^{w,j}$$

$$f_{zoo,i}^{w,j} = K_{zoo,i}^{aq} \cdot S_{zoo}^{w,j} \cdot 10^{-6} \cdot f_{aq,i}^{w,j}$$

$$f_{aq,i}^{sed} = \frac{\theta_{sed}}{\theta_{sed} + K_{abio,i}^{sed} \cdot S_{abio,i}^{sed} \cdot 10^{-6} + K_{bio\_dead,i}^{sed} \cdot S_{bio\_dead,i}^{sed} \cdot 10^{-6}}$$

$$f_{sed,i}^{sed} = 1 - f_{aq,i}^{sed}$$

**Solids Balance**

|                |          |      |       |       |      |
|----------------|----------|------|-------|-------|------|
| Sbio_phyto,1   | g/m3     | 0.4  | TSS_1 | 3.89  | mg/L |
| Sbio_zoo,1     | 0.2      |      | TSS_2 | 12.90 | mg/L |
| Sbio_phyto,2   | 0        |      |       |       |      |
| Sbio_zoo,2     | 0        |      |       |       |      |
| Sabio_1        | 3.29E+00 |      |       |       |      |
| Sabio_2        | 1.29E+01 |      |       |       |      |
| Sbio_dead,1    | 4.35E-03 |      |       |       |      |
| Sbio_dead,2    | 8.30E-03 |      |       |       |      |
| S_abio_sed     | 1.94E+06 |      |       |       |      |
| S_bio_dead,sed | 1.21E+02 |      |       |       |      |
| S_sed,total    | 1.94E+06 | g/m3 |       |       |      |

**Parameters for Solids Balance**

| Symbol         | Parameter                             | Units                            | Value       | Notes                            |
|----------------|---------------------------------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|
| A_w            | Surface Area of Water Body            | m <sup>2</sup>                   | 3.28E+08    | Link                             |
| A_c            | Surface Area of Catchment             | m <sup>2</sup>                   | 1.09E+11    | Link                             |
| Q_in           | Water Inflow                          | m <sup>3</sup> /yr               | 4.59E+12    | Link                             |
| Q_out          | Water Outflow                         | m <sup>3</sup> /yr               | 4.59E+12    | Link                             |
| Sabio_in       | Abiotic solids in water inflow        | g/m <sup>3</sup>                 | 0           | User                             |
| Sbio_phyto,in  | Phytoplankton biotic solids in water  | g/m <sup>3</sup>                 | 0           | User                             |
| Sbio_zoo,in    | Zooplankton biotic solids in water in | g/m <sup>3</sup>                 | 0           | User                             |
| Sbio_phyto,1   | Phytoplankton Conc. in layer 1        | g/m <sup>3</sup>                 | 0.4         | Model 1                          |
| Sbio_zoo,1     | Zooplankton Conc. in layer 1          | g/m <sup>3</sup>                 | 0.2         | Model 2                          |
| Sbio_phyto,2   | Phytoplankton Conc. in layer 2        | g/m <sup>3</sup>                 | 0           | set to 0 3                       |
| Sbio_zoo,2     | Zooplankton Conc. in layer 2          | g/m <sup>3</sup>                 | 0           | set to 0 3                       |
| rho_s          | sediment density                      | g/cm <sup>3</sup>                | 2.65        | assumed default (range: 2 - 2.7) |
| q_sed          | Sediment porosity                     | cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> | 0.95        | Default                          |
| d_s            | sediment particle diameter            | um                               | 5           | Default: mid-silt                |
| v_sA           | abiotic settling velocity             | m/day                            | 1.94        | Modeled                          |
| v_sB           | biotic settling velocity              | m/day                            | 0.2         | Default                          |
| v_rs_abio      | resuspension velocity, abiotic        | m/day                            | 1.01E-05    | Default                          |
| v_rs_abio_dead | resuspension velocity,dead biotic     | m/day                            | 9           | 5                                |
| k_mort_1       | phytoplankton mortality rate in laye  | per day                          | 0.03        | Default                          |
| k_mort_2       | phytoplankton mortality rate in laye  | per yr                           |             | 8                                |
| v_sA           | abiotic settling velocity             | m/yr                             | 708.97      | Link                             |
| v_sB           | biotic settling velocity              | m/yr                             | 73          | Link                             |
| v_rs           | resuspension velocity                 | m/yr                             | 3.70E-03    | Link                             |
| k_mort         | phytoplankton mortality rate          | per yr                           | 10.95       | Link                             |
| d_sed          | Depth of sediment layer               | m                                | 0.030       | default                          |
| v_min          | mineralization rate                   | per yr                           | 0.01        | mid of R-MCM                     |
| A=             | R*K*LS*C                              | kg/m <sup>2</sup> -yr            | 2.778       | 10 RUSLE Result                  |
| LSE            | watershed solids erosion load         | kg/m <sup>2</sup> -yr            | 0.146       | 11 Adjusted for loss             |
| z1             | Layer 1 water depth                   | m                                | 14          | Link                             |
| z2             | Layer 2 water depth                   | m                                | 2           | Link                             |
| E12            | Exchange Rate between layers          | m <sup>2</sup> /yr               | 322.6413179 | currently no exchange            |
| A12            | interfacial area of epi/hyp           | m                                | 327500000   | (currently set to Aw)            |
| Q'             | Bulk Exchange Flow                    | m <sup>3</sup> /yr               | 13208128952 | modeled as 0                     |
| Vw_1           | Volume of Layer 1                     | m <sup>3</sup>                   | 4585000000  | Link                             |
| Vw_2           | Volume of Layer 2                     | m <sup>3</sup>                   | 655000000   | Link                             |
| LSB            | net internal production rate of biota | g/m <sup>2</sup> -yr             | 456.25      | Model 5                          |
| v_b            | burial velocity                       | m/yr                             | 0.001       | ??                               |
| Theta_sed      | Sediment porosity                     | --                               | 0.95        | Default                          |

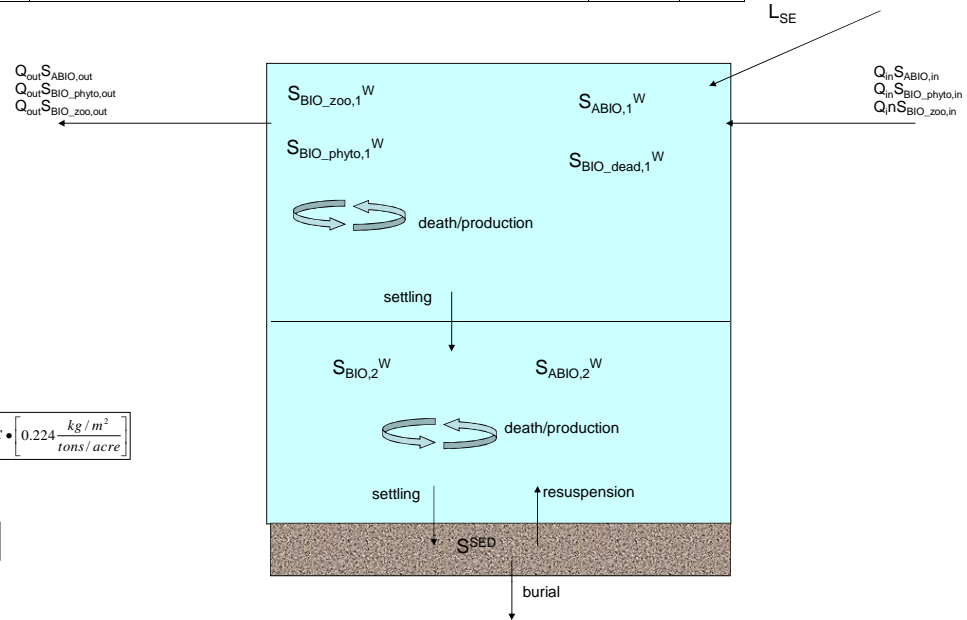
$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot \left[ 0.224 \frac{kg}{m^2} \right] \left[ \frac{tons}{acre} \right]$$

$$L_{adj} = S_{sed} \cdot A \cdot [kg/m^2/yr]$$

$$S_{sed} = 1.26 \cdot A_c^{-0.125}$$

$$Q' = \frac{E_{12} \cdot A_{12}}{0.5 \cdot (z_2 + z_1)}$$

| Matrix A       | S        |           |              |              |             |                | b              | Solution Matrix |
|----------------|----------|-----------|--------------|--------------|-------------|----------------|----------------|-----------------|
|                | S_abio,1 | S_abio,2  | S_bio_dead,1 | S_bio_dead,2 | S_abio,sed  | S_bio_dead,sed |                |                 |
| S_abio,1       | 4.80E+12 | 1.32E+10  | 0            | 0            | 0           | 1.60E+13       | S_abio,1       | 3.29E+00        |
| S_abio,2       | 2.45E+11 | -2.45E+11 | 0            | 0            | 1211751.638 | 0              | S_abio,2       | 1.29E+01        |
| S_bio_dead,1   | 0        | 0         | 4.60E+12     | 1.32E+10     | 0           | 0              | S_bio_dead,1   | 4.35E-03        |
| S_bio_dead,2   | 0        | 0         | 3.71E+10     | -3.71E+10    | 0           | 1.21E+06       | S_bio_dead,2   | 8.30E-03        |
| S_abio,sed     | 0        | 2.52E+11  | 0            | 0            | -1.54E+06   | 0              | S_abio,sed     | 1.94E+06        |
| S_bio_dead,sed | 0        | 0         | 0            | 2.39E+10     | 0           | -1.64E+06      | S_bio_dead,sed | 1.21E+02        |



**Revised Universal Soil Loss Equation**

|   |                         |                                   |      |
|---|-------------------------|-----------------------------------|------|
| Part of the Country Eastern (1) or West (2) |                         | 1                                 | East |
| A   | kg/m <sup>2</sup> -yr   | 2.7776                            |      |
| R   | Soil Erosivity Factor   | 100                               | 12   |
| K   | Soil Erodibility Factor | (tons/acre)/(kg/km <sup>2</sup> ) | 0.31 |
| LS  | Topographic Factor      | --                                | 10   |
| C   | Cover Management Factor | --                                | 0.04 |

|                               |        |         |       |         |
|-------------------------------|--------|---------|-------|---------|
| 1 Modeled from Wetzel.        | Oligo  | Meso    | Eutro | Dystro  |
| Wetzel (mg C/m <sup>3</sup> ) | 20-100 | 100-300 | >300  | <50-200 |
| Used (mg C/m <sup>3</sup> )   | 60     | 200     | 500   | 125     |
| Used (g/m <sup>3</sup> )      | 0.12   | 0.4     | 1     | 0.25    |

assumed 2 g phytoplankton per 1 g C.

2 Assumed one half as much zooplankton as phytoplankton (need to check on this)

3 currently assume all zooplankton and phytoplankton are in upper layer

4 User should enter the mean particle size diameter.

This is an area where a more refined approach could be used using particle distributions.

Sands should not be included in the distribution, because they will tend to settle immediately and not resuspend.

See below for typical ranges of particles

Modeling at steady-state, the mortality rate is equal to the negative of the growth rate.

mortality is modeled as first order, and productivity is a flux, so divide productivity by phyto concentration and thickness of layer.

|                                   |        |          |       |         |
|-----------------------------------|--------|----------|-------|---------|
| 5 Modeled from Wetzel             |        |          |       |         |
| Wetzel (mg C/m <sup>2</sup> /day) | 50-300 | 250-1000 | >1000 | <50-500 |
| Used (mg C/m <sup>2</sup> /day)   | 175    | 625      | 1250  | 275     |
| Used (g/m <sup>2</sup> /yr)       | 127.75 | 456.25   | 912.5 | 200.75  |

**6 Particle Size Distributions**

|      |           | Size Range (um) |
|------|-----------|-----------------|
| Silt | Coarse    | 62 - 31         |
|      | Medium    | 31 - 16         |
|      | Fine      | 16 - 8          |
|      | Very Fine | 8 - 4           |
| Clay | Coarse    | 4-2             |
|      | Medium    | 2-1             |
|      | Fine      | 1-0.5           |
|      | Very Fine | 0.5-0.24        |

7 From Mercury Report to Congress, 1997. citing Bowie, et al., 1985. settling is 0.02 - 2 m/day, 0.2 was used.

8 From Mercury Report to Congress, 1997. citing Bowie, et al., 1985. range from 0.003 to 0.17 per day

9 From Mercury Report to Congress, 1997. estimate resuspension as 0.0037 m/yr

10 Soil Erosion from Mercury Report to Congress, 1997. Default 200 kg/km<sup>2</sup>/yr for Western locations default 53 kg/m<sup>2</sup>/yr

11 Sediment Delivery Ratio to Water Body

12 200 is the mid-range Eastern value, but decreases in the north and increases in the south

In Alabama and Mississippi, values reach in to the 400s, while in Michigan they fall below 100.

## Kinetic Rate Constants

### Water column Abiotic Methylation of HgII => MeHg

| Symbol         | Parameter   | Equation | Units   | Value    | Notes      |
|----------------|---|----------|---------|----------|------------|
| k_meth_1       | abiotic methylation in layer 1                          |          | per day | 0.001    | 1 2        |
| k_meth_2       | abiotic* methylation in layer 2                         |          | per day | 0.01     | 1 4        |
| k_meth_1       | abiotic methylation in layer 1                          |          | per yr  | 0.365    |            |
| k_meth_2       | abiotic* methylation in layer 2                         |          | per yr  | 3.65     |            |
| f_aq_HgII_w_1  | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 1 |          |         | 0.36809  | 3          |
| f_aq_HgII_w_2  | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 2 |          |         | 0.16428  |            |
| f_DOC_HgII_w_1 | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 1 |          |         | 0.32361  |            |
| f_DOC_HgII_w_2 | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 2 |          |         | 0.41264  |            |
| k_meth_1       | abiotic methylation in layer 1                          |          | per yr  | 1.34E-01 |            |
| k_meth_2       | abiotic* methylation in layer 2                         |          | per yr  | 2.11E-01 | if anoxic: |

$$k_{meth} = k_{meth,base} * f_{HgII}^{aq}$$

$$k_{meth} = k_{meth,base} * (f_{HgII}^{aq} + f_{HgII}^{DOC})$$

Notes

- 1 Mercury Report to Congress
- 2 Value used is the same as the one used in the Mercury Report to Congress. This is a mid-range value in a range of 0.0001 - 0.003 per day as reported in Gilmour and Henry, 1991. Ranges of values are presented in the Methylation in Water Column table.
- 3 According to research done by Matilainen, and Verta, 1995, abiotic methylation was suppressed by color and particulates suggesting that only aqueous dissolved (non-DOC complexed) HgII is the only reacting mercury. Also in this article, DOC increased the rate of biotic demethylation suggesting that biotic reactions can happen to both DOC-complexed and aqueous. Therefore, these reactions are multiplied by the associated fractions
- 4 If the hypolimnion is anoxic, then methylation occurs in the hypolimnion at a rate of 0.01 per day. The \* denotes that biotic methylation is occurring if there is anoxia

### Sediment Biotic Methylation of HgII => MeHg

| Symbol   | Parameter                       | Equation | Units   | Value | Notes |
|----------|---------------------------------|----------|---------|-------|-------|
| k_meth_b | biotic methylation in sediments |          | per day | 0.001 | 1 2   |
| k_meth_b | biotic methylation in sediments |          | per yr  | 0.365 |       |

Notes

- 1 Mercury Report to Congress presents 0.0001 per day
- 2 from Hintelmann, H., K. Keppel-Jones, R. D. Evans. 2000. Constants of mercury methylation and demethylation rates in sediments and comparison of tracer and ambient mercury availability. Environ. Tox. Chem. 19(9): 2204-2211. present methylation of new HgII as 0.012 - 0.016/d, while old mercury is 0.001/day

### Water column Demethylation of MeHg => HgII

| Symbol         | Parameter   | Equation | Units   | Value    | Notes |
|----------------|---|----------|---------|----------|-------|
| k_demeth_1     | biotic demethylation in layer 1                         |          | per day | 0.0001   | 1     |
| k_demeth_2     | biotic demethylation in layer 2                         |          | per day | 0.001    |       |
| k_demeth_1     | biotic demethylation in layer 1                         |          | per yr  | 0.0365   |       |
| k_demeth_2     | biotic demethylation in layer 2                         |          | per yr  | 0.365    |       |
| f_aq_HgII_w_1  | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 1 |          |         | 3.68E-01 |       |
| f_aq_HgII_w_2  | aqueous phase fraction of HgII in water column, layer 2 |          |         | 1.64E-01 |       |
| f_DOC_HgII_w_1 | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 1 |          |         | 3.24E-01 |       |
| f_DOC_HgII_w_2 | DOC complexed fraction of HgII in water column, layer 2 |          |         | 4.13E-01 |       |
| k_demeth_1     | biotic demethylation in layer 1                         |          | per yr  | 2.52E-02 |       |
| k_demeth_2     | biotic demethylation in layer 2                         |          | per yr  | 2.11E-01 |       |

$$k_{demeth} = k_{demeth,base} * (f_{HgII}^{aq} + f_{HgII}^{DOC})$$

Notes

- 1 From Matilainen and Verta. 1995. Mercury methylation and demethylation in aerobic surface waters Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 52:1597-1608. mean rates used. Needs to be investigated for dependencies on DOC, particulates, temperature, color. According to research done by Matilainen, and Verta, 1995, abiotic methylation was suppressed by color and particulates suggesting that only aqueous dissolved (non-DOC complexed) HgII is the only reacting mercury. Also in this article, DOC increased the rate of biotic demethylation suggesting that biotic reactions can happen to both DOC-complexed and aqueous. Therefore, these reactions are multiplied by the associated fractions

### Sediment Biotic Demethylation of MeHg => HgII

| Symbol     | Parameter                         | Equation | Units   | Value | Notes |
|------------|-----------------------------------|----------|---------|-------|-------|
| k_demeth_b | biotic demethylation in sediments |          | per day | 0.002 | 1 2   |
| k_demeth_b | biotic demethylation in sediments |          | per yr  | 0.73  |       |

Notes

- 1 Mercury Report to Congress
- 2 from Hintelmann, H., K. Keppel-Jones, R. D. Evans. 2000. Constants of mercury methylation and demethylation rates in sediments and comparison of tracer and ambient mercury availability. Environ. Tox. Chem. 19(9): 2204-2211. present demethylation of new HgII as 0.416 - 0.528/d, while old mercury is 0.390/day

**Reduction of HgII (Biotic): HgII -> Hg0**

| Symbol         | Parameter                         | Equation | Units   | Value    | Notes  |
|----------------|-----------------------------------|----------|---------|----------|--|
| kw_basered     | base reduction rate               |          | per day | 0.03     | 2  |
| kw_basered_sed | base reduction rate in sediments  |          | per day | 0        | * currently assume no reduction in sediments |
| alpha_red_1    | ratio of Hg(OH)2 to HgII, layer 1 |          | --      | 1.00     | 3  |
| alpha_red_2    | ratio of Hg(OH)2 to HgII, layer 2 |          | --      | 1.00     |  |
| alpha_red_sed  | ratio of Hg(OH)2 to HgII, sed     |          | --      | 1.00     |  |
| kw_red_1       | abiotic reduction in layer 1      |          | per day | 3.00E-02 |  |
| kw_red_2       | abiotic reduction in layer 2      |          | per day | 3.00E-02 |  |
| kb_red         | abiotic reduction in sediment     |          | per day | 0.00E+00 |  |
| kw_red_1       | abiotic reduction in layer 1      |          | per yr  | 10.95    |  |
| kw_red_2       | abiotic reduction in layer 2      |          | per yr  | 10.95    |  |
| kb_red         | abiotic reduction in sediment     |          | per yr  | 0.00     |  |

Notes

- 1 Chlorine Conc assumed to be 0.3 mg/L (from R-MCM) need to research this, or have user enter reasonable value.
- 2 Value of 0.03/day is used in R-MCM, this needs to be researched for a more supportable value  
Value of 0.03/day is taken from Mason, R.P., F.M.M. Morel, H.F.Hemond. 1995. The Role of Microorganisms in Elemental Mercury Formation in Natural Waters. Water, Air, and Soil Pollution. 80: 775-787. Mean lake value of 2% to 4% per day. This rate varies over the year, possibly along with microorganism activity. Only mercury in the form of [Hg(OH)2] can be reduced from HgII to HgO  
For most surface water bodies, Hg(OH)2 (dissolved) is the dominant mercury species, this is a function of pH and redox potential, for more reduced waters, Hg0 will dominate, in more reduced and acidic water, HgCl2 will dominate. This should be further researched.
- 3 Speciation of mercury is calculated in "Speciation" spreadsheet and linked here

**Photo-Degradation (MeHg -> Hg0)**

|                 |                                   |  |                      |          |   |
|-----------------|-----------------------------------|--|----------------------|----------|---|
| k_photored_base | base photoreduction rate constant |  | per day per E/m2-day | 0.002    | 1 |
| k_photored_1    | MeHg photored rate constant 1     |  | per day              | 3.99E-03 |   |
| k_photored_2    | MeHg photored rate constant 2     |  | per day              | 1.01E-08 |   |
| k_photored_1    | MeHg photored rate constant 1     |  | per year             | 1.46E+00 |   |
| k_photored_2    | MeHg photored rate constant 2     |  | per year             | 3.69E-06 |   |

Notes

- 1 From Sellers, P., C.A. Kelly, J.W.M. Rudd, A.R. MacHutchon. 1996. Photodegradation of Methylmercury in Lakes. Nature. 380(25). April  
From Fig. 2a. k=0.0022\*PAR  
From Fig. 2b. k=0.0019\*PAR      Value used: 0.002\*PAR      PAR = E/m2-day

**Photo-Reduction (HgII -> Hg0)**

|                        |  |  |                        |        |                                    |     |
|------------------------|--|--|------------------------|--------|------------------------------------|-----|
| k_photo_vis,study      | rate for vis = 21 W/m2                 |  | per hr                 | 1      | 1                                  | 1   |
| k_photo_UV-B,study     | rate for UV-B = 0.4 W/m2               |  | per hr                 | 1.2    | 1                                  | 1.2 |
| k_photoreduct_base_vis | base photoreduction rate constant, vis |  | per hour per uE/m2-sec | 0.0010 | calculated for comparison to input |     |
| k_photoreduct_base_vis | base photoreduction rate constant, vis |  | per day per E/m2-day   | 0.0300 |                                    |     |

$$k_{\text{photored}_i} = k_{\text{photored}_base} * \bar{E}$$

|                          |   |  |                        |       |                                    |  |
|--------------------------|---|--|------------------------|-------|------------------------------------|--|
| k_photoreduct_base_UV-B  | base photoreduction rate constant, UV-B |  | per hour per uE/m2-sec | 0.10  | calculated for comparison to input |  |
| k_photoreduct_base_UV-B  | base photoreduction rate constant, UV-B |  | per day per E/m2-day   | 28.25 |                                    |  |
| k_photoreduct_avg_1,vis  | Avg rate over layer 1, vis              |  | per day                | 0.06  |                                    |  |
| k_photoreduct_avg_2,vis  | Avg rate over layer 2, vis              |  | per day                | 0.00  |                                    |  |
| k_photoreduct_avg_1,UV-B | Avg rate over layer 1, UV-B             |  | per day                | 0.07  |                                    |  |
| k_photoreduct_avg_2,UV-B | Avg rate over layer 1, UV-B             |  | per day                | 0.00  |                                    |  |
| k_photoreduct_1          | sum of vis + UV-B                       |  | per day                | 0.13  |                                    |  |

|                 |                   |         |       |
|-----------------|-------------------|---------|-------|
| k_photoreduct_2 | sum of vis + UV-B | per day | 0.00  |
| k_photoreduct_1 | sum of vis + UV-B | per yr  | 45.65 |
| k_photoreduct_2 | sum of vis + UV-B | per yr  | 0.00  |

Notes

1 from Amyot, M. D.R.S. Lean, L. Poissant, M-R Doyon. 2000. Distribution and Transformation of Elemental Mercury in the St. Lawrence River and Lake Ontario. Can. J. Aquat. Sci. 57 (Suppl. 1): 155-163.  
 Photoreduction rates presented as dependent on both vis and UV-B. For UV-B + vis, k = 2.2 +/- 0.2 per hr. For vis only, k = 1.0 +/- 0.1 per hour. Assume, k = 1.2 +/- 0.1 per hour for UV-B alone. The intensity of incident light for these experiments was vis = 21 W/m2, and UV-B 0.4 W/m2. Converting to uE/m2/sec, vis = 103.57 uE/m2/s, UV-B = 1.03 uE/m2/s  
 This is the calculation as given by Amyot, 2000. In LaLonde, et al, 2001, it states that the work done here was done at 10 times the incident UV radiation as presented in LaLonde et al., 2001. The UV-B is presented there as 1.18 uE/m2/s, therefore 11.8 uE/m2/s is used for UV-B, and The rate of photo-reduction is calculated by summing both the rate of vis and UV-B light induced photoreduction  
 These are done separately first, because UV-B attenuates faster in natural waters than vis.

**Photo-Oxidation (Hg0 -> HgII)**

|                     |                                   |                      |        |   |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------|--------|---|
| k_photo_UV-B, study | rate for UV-B - 1.18 uE/m2/s      | per hr               | 0.25   | 1 |
| k_photooxid_base    | base photooxidation rate constant | per hour per uE/m2/s | 0.21   |   |
| k_photooxid_base    | base photooxidation rate constant | per day per E/m2-day | 58.85  |   |
| k_oxid              | dark oxidation                    | per day              | 1.44   | 2 |
| k_photooxid_avg_1   | Avg rate over layer 1             | per day              | 1.58   |   |
| k_photooxid_avg_2   | Avg rate over layer 2             | per day              | 1.44   |   |
| k_photooxid_avg_1   | Avg rate over layer 1             | per yr               | 575.18 |   |
| k_photooxid_avg_2   | Avg rate over layer 2             | per yr               | 525.60 |   |

Notes

1 from LaLonde, J.D., M. Amyot, A.M.L. Kraepiel, F.M.M.Morel. 2001. Photooxidation of Hg(0) in Artificial and Natural Waters. Environ. Sci. Technol. 35: 1367-1372, In freshwater, k = 0.25 +/- 0.02 per hour, w/UV-B = 1.18 uE/m2/s  
 2 from LaLond, et al, 2001. oxidation occurred at a rate of 0.06 per hr in the dark in a saline water. This is negligible when sunlight is present, but may be significant at lower regions, and is therefore included.



$$k_{photo\_oxid} = k_{photo\_base} \cdot UVB$$

**Light Intensity**

| Symbol                                 | Parameter   | Equation | Units    | Value    | Notes |
|--|---|----------|----------|----------|-------|
| z_1                                    | Thickness of Layer 1                              |          | m        | 14       |       |
| z_2                                    | Thickness of Layer 2                              |          | m        | 2        |       |
| Surface Light                          | Surface Light Intensity: accounting for weather a |          | E/m2-day | 29.33    |       |
| Surface Light - UV-B                   | Surface UV-B Intensity                            |          | E/m2-day | 0.15     | 1     |
| ke                                     | Light Extinction Coefficient                      |          | per m    | 1.05     |       |
| h UV-B extinction coefficient (layer 1 | UV light extinction = f(DOC)                      |          | per m    | 4.54     |       |
| h UV-B extinction coefficient (layer 1 | UV light extinction = f(DOC)                      |          | per m    | 31.98    |       |
| E_avg_1                                | Avg Light over depth of layer 1                   |          | E/m2-day | 2.00     |       |
| E_avg_2                                | Avg Light over depth of layer 2                   |          | E/m2-day | 5.06E-06 |       |
| UV_avg_1                               | Avg UV over depth of layer 1                      |          | E/m2-day | 2.31E-03 |       |
| UV_avg_2                               | Avg UV over depth of layer 2                      |          | E/m2-day | 5.84E-31 |       |

$$\bar{E} = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} E_0 e^{-k_e x} dx = \frac{1}{x_2 - x_1} \frac{E_0}{k} [e^{-k_e x_1} - e^{-k_e x_2}]$$

$$z_2 = x_2 - x_1$$

$$\bar{E}_{UV-B} = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} E_{0,UV-B} e^{-\eta_{UV-B} x} dx = \frac{1}{x_2 - x_1} \frac{E_{0,UV-B}}{k} [e^{-\eta_{UV-B} x_1} - e^{-\eta_{UV-B} x_2}]$$

$$\eta_{UV-B} = 0.4415^k (DOC)^{1.86}$$

1 UV-B is modeled as being 0.5% of visible light. check?

UV-B relation to DOC from LaLonde, J.D., M. Amyot, A.M.L. Kraepiel, F.M.M.Morel. 2001. Photooxidation of Hg(0) in Artificial and Natural Waters. Environ. Sci. Technol. 35: 1367-1372, citing Scully, NM, Lean, DRS. Arch. Hydrobiol. Beih. 1994, 43, 135.

**Net Reduction (Hg0 -> HgII): Photo-Reduction plus Biotic Reduction**

| Symbol            | Parameter                    | Equation | Units  | Value | Notes |
|-------------------|------------------------------|----------|--------|-------|-------|
| kw_red_1          | abiotic reduction in layer 1 |          | per yr | 10.95 |       |
| kw_red_2          | abiotic reduction in layer 2 |          | per yr | 10.95 |       |
| k_photoreduct_1   | sum of vis + UV-B            |          | per yr | 45.65 |       |
| k_photoreduct_2   | sum of vis + UV-B            |          | per yr | 0.00  |       |
| k_net_reduction_1 | net rate of reduction        |          | per yr | 56.60 |       |
| k_net_reduction_2 | net rate of reduction        |          | per yr | 10.95 |       |



**@RISK Input Results**

| Name   | Graph | Min   | Mean  | Max    | Std Dev | 5%    | 95%   | Errors |
|--|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|--------|
| <b>HgT sedimentos</b>  |       |       |       |        |         |       |       |        |
| HgT (peso seco): / Concentración de mercurio en sedimentos                       |       | 3.363 | 3.494 | 4.2901 | 0.1343  | 3.381 | 3.723 | 0      |
| <b>HgT en agua</b>   |       |       |       |        |         |       |       |        |
| HgT en el afluente (agua no filtrada) / Concentración de mercurio en el afluente |       | 0.007 | 0.008 | 0.0125 | 0.00076 | 0.007 | 0.009 | 0      |

**@RISK Output Results**

| Name  | Graph | Min    | Mean   | Max     | Std Dev | 5%     | 95%    | Errors |
|---|-------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| <b>HQ MeHg</b>                                    |       |        |        |         |         |        |        |        |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis / HQ MeHg |       | 22.70  | 24.73  | 39.95   | 2.42    | 22.84  | 28.68  | 0      |
| Caimán negro - Melanosuchus niger / HQ MeHg       |       | 2.91   | 3.16   | 5.11    | 0.31    | 2.92   | 3.67   | 0      |
| Hombre promedio / HQ MeHg                         |       | 38.08  | 41.49  | 67.02   | 4.07    | 38.32  | 48.12  | 0      |
| Mujer (en embarazo o lactancia) / HQ MeHg         |       | 54.80  | 59.69  | 96.43   | 5.85    | 55.14  | 69.23  | 0      |
| Adulto promedio / HQ MeHg                         |       | 42.44  | 46.23  | 74.68   | 4.53    | 42.70  | 53.62  | 0      |
| Niño promedio / HQ MeHg                           |       | 39.56  | 43.09  | 69.61   | 4.22    | 39.81  | 49.98  | 0      |
| Bebé promedio / HQ MeHg                           |       | 118.78 | 129.39 | 209.03  | 12.68   | 119.52 | 150.07 | 0      |
| <b>HQ HgT</b>                                     |       |        |        |         |         |        |        |        |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis / HQ HgT  |       | 4.88   | 5.32   | 8.60    | 0.52    | 4.92   | 6.17   | 0      |
| Caimán negro - Melanosuchus niger / HQ HgT        |       | 0.62   | 0.68   | 1.10    | 0.07    | 0.63   | 0.79   | 0      |
| Hombre promedio / HQ HgT                          |       | 0.01   | 0.01   | 0.01    | 0.00    | 0.01   | 0.01   | 0      |
| Mujer (en embarazo o lactancia) / HQ HgT          |       | 0.01   | 0.01   | 0.02    | 0.00    | 0.01   | 0.02   | 0      |
| Adulto promedio / HQ HgT                          |       | 0.01   | 0.01   | 0.02    | 0.00    | 0.01   | 0.01   | 0      |
| Niño promedio / HQ HgT                            |       | 0.01   | 0.01   | 0.02    | 0.00    | 0.01   | 0.01   | 0      |
| Bebé promedio / HQ HgT                            |       | 0.03   | 0.03   | 0.05    | 0.00    | 0.03   | 0.03   | 0      |
| <b>Mercurio en peces</b>                          |       |        |        |         |         |        |        |        |
| [MeHg] Nivel trófico 3 / Escenario Actual         |       | 1.547  | 1.685  | 2.723   | 0.165   | 1.557  | 1.955  | 0      |
| [MeHg] Nivel trófico 4 / Escenario Actual         |       | 1.182  | 1.288  | 2.081   | 0.126   | 1.190  | 1.494  | 0      |
| [HgT] Nivel trófico 3 / Escenario Actual          |       | 2.094  | 2.281  | 3.684   | 0.224   | 2.107  | 2.645  | 0      |
| [HgT] Nivel trófico 4 / Escenario Actual          |       | 1.280  | 1.394  | 2.252   | 0.137   | 1.288  | 1.617  | 0      |
| <b>Mercurio en agua</b>                           |       |        |        |         |         |        |        |        |
| [MeHg] sin filtrado en agua / Escenario Actual    |       | 741.71 | 807.99 | 1305.26 | 79.19   | 746.36 | 937.09 | 0      |
| [HgT] sin filtrado en agua / Escenario Actual     |       | 0.0049 | 0.0054 | 0.0087  | 0.0005  | 0.0050 | 0.0062 | 0      |

Datos de entrada - Escenario Actual 2 (D. Normal)

Perturbación priorizada: Contaminación por mercurio

| Caso subcuenca río Madre de Dios | Valores | Unidades |
|----------------------------------|---------|----------|
|----------------------------------|---------|----------|

| Características de la cuenca en estudio: |                 |                  |
|--|-----------------|------------------|
| Área:                                    | 109,440,600,000 | metros cuadrados |
| % territorio con uso urbano:             | 15%             | %                |
| % territorio humedal:                    | 15%             | %                |
| % territorio aluvial:                    | 10%             | %                |
| % territorio con otros usos:             | 50%             | %                |
| % territorio con suelo contaminado:      | 10%             | %                |

Fuente: Estudio hidrológico cuenca MDD - ANA.

Asumido

Asumido

Asumido

Asumido

Asumido

| Características hidrológicas del cuerpo de agua en estudio |             |                  |
|--|-------------|------------------|
| Superficie del cuerpo de agua en estudio:                  | 327,500,000 | metros cuadrados |
| Profundidad del epilimnion:                                | 14          | metros           |
| Profundidad del hipolimnion:                               | 2           | metros           |
| Hipolimnion anóxico:                                       | Yes         | Sí / No          |
| Tiempo de residencia hidráulico:                           | 0.001       | Años             |

Ancho promedio 500 m. Largo en Perú: 655 Km.

Fuente: Estudio hidrológico cuenca MDD - ANA.

0.1 o menos en caso de ríos o cochas con buena mezcla. En este caso se asume cochas sin buena mezcla.

Si lo es, la tasa de metilación usada es 0.01 al día, si no se usa 0.001 al día.

Equivale a medio día, a más tardar.

| Características de la calidad del agua del cuerpo de agua en estudio |        |                |
|--|--------|----------------|
| pH:  | 7      | -              |
| Temperatura del epilimnion:  | 24     | grados celsius |
| Temperatura del hipolimnion:   | 20     | grados celsius |
| Temperatura del aire:  | 26     | grados celsius |
| Precipitación anual:   | 235.92 | cm/año         |
| COD epilimnion:  | 3.5    | mg/L           |
| COD hipolimnion:   | 10     | mg/L           |

Temperatura anual media

(\*) Ver nota.

(\*\*) Ver nota.

\* Se usan datos promedio para el período de tiempo evaluado: estación, año, etc.

\*\* Si en el epilimnion... COD < 3 es oligotrófico, si 3 mg/L ≤ COD < 5 mg/L es mesotrófico, si 5 mg/L ≤ COD ≤ 10 mg/L es eutrófico, si COD > 10 mg/L y el color > 50 PtCo es distrófico.

| Concentración de mercurio en el afluente |         |      |
|--|---------|------|
| HgT en el afluente (agua no filtrada)    | 0.007   | mg/L |
| HgT en el afluente (agua no filtrada)    | 7000    | ng/L |
| % de Hg0 / HgT en el afluente            | 2%      | %    |
| % de HgII / HgT en el afluente           | 83%     | %    |
| % de MeHg / HgT en el afluente           | 15%     | %    |
| Hg0 en el afluente:                      | 0.00014 | g/m3 |
| HgII en el afluente:                     | 0.00581 | g/m3 |
| MeHg en el afluente:                     | 0.00105 | g/m3 |

Dato introducido para calibrar el modelo.

Dato calculado

Por defecto se asume que en agua la mayor parte de mercurio no está en esta forma.

Por defecto se asume que en agua la mayor parte de mercurio está en esta forma.

En ambientes eutróficos el metilmercurio en agua representa hasta el 15% (Stober et al., 1998)

| Concentración de mercurio en sedimentos |      |      |
|---|------|------|
| HgT (peso seco):                        | 3.33 | ug/g |

Dato de campo. Percentil 95 multianual.

| Constantes de velocidad:                                      |        |                      |
|---|--------|----------------------|
| Metilación - epilimnion                                       | 0.001  | por día              |
| Metilación - hipolimnion                                      | 0.01   | por día              |
| Metilación - sedimentos                                       | 0.001  | por día              |
| Desmetilación - epilimnion                                    | 0.0001 | por día              |
| Desmetilación - hipolimnion                                   | 0.001  | por día              |
| Desmetilación - sedimentos                                    | 0.002  | por día              |
| Reducción biótica - columna de agua                           | 0.03   | por día              |
| Foto - degradación (MeHg --> Hg0) - columna de agua           | 0.002  | por día por E/m2-día |
| Foto - reducción (HgII --> Hg0) Luz visible - columna de agua | 0.03   | por día por E/m2-día |
| Foto - reducción (HgII --> Hg0) UV-B - columna de agua        | 28.25  | por día por E/m2-día |
| Foto - oxidación (Hg0 --> HgII) UV-B - columna de agua        | 58.85  | por día por E/m2-día |
| Oxidación oscura  | 1.44   | por día              |

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

| Concentraciones de mercurio          | Escenario Actual |                  |
|--------------------------------------|------------------|------------------|
| [MeHg] filtrado en agua              | 513.48           |                  |
| [MeHg] sin filtrado en agua          | 733.54           |                  |
| [HgT] filtrado en agua               | 3423.19          |                  |
| [HgT] filtrado en agua               | 0.0034           |                  |
| [HgT] sin filtrado en agua           | 0.0049           |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 1: fitoplancton | 253.56           |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 2: zooplancton  | 824.99           |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 2: bentos       | 1270.86          |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 3               | 1.530            | MeHg = 0.739 HgT |
| [MeHg] Nivel trófico 4               | 1.169            | MeHg = 0.924 HgT |
| [HgT] Nivel trófico 3                | 2.071            |                  |
| [HgT] Nivel trófico 4                | 1.265            |                  |

| Unidades             |  |
|----------------------|--|
| ng/L                 | 513.4780837  |
| ng/L                 |  |
| ng/L                 | USEPA, 1997a   |
| mg/L                 | Cambio de unidades   |
| mg/L                 | USEPA, 1997b. Asume 70%.   |
| ug Hg/ g peso húmedo | Nota: Estos valores se obtienen de los BAFs del percentil 50%.           |
| ug Hg/ g peso húmedo | Fitoplancton, zooplancton y bentos toman como referencia datos de EE.UU. |
| ug Hg/ g peso húmedo | Omnívoros y detritívoros   |
| ug Hg/ g peso húmedo | Piscívoros   |
| ug Hg/ g peso húmedo | Omnívoros y detritívoros   |
| ug Hg/ g peso húmedo | Piscívoros   |

| Factores de bioacumulación del mercurio | Percentiles |          |          |          |          |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|
|   | 5           | 25       | 50       | 75       | 95       |
| Nivel trófico 1: fitoplancton           |             |          | 4.94E+05 |          |          |
| Nivel trófico 2: zooplancton            |             |          | 1.61E+06 |          |          |
| Nivel trófico 2: bentos                 |             |          | 2.48E+06 |          |          |
| Nivel trófico 3: peces                  | 4.60E+05    | 9.50E+05 | 2.98E+03 | 2.60E+06 | 5.40E+06 |
| Nivel trófico 4: peces                  | 3.30E+06    | 5.00E+06 | 2.28E+03 | 9.20E+06 | 1.40E+07 |

$$BAF = \frac{\frac{ug}{kg}}{\frac{ug}{L}}$$

En base a datos de campo con factor de corrección = 16.97  
En base a datos de campo con factor de corrección = 9.17

| Especies                                       | Parámetros específicos para vida silvestre y humanos expuestos |                      |                             |  |   |  |  |  |                                       |
|--|--|----------------------|-----------------------------|--|---|--|--|--|---------------------------------------|
|  | Peso   | Tasa de ingestión    | Tasa de ingesta de líquidos | % de la dieta del nivel trófico 1 : fitoplancton y plantas | % de la dieta del nivel trófico 2 : zooplancton | % de la dieta del nivel trófico 2 : bentos | % de la dieta del nivel trófico 3: peces | % de la dieta del nivel trófico 4: peces | % de la dieta de fuentes no acuáticas |
|  | [kg in peso húmedo]  | [kg peso húmedo/día] | [L/d]                       | %  | %   | %  | %  | %  | %                                     |
| Nutria gigante - <i>Pteronura brasiliensis</i> | 32.5   | 4.5                  | 8.60                        | 0%   | 0%  | 0%   | 80%                                      | 20%                                      | 0%                                    |
| Caimán negro - <i>Melanosuchus niger</i>       | 400  | 7.48                 | 14.300                      | 0%   | 0%  | 0%   | 75%                                      | 20%                                      | 5%                                    |
| Hombre promedio                                | 78   | 0.50                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |
| Mujer (en embarazo o lactancia)                | 65   | 0.60                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |
| Adulto promedio                                | 70   | 0.50                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |
| Niño promedio                                  | 45   | 0.30                 | 0.9                         | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |
| Bebé promedio                                  | 10   | 0.20                 | 0.74                        | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |

Información tomada de: Mercury Report to Congress, Volume VI, Section 3.3.

y citada en: Nichols, J., S. Bradbury, J. Swartout. 1999. Derivation of Wildlife Values for Mercury. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B. 2:325-255.

TRV "Toxicity Reference Value"

Según Nichols, et al. 1999. el TRV para aves es: 13 ug/kg/d; y para mamíferos: 16 ug/kg/d.

Los valores para humanos han sido tomados del manual de factores de exposición.

La tasa de ingesta de líquidos en bebés es el promedio de niños de 1 a 10 años (0.74 L/d) y en niños, el promedio de 11 a 19 años (0.97 L/d).

El porcentaje de la dieta proveniente de peces del nivel trófico 4 es asumido, dado que la tasa de ingesta en peces es específica para cada especie e individuo.

## OTROS PARÁMETROS

|  |         |        |  |
|--|---------|--------|--|
| Profundidad de la capa de suelo permeable    | m       | 0.1    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para Hg0       | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para HgII      | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para MeHg      | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para Hg0  | por año | 0.0005 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para HgII | por año | 0      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para MeHg | por año | 0      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

Velocidad promedio del viento a 10 m sobre la superficie de agua m/s 6 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable -- 1 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable -- 1 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable -- 1 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales -- 0.2 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales -- 0.2 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales -- 4.9 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas -- 0.2 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas -- 0.2 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas -- 2 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas -- 0.2 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas -- 0.2 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas -- 0.2 Valor establecido por SERAFM, por defecto.

Los valores por defecto de los ratios vienen de:

Rudd, J.W.M. 1995. Sources of Methyl Mercury to Freshwater Ecosystems: A Review. Water, Air, and Soil Pollution. 80: 697-713.

|                                    |   |          |       |  |
|------------------------------------|---|----------|-------|--|
| Luz en la superficie               | Intensidad de iluminación de la superficie    | E/m2-día | 95.00 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. Obtenido de Zepp (1980), en Mercury Report to Congress, para 40 grados de latitud en días despejados. |
| Nubosidad                          | Factor de reductancia para la fracción nubosa | --       | 0.65  | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Reflectancia                       |   | --       | 0.05  | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Horas de luz diarias en porcentaje |   | --       | 0.50  | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |

|  |         |      |  |
|--|---------|------|--|
| Tasa constante de desmetilación en la termoclina de la columna de agua | por año | 0.00 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa constante de oxidación béntica                                    | por año | 0.00 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

|  |           |          |  |
|--|-----------|----------|--|
| Tasa constante de desmetilación en el bentos | por año   | 0.00     | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Flujo de deposición seca, Hg0                | ug/m2-año | 0        | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Flujo de deposición seca, HgII               | ug/m2-año | 10       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Flujo de deposición seca, MeHg               | ug/m2-año | 0.15     | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Concentración en la precipitación, Hg0       | ug/m3     | 0        | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Concentración en la precipitación, HgII      | ug/m3     | 10       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Concentración en la precipitación, MeHg      | ug/m3     | 0.15     | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Concentración gaseosa de Hg0                 | ug/m3     | 1.60E-03 | Mason, R.P., W.F. Fitzgerald, F.M.M.Morel. 1994. The biogeochemical cycling of elemental mercury: Anthropogenic Influences. Geochimica et Cosmochimica Acta, 58(15): 3191-1918 |
| Concentración gaseosa de HgII                | ug/m3     | 3.00E-06 | Indica que la atmósfera tiene una concentración promedio de 1.6 ng/m3 = 0.0016 ug/m3 y que 98% de ella es Hg0.   |
| Concentración gaseosa de MeHg                | ug/m3     | 3.00E-09 |  |

|                               |      | Capa 1  | Capa 2  | Sedimentos |
|-------------------------------|------|---------|---------|------------|
| Cl <sup>-</sup>               | mg/L | 0.3     | 0.3     | 0.3        |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | mg/L | 5.0E-03 | 5.0E-03 | 5.0E-03    |
| S <sup>2-</sup>               | mg/L | 1.0E-09 | 1.0E-09 | 1.0E-09    |

Se asume:  
Cl<sup>-</sup> = Cloruro total  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = Sulfato total  
S<sup>2-</sup> = Sulfuro total

|   |                                  |                      |  |     |  |
|---|----------------------------------|----------------------|--|-----|--|
| Sólidos abióticos en la entrada de agua           | g/m3                             | 0                    | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               |     |  |
| Sólidos de fitoplancton en la entrada de agua     | g/m3                             | 0                    | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               |     |  |
| Sólidos de zooplancton en la entrada de agua      | g/m3                             | 0                    | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               |     |  |
| Concentración de fitoplancton en la capa 2        | g/m3                             | 0                    | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               | 3   | 3 Se asume que todo el zooplancton y fitoplancton está en la capa superficial.   |
| Concentración de zooplancton en la capa 2         | g/m3                             | 0                    | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               | 3   | 4 La arena no debe incluirse dado que no suele resuspenderse.  |
| Densidad del sedimento                            | g/cm3                            | 2.65                 | Por defecto se asume en el rango de 2 a 2.7.             |     | Al modelar para condiciones estacionarias, la tasa de mortalidad es igual al negativo de la tasa de crecimiento.                       |
| Porosidad del sedimento                           | cm3/cm3                          | 0.95                 | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               |     | La mortalidad es modelada como de primer orden, y la productividad como un flujo,  |
| Diámetro promedio de las partículas de sedimentos | um                               | 5                    | Por defecto de textura limosa moderada.                  | 4,6 | por lo que se divide la productividad por la fitoconcentración y el grosor de la capa.   |
| Velocidad de sedimentación de la biota            | m/día                            | 0.2                  | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               | 7   |  |
| Velocidad de resuspensión abiótica                | m/día                            | 1.01E-05             | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               | 9   |  |
| Tasa de mortalidad de fitoplancton en la capa 1   | por día                          | 0.03                 | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               | 8   | 6 Abajo se muestran los rangos típicos de las partículas:  |
| Profundidad de la capa de sedimentos              | m                                | 0.030                | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               |     |  |
| Tasa de mineralización                            | por año                          | 0.01                 | La mitad de R-MCM  |     |  |
| Velocidad de deposición en bentos                 | m/año                            | 0.001                | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               |     |  |
| Porosidad del sedimento                           | --                               | 0.95                 | Valor establecido por SERAFM, por defecto.               |     |  |
| Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)      |                                  |                      |  |     |  |
| Ubicación geográfica respecto al río Mississippi  | Este (1) u oeste (2)             |                      |  |     | 7 Tomado de: Mercury Report to Congress, 1997. citado por Bowie, et al, 1985. Dice que la precipitación es 0.02 - 2 m/día, se usa 0.2. |
| A   | Pérdida estimada de suelo        | kg/m2/año            | 2.7776   |     | 8 Tomado de: Mercury Report to Congress, 1997. citado por Bowie, et al, 1985. El rango varía de 0.003 a 0.17 por día.                  |
| R   | Factor de erosividad del suelo   | kg/km2-año           | 100  |     |  |
| K   | Factor de erodabilidad del suelo | (tons/acre)/(kg/km2) | 0.31   |     |  |
| LS  | Factor topográfico               | --                   | 10   |     |  |
| C   | Factor de cobertura y manejo     | --                   | 0.04   |     |  |
| Tasa de reducción base en sedimentos              | por día                          | 0.4                  | Por defecto se asume que no hay reducción en sedimentos. |     |  |

## Hoja de cálculo para evaluación del riesgo ambiental por contaminación con mercurio

Usando SERAFM Versión Beta: 1.0.4a

### Características de la cuenca (datos de ingreso)

|  | Valor           | Unidades   | Notas      |
|--|-----------------|------------|------------|
| Ubicación de la cuenca (Al este u oeste del río Mississippi)           | East            |            | 0          |
| Área de contribución de la cuenca                                      | 109,440,600,000 | m2         |            |
| Porcentaje impermeable   | 15%             | --         |            |
| Porcentaje de humedales  | 15%             | --         |            |
| Porcentaje de área ribereña  | 10%             | --         |            |
| % con suelo contaminado  | 10%             | --         |            |
| Porcentaje de tierras altas  | 50%             | --         | 1          |
| Área de lagos  | 327,500,000     | m2         | 25%        |
| Profundidad del epilimnion   | 14              | m          |            |
| Profundidad del hipolimnion  | 2               | m          | 2          |
| ¿Hipolimnion anóxico?  | Yes             | --         | 3          |
| Tiempo de residencia hidráulica  | 0.001           | yr         | 4          |
| Afluente   | 4.59E+12        | m3/yr      |            |
| Efluente   | 4.59E+12        | m3/yr      |            |
| pH del agua  | 7               | --         |            |
| Temperatura del agua en el epilimnion                                  | 24              | C          |            |
| Temperatura del agua en el hipolimnion                                 | 20              | C          |            |
| Temperatura del aire   | 26              | C          |            |
| Precipitación anual  | 235.92          | cm/yr      |            |
| Carbono orgánico disuelto (COD) en el epilimnion                       | 3.5             | mg/L       |            |
| Carbono orgánico disuelto (COD) en el hipolimnion                      | 10              | mg/L       |            |
| Carbono orgánico total (COT)   | 1.81            | g org C/m2 |            |
| Color (as PtCo)  |                 | PtCo       | 5          |
| Estatus trófico  | Mesotrófico     |            | 6          |
| Concentraciones de mercurio en el afluente                             |                 |            |            |
|  | Hg 0            | 0.00014    | g/m3       |
|  | Hg II           | 0.00581    | g/m3       |
|  | MeHg            | 0.00105    | g/m3       |
|  |                 |            | 2%         |
|  |                 |            | 83%        |
|  |                 |            | 15%        |
| Concentración total de mercurio en sedimentos contaminados (peso seco) |                 |            |            |
|  | 3.33            | ug/g       | ug/g = ppm |
| Concentración de mercurio en suelos contaminados                       |                 |            |            |
|  | Cs,Hg0          | g/m3       | 7          |
|  | Cs,HgII         | g/m3       |            |
|  | Cs,MeHg         | g/m3       |            |
| Máx. cociente de riesgo (HQ) aceptado                                  |                 |            |            |
|  | 1               |            |            |

Resultados de interés

Datos altamente sensibles

Datos usados para calibrar el modelo



#### Notas:

- 1.- Corresponde al resto del área de la cuenca.
  - 2.- En un río o un lago bien mezclado, el valor es 0.1
  - 3.- Se coloca Sí o No según sea el hipolimnion anóxico o no. Si lo es, la metilación será mayor en el hipolimnion ( $k_{meth} = 0.01/d$  anoxic,  $0.001/d$  oxic).
  - 4.- Se utiliza para calcular el afluente y el efluente, si hay entradas de filtración de agua o suelo, entonces  $Q_{in}$  y  $Q_{out}$  pueden tener un valor.
  - 5.-El color se expresa en términos de PtCo. Si  $PtCo > 50$  entonces el lago se clasifica como distrófico, si no se sabe, se coloca 0.
  - 6.-Si el estado trófico resultante no es el que en la realidad parece ser, este puede ser sobrescrito en la hoja de parámetros actualizando el indicador de estado trófico.
  - 7.- Si se cuenta con información de concentraciones en suelo contaminado, entonces el porcentaje de la cuenca puede ser usado para reemplazar los cálculos de exportación desde la cuenca. La concentración en suelos es usada para calcular la erosión del suelo y la escorrentía.
  - 8.- La concentración objetivo en sedimentos se calcula usando una regresión lineal entre las condiciones de referencia y las condiciones contaminadas. Esto ocasiona que que HI sea cercano (pero no igual) a 1.
- Un resultado exacto puede ser buscado usando la función "buscar objetivo". Se usa la celda Q38 como "celda fija", la celda B43 como "valor final" y la celda H41 como "celda cambiante".

$$Potential\ Dose = \frac{Conc \cdot IngestionRate}{BodyWeight}$$

$$Total\ Dose = \sum \% Diet_{trophiclevel_i} \cdot Potential\ Dose_i + (drinking\ rate \cdot [Hg]_{water})$$

$$HQ = \frac{Total\ Dose}{TRV\ or\ RfD}$$

| Calculos para escenario contaminado     |   |  |   |  |  |                        |  |         |               |
|---|---|--|---|--|--|------------------------|--|---------|---------------|
| Dosis potencial del agua                | Dosis potencial del nivel trófico 1: fitoplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: zooplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: bentos | Dosis potencial del nivel trófico 3: peces | Dosis potencial del nivel trófico 4: peces | Dosis potencial total  | TRV (valor de referencia de toxicidad) | HQ MeHg |               |
| [ng/d/kg]                               | ug Hg / kg peso húmedo / d                        | ug Hg/kg peso húmedo/d                           | ug Hg/kg peso húmedo/d                      | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d | ug Hg/kg peso húmedo/d                 | --      |               |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis | 194.11  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 169.49                                     | 32.38                  | 202.07                                 | 9       | <b>22.45</b>  |
| Caimán negro - Melanosuchus niger       | 26.22   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 21.46                                      | 4.37                   | 25.86                                  | 9       | <b>2.87</b>   |
| Hombre promedio                         | 18.81   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 3.75                   | 3.77                                   | 0.1     | <b>37.67</b>  |
| Mujer (en embarazo o lactancia)         | 22.57   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 5.40                   | 5.42                                   | 0.1     | <b>54.19</b>  |
| Adulto promedio                         | 20.96   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 4.18                   | 4.20                                   | 0.1     | <b>41.97</b>  |
| Niño promedio                           | 14.67   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 3.90                   | 3.91                                   | 0.1     | <b>39.12</b>  |
| Bebé promedio                           | 54.28   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 11.69                  | 11.75                                  | 0.1     | <b>117.47</b> |

| Calculos para escenario contaminado     |   |  |   |  |  |                        |  |        |             |
|---|---|--|---|--|--|------------------------|--|--------|-------------|
| Dosis potencial del agua                | Dosis potencial del nivel trófico 1: fitoplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: zooplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: bentos | Dosis potencial del nivel trófico 3: peces | Dosis potencial del nivel trófico 4: peces | Dosis potencial total  | TRV (valor de referencia de toxicidad) | HQ HgT |             |
| [ng/d/kg]                               | ug Hg / kg peso húmedo / d                        | ug Hg/kg peso húmedo/d                           | ug Hg/kg peso húmedo/d                      | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d | ug Hg/kg peso húmedo/d                 | --     |             |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis | 1,294.04  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 229.35                                     | 35.04                  | 265.69                                 | 55     | <b>4.83</b> |
| Caimán negro - Melanosuchus niger       | 174.83  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 29.04                                      | 4.73                   | 33.95                                  | 55     | 0.62        |
| Hombre promedio                         | 125.39  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 4.06                   | 4.18                                   | 500    | 0.01        |
| Mujer (en embarazo o lactancia)         | 150.47  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 5.84                   | 5.99                                   | 500    | 0.01        |
| Adulto promedio                         | 139.72  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 4.52                   | 4.66                                   | 500    | 0.01        |
| Niño promedio                           | 97.81   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 4.22                   | 4.32                                   | 500    | 0.01        |
| Bebé promedio                           | 361.88  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 12.65                  | 13.02                                  | 500    | 0.03        |

**@RISK Input Results**

| Name           | Graph | Min         | Mean        | Max         | Std Dev     | 5%         | 95%         | Errors |
|----------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------|
| HgT sedimentos |       | 2.239177    | 3.329949    | 4.375643    | 0.3328442   | 2.780002   | 3.875251    | 0      |
| HgT agua       |       | 0.004664605 | 0.006999957 | 0.009242238 | 0.000699791 | 0.00584533 | 0.008150623 | 0      |

**@RISK Output Results**

| Name   | Graph | Min    | Mean   | Max    | Std Dev | 5%     | 95%    | Errors |
|--|-------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Aplicación del modelo SERAFM a Madre de Dios_vrío MDD_Esc. actual D. Normal.xlsm |       |        |        |        |         |        |        |        |
| <b>HQ MeHg</b>   |       |        |        |        |         |        |        |        |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis / HQ MeHg                                |       | 14.96  | 22.45  | 29.64  | 2.24    | 18.75  | 26.14  | 0      |
| Caimán negro - Melanosuchus niger / HQ MeHg                                      |       | 1.91   | 2.87   | 3.79   | 0.29    | 2.40   | 3.35   | 0      |
| Hombre promedio / HQ MeHg  |       | 25.10  | 37.66  | 49.73  | 3.77    | 31.45  | 43.86  | 0      |
| Mujer (en embarazo o lactancia) / HQ MeHg  |       | 36.11  | 54.19  | 71.55  | 5.42    | 45.25  | 63.10  | 0      |
| Adulto promedio / HQ MeHg  |       | 27.97  | 41.97  | 55.41  | 4.20    | 35.05  | 48.87  | 0      |
| Niño promedio / HQ MeHg  |       | 26.07  | 39.12  | 51.65  | 3.91    | 32.67  | 45.55  | 0      |
| Bebé promedio / HQ MeHg  |       | 78.28  | 117.47 | 155.10 | 11.74   | 98.09  | 136.78 | 0      |
| <b>HQ HgT</b>  |       |        |        |        |         |        |        |        |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis / HQ HgT                                 |       | 3.22   | 4.83   | 6.38   | 0.48    | 4.03   | 5.62   | 0      |
| Caimán negro - Melanosuchus niger / HQ HgT                                       |       | 0.41   | 0.62   | 0.81   | 0.06    | 0.52   | 0.72   | 0      |
| Hombre promedio / HQ HgT   |       | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 0.00    | 0.01   | 0.01   | 0      |
| Mujer (en embarazo o lactancia) / HQ HgT   |       | 0.01   | 0.01   | 0.02   | 0.00    | 0.01   | 0.01   | 0      |
| Adulto promedio / HQ HgT   |       | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 0.00    | 0.01   | 0.01   | 0      |
| Niño promedio / HQ HgT   |       | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 0.00    | 0.01   | 0.01   | 0      |
| Bebé promedio / HQ HgT   |       | 0.02   | 0.03   | 0.03   | 0.00    | 0.02   | 0.03   | 0      |
| <b>Mercurio en peces</b>   |       |        |        |        |         |        |        |        |
| [MeHg] Nivel trófico 3 / Escenario Actual  |       | 1.020  | 1.530  | 2.020  | 0.153   | 1.278  | 1.782  | 0      |
| [MeHg] Nivel trófico 4 / Escenario Actual  |       | 0.779  | 1.169  | 1.544  | 0.117   | 0.976  | 1.361  | 0      |
| [HgT] Nivel trófico 3 / Escenario Actual   |       | 1.380  | 2.071  | 2.734  | 0.207   | 1.729  | 2.411  | 0      |
| [HgT] Nivel trófico 4 / Escenario Actual   |       | 0.843  | 1.265  | 1.671  | 0.127   | 1.057  | 1.473  | 0      |
| <b>Mercurio en agua</b>  |       |        |        |        |         |        |        |        |
| [MeHg] sin filtrado en agua / Escenario Actual                                   |       | 488.82 | 733.54 | 968.50 | 73.33   | 612.54 | 854.11 | 0      |
| [HgT] sin filtrado en agua / Escenario Actual                                    |       | 0.0033 | 0.0049 | 0.0065 | 0.0005  | 0.0041 | 0.0057 | 0      |

Datos de entrada - Escenario Optimista

Perturbación priorizada: Contaminación por mercurio

| Caso subcuenca río Madre de Dios | Valores | Unidades |
|----------------------------------|---------|----------|
|----------------------------------|---------|----------|

Características de la cuenca en estudio:

|                                     |                 |                  |
|-------------------------------------|-----------------|------------------|
| Área:                               | 109,440,600,000 | metros cuadrados |
| % territorio con uso urbano:        | 15%             | %                |
| % territorio humedal:               | 15%             | %                |
| % territorio aluvial:               | 10%             | %                |
| % territorio con otros usos:        | 50%             | %                |
| % territorio con suelo contaminado: | 10%             | %                |

Fuente: Estudio hidrológico cuenca MDD - ANA.

Asumido

Asumido

Asumido

Asumido

Asumido

Características hidrológicas del cuerpo de agua en estudio

|   |             |                  |
|---|-------------|------------------|
| Superficie del cuerpo de agua en estudio: | 327,500,000 | metros cuadrados |
| Profundidad del epilimnion:               | 14          | metros           |
| Profundidad del hipolimnion:              | 2           | metros           |
| Hipolimnion anóxico:                      | Yes         | Sí / No          |
| Tiempo de residencia hidráulico:          | 0.001       | Años             |

Ancho promedio 500 m. Largo en Perú: 655 Km.

Fuente: Estudio hidrológico cuenca MDD - ANA.

0.1 o menos en caso de ríos o cochas con buena mezcla. En este caso se asume cochas sin buena mezcla.

Si lo es, la tasa de metilación usada es 0.01 al día, si no se usa 0.001 al día.

Equivale a medio día, a más tardar.

Características de la calidad del agua del cuerpo de agua en estudio

|                              |        |                |
|------------------------------|--------|----------------|
| pH:                          | 7      | -              |
| Temperatura del epilimnion:  | 24     | grados celsius |
| Temperatura del hipolimnion: | 20     | grados celsius |
| Temperatura del aire:        | 26     | grados celsius |
| Precipitación anual:         | 235.92 | cm/año         |
| COD epilimnion:              | 3.5    | mg/L           |
| COD hipolimnion:             | 10     | mg/L           |

Temperatura anual media

(\*) Ver nota.

(\*\*) Ver nota.

\* Se usan datos promedio para el período de tiempo evaluado: estación, año, etc.

\*\* Si en el epilimnion... COD < 3 es oligotrófico, si 3 mg/L ≤ COD < 5 mg/L es mesotrófico, si 5 mg/L ≤ COD ≤ 10 mg/L es eutrófico, si COD > 10 mg/L y el color > 50 PtCo es distrófico.

Concentración de mercurio en el afluente

|                                       |         |      |
|---------------------------------------|---------|------|
| HgT en el afluente (agua no filtrada) | 0.00009 | mg/L |
| HgT en el afluente (agua no filtrada) | 90      | ng/L |
| % de Hg0 / HgT en el afluente         | 2%      | %    |
| % de HgII / HgT en el afluente        | 83%     | %    |
| % de MeHg / HgT en el afluente        | 15%     | %    |
| Hg0 en el afluente:                   | 0.00000 | g/m3 |
| HgII en el afluente:                  | 0.00007 | g/m3 |
| MeHg en el afluente:                  | 0.00001 | g/m3 |

Dato introducido para calibrar el modelo.

Dato calculado

Por defecto se asume que en agua la mayor parte de mercurio no está en esta forma.

Por defecto se asume que en agua la mayor parte de mercurio está en esta forma.

En ambientes eutróficos el metilmercurio en agua representa hasta el 15% (Stober et al., 1998)

Concentración de mercurio en sedimentos

|                  |     |      |
|------------------|-----|------|
| HgT (peso seco): | 0.3 | ug/g |
|------------------|-----|------|

Dato de campo. Percentil 95 multianual.

Constantes de velocidad:

|   |        |                      |
|---|--------|----------------------|
| Metilación - epilimnion                                       | 0.001  | por día              |
| Metilación - hipolimnion                                      | 0.01   | por día              |
| Metilación - sedimentos                                       | 0.001  | por día              |
| Desmetilación - epilimnion                                    | 0.0001 | por día              |
| Desmetilación - hipolimnion                                   | 0.001  | por día              |
| Desmetilación - sedimentos                                    | 0.002  | por día              |
| Reducción biótica - columna de agua                           | 0.03   | por día              |
| Foto - degradación (MeHg --> Hg0) - columna de agua           | 0.002  | por día por E/m2-día |
| Foto - reducción (HgII --> Hg0) Luz visible - columna de agua | 0.03   | por día por E/m2-día |
| Foto - reducción (HgII --> Hg0) UV-B - columna de agua        | 28.25  | por día por E/m2-día |
| Foto - oxidación (Hg0 --> HgII) UV-B - columna de agua        | 58.85  | por día por E/m2-día |
| Oxidación oscura  | 1.44   | por día              |

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

Valores por defecto.

| Concentraciones de mercurio          | Escenario Actual |                  |
|--------------------------------------|------------------|------------------|
| [MeHg] filtrado en agua              | 6.61             |                  |
| [MeHg] sin filtrado en agua          | 9.44             |                  |
| [HgT] filtrado en agua               | 44.06            |                  |
| [HgT] filtrado en agua               | 0.0000           |                  |
| [HgT] sin filtrado en agua           | 0.0001           |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 1: fitoplancton | 3.26             |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 2: zooplancton  | 10.62            |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 2: bentos       | 16.36            |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 3               | 0.020            | MeHg = 0.739 HgT |
| [MeHg] Nivel trófico 4               | 0.015            | MeHg = 0.924 HgT |
| [HgT] Nivel trófico 3                | 0.027            |                  |
| [HgT] Nivel trófico 4                | 0.016            |                  |

| Unidades             |  |
|----------------------|--|
| ng/L                 | 6.609033978  |
| ng/L                 |  |
| ng/L                 | USEPA, 1997a   |
| mg/L                 | Cambio de unidades   |
| mg/L                 | USEPA, 1997b. Asume 70%.   |
| ug Hg/ g peso húmedo | Nota: Estos valores se obtienen de los BAFs del percentil 50%.           |
| ug Hg/ g peso húmedo | Fitoplancton, zooplancton y bentos toman como referencia datos de EE.UU. |
| ug Hg/ g peso húmedo | Omnívoros y detritívoros   |
| ug Hg/ g peso húmedo | Piscívoros   |
| ug Hg/ g peso húmedo | Omnívoros y detritívoros   |
| ug Hg/ g peso húmedo | Piscívoros   |



| Factores de bioacumulación del mercurio | Percentiles |          |          |          |          |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|
|   | 5           | 25       | 50       | 75       | 95       |
| Nivel trófico 1: fitoplancton           |             |          | 4.94E+05 |          |          |
| Nivel trófico 2: zooplancton            |             |          | 1.61E+06 |          |          |
| Nivel trófico 2: bentos                 |             |          | 2.48E+06 |          |          |
| Nivel trófico 3: peces                  | 4.60E+05    | 9.50E+05 | 2.98E+03 | 2.60E+06 | 5.40E+06 |
| Nivel trófico 4: peces                  | 3.30E+06    | 5.00E+06 | 2.28E+03 | 9.20E+06 | 1.40E+07 |

$$BAF = \frac{\mu g}{kg} \div \frac{\mu g}{L}$$

En base a datos de campo con factor de corrección = 16.97

En base a datos de campo con factor de corrección = 9.17

| Especies                                       | Parámetros específicos para vida silvestre y humanos expuestos |                      |                             |  |   |  |  |  |                                       |  |
|--|--|----------------------|-----------------------------|--|---|--|--|--|---------------------------------------|--|
|  | Peso   | Tasa de ingestión    | Tasa de ingesta de líquidos | % de la dieta del nivel trófico 1 : fitoplancton y plantas | % de la dieta del nivel trófico 2 : zooplancton | % de la dieta del nivel trófico 2 : bentos | % de la dieta del nivel trófico 3: peces | % de la dieta del nivel trófico 4: peces | % de la dieta de fuentes no acuáticas |  |
|  | [kg in peso húmedo]  | [kg peso húmedo/día] | [L/d]                       | %  | %   | %  | %  | %  | %                                     |  |
| Nutria gigante - <i>Pteronura brasiliensis</i> | 32.5   | 4.5                  | 8.60                        | 0%   | 0%  | 0%   | 80%                                      | 20%                                      | 0%                                    |  |
| Caimán negro - <i>Melanosuchus niger</i>       | 400  | 7.48                 | 14.300                      | 0%   | 0%  | 0%   | 75%                                      | 20%                                      | 5%                                    |  |
| Hombre promedio                                | 78   | 0.50                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |
| Mujer (en embarazo o lactancia)                | 65   | 0.60                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |
| Adulto promedio                                | 70   | 0.50                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |
| Niño promedio                                  | 45   | 0.30                 | 0.9                         | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |
| Bebé promedio                                  | 10   | 0.20                 | 0.74                        | 0%   | 0%  | 0%   | 0%                                       | 50%                                      | 50%                                   |  |

Información tomada de: Mercury Report to Congress, Volume VI, Section 3.3.

y citada en: Nichols, J., S. Bradbury, J. Swartout. 1999. Derivation of Wildlife Values for Mercury. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B. 2:325-255.

TRV "Toxicity Reference Value"

Según Nichols, et al. 1999. el TRV para aves es: 13 ug/kg/d; y para mamíferos: 16 ug/kg/d.

Los valores para humanos han sido tomados del manual de factores de exposición.

La tasa de ingesta de líquidos en bebés es el promedio de niños de 1 a 10 años (0.74 L/d) y en niños, el promedio de 11 a 19 años (0.97 L/d).

El porcentaje de la dieta proveniente de peces del nivel trófico 4 es asumido, dado que la tasa de ingesta en peces es específica para cada especie e individuo.

#### OTROS PARÁMETROS

|  |         |        |  |
|--|---------|--------|--|
| Profundidad de la capa de suelo permeable  | m       | 0.1    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para Hg0   | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para HgII  | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para MeHg  | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para Hg0  | por año | 0.0005 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para HgII                                       | por año | 0      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para MeHg                                       | por año | 0      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Velocidad promedio del viento a 10 m sobre la superficie de agua                   | m/s     | 6      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable | --      | 1      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable | --      | 1      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable | --      | 1      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales              | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales              | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales              | --      | 4.9    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas        | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas        | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas        | --      | 2      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas          | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas          | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas          | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

Los valores por defecto de los ratios vienen de: Rudd, J.W.M. 1995. Sources of Methyl Mercury to Freshwater Ecosystems: A Review. Water, Air, and Soil Pollution. 80: 697-713.

|  |   |          |  |  |
|--|---|----------|--|--|
| Luz en la superficie   | Intensidad de iluminación de la superficie    | E/m2-día | 95.00                                      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. Obtenido de Zepp (1980), en Mercury Report to Congress, para 40 grados de latitud en días despejados. |
| Nubosidad  | Factor de reductancia para la fracción nubosa | --       | 0.65                                       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Reflectancia   |   | --       | 0.05                                       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Horas de luz diarias en porcentaje                                     |   | --       | 0.50                                       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Tasa constante de desmetilación en la termoclina de la columna de agua | por año                                       | 0.00     | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |  |
| Tasa constante de oxidación biónica                                    | por año                                       | 0.00     | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |  |
| Tasa constante de desmetilación en el bentos                           | por año                                       | 0.00     | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |  |

|                                |           |      |  |
|--------------------------------|-----------|------|--|
| Flujo de deposición seca, Hg0  | ug/m2-año | 0    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Flujo de deposición seca, HgII | ug/m2-año | 10   | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Flujo de deposición seca, MeHg | ug/m2-año | 0.15 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

|   |       |      |  |
|---|-------|------|--|
| Concentración en la precipitación, Hg0  | ug/m3 | 0    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Concentración en la precipitación, HgII | ug/m3 | 10   | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Concentración en la precipitación, MeHg | ug/m3 | 0.15 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

|                               |       |          |   |
|-------------------------------|-------|----------|---|
| Concentración gaseosa de Hg0  | ug/m3 | 1.60E-03 | Mason, R.P., W.F. Fitzgerald, F.M.M.Morel. 1994.  |
| Concentración gaseosa de HgII | ug/m3 | 3.00E-06 | The biogeochemical cycling of elemental mercury: Anthropogenic Influences.  |
| Concentración gaseosa de MeHg | ug/m3 | 3.00E-09 | Geoquímica et Cosmochimica Act. 58(15): 3191-1918<br>Indica que la atmósfera tiene una concentración promedio de 1.6 ng/m3 = 0.0016 ug/m3 y que 98% de ella es Hg0. |

|                               |      | Capa 1  | Capa 2  | Sedimentos |
|-------------------------------|------|---------|---------|------------|
| Cl <sup>-</sup>               | mg/L | 0.3     | 0.3     | 0.3        |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | mg/L | 5.0E-03 | 5.0E-03 | 5.0E-03    |
| S <sup>2-</sup>               | mg/L | 1.0E-09 | 1.0E-09 | 1.0E-09    |

Se asume:

Cl<sup>-</sup> =  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> =  
S<sup>2-</sup> =

Cloruro total  
Sulfato total  
Sulfuro total

|   |      |   |  |
|---|------|---|--|
| Sólidos abióticos en la entrada de agua       | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Sólidos de fitoplancton en la entrada de agua | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Sólidos de zooplancton en la entrada de agua  | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

|  |      |   |  |   |
|--|------|---|--|---|
| Concentración de fitoplancton en la capa 2 | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 3 |
|--|------|---|--|---|

|   |      |   |  |   |
|---|------|---|--|---|
| Concentración de zooplancton en la capa 2 | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 3 |
|---|------|---|--|---|

|                        |       |      |  |
|------------------------|-------|------|--|
| Densidad del sedimento | g/cm3 | 2.65 | Por defecto se asume en el rango de 2 a 2.7. |
|------------------------|-------|------|--|

|                         |         |      |  |
|-------------------------|---------|------|--|
| Porosidad del sedimento | cm3/cm3 | 0.95 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
|-------------------------|---------|------|--|

|   |    |   |   |     |
|---|----|---|---|-----|
| Diámetro promedio de las partículas de sedimentos | um | 5 | Por defecto de textura limosa moderada. | 4,6 |
|---|----|---|---|-----|

|  |       |          |  |   |
|--|-------|----------|--|---|
| Velocidad de sedimentación de la biota | m/día | 0.2      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 7 |
| Velocidad de resuspensión abiótica     | m/día | 1.01E-05 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 9 |

|   |         |      |  |   |
|---|---------|------|--|---|
| Tasa de mortalidad de fitoplancton en la capa 1 | por día | 0.03 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 8 |
|---|---------|------|--|---|

|                                      |         |       |  |
|--------------------------------------|---------|-------|--|
| Profundidad de la capa de sedimentos | m       | 0.030 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de mineralización               | por año | 0.01  | La mitad de R-MCM                          |

|                                   |       |       |  |
|-----------------------------------|-------|-------|--|
| Velocidad de deposición en bentos | m/año | 0.001 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Porosidad del sedimento           | --    | 0.95  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

Ubicación geográfica respecto al río Mississippi

Este (1) u oeste (2)

|    |                                  |                      |        |
|----|----------------------------------|----------------------|--------|
| A  | Pérdida estimada de suelo        | kg/m2/año            | 2.7776 |
| R  | Factor de erosividad del suelo   | kg/km2-año           | 100    |
| K  | Factor de erodabilidad del suelo | (tons/acre)/(kg/km2) | 0.31   |
| LS | Factor topográfico               | --                   | 10     |
| C  | Factor de cobertura y manejo     | --                   | 0.04   |

Valores calibrados para bosques, en base a IBC.  
Valores calibrados para bosques, en base a IBC.  
Valores calibrados para bosques, en base a IBC.  
Valores calibrados para bosques, en base a IBC.

|                                      |         |     |  |
|--------------------------------------|---------|-----|--|
| Tasa de reducción base en sedimentos | por día | 0.4 | Por defecto se asume que no hay reducción en sedimentos. |
|--------------------------------------|---------|-----|--|

3 Se asume que todo el zooplancton y fitoplancton está en la capa superficial.

4 La arena no debe incluirse dado que no suele resuspenderse.

Al modelar para condiciones estacionarias, la tasa de mortalidad es igual al negativo de la tasa de crecimiento.

La mortalidad es modelada como de primer orden, y la productividad como un flujo, por lo que se divide la productividad por la fitoconcentración y el grosor de la capa.

6 Abajo se muestran los rangos típicos de las partículas:

|         |          |                  |
|---------|----------|------------------|
| Limo    | Grueso   | Rango de 62 - 31 |
|         | Mediano  | 31 - 16          |
|         | Fino     | 16 - 8           |
| Arcilla | Muy fino | 8-4              |
|         | Gruesa   | 4-2              |
|         | Mediana  | 2-1              |
|         | Fina     | 1-0.5            |
|         | Muy fina | 0.5-0.24         |

7 Tomado de: Mercury Report to Congress, 1997.  
citado por Bowie, et al, 1985. Dice que la precipitación es 0.02 - 2 m/día, se usa 0.2.

8 Tomado de: Mercury Report to Congress, 1997.  
citado por Bowie, et al, 1985. El rango varía de 0.003 a 0.17 por día.

**Hoja de cálculo para evaluación del riesgo ambiental por contaminación con mercurio**

Usando SERAFM Versión Beta: 1.0.4a

| <b>Características de la cuenca (datos de ingreso)</b>                 |                 |                 |              |
|--|-----------------|-----------------|--------------|
|  | <b>Valor</b>    | <b>Unidades</b> | <b>Notas</b> |
| Ubicación de la cuenca (Al este u oeste del río Mississippi)           | East            |                 | 0            |
| Área de contribución de la cuenca                                      | 109,440,600,000 | m2              |              |
| Porcentaje impermeable   | 15%             | --              |              |
| Porcentaje de humedales  | 15%             | --              |              |
| Porcentaje de área ribereña  | 10%             | --              |              |
| % con suelo contaminado  | 10%             | --              |              |
| Porcentaje de tierras altas  | 50%             | --              | 1            |
| Área de lagos  | 327,500,000     | m2              | 25%          |
| Profundidad del epilimnion   | 14              | m               |              |
| Profundidad del hipolimnion  | 2               | m               | 2            |
| ¿Hipolimnion anóxico?  | Yes             | --              | 3            |
| Tiempo de residencia hidráulica  | 0.001           | yr              | 4            |
| Afluente   | 4.59E+12        | m3/yr           |              |
| Efluente   | 4.59E+12        | m3/yr           |              |
| pH del agua  | 7               | --              |              |
| Temperatura del agua en el epilimnion                                  | 24              | C               |              |
| Temperatura del agua en el hipolimnion                                 | 20              | C               |              |
| Temperatura del aire   | 26              | C               |              |
| Precipitación anual  | 235.92          | cm/yr           |              |
| Carbono orgánico disuelto (COD) en el epilimnion                       | 3.5             | mg/L            |              |
| Carbono orgánico disuelto (COD) en el hipolimnion                      | 10              | mg/L            |              |
| Carbono orgánico total (COT)   | 1.81            | g org C/m2      |              |
| Color (as PtCo)  |                 | PtCo            | 5            |
| Estatus trófico  | Mesotrófico     |                 | 6            |
| Concentraciones de mercurio en el afluente                             |                 |                 |              |
|  | Hg 0            | 0.00000         | g/m3 2%      |
|  | Hg II           | 0.00007         | g/m3 83%     |
|  | MeHg            | 0.00001         | g/m3 15%     |
| Concentración total de mercurio en sedimentos contaminados (peso seco) | 0.3             | ug/g            | ug/g = ppm   |
| Concentración de mercurio en suelos contaminados                       |                 |                 |              |
|  | Cs,Hg0          | g/m3            | 7            |
|  | Cs,HgII         | g/m3            |              |
|  | Cs,MeHg         | g/m3            |              |
| Máx. cociente de riesgo (HQ) aceptado                                  | 1               |                 |              |

Resultados de interés

Datos altamente sensibles

Datos usados para calibrar el modelo



**Notas:**

- 1.- Corresponde al resto del área de la cuenca.
- 2.- En un río o un lago bien mezclado, el valor es 0.1
- 3.- Se coloca Sí o No según sea el hipolimnion anóxico o no. Si lo es, la metilación será mayor en el hipolimnion ( $k_{meth} = 0.01/d$  anoxic,  $0.001/d$  oxic).
- 4.- Se utiliza para calcular el afluente y el efluente, si hay entradas de filtración de agua o suelo, entonces  $Q_{in}$  y  $Q_{out}$  pueden tener un valor.
- 5.-El color se expresa en términos de PtCo. Si  $PtCo > 50$  entonces el lago se clasifica como distrófico, si no se sabe, se coloca 0.
- 6.-Si el estado trófico resultante no es el que en la realidad parece ser, este puede ser sobrescrito en la hoja de parámetros actualizando el indicador de estado trófico.
- 7.- Si se cuenta con información de concentraciones en suelo contaminado, entonces el porcentaje de la cuenca puede ser usado para reemplazar los cálculos de exportación desde la cuenca. La concentración en suelos es usada para calcular la erosión del suelo y la escorrentía.
- 8.- La concentración objetivo en sedimentos se calcula usando una regresión lineal entre las condiciones de referencia y las condiciones contaminadas. Esto ocasiona que que HI sea cercano (pero no igual) a 1.  
Un resultado exacto puede ser buscado usando la función "buscar objetivo". Se usa la celda Q38 como "celda fija", la celda B43 como "valor final" y la celda H41 como "celda cambiante".

$$Potential\ Dose = \frac{Conc \cdot IngestionRate}{BodyWeight}$$

$$Total\ Dose = \sum \%Diet_{trophiclevel_i} \cdot Potential\ Dose_i + (drinking\ rate \cdot [Hg]_{water})$$

$$HQ = \frac{Total\ Dose}{TRV\ or\ RfD}$$

| Calculos para escenario contaminado     |   |  |   |  |  |                        |  |         |      |
|---|---|--|---|--|--|------------------------|--|---------|------|
| Dosis potencial del agua                | Dosis potencial del nivel trófico 1: fitoplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: zooplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: bentos | Dosis potencial del nivel trófico 3: peces | Dosis potencial del nivel trófico 4: peces | Dosis potencial total  | TRV (valor de referencia de toxicidad) | HQ MeHg |      |
| [ng/d/kg]                               | ug Hg / kg peso húmedo / d                        | ug Hg/kg peso húmedo/d                           | ug Hg/kg peso húmedo/d                      | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d | ug Hg/kg peso húmedo/d                 | --      |      |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis | 2.50  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 2.18                                       | 0.42                   | 2.60                                   | 9       | 0.29 |
| Caimán negro - Melanosuchus niger       | 0.34  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.28                                       | 0.06                   | 0.33                                   | 9       | 0.04 |
| Hombre promedio                         | 0.24  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.05                   | 0.05                                   | 0.1     | 0.48 |
| Mujer (en embarazo o lactancia)         | 0.29  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.07                   | 0.07                                   | 0.1     | 0.70 |
| Adulto promedio                         | 0.27  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.05                   | 0.05                                   | 0.1     | 0.54 |
| Niño promedio                           | 0.19  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.05                   | 0.05                                   | 0.1     | 0.50 |
| Bebé promedio                           | 0.70  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.15                   | 0.15                                   | 0.1     | 1.51 |

| Calculos para escenario contaminado     |   |  |   |  |  |                        |  |        |      |
|---|---|--|---|--|--|------------------------|--|--------|------|
| Dosis potencial del agua                | Dosis potencial del nivel trófico 1: fitoplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: zooplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: bentos | Dosis potencial del nivel trófico 3: peces | Dosis potencial del nivel trófico 4: peces | Dosis potencial total  | TRV (valor de referencia de toxicidad) | HQ HgT |      |
| [ng/d/kg]                               | ug Hg / kg peso húmedo / d                        | ug Hg/kg peso húmedo/d                           | ug Hg/kg peso húmedo/d                      | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d | ug Hg/kg peso húmedo/d                 | --     |      |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis | 16.66   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 2.95                                       | 0.45                   | 3.42                                   | 55     | 0.06 |
| Caimán negro - Melanosuchus niger       | 2.25  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.37                                       | 0.06                   | 0.44                                   | 55     | 0.01 |
| Hombre promedio                         | 1.61  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.05                   | 0.05                                   | 500    | 0.00 |
| Mujer (en embarazo o lactancia)         | 1.94  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.08                   | 0.08                                   | 500    | 0.00 |
| Adulto promedio                         | 1.80  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.06                   | 0.06                                   | 500    | 0.00 |
| Niño promedio                           | 1.26  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.05                   | 0.06                                   | 500    | 0.00 |
| Bebé promedio                           | 4.66  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 0.16                   | 0.17                                   | 500    | 0.00 |

**@RISK Input Results**

| Name   | Graph | Min   | Mean  | Max   | Std Dev | 5%    | 95%   | Errors |
|--|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|--------|
| <b>HgT sedimentos</b>  |       |       |       |       |         |       |       |        |
| HgT (peso seco): /<br>Concentración de mercurio en<br>sedimentos                       |       | 0.302 | 0.336 | 0.852 | 0.02963 | 0.311 | 0.38  | 0      |
| <b>HgT en agua</b>   |       |       |       |       |         |       |       |        |
| HgT en el afluente (agua no<br>filtrada) / Concentración de<br>mercurio en el afluente |       | 6E-05 | 9E-05 | 1E-04 | 9E-06   | 8E-05 | 1E-04 | 0      |

**@RISK Output Results**

| Name   | Graph | Min    | Mean   | Max    | Std Dev | 5%     | 95%    | Errors |
|--|-------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| <b>HQ MeHg</b>                                       |       |        |        |        |         |        |        |        |
| Nutria gigante - Pteronura<br>brasiliensis / HQ MeHg |       | 0.18   | 0.29   | 0.38   | 0.03    | 0.24   | 0.34   | 0      |
| Caimán negro - Melanosuchus<br>niger / HQ MeHg       |       | 0.02   | 0.04   | 0.05   | 0.00    | 0.03   | 0.04   | 0      |
| Hombre promedio / HQ MeHg                            |       | 0.31   | 0.48   | 0.64   | 0.05    | 0.41   | 0.56   | 0      |
| Mujer (en embarazo o<br>lactancia) / HQ MeHg         |       | 0.44   | 0.70   | 0.92   | 0.07    | 0.58   | 0.81   | 0      |
| Adulto promedio / HQ MeHg                            |       | 0.34   | 0.54   | 0.71   | 0.05    | 0.45   | 0.63   | 0      |
| Niño promedio / HQ MeHg                              |       | 0.32   | 0.50   | 0.66   | 0.05    | 0.42   | 0.59   | 0      |
| Bebé promedio / HQ MeHg                              |       | 0.95   | 1.51   | 1.99   | 0.15    | 1.26   | 1.76   | 0      |
| <b>HQ HgT</b>  |       |        |        |        |         |        |        |        |
| Nutria gigante - Pteronura<br>brasiliensis / HQ HgT  |       | 0.04   | 0.06   | 0.08   | 0.01    | 0.05   | 0.07   | 0      |
| Caimán negro - Melanosuchus<br>niger / HQ HgT        |       | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 0.00    | 0.01   | 0.01   | 0      |
| Hombre promedio / HQ HgT                             |       | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   | 0.00   | 0      |
| Mujer (en embarazo o<br>lactancia) / HQ HgT          |       | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   | 0.00   | 0      |
| Adulto promedio / HQ HgT                             |       | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   | 0.00   | 0      |
| Niño promedio / HQ HgT                               |       | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   | 0.00   | 0      |
| Bebé promedio / HQ HgT                               |       | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   | 0.00   | 0      |
| <b>Mercurio en peces</b>                             |       |        |        |        |         |        |        |        |
| [MeHg] Nivel trófico 3 /<br>Escenario Actual         |       | 0.012  | 0.020  | 0.026  | 0.002   | 0.016  | 0.023  | 0      |
| [MeHg] Nivel trófico 4 /<br>Escenario Actual         |       | 0.010  | 0.015  | 0.020  | 0.002   | 0.013  | 0.018  | 0      |
| [HgT] Nivel trófico 3 /<br>Escenario Actual          |       | 0.017  | 0.027  | 0.035  | 0.003   | 0.022  | 0.031  | 0      |
| [HgT] Nivel trófico 4 /<br>Escenario Actual          |       | 0.010  | 0.016  | 0.021  | 0.002   | 0.014  | 0.019  | 0      |
| <b>Mercurio en agua</b>                              |       |        |        |        |         |        |        |        |
| [MeHg] sin filtrado en agua /<br>Escenario Actual    |       | 5.96   | 9.44   | 12.44  | 0.94    | 7.89   | 10.99  | 0      |
| [HgT] sin filtrado en agua /<br>Escenario Actual     |       | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000  | 0.0001 | 0.0001 | 0      |

**Datos de entrada - Escenario Pesimista**

Perturbación priorizada: *Contaminación por mercurio*

| Caso subcuena río Madre de Dios | Valores | Unidades |
|---------------------------------|---------|----------|
|---------------------------------|---------|----------|

| Características de la cuenca en estudio: |                 |                  |
|--|-----------------|------------------|
| Área:                                    | 109,440,600,000 | metros cuadrados |
| % territorio con uso urbano:             | 15%             | %                |
| % territorio humedal:                    | 15%             | %                |
| % territorio aluvial:                    | 10%             | %                |
| % territorio con otros usos:             | 50%             | %                |
| % territorio con suelo contaminado:      | 10%             | %                |

Fuente: Estudio hidrológico cuenca MDD - ANA.  
Asumido  
Asumido  
Asumido  
Asumido  
Asumido

| Características hidrológicas del cuerpo de agua en estudio |             |                  |
|--|-------------|------------------|
| Superficie del cuerpo de agua en estudio:                  | 327,500,000 | metros cuadrados |
| Profundidad del epilimnion:                                | 14          | metros           |
| Profundidad del hipolimnion:                               | 2           | metros           |
| Hipolimnion anóxico:                                       | Yes         | Sí / No          |
| Tiempo de residencia hidráulico:                           | 0.001       | Años             |

Ancho promedio 500 m. Largo en Perú: 655 Km.  
Fuente: Estudio hidrológico cuenca MDD - ANA.  
0.1 o menos en caso de ríos o cochas con buena mezcla. En este caso se asume cochas sin buena mezcla.  
Si lo es, la tasa de metilación usada es 0.01 al día, si no se usa 0.001 al día.  
Equivale a medio día, a más tardar.

| Características de la calidad del agua del cuerpo de agua en estudio |        |                |
|--|--------|----------------|
| pH:  | 7      | -              |
| Temperatura del epilimnion:  | 24     | grados celsius |
| Temperatura del hipolimnion:   | 20     | grados celsius |
| Temperatura del aire:  | 26     | grados celsius |
| Precipitación anual:   | 235.92 | cm/año         |
| COD epilimnion:  | 3.5    | mg/L           |
| COD hipolimnion:   | 10     | mg/L           |

Temperatura anual media  
(\*) Ver nota.  
(\*\*) Ver nota.

\* Se usan datos promedio para el período de tiempo evaluado: estación, año, etc.

\*\* Si en el epilimnion... COD < 3 es oligotrófico, si 3 mg/L ≤ COD < 5 mg/L es mesotrófico, si 5 mg/L ≤ COD ≤ 10 mg/L es eutrófico, si COD > 10 mg/L y el color > 50 PtCo es distrófico.

| Concentración de mercurio en el afluente |         |      |
|--|---------|------|
| HgT en el afluente (agua no filtrada)    | 0.038   | mg/L |
| HgT en el afluente (agua no filtrada)    | 38000   | ng/L |
| % de Hg0 / HgT en el afluente            | 2%      | %    |
| % de HgII / HgT en el afluente           | 83%     | %    |
| % de MeHg / HgT en el afluente           | 15%     | %    |
| Hg0 en el afluente:                      | 0.00076 | g/m3 |
| HgII en el afluente:                     | 0.03154 | g/m3 |
| MeHg en el afluente:                     | 0.00570 | g/m3 |

Dato introducido para calibrar el modelo. Valor máximo encontrado.  
Dato calculado  
Por defecto se asume que en agua la mayor parte de mercurio no está en esta forma.  
Por defecto se asume que en agua la mayor parte de mercurio está en esta forma.  
En ambientes eutróficos el metilmercurio en agua representa hasta el 15% (Stober et al., 1998)

| Concentración de mercurio en sedimentos |     |      |
|---|-----|------|
| HgT (peso seco):                        | 6.3 | ug/g |

Dato de campo. Valor máximo encontrado.

| Constantes de velocidad:                                      |        |                      |
|---|--------|----------------------|
| Metilación - epilimnion                                       | 0.001  | por día              |
| Metilación - hipolimnion                                      | 0.01   | por día              |
| Metilación - sedimentos                                       | 0.001  | por día              |
| Desmetilación - epilimnion                                    | 0.0001 | por día              |
| Desmetilación - hipolimnion                                   | 0.001  | por día              |
| Desmetilación - sedimentos                                    | 0.002  | por día              |
| Reducción biótica - columna de agua                           | 0.03   | por día              |
| Foto - degradación (MeHg --> Hg0) - columna de agua           | 0.002  | por día por E/m2-día |
| Foto - reducción (HgII --> Hg0) Luz visible - columna de agua | 0.03   | por día por E/m2-día |
| Foto - reducción (HgII --> Hg0) UV-B - columna de agua        | 28.25  | por día por E/m2-día |
| Foto - oxidación (Hg0 --> HgII) UV-B - columna de agua        | 58.85  | por día por E/m2-día |
| Oxidación oscura  | 1.44   | por día              |

Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.  
Valores por defecto.

| Concentraciones de mercurio          | Escenario Pesimista |                  |
|--------------------------------------|---------------------|------------------|
| [MeHg] filtrado en agua              | 2787.41             |                  |
| [MeHg] sin filtrado en agua          | 3982.01             |                  |
| [HgT] filtrado en agua               | 18582.73            |                  |
| [HgT] filtrado en agua               | 0.0186              |                  |
| [HgT] sin filtrado en agua           | 0.0265              |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 1: fitoplancton | 1376.42             |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 2: zooplancton  | 4478.44             |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 2: bentos       | 6898.84             |                  |
| [MeHg] Nivel trófico 3               | 8.306               | MeHg = 0.739 HgT |
| [MeHg] Nivel trófico 4               | 6.347               | MeHg = 0.924 HgT |
| [HgT] Nivel trófico 3                | 11.240              |                  |
| [HgT] Nivel trófico 4                | 6.870               |                  |

| Unidades             |
|----------------------|
| ng/L                 |
| ng/L                 |
| ng/L                 |
| mg/L                 |
| mg/L                 |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |
| ug Hg/ g peso húmedo |

2787.409323  
USEPA, 1997a  
Cambio de unidades  
USEPA, 1997b. Asume 70%.  
Nota: Estos valores se obtienen de los BAFs del percentil 50%.  
Fitoplancton, zooplancton y bentos toman como referencia datos de EE.UU.  
Omnívoros y detritívoros  
Piscívoros  
Omnívoros y detritívoros  
Piscívoros

| Factores de bioacumulación del mercurio | Percentiles |          |          |          |          |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|
|   | 5           | 25       | 50       | 75       | 95       |
| Nivel trófico 1: fitoplancton           |             |          | 4.94E+05 |          |          |
| Nivel trófico 2: zooplancton            |             |          | 1.61E+06 |          |          |
| Nivel trófico 2: bentos                 |             |          | 2.48E+06 |          |          |
| Nivel trófico 3: peces                  | 4.60E+05    | 9.50E+05 | 2.98E+03 | 2.60E+06 | 5.40E+06 |
| Nivel trófico 4: peces                  | 3.30E+06    | 5.00E+06 | 2.28E+03 | 9.20E+06 | 1.40E+07 |

$$BAF = \frac{\mu g}{kg} = \frac{\mu g}{L}$$

En base a datos de campo con factor de corrección = 16.97  
En base a datos de campo con factor de corrección = 9.17

| Especies                                       | Parámetros específicos para vida silvestre y humanos expuestos |                      |                             |  |   |  |   |   |                                       |
|--|--|----------------------|-----------------------------|--|---|--|---|---|---------------------------------------|
|  | Peso   | Tasa de ingestión    | Tasa de ingesta de líquidos | % de la dieta del nivel trófico 1 : fitoplancton y plantas | % de la dieta del nivel trófico 2 : zooplancton | % de la dieta del nivel trófico 2 : bentos | % de la dieta del nivel trófico 3 : peces | % de la dieta del nivel trófico 4 : peces | % de la dieta de fuentes no acuáticas |
|  | [kg in peso húmedo]  | [kg peso húmedo/día] | [L/d]                       | %  | %   | %  | %   | %   | %                                     |
| Nutria gigante - <i>Pteronura brasiliensis</i> | 32.5   | 4.5                  | 8.60                        | 0%   | 0%  | 0%   | 80%                                       | 20%                                       | 0%                                    |
| Caimán negro - <i>Melanosuchus niger</i>       | 400  | 7.48                 | 14.300                      | 0%   | 0%  | 0%   | 75%                                       | 20%                                       | 5%                                    |
| Hombre promedio                                | 78   | 0.50                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%  | 50%                                       | 50%                                   |
| Mujer (en embarazo o lactancia)                | 65   | 0.60                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%  | 50%                                       | 50%                                   |
| Adulto promedio                                | 70   | 0.50                 | 2                           | 0%   | 0%  | 0%   | 0%  | 50%                                       | 50%                                   |
| Niño promedio                                  | 45   | 0.30                 | 0.9                         | 0%   | 0%  | 0%   | 0%  | 50%                                       | 50%                                   |
| Bebé promedio                                  | 10   | 0.20                 | 0.74                        | 0%   | 0%  | 0%   | 0%  | 50%                                       | 50%                                   |

Información tomada de: Mercury Report to Congress, Volume VI, Section 3.3.

y citada en: Nichols, J., S. Bradbury, J. Swartout. 1999. Derivation of Wildlife Values for Mercury. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B. 2:325-255.

TRV "Toxicity Reference Value"

Según Nichols, et al. 1999. el TRV para aves es: 13 ug/kg/d; y para mamíferos: 16 ug/kg/d.

Los valores para humanos han sido tomados del manual de factores de exposición.

La tasa de ingesta de líquidos en bebés es el promedio de niños de 1 a 10 años (0.74 L/d) y en niños, el promedio de 11 a 19 años (0.97 L/d).

El porcentaje de la dieta proveniente de peces del nivel trófico 4 es asumido, dado que la tasa de ingesta en peces es específica para cada especie e individuo.

#### OTROS PARÁMETROS

|  |         |        |  |
|--|---------|--------|--|
| Profundidad de la capa de suelo permeable  | m       | 0.1    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para Hg0   | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para HgII  | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de escorrentía constante para MeHg  | por año | 0.001  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para Hg0  | por año | 0.0005 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para HgII                                       | por año | 0      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de pérdida de suelo constante para MeHg                                       | por año | 0      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Velocidad promedio del viento a 10 m sobre la superficie de agua                   | m/s     | 6      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable | --      | 1      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable | --      | 1      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de superficie impermeable | --      | 1      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales              | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales              | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de humedales              | --      | 4.9    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas        | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas        | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de áreas ribereñas        | --      | 2      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas          | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas          | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Proporción de exportación a la precipitación proveniente de tierras altas          | --      | 0.2    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

Los valores por defecto de los ratios vienen de:

Rudd, J.W.M. 1995. Sources of Methyl Mercury to Freshwater Ecosystems: A Review. Water, Air, and Soil Pollution. 80: 697-713.

|  |   |          |  |  |
|--|---|----------|--|--|
| Luz en la superficie   | Intensidad de iluminación de la superficie    | E/m2-día | 95.00                                      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. Obtenido de Zepp (1980), en Mercury Report to Congress, para 40 grados de latitud en días despejados. |
| Nubosidad  | Factor de reductancia para la fracción nubosa | --       | 0.65                                       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Reflectancia   |   | --       | 0.05                                       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Horas de luz diarias en porcentaje                                     |   | --       | 0.50                                       | Valor establecido por SERAFM, por defecto.   |
| Tasa constante de desmetilación en la termoclina de la columna de agua | por año                                       | 0.00     | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |  |
| Tasa constante de oxidación béntica                                    | por año                                       | 0.00     | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |  |
| Tasa constante de desmetilación en el bentos                           | por año                                       | 0.00     | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |  |

|                                |           |      |  |
|--------------------------------|-----------|------|--|
| Flujo de deposición seca, Hg0  | ug/m2-año | 0    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Flujo de deposición seca, HgII | ug/m2-año | 10   | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Flujo de deposición seca, MeHg | ug/m2-año | 0.15 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

|   |       |      |  |
|---|-------|------|--|
| Concentración en la precipitación, Hg0  | ug/m3 | 0    | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Concentración en la precipitación, HgII | ug/m3 | 10   | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Concentración en la precipitación, MeHg | ug/m3 | 0.15 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

|                               |       |          |  |
|-------------------------------|-------|----------|--|
| Concentración gaseosa de Hg0  | ug/m3 | 1.60E-03 | Mason, R.P., W.F. Fitzgerald, F.M.M.Morel. 1994.                           |
| Concentración gaseosa de HgII | ug/m3 | 3.00E-06 | The biogeochemical cycling of elemental mercury: Anthropogenic Influences. |
| Concentración gaseosa de MeHg | ug/m3 | 3.00E-09 | Geochimica et Cosmochimica Acta. 58(15): 3191-1918                         |

Indica que la atmósfera tiene una concentración promedio de 1.6 ng/m3 = 0.0016 ug/m3 y que 98% de ella es Hg0.

|                               |      | Capa 1  | Capa 2  | Sedimentos |
|-------------------------------|------|---------|---------|------------|
| Cl <sup>-</sup>               | mg/L | 0.3     | 0.3     | 0.3        |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | mg/L | 5.0E-03 | 5.0E-03 | 5.0E-03    |
| S <sup>2-</sup>               | mg/L | 1.0E-09 | 1.0E-09 | 1.0E-09    |

Se asume:  
Cl<sup>-</sup> = Cloruro total  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = Sulfato total  
S<sup>2-</sup> = Sulfuro total

|   |      |   |  |
|---|------|---|--|
| Sólidos abióticos en la entrada de agua       | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Sólidos de fitoplancton en la entrada de agua | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Sólidos de zooplancton en la entrada de agua  | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

|  |      |   |  |   |
|--|------|---|--|---|
| Concentración de fitoplancton en la capa 2 | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 3 |
|--|------|---|--|---|

3 Se asume que todo el zooplancton y fitoplancton está en la capa superficial.

|   |      |   |  |   |
|---|------|---|--|---|
| Concentración de zooplancton en la capa 2 | g/m3 | 0 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 3 |
|---|------|---|--|---|

4 La arena no debe incluirse dado que no suele resuspenderse.

|                        |       |      |  |
|------------------------|-------|------|--|
| Densidad del sedimento | g/cm3 | 2.65 | Por defecto se asume en el rango de 2 a 2.7. |
|------------------------|-------|------|--|

Al modelar para condiciones estacionarias, la tasa de mortalidad es igual al negativo de la tasa de crecimiento.

|                         |         |      |  |
|-------------------------|---------|------|--|
| Porosidad del sedimento | cm3/cm3 | 0.95 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
|-------------------------|---------|------|--|

La mortalidad es modelada como de primer orden, y la productividad como un flujo, por lo que se divide la productividad por la fitoconcentración y el grosor de la capa.

|   |    |   |   |     |
|---|----|---|---|-----|
| Diámetro promedio de las partículas de sedimentos | um | 5 | Por defecto de textura limosa moderada. | 4,6 |
|---|----|---|---|-----|

6 Abajo se muestran los rangos típicos de las partículas:

|  |       |          |  |   |
|--|-------|----------|--|---|
| Velocidad de sedimentación de la biota | m/día | 0.2      | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 7 |
| Velocidad de resuspensión abiótica     | m/día | 1.01E-05 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 9 |

|      | Grueso   | Rango de |
|------|----------|----------|
| Limo | Mediano  | 62 - 31  |
|      | Fino     | 16 - 8   |
|      | Muy fino | 8-4      |

|   |         |      |  |   |
|---|---------|------|--|---|
| Tasa de mortalidad de fitoplancton en la capa 1 | por día | 0.03 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. | 8 |
|---|---------|------|--|---|

|         | Gruesa | Mediana | Fina  | Muy fina |
|---------|--------|---------|-------|----------|
| Arcilla | 4-2    | 2-1     | 1-0.5 | 0.5-0.24 |

|                                      |         |       |  |
|--------------------------------------|---------|-------|--|
| Profundidad de la capa de sedimentos | m       | 0.030 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Tasa de mineralización               | por año | 0.01  | La mitad de R-MCM                          |

|                                   |       |       |  |
|-----------------------------------|-------|-------|--|
| Velocidad de deposición en bentos | m/año | 0.001 | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |
| Porosidad del sedimento           | --    | 0.95  | Valor establecido por SERAFM, por defecto. |

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

Ubicación geográfica respecto al río Mississippi Este (1) u oeste (2)

Tomado de: Mercury Report to Congress, 1997.  
7 citado por Bowie, et al, 1985. Dice que la precipitación es 0.02 - 2 m/día, se usa 0.2.

|   |                           |           |        |
|---|---------------------------|-----------|--------|
| A | Pérdida estimada de suelo | kg/m2/año | 2.7776 |
|---|---------------------------|-----------|--------|

Tomado de: Mercury Report to Congress, 1997.  
8 citado por Bowie, et al, 1985. El rango varía de 0.003 a 0.17 por día.

|    |                                  |                      |      |   |
|----|----------------------------------|----------------------|------|---|
| R  | Factor de erosividad del suelo   | kg/km2-año           | 100  | Valores calibrados para bosques, en base a IBC. |
| K  | Factor de erodabilidad del suelo | (tons/acre)/(kg/km2) | 0.31 | Valores calibrados para bosques, en base a IBC. |
| LS | Factor topográfico               | --                   | 10   | Valores calibrados para bosques, en base a IBC. |
| C  | Factor de cobertura y manejo     | --                   | 0.04 | Valores calibrados para bosques, en base a IBC. |

|                                      |         |     |  |
|--------------------------------------|---------|-----|--|
| Tasa de reducción base en sedimentos | por día | 0.4 | Por defecto se asume que no hay reducción en sedimentos. |
|--------------------------------------|---------|-----|--|



**Hoja de cálculo para evaluación del riesgo ambiental por contaminación con mercurio**

Usando SERAFM Versión Beta: 1.0.4a

| <b>Características de la cuenca (datos de ingreso)</b>                 |                 |                 |              |
|--|-----------------|-----------------|--------------|
|  | <b>Valor</b>    | <b>Unidades</b> | <b>Notas</b> |
| Ubicación de la cuenca (Al este u oeste del río Mississippi)           | East            |                 | 0            |
| Área de contribución de la cuenca                                      | 109,440,600,000 | m2              |              |
| Porcentaje impermeable   | 15%             | --              |              |
| Porcentaje de humedales  | 15%             | --              |              |
| Porcentaje de área ribereña  | 10%             | --              |              |
| % con suelo contaminado  | 10%             | --              |              |
| Porcentaje de tierras altas  | 50%             | --              | 1            |
| Área de lagos  | 327,500,000     | m2              | 25%          |
| Profundidad del epilimnion   | 14              | m               |              |
| Profundidad del hipolimnion  | 2               | m               | 2            |
| ¿Hipolimnion anóxico?  | Yes             | --              | 3            |
| Tiempo de residencia hidráulica  | 0.001           | yr              | 4            |
| Afluente   | 4.59E+12        | m3/yr           |              |
| Efluente   | 4.59E+12        | m3/yr           |              |
| pH del agua  | 7               | --              |              |
| Temperatura del agua en el epilimnion                                  | 24              | C               |              |
| Temperatura del agua en el hipolimnion                                 | 20              | C               |              |
| Temperatura del aire   | 26              | C               |              |
| Precipitación anual  | 235.92          | cm/yr           |              |
| Carbono orgánico disuelto (COD) en el epilimnion                       | 3.5             | mg/L            |              |
| Carbono orgánico disuelto (COD) en el hipolimnion                      | 10              | mg/L            |              |
| Carbono orgánico total (COT)   | 1.81            | g org C/m2      |              |
| Color (as PtCo)  |                 | PtCo            | 5            |
| Estatus trófico  | Mesotrófico     |                 | 6            |
| Concentraciones de mercurio en el afluente                             |                 |                 |              |
|  | Hg 0            | 0.00076         | g/m3         |
|  | Hg II           | 0.03154         | g/m3         |
|  | MeHg            | 0.00570         | g/m3         |
|  |                 |                 | 2%           |
|  |                 |                 | 83%          |
|  |                 |                 | 15%          |
| Concentración total de mercurio en sedimentos contaminados (peso seco) | 6.3             | ug/g            | ug/g = ppm   |
| Concentración de mercurio en suelos contaminados                       |                 |                 |              |
|  | Cs,Hg0          | g/m3            | 7            |
|  | Cs,HgII         | g/m3            |              |
|  | Cs,MeHg         | g/m3            |              |
| Máx. cociente de riesgo (HQ) aceptado                                  | 1               |                 |              |

Resultados de interés  
 Datos altamente sensibles  
 Datos usados para calibrar el modelo



**Notas:**

- 1.- Corresponde al resto del área de la cuenca.
- 2.- En un río o un lago bien mezclado, el valor es 0.1
- 3.- Se coloca Sí o No según sea el hipolimnion anóxico o no. Si lo es, la metilación será mayor en el hipolimnion ( $k_{meth} = 0.01/d$  anoxic,  $0.001/d$  oxíc).
- 4.- Se utiliza para calcular el afluente y el efluente, si hay entradas de filtración de agua o suelo, entonces  $Q_{in}$  y  $Q_{out}$  pueden tener un valor.
- 5.-El color se expresa en términos de PtCo. Si  $PtCo > 50$  entonces el lago se clasifica como distrófico, si no se sabe, se coloca 0.
- 6.-Si el estado trófico resultante no es el que en la realidad parece ser, este puede ser sobrescrito en la hoja de parámetros actualizando el indicador de estado trófico.
- 7.- Si se cuenta con información de concentraciones en suelo contaminado, entonces el porcentaje de la cuenca puede ser usado para reemplazar los cálculos de exportación desde la cuenca. La concentración en suelos es usada para calcular la erosión del suelo y la escorrentía.
- 8.- La concentración objetivo en sedimentos se calcula usando una regresión lineal entre las condiciones de referencia y las condiciones contaminadas. Esto ocasiona que que HI sea cercano (pero no igual) a 1.  
 Un resultado exacto puede ser buscado usando la función "buscar objetivo". Se usa la celda Q38 como "celda fija", la celda B43 como "valor final" y la celda H41 como "celda cambiante".

$$Potential\ Dose = \frac{Conc \cdot IngestionRate}{BodyWeight}$$

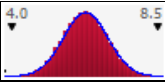
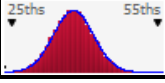
$$Total\ Dose = \sum \% Diet_{trophiclevel_i} \cdot Potential\ Dose_i + (drinking\ rate \cdot [Hg]_{water})$$

$$HQ = \frac{Total\ Dose}{TRV\ or\ RfD}$$

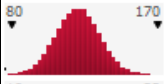

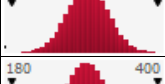
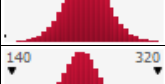





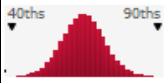
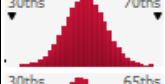




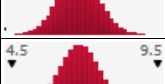
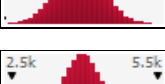
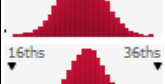


| Calculos para escenario contaminado     |   |  |   |  |  |                        |  |         |               |
|---|---|--|---|--|--|------------------------|--|---------|---------------|
| Dosis potencial del agua                | Dosis potencial del nivel trófico 1: fitoplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: zooplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: bentos | Dosis potencial del nivel trófico 3: peces | Dosis potencial del nivel trófico 4: peces | Dosis potencial total  | TRV (valor de referencia de toxicidad) | HQ MeHg |               |
| [ng/d/kg]                               | ug Hg / kg peso húmedo / d                        | ug Hg/kg peso húmedo/d                           | ug Hg/kg peso húmedo/d                      | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d | ug Hg/kg peso húmedo/d                 | --      |               |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis | 1,053.70  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 920.08                                     | 175.77                 | 1,096.91                               | 9       | <b>121.88</b> |
| Caimán negro - Melanosuchus niger       | 142.36  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 116.50                                     | 23.74                  | 140.38                                 | 9       | <b>15.60</b>  |
| Hombre promedio                         | 102.10  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 20.34                  | 20.45                                  | 0.1     | <b>204.46</b> |
| Mujer (en embarazo o lactancia)         | 122.52  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 29.30                  | 29.42                                  | 0.1     | <b>294.18</b> |
| Adulto promedio                         | 113.77  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 22.67                  | 22.78                                  | 0.1     | <b>227.83</b> |
| Niño promedio                           | 79.64   | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 21.16                  | 21.24                                  | 0.1     | <b>212.38</b> |
| Bebé promedio                           | 294.67  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 63.47                  | 63.77                                  | 0.1     | <b>637.69</b> |

| Calculos para escenario contaminado     |   |  |   |  |  |                        |  |        |              |
|---|---|--|---|--|--|------------------------|--|--------|--------------|
| Dosis potencial del agua                | Dosis potencial del nivel trófico 1: fitoplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: zooplancton | Dosis potencial del nivel trófico 2: bentos | Dosis potencial del nivel trófico 3: peces | Dosis potencial del nivel trófico 4: peces | Dosis potencial total  | TRV (valor de referencia de toxicidad) | HQ HgT |              |
| [ng/d/kg]                               | ug Hg / kg peso húmedo / d                        | ug Hg/kg peso húmedo/d                           | ug Hg/kg peso húmedo/d                      | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d                     | ug Hg/kg peso húmedo/d | ug Hg/kg peso húmedo/d                 | --     |              |
| Nutria gigante - Pteronura brasiliensis | 7,024.68  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 1,245.04                                   | 190.23                 | 1,442.29                               | 55     | <b>26.22</b> |
| Caimán negro - Melanosuchus niger       | 949.05  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 157.64                                     | 25.69                  | 184.28                                 | 55     | <b>3.35</b>  |
| Hombre promedio                         | 680.69  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 22.02                  | 22.70                                  | 500    | 0.05         |
| Mujer (en embarazo o lactancia)         | 816.82  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 31.71                  | 32.52                                  | 500    | 0.07         |
| Adulto promedio                         | 758.48  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 24.53                  | 25.29                                  | 500    | 0.05         |
| Niño promedio                           | 530.94  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 22.90                  | 23.43                                  | 500    | 0.05         |
| Bebé promedio                           | 1,964.46  | 0.00   | 0.00  | 0.00                                       | 0.00                                       | 68.70                  | 70.66                                  | 500    | 0.14         |

**@RISK Input Results**

| Name   | Graph   | Min       | Mean    | Max       | Std Dev    | 5%        | 95%       | Errors |
|--|---|-----------|---------|-----------|------------|-----------|-----------|--------|
| <b>HgT sedimentos</b>  |   |           |         |           |            |           |           |        |
| HgT (peso seco): /<br>Concentración de mercurio en<br>sedimentos                       |  | 4.286174  | 6.30022 | 8.361516  | 0.6295995  | 5.259768  | 7.335877  | 0      |
| <b>HgT en agua</b>   |   |           |         |           |            |           |           |        |
| HgT en el afluente (agua no<br>filtrada) / Concentración de<br>mercurio en el afluente |  | 0.0255107 | 0.038   | 0.0509248 | 0.00379921 | 0.0317329 | 0.0442318 | 0      |

**@RISK Output Results**

| Name   | Graph   | Min     | Mean    | Max     | Std Dev | 5%      | 95%     | Errors |
|--|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| <b>HQ MeHg</b>                                       |   |         |         |         |         |         |         |        |
| Nutria gigante - Pteronura<br>brasiliensis / HQ MeHg |    | 81.82   | 121.88  | 163.33  | 12.19   | 101.78  | 141.87  | 0      |
| Caimán negro - Melanosuchus<br>niger / HQ MeHg       |    | 10.47   | 15.60   | 20.90   | 1.56    | 13.03   | 18.16   | 0      |
| Hombre promedio / HQ MeHg                            |    | 137.26  | 204.46  | 274.01  | 20.44   | 170.74  | 237.99  | 0      |
| Mujer (en embarazo o<br>lactancia) / HQ MeHg         |    | 197.50  | 294.18  | 394.24  | 29.41   | 245.67  | 342.43  | 0      |
| Adulto promedio / HQ MeHg                            |    | 152.95  | 227.83  | 305.32  | 22.78   | 190.26  | 265.19  | 0      |
| Niño promedio / HQ MeHg                              |   | 142.58  | 212.38  | 284.61  | 21.23   | 177.35  | 247.21  | 0      |
| Bebé promedio / HQ MeHg                              |  | 428.10  | 637.69  | 854.58  | 63.76   | 532.52  | 742.27  | 0      |
| <b>HQ HgT</b>  |   |         |         |         |         |         |         |        |
| Nutria gigante - Pteronura<br>brasiliensis / HQ HgT  |  | 17.60   | 26.22   | 35.14   | 2.62    | 21.90   | 30.52   | 0      |
| Caimán negro - Melanosuchus<br>niger / HQ HgT        |  | 2.25    | 3.35    | 4.49    | 0.33    | 2.80    | 3.90    | 0      |
| Hombre promedio / HQ HgT                             |  | 0.03    | 0.05    | 0.06    | 0.00    | 0.04    | 0.05    | 0      |
| Mujer (en embarazo o<br>lactancia) / HQ HgT          |  | 0.04    | 0.07    | 0.09    | 0.01    | 0.05    | 0.08    | 0      |
| Adulto promedio / HQ HgT                             |  | 0.03    | 0.05    | 0.07    | 0.01    | 0.04    | 0.06    | 0      |
| Niño promedio / HQ HgT                               |  | 0.03    | 0.05    | 0.06    | 0.00    | 0.04    | 0.05    | 0      |
| Bebé promedio / HQ HgT                               |  | 0.09    | 0.14    | 0.19    | 0.01    | 0.12    | 0.16    | 0      |
| <b>Mercurio en peces</b>                             |   |         |         |         |         |         |         |        |
| [MeHg] Nivel trófico 3 /<br>Escenario Pesimista      |  | 5.576   | 8.306   | 11.131  | 0.830   | 6.936   | 9.668   | 0      |
| [MeHg] Nivel trófico 4 /<br>Escenario Pesimista      |  | 4.261   | 6.347   | 8.506   | 0.635   | 5.301   | 7.388   | 0      |
| [HgT] Nivel trófico 3 /<br>Escenario Pesimista       |  | 7.546   | 11.240  | 15.063  | 1.124   | 9.386   | 13.083  | 0      |
| [HgT] Nivel trófico 4 /<br>Escenario Pesimista       |  | 4.612   | 6.869   | 9.206   | 0.687   | 5.737   | 7.996   | 0      |
| <b>Mercurio en agua</b>                              |   |         |         |         |         |         |         |        |
| [MeHg] sin filtrado en agua /<br>Escenario Pesimista |  | 2673.27 | 3982.01 | 5336.40 | 398.12  | 3325.29 | 4635.04 | 0      |
| [HgT] sin filtrado en agua /<br>Escenario Pesimista  |  | 0.0178  | 0.0265  | 0.0356  | 0.0027  | 0.0222  | 0.0309  | 0      |

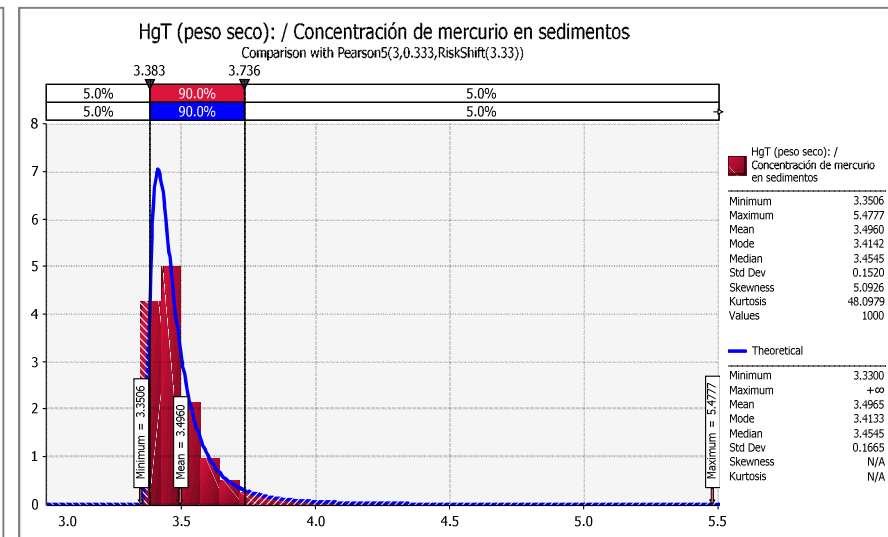
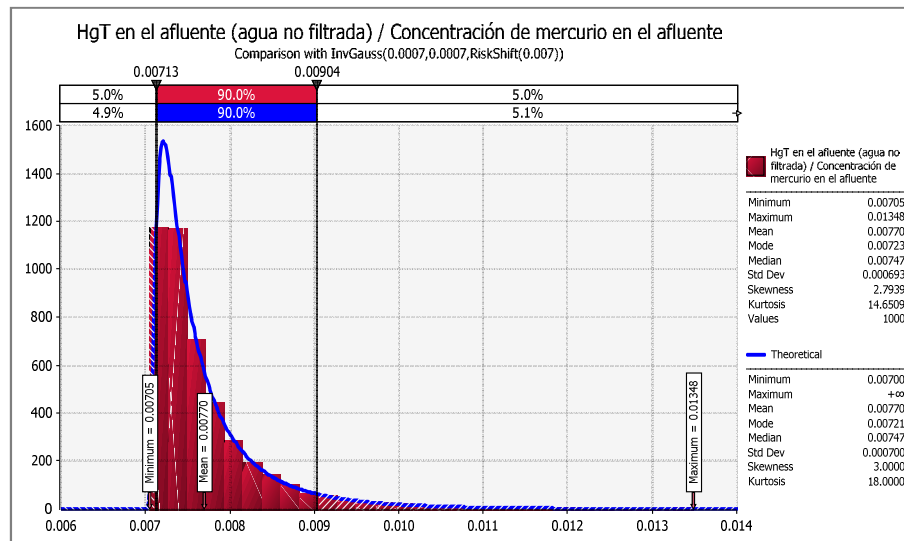
## f) Resultados detallados de los escenarios modelados con SERAFM

### Escenario actual

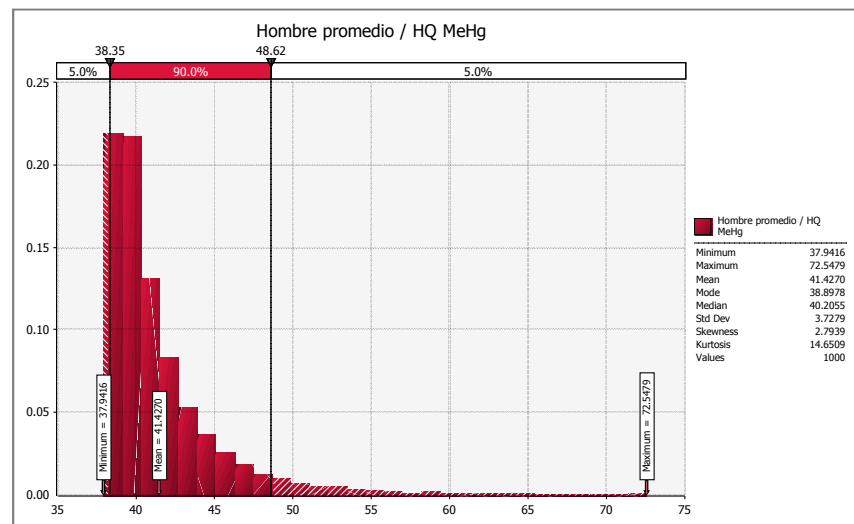
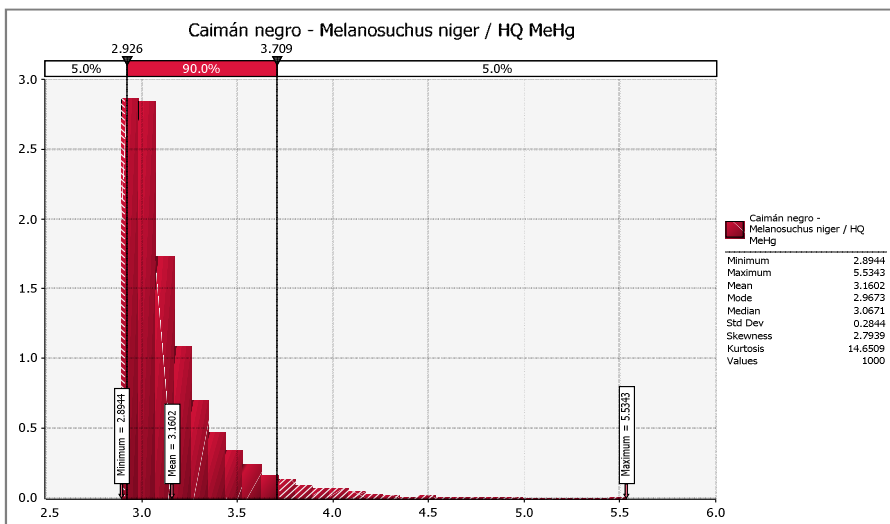
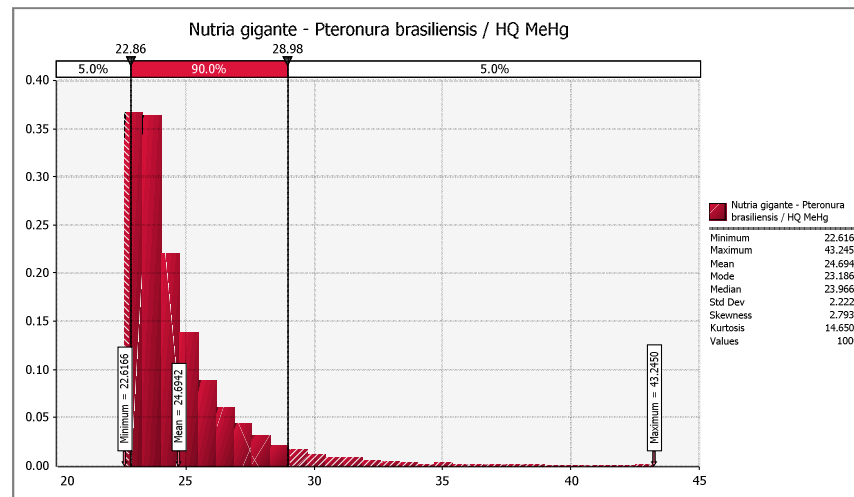
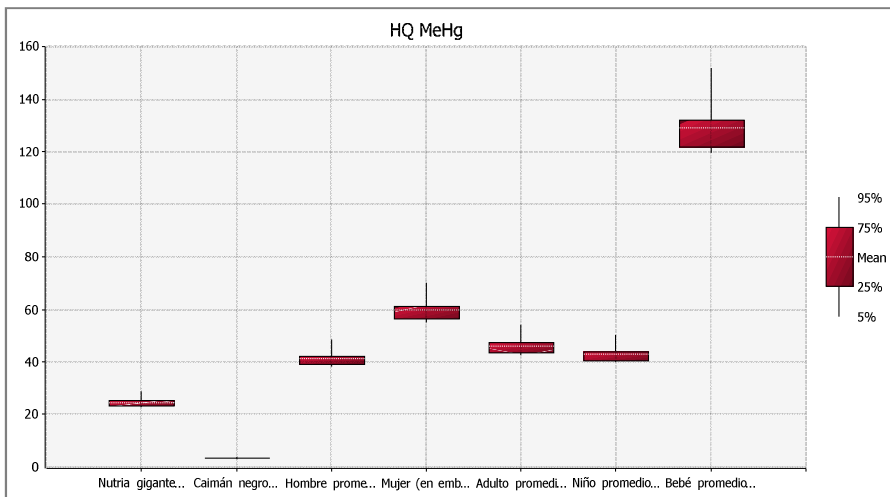
#### Entradas

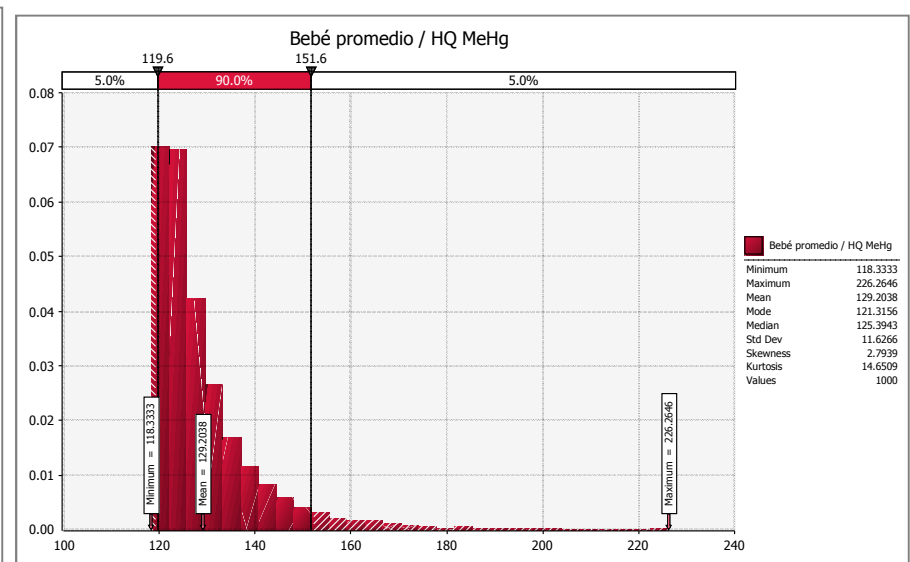
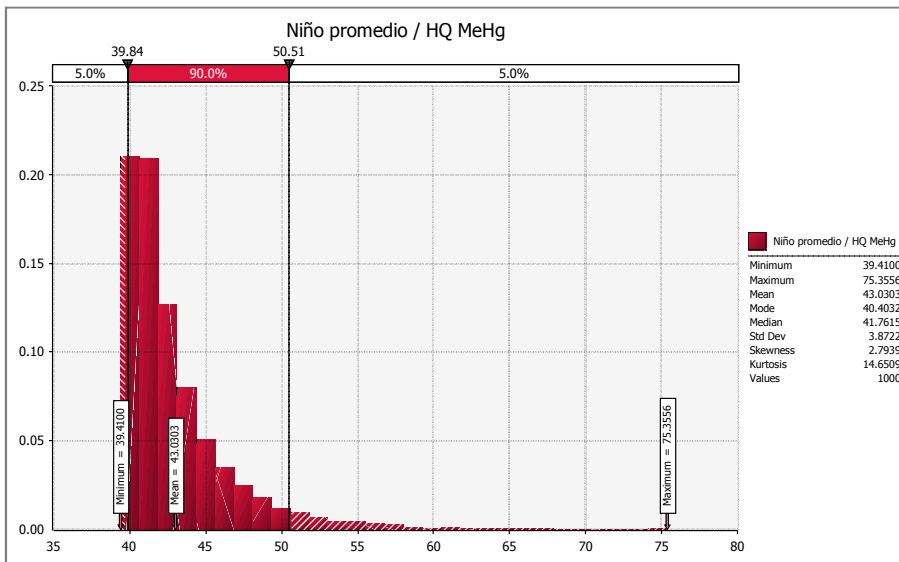
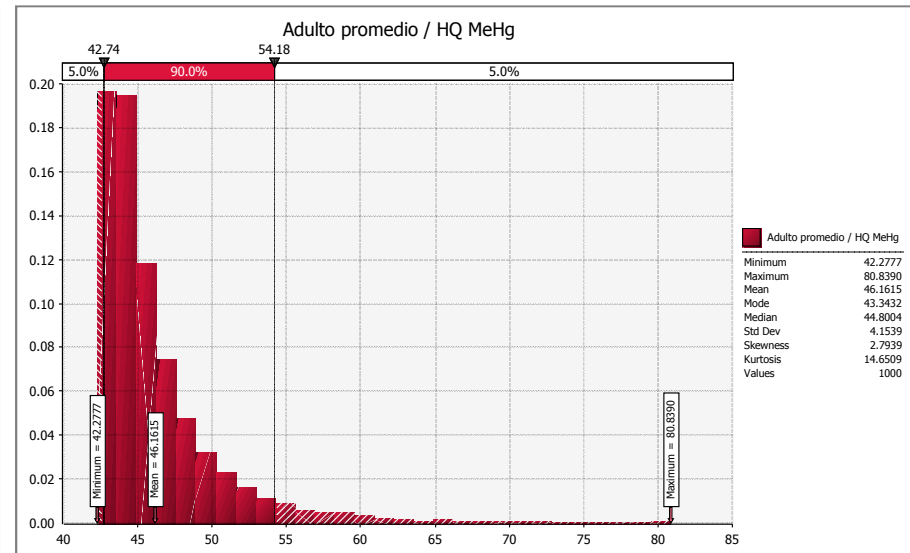
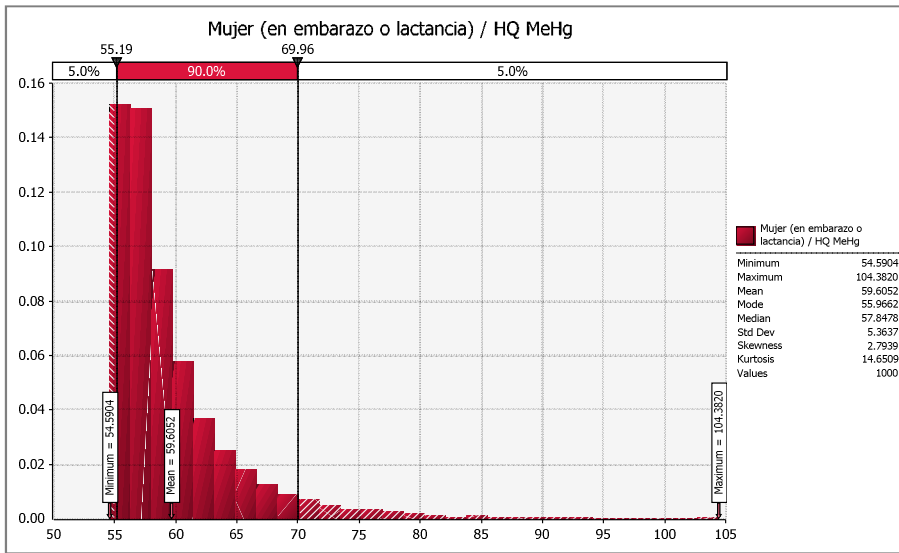
Mercurio total en el agua en el afluente: *Inv. Gauss*

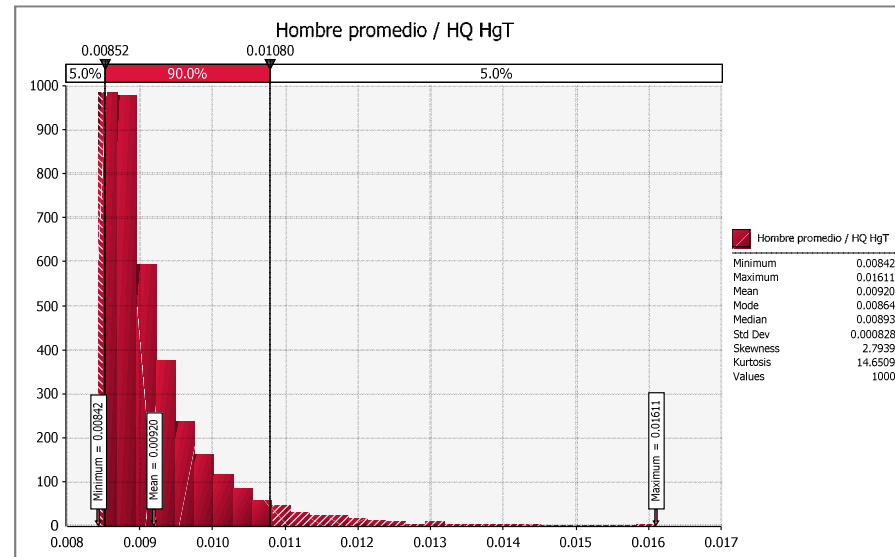
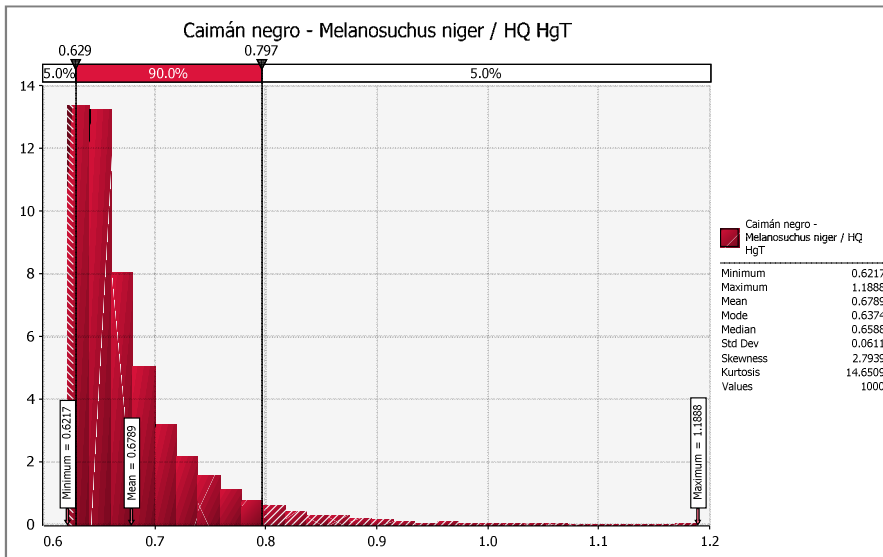
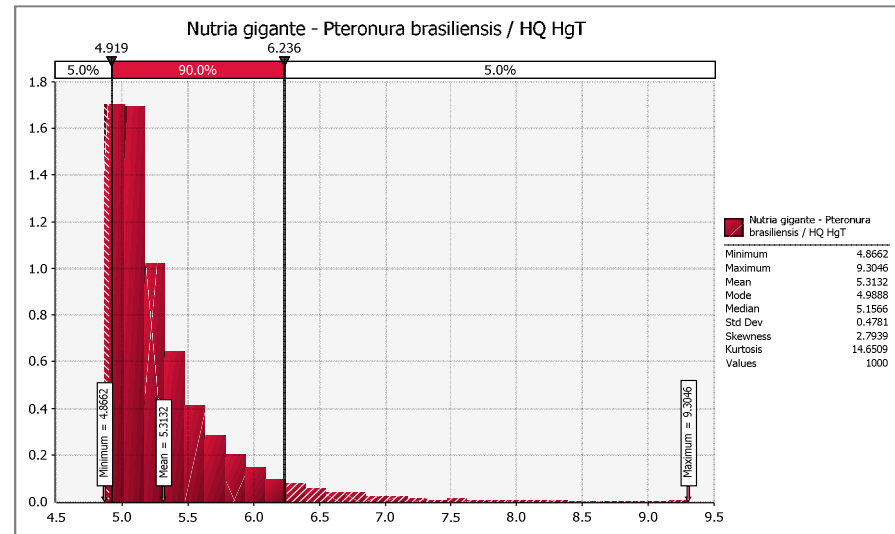
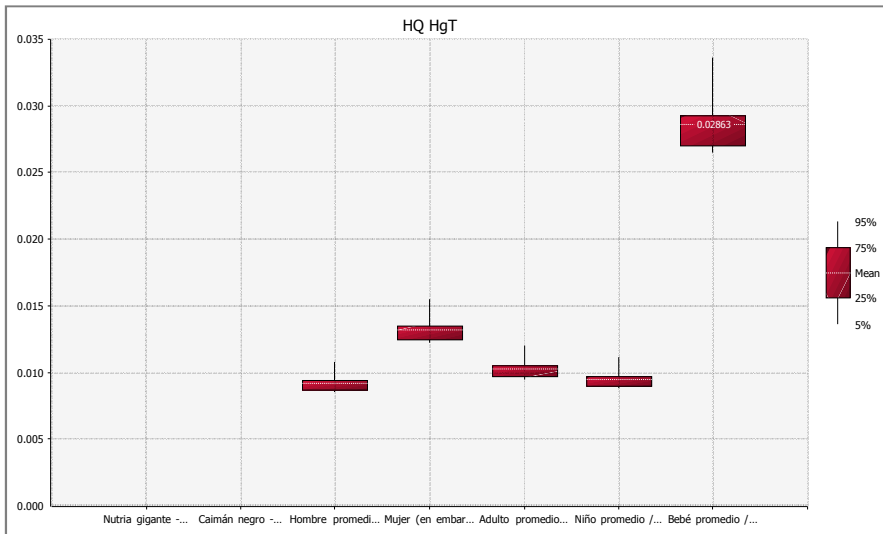
Mercurio total en sedimentos: *Pearson 5*

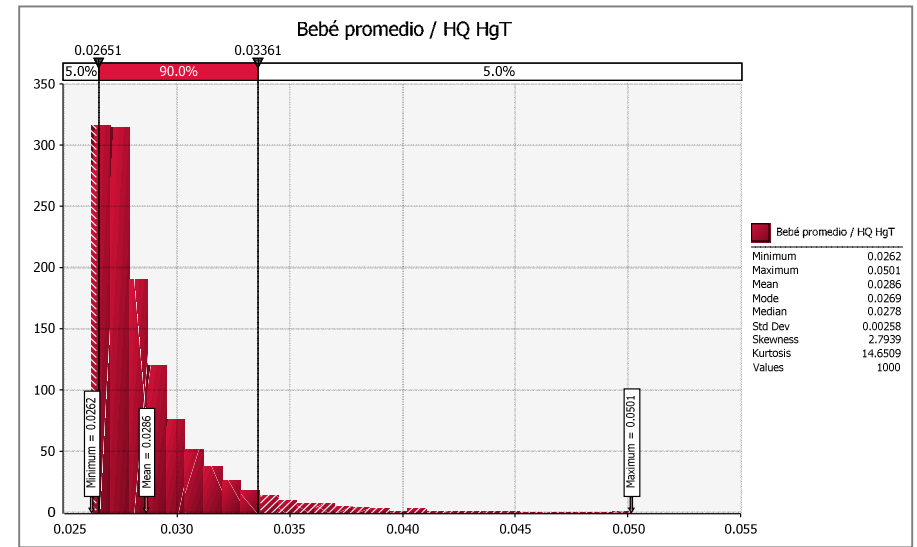
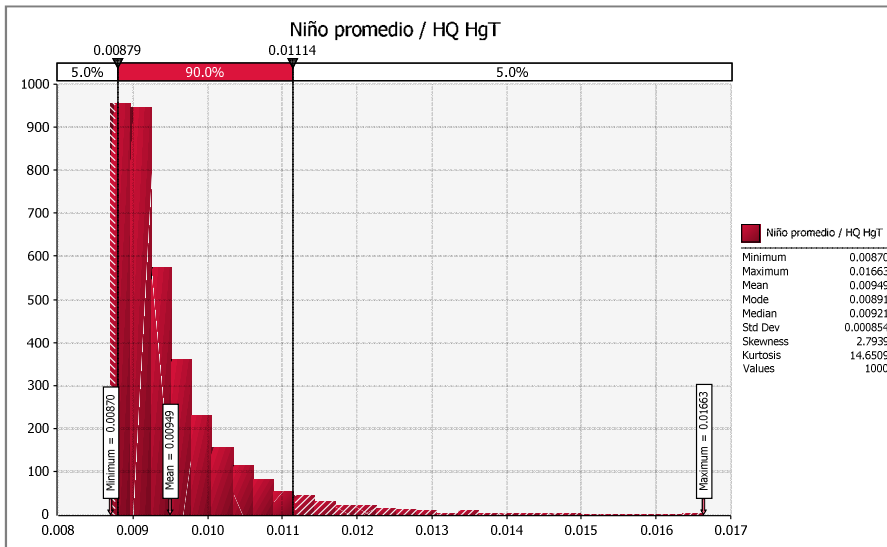
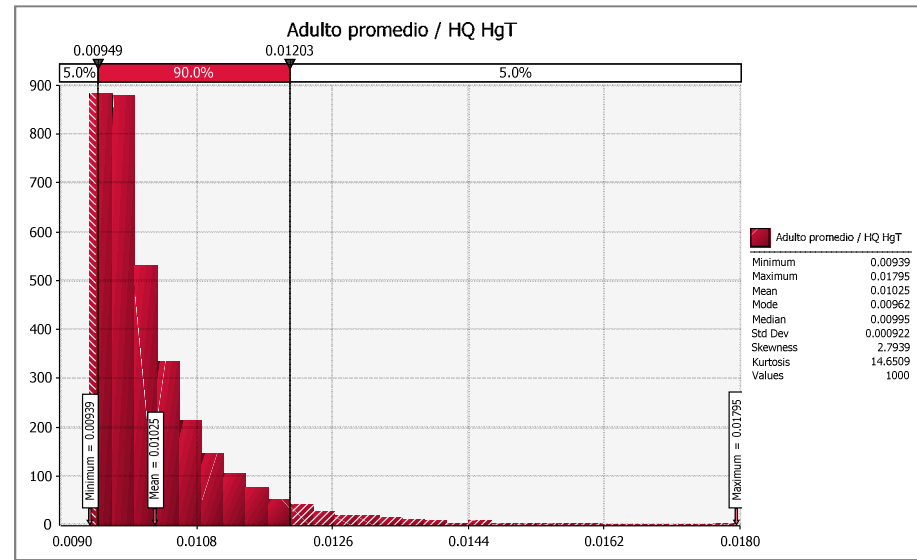
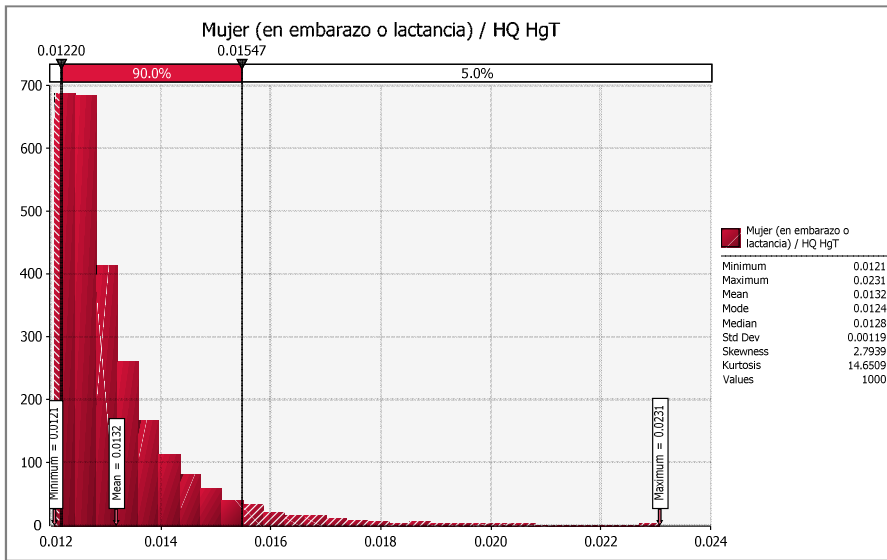


# Salidas

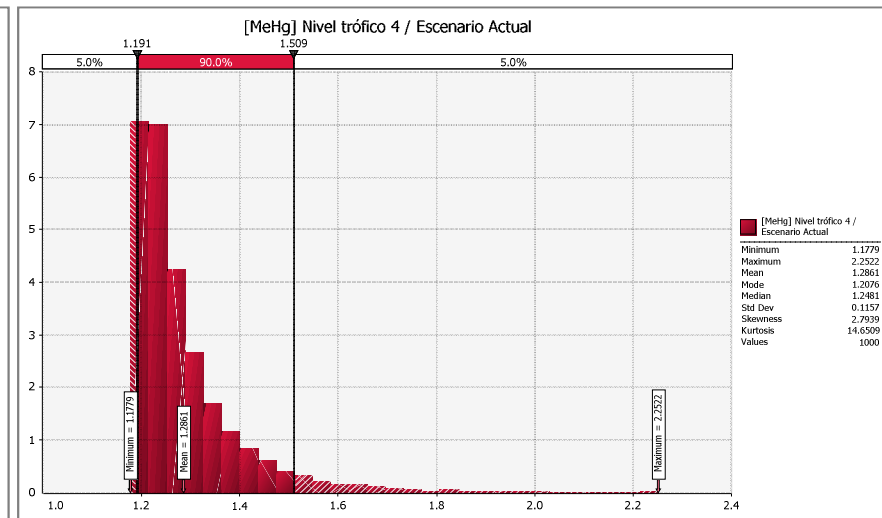
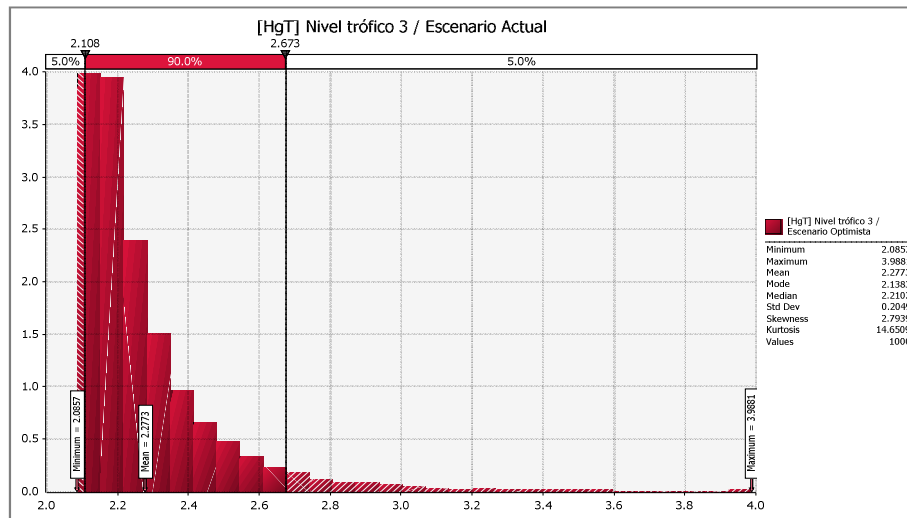
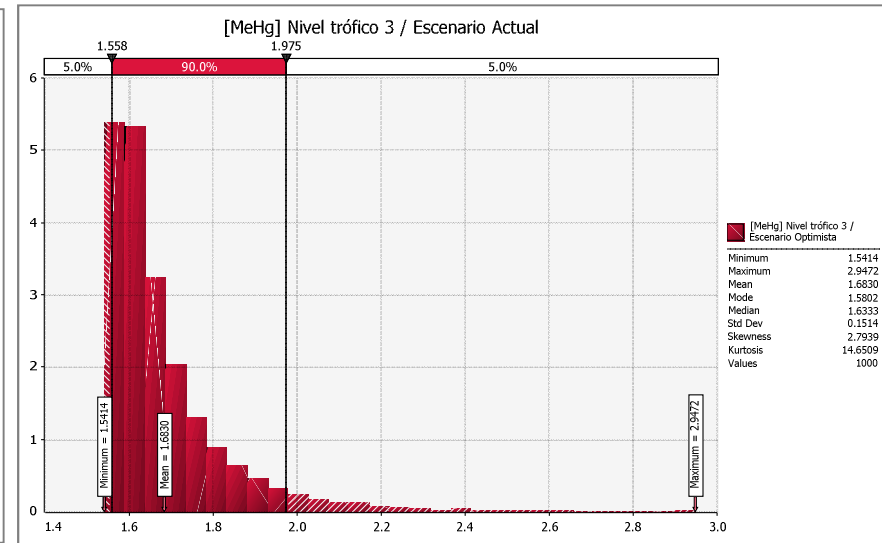
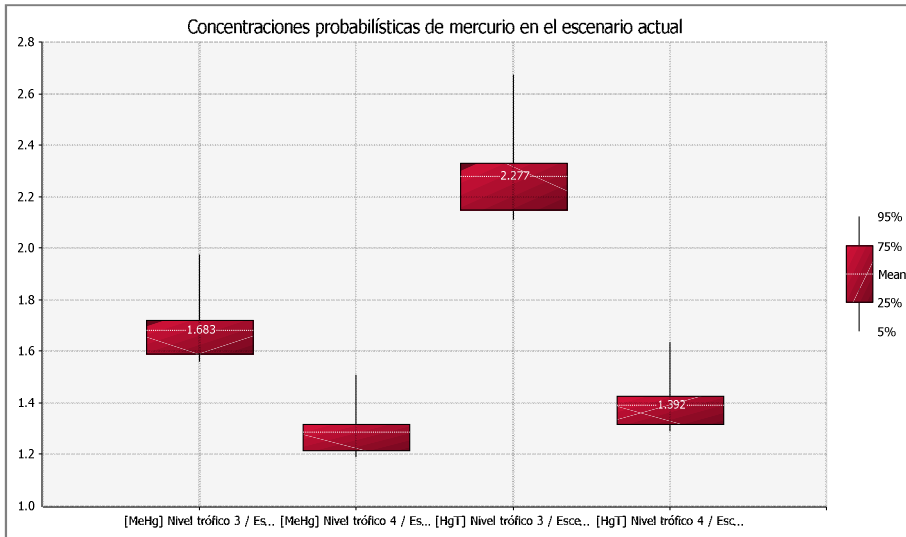


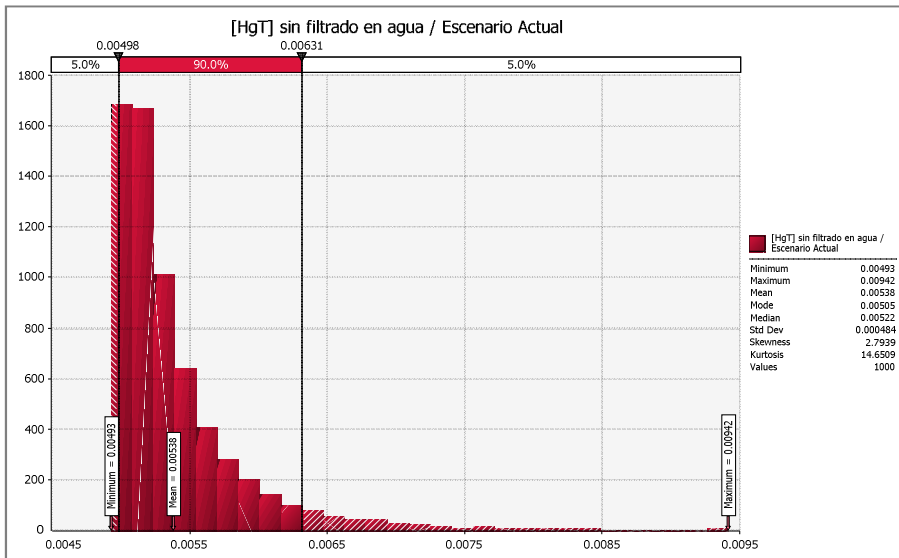
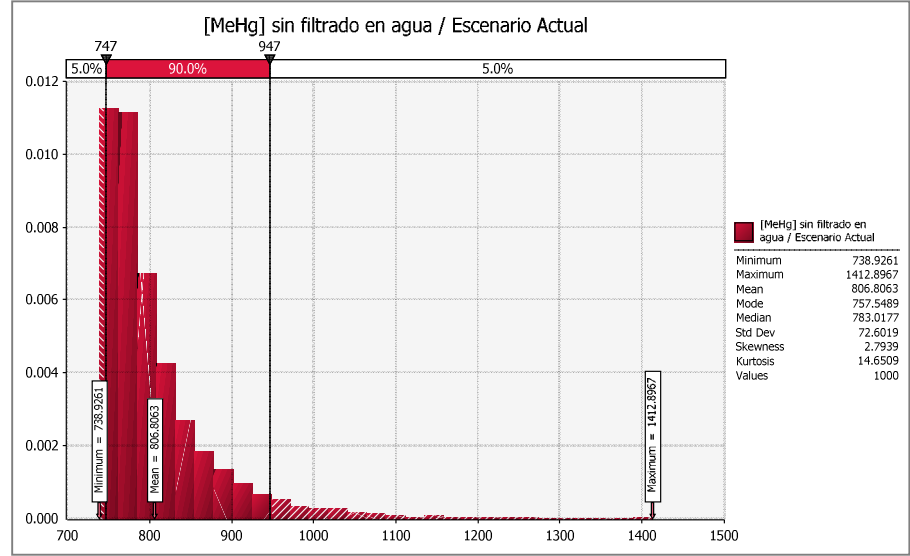
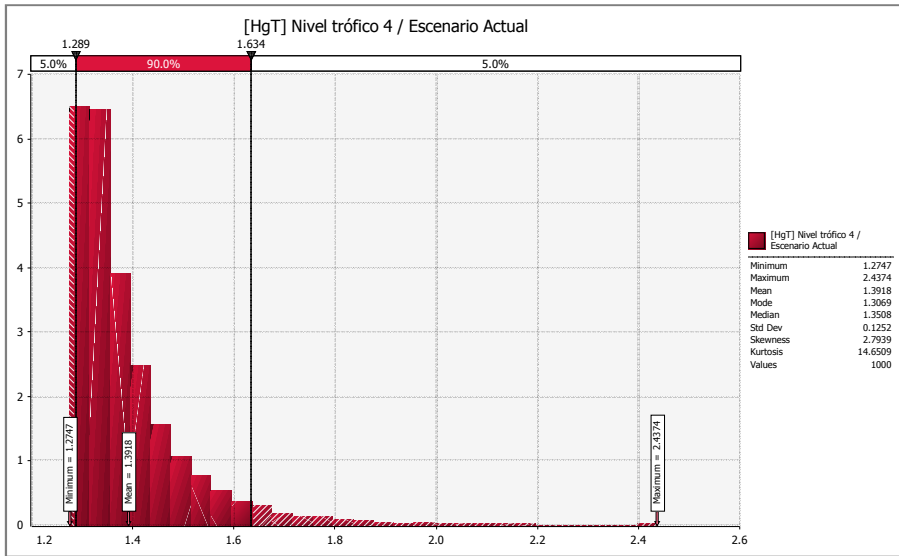










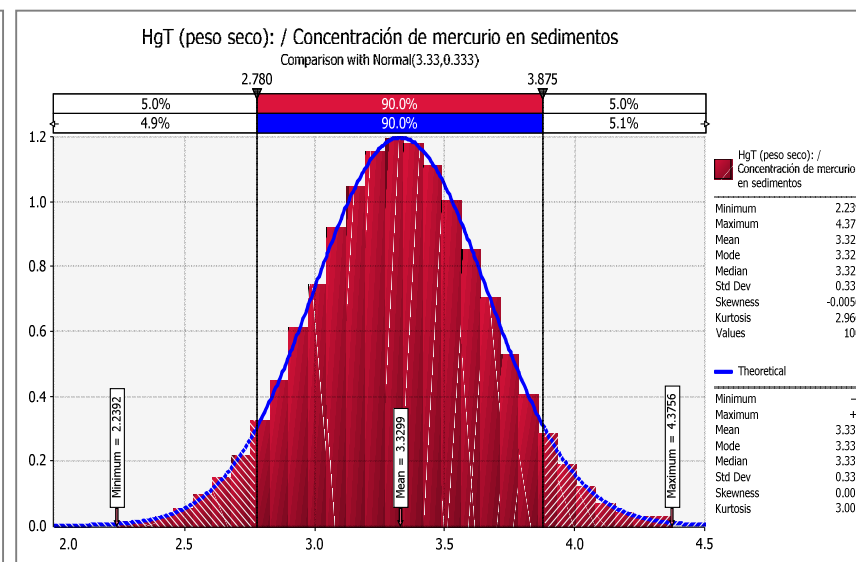
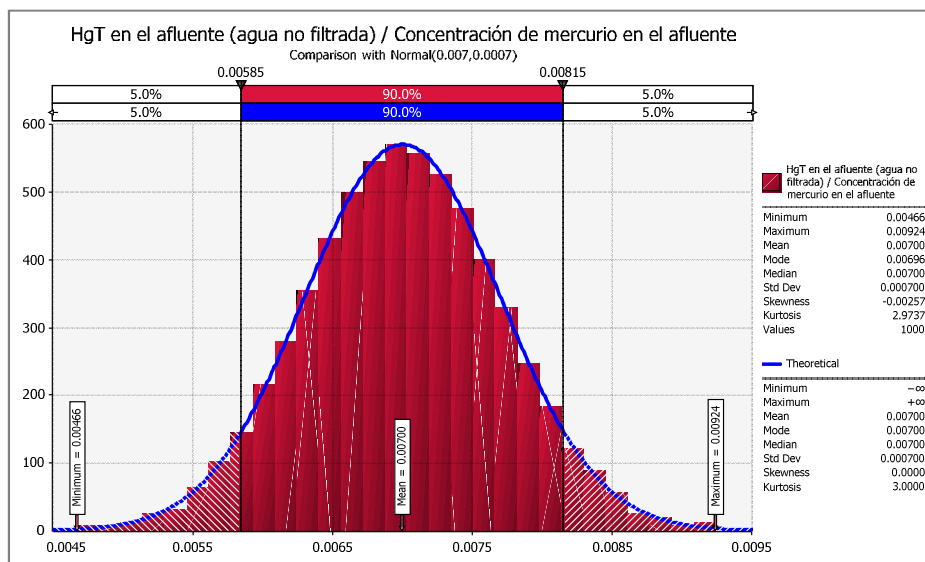


## Escenario actual con distribución normal

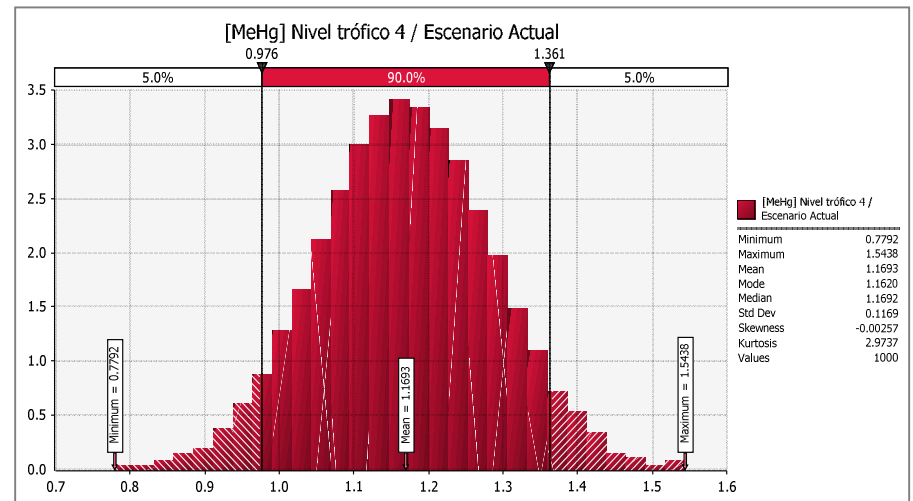
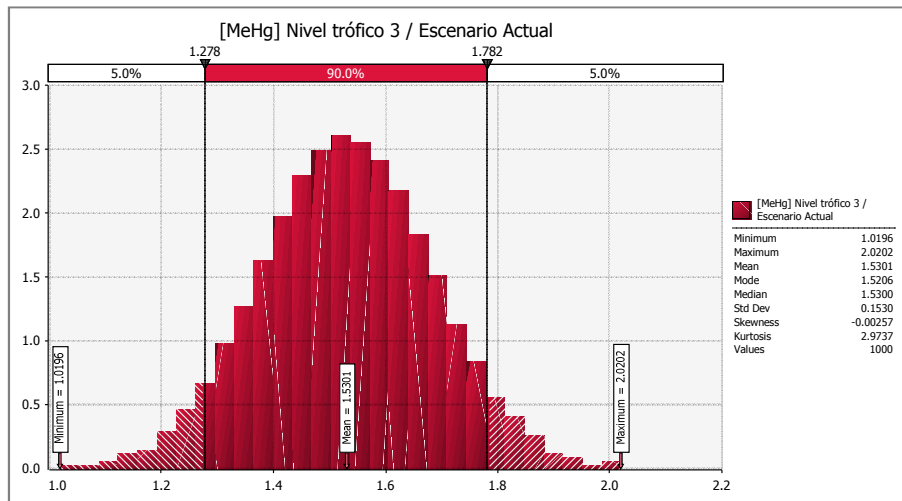
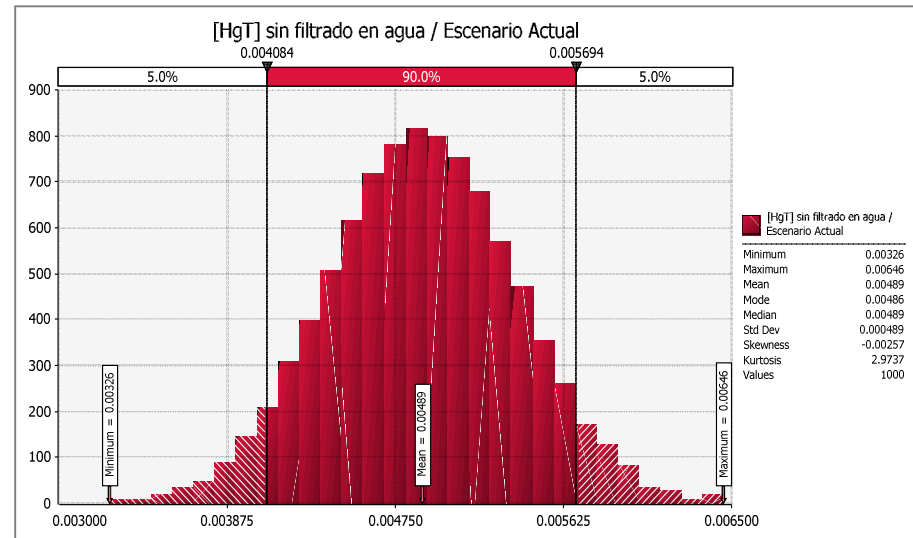
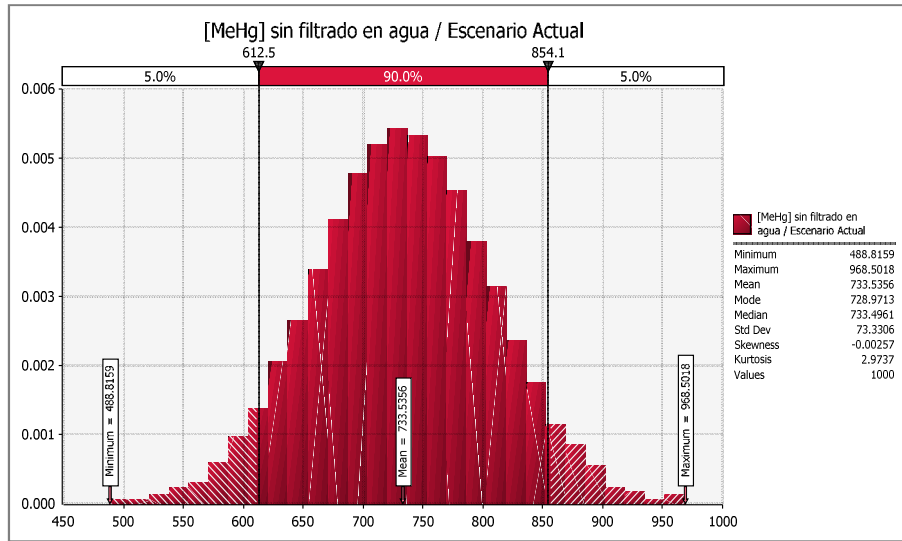
Entradas

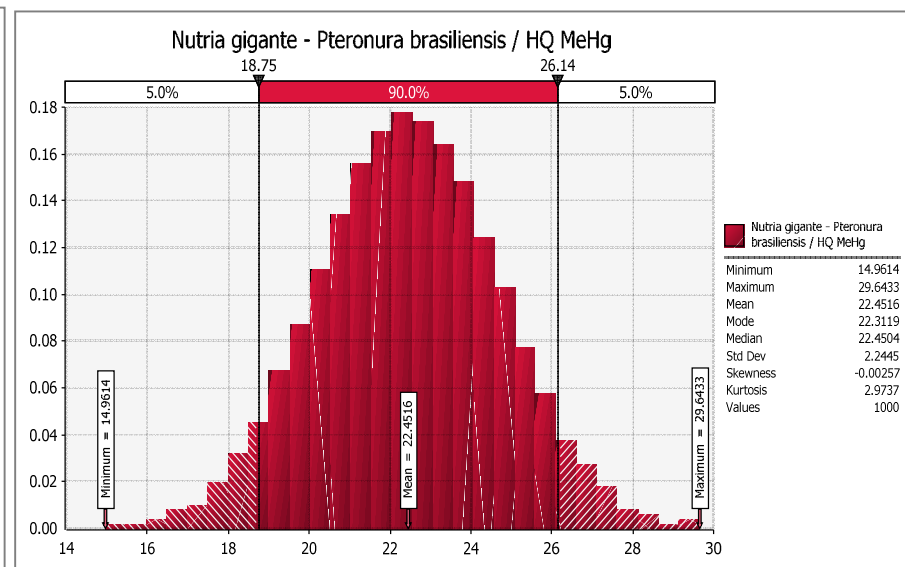
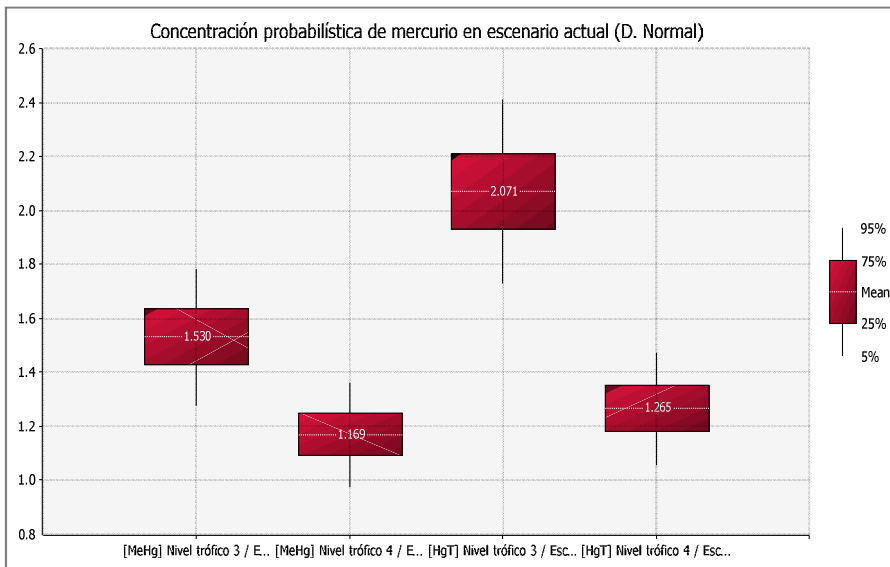
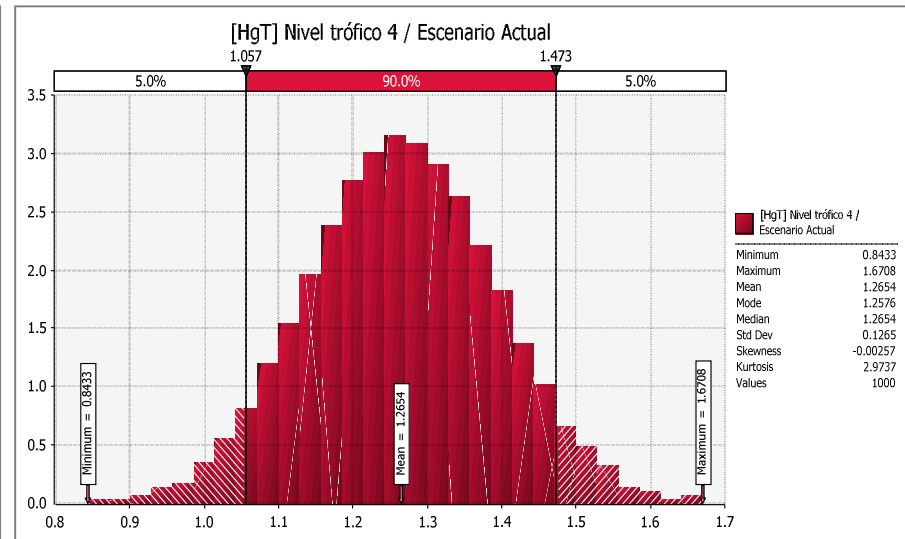
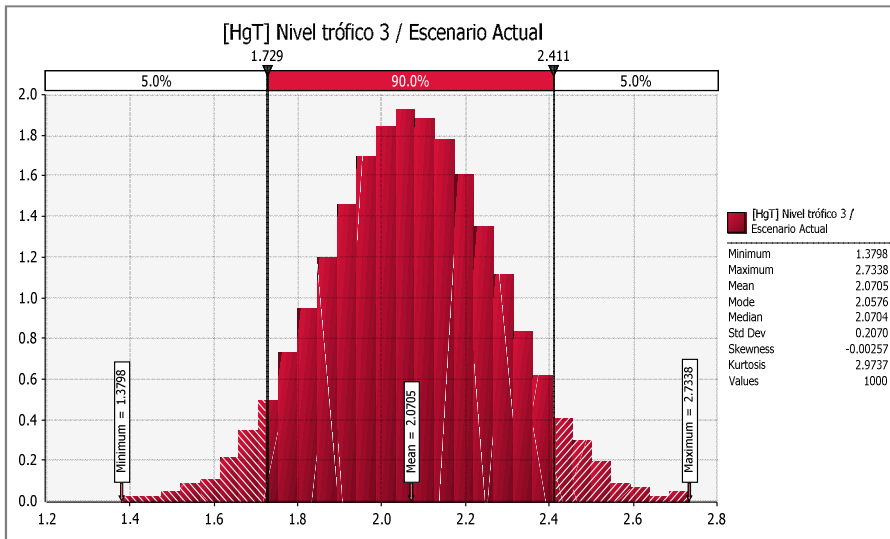
*Mercurio total en el agua en el afluente: Distribución Normal*

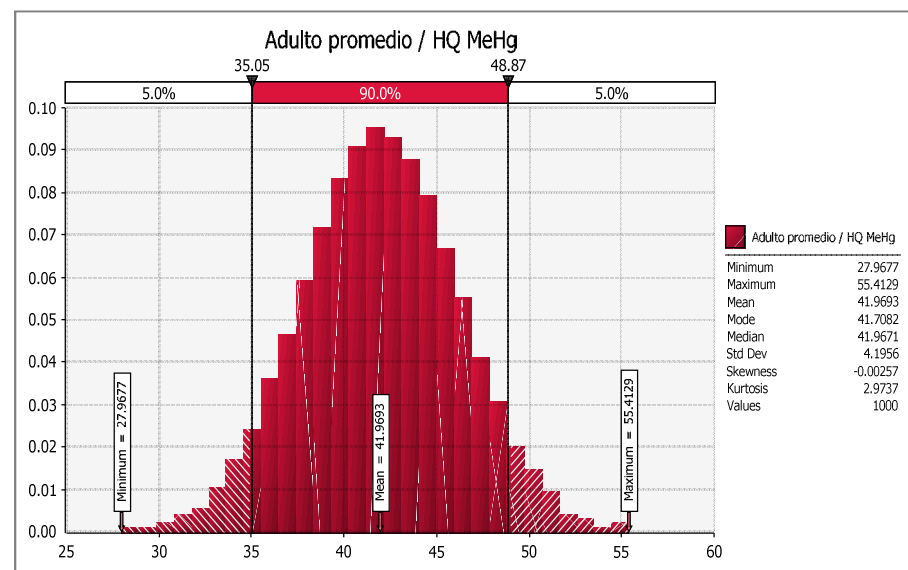
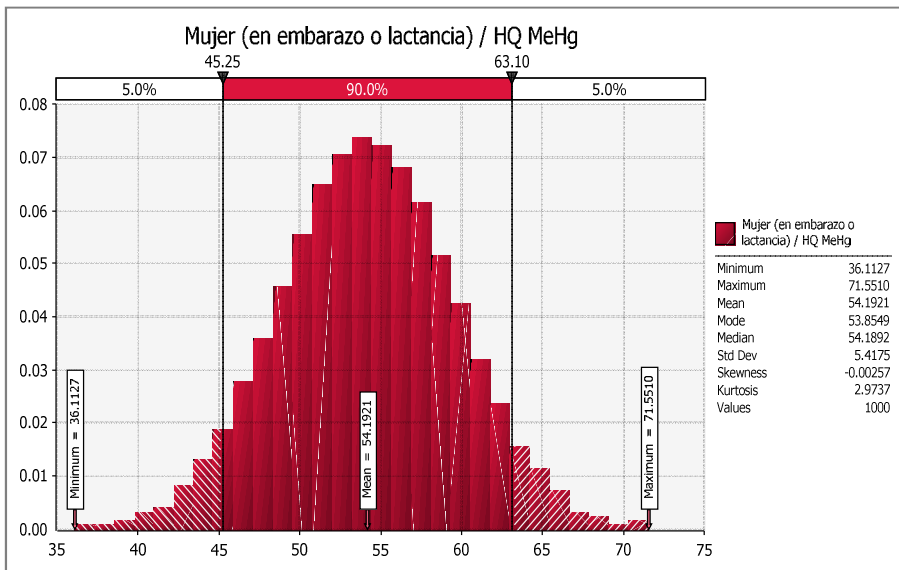
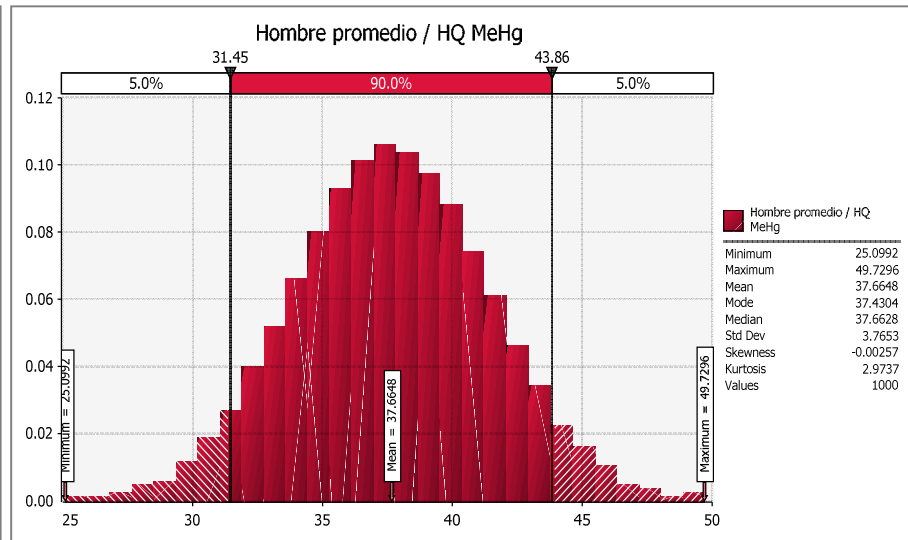
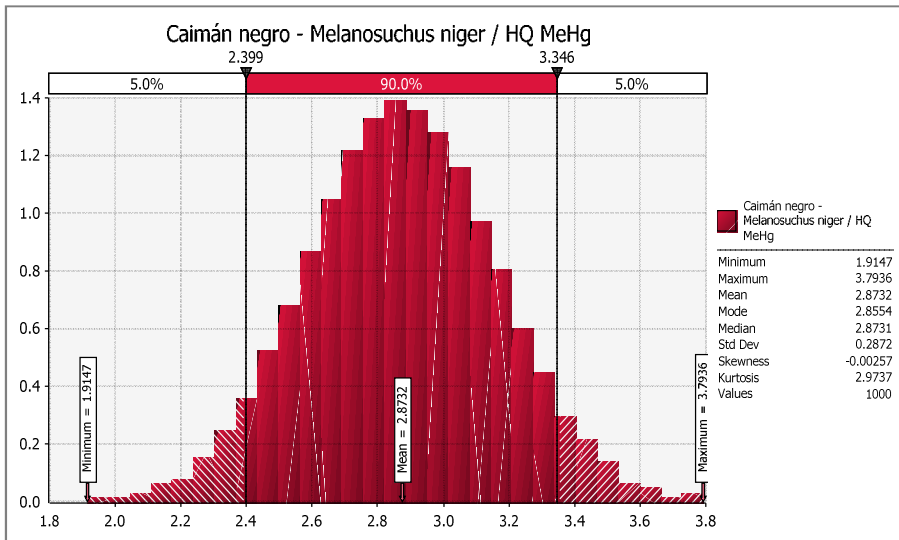
*Mercurio total en sedimentos: Distribución Normal*

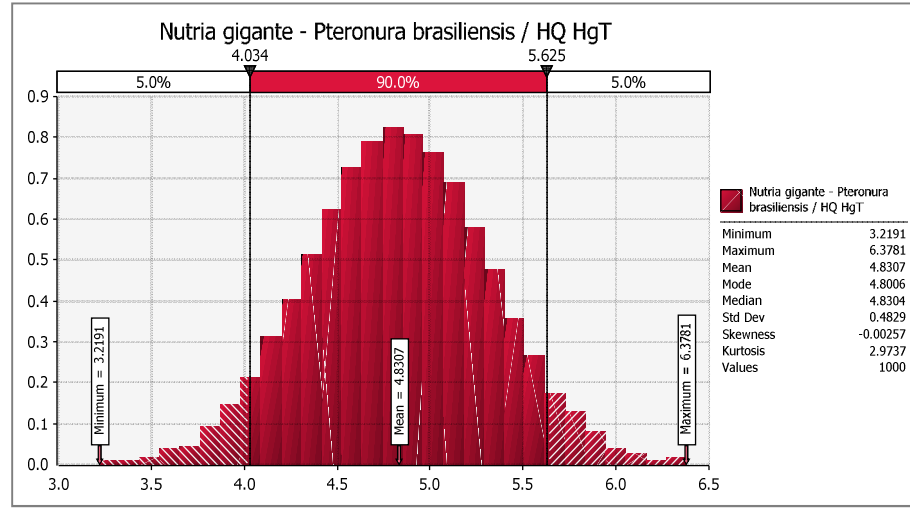
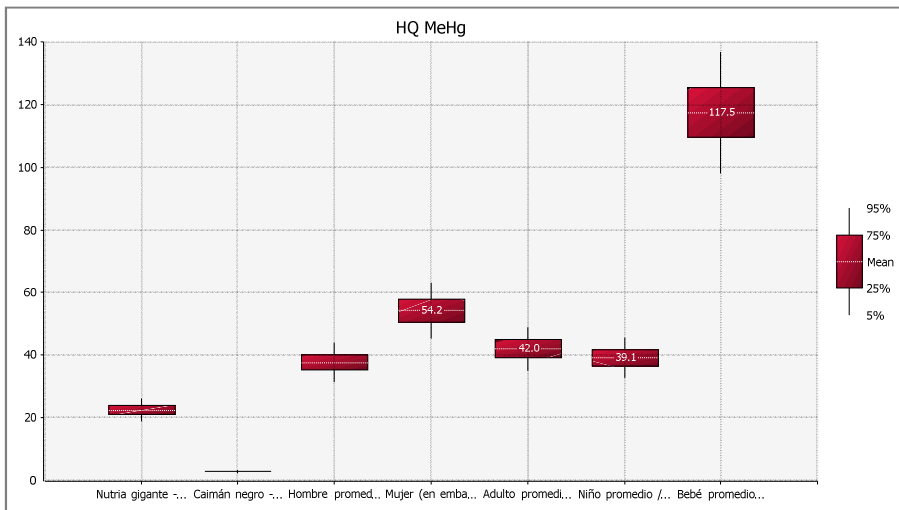
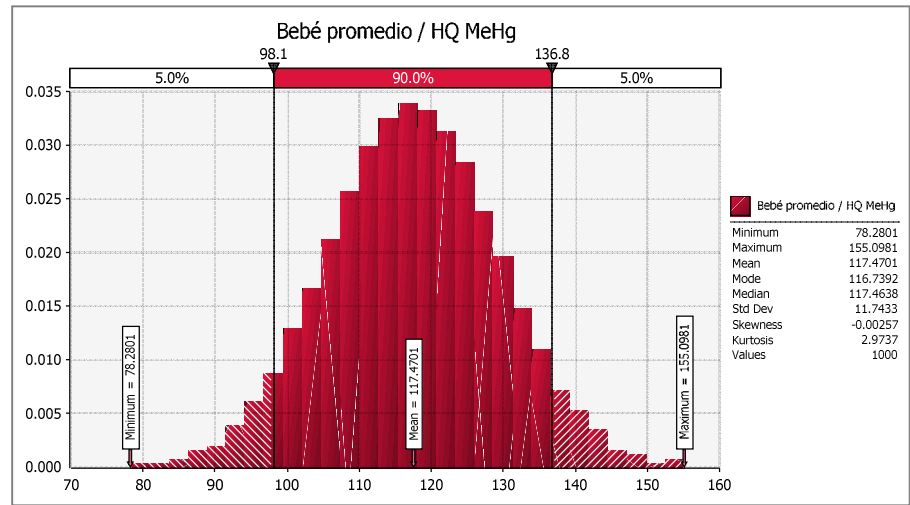
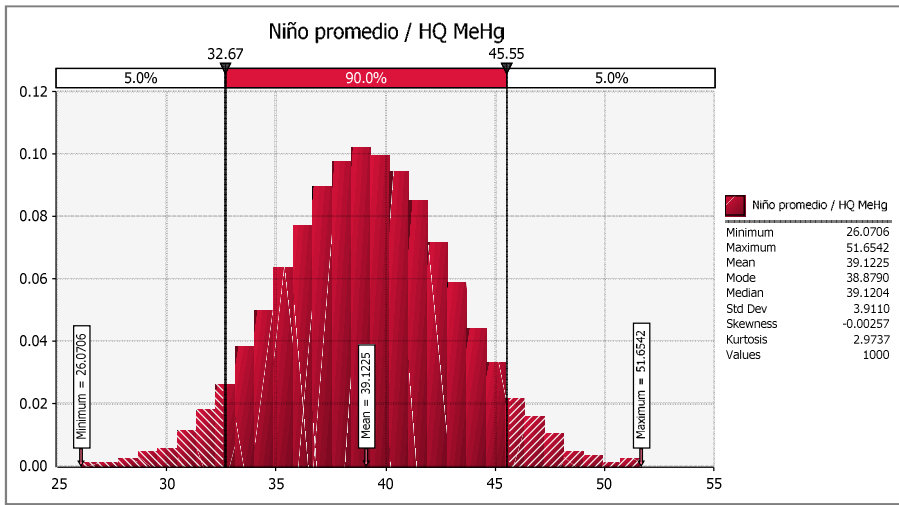


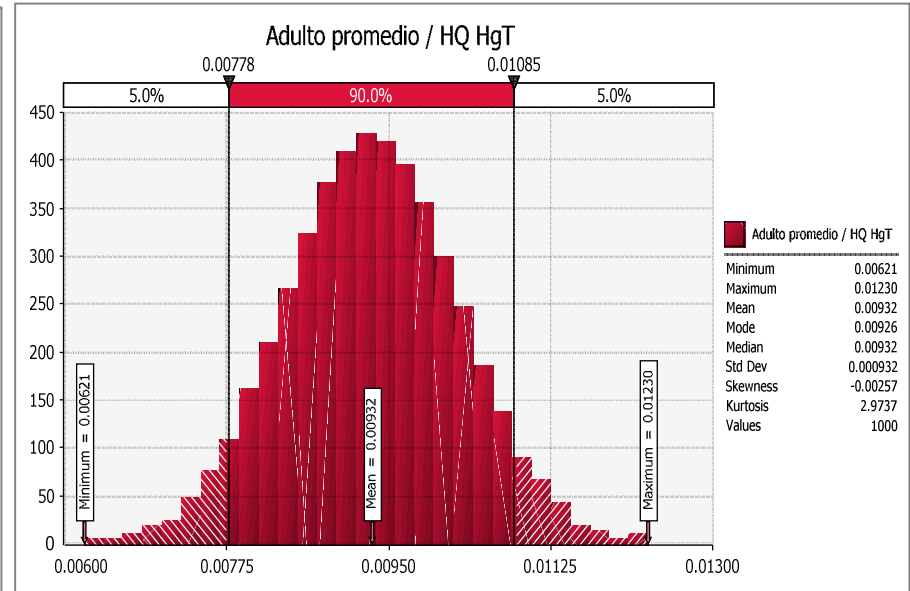
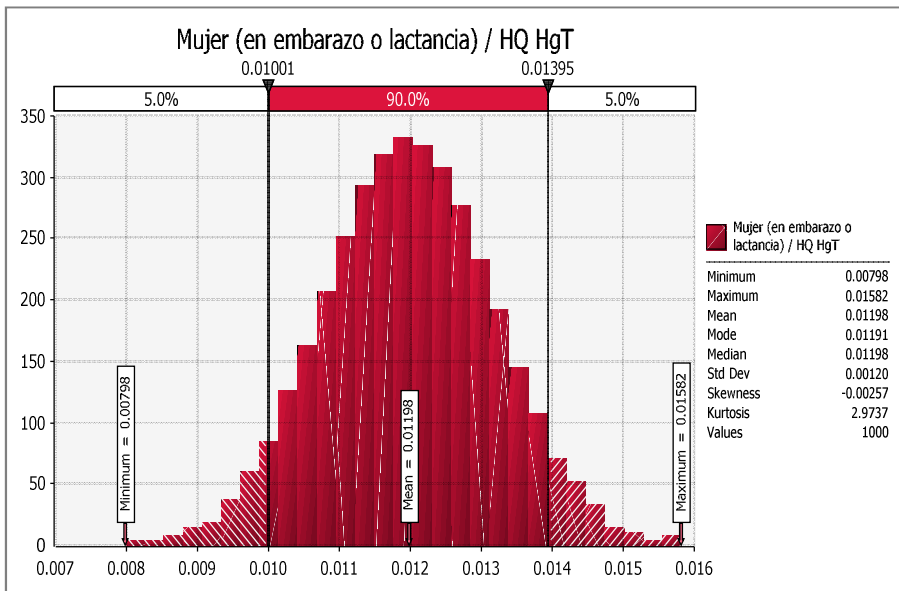
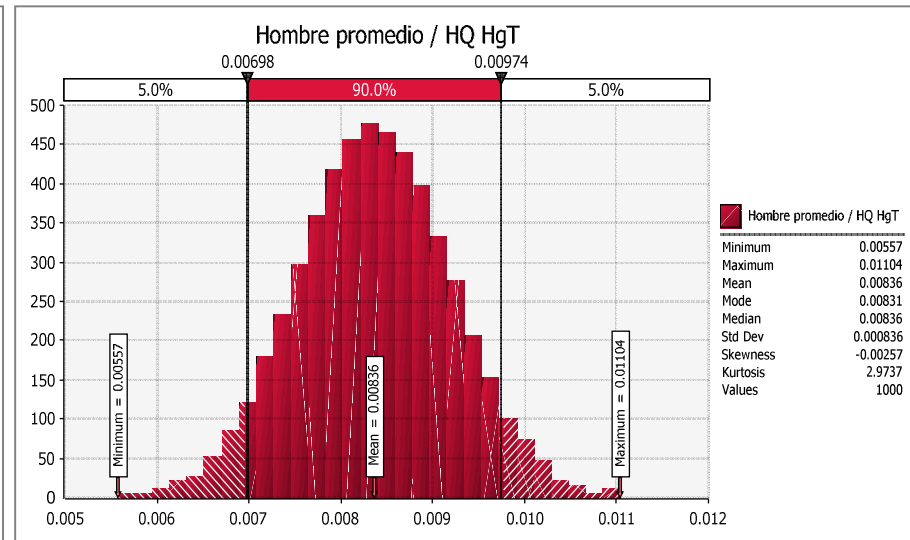
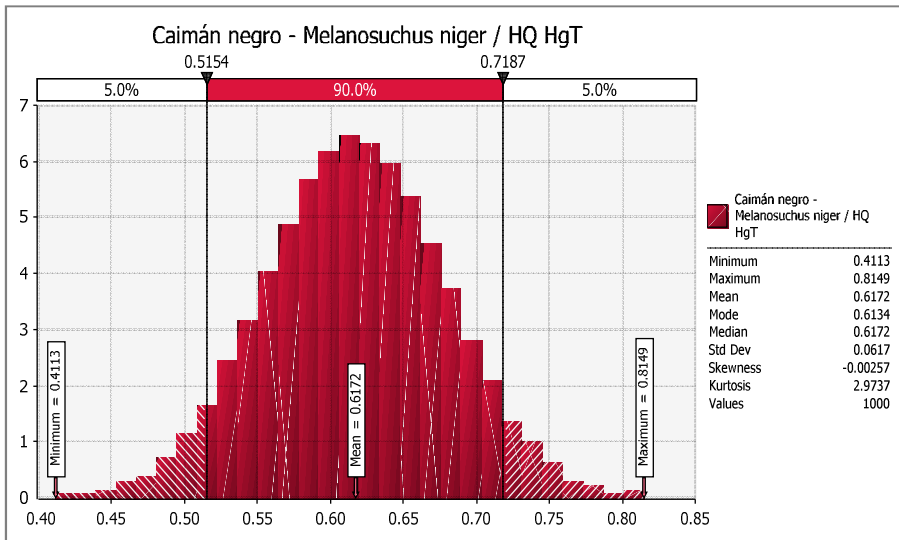
# Salidas



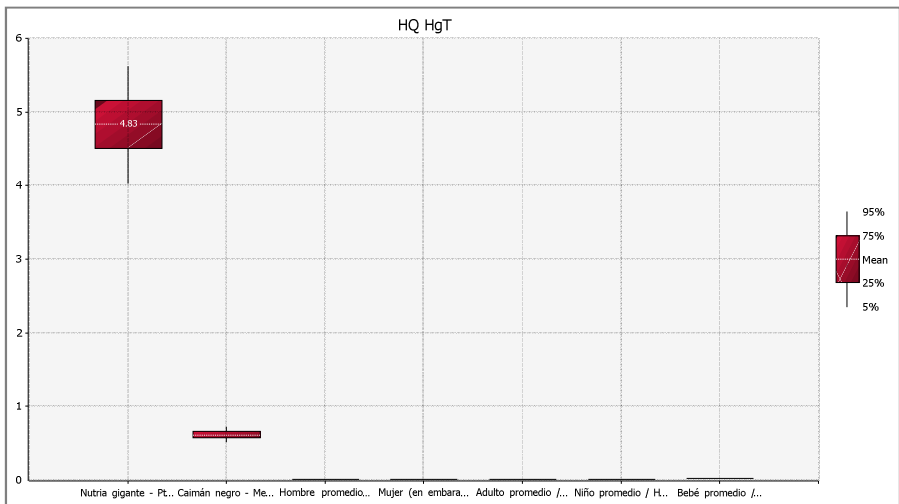
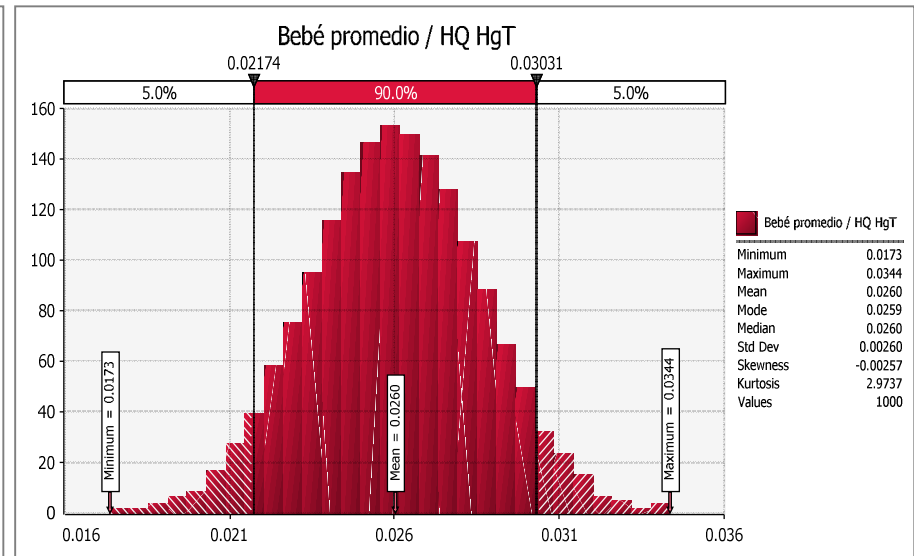
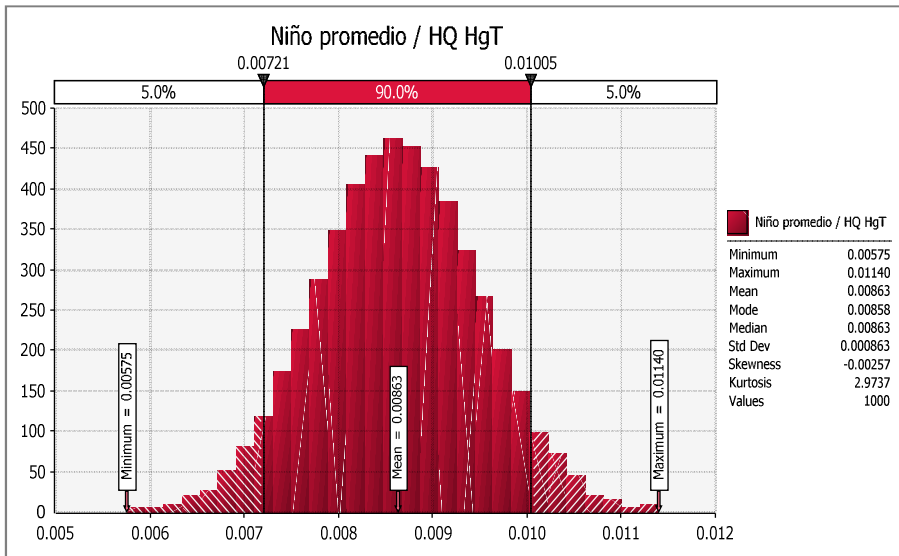










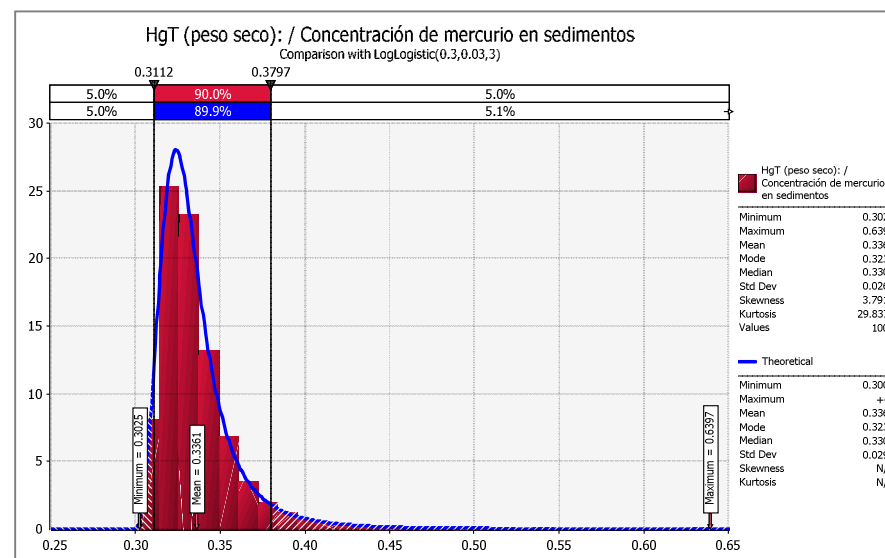
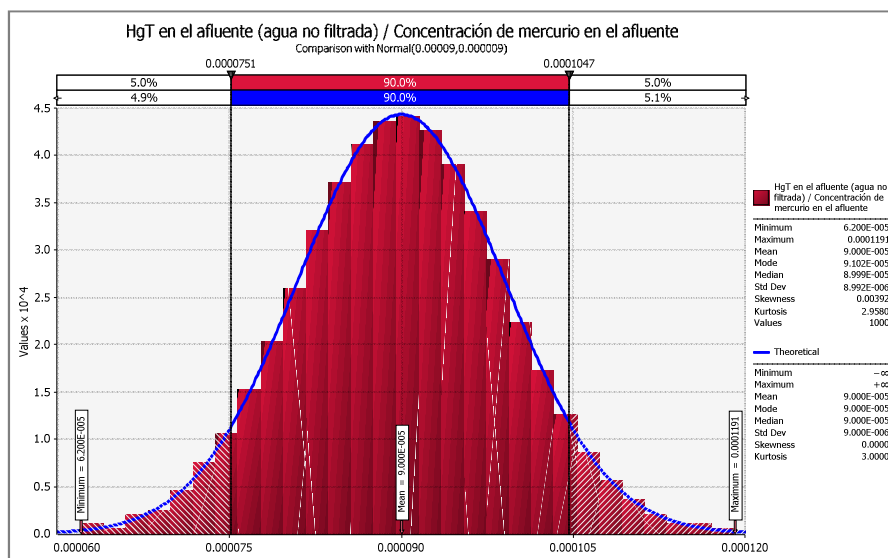


## Escenario optimista

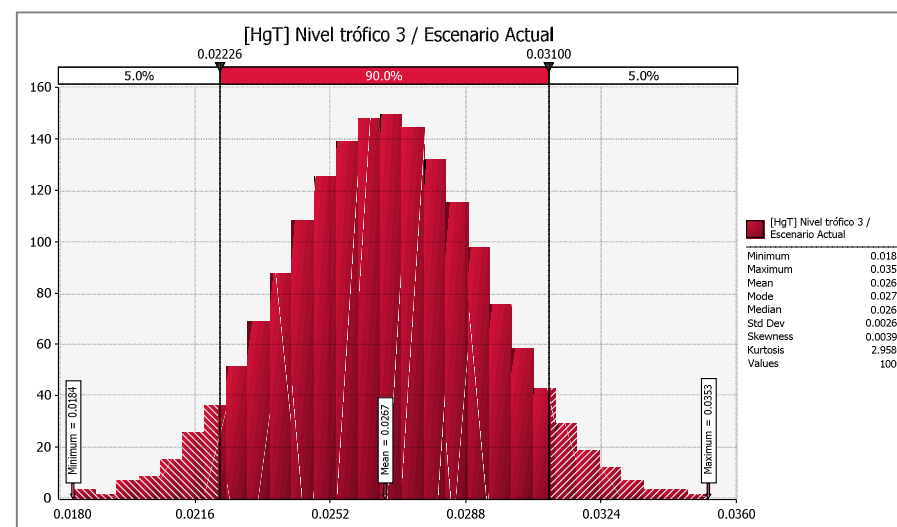
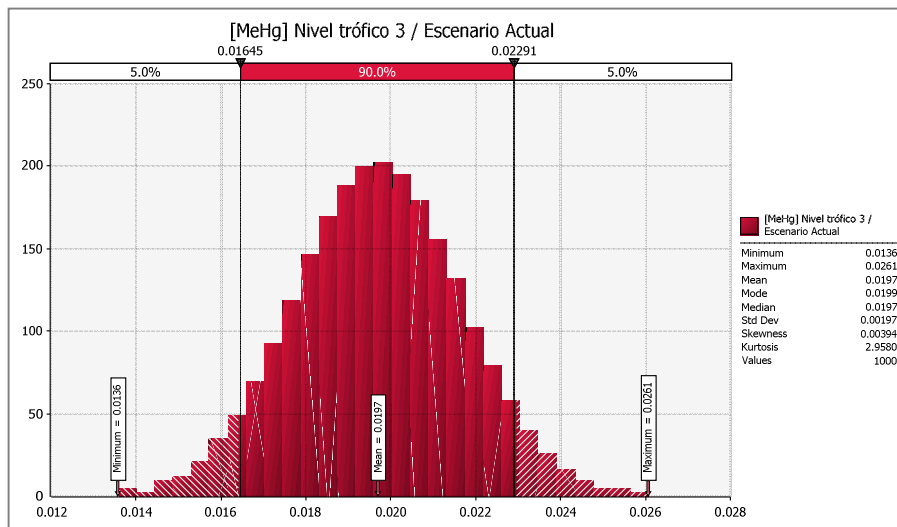
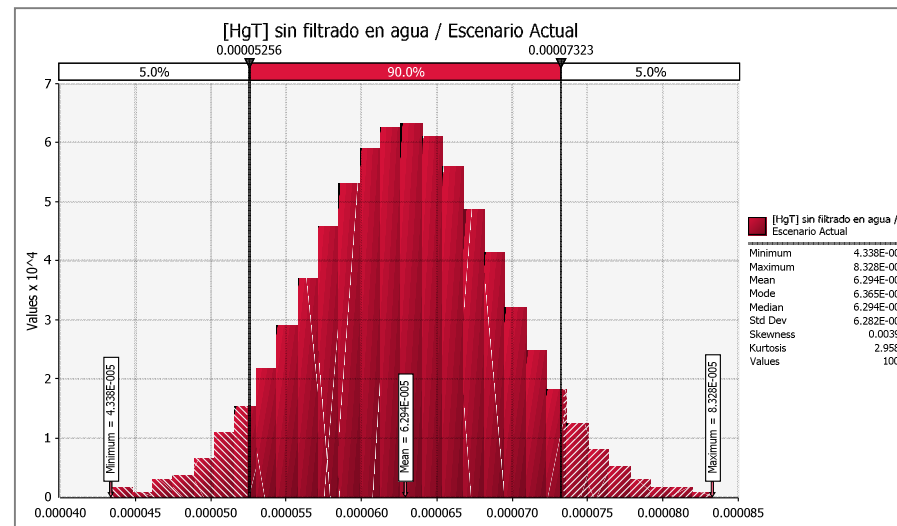
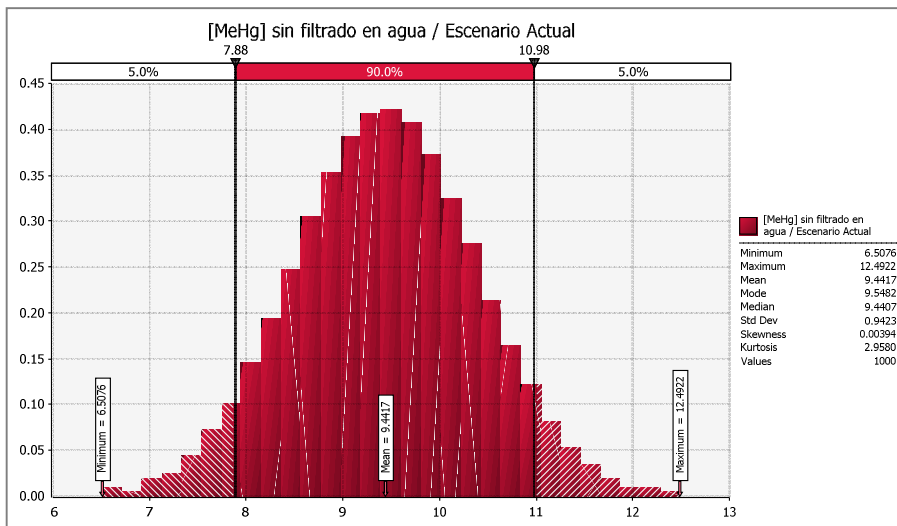
### Entradas

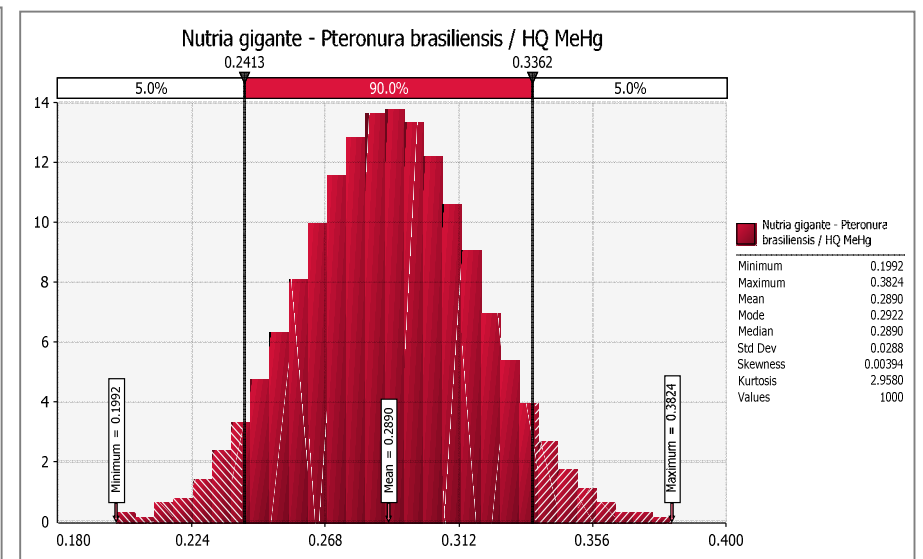
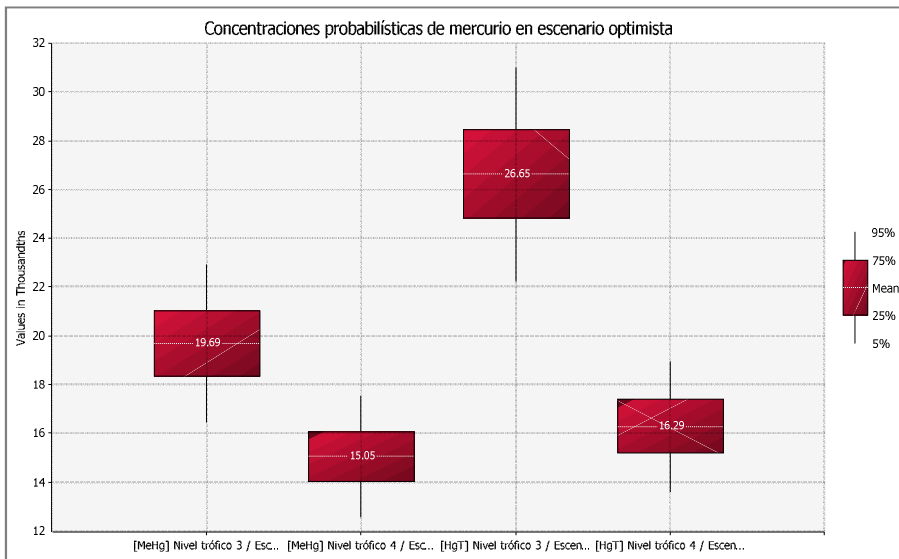
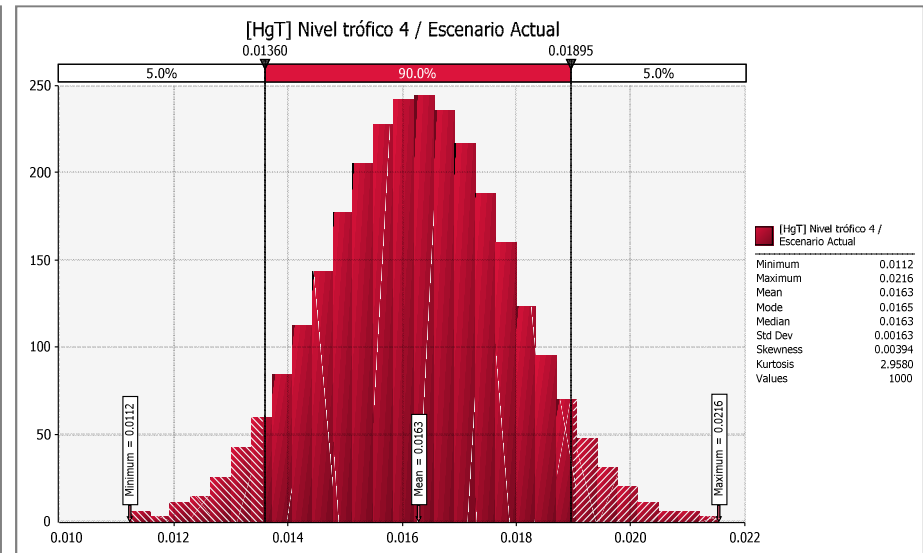
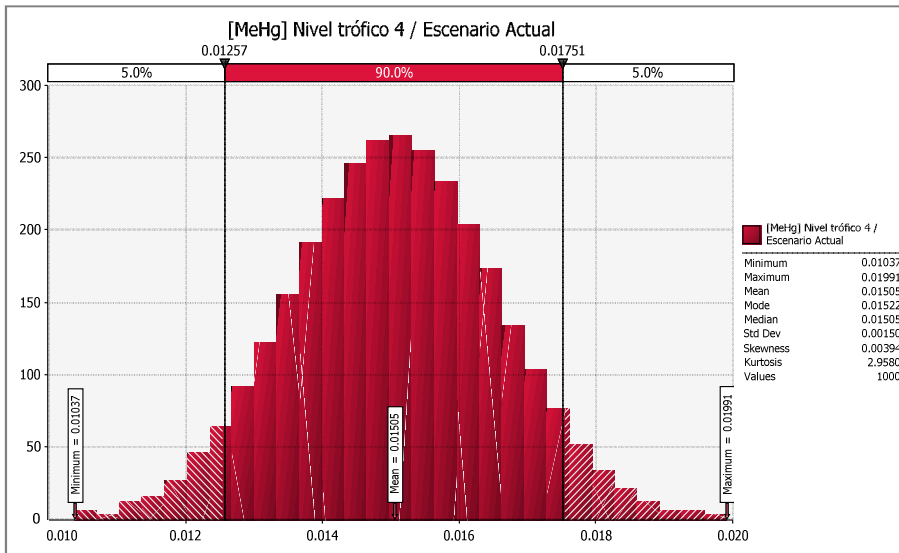
*Mercurio total en el agua en el afluente: Distribución normal*

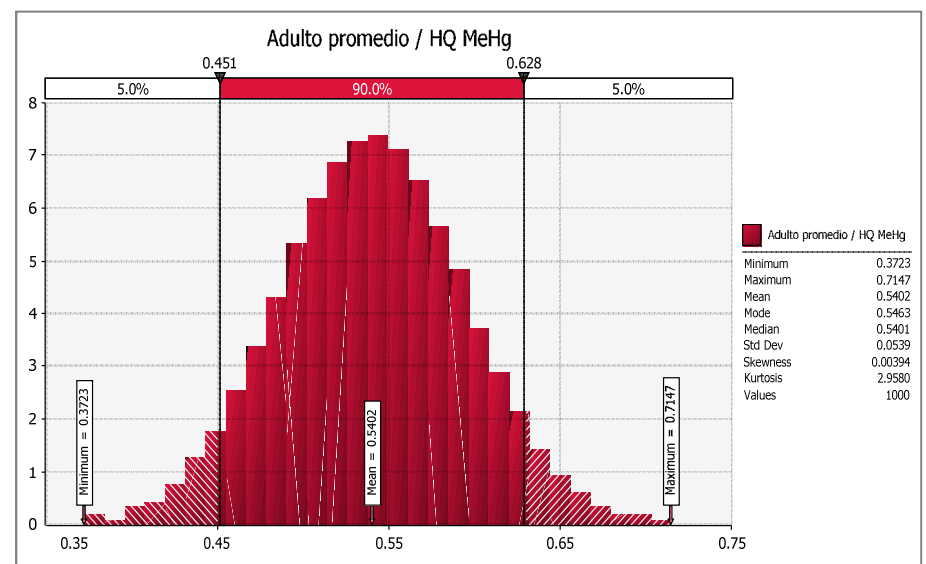
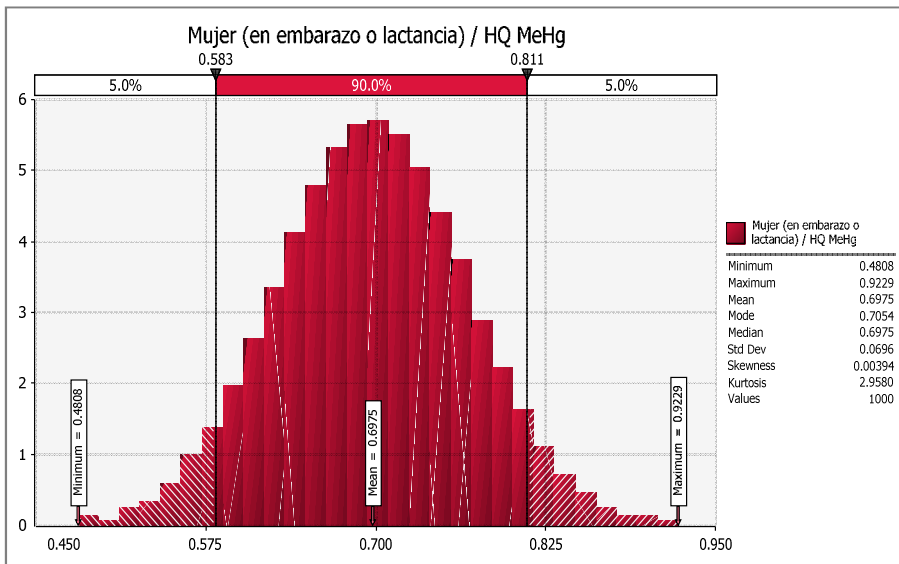
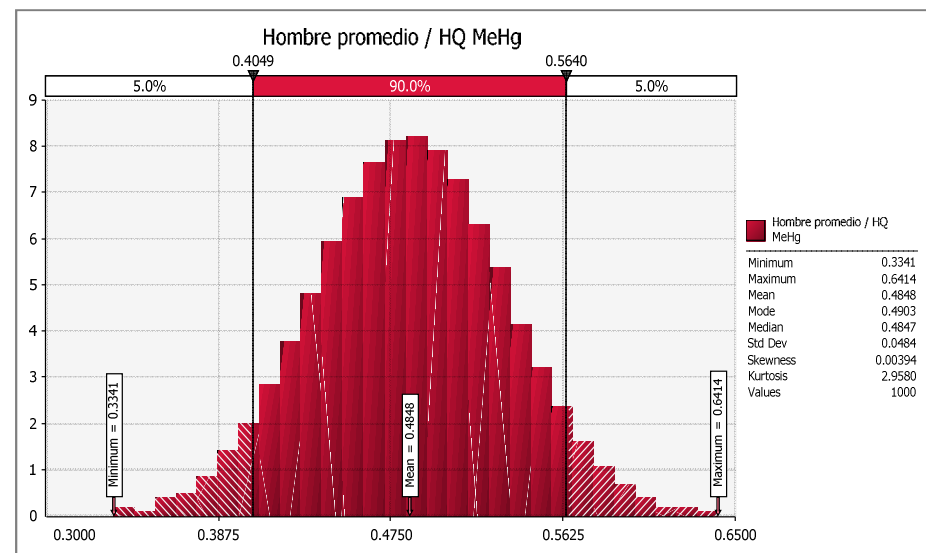
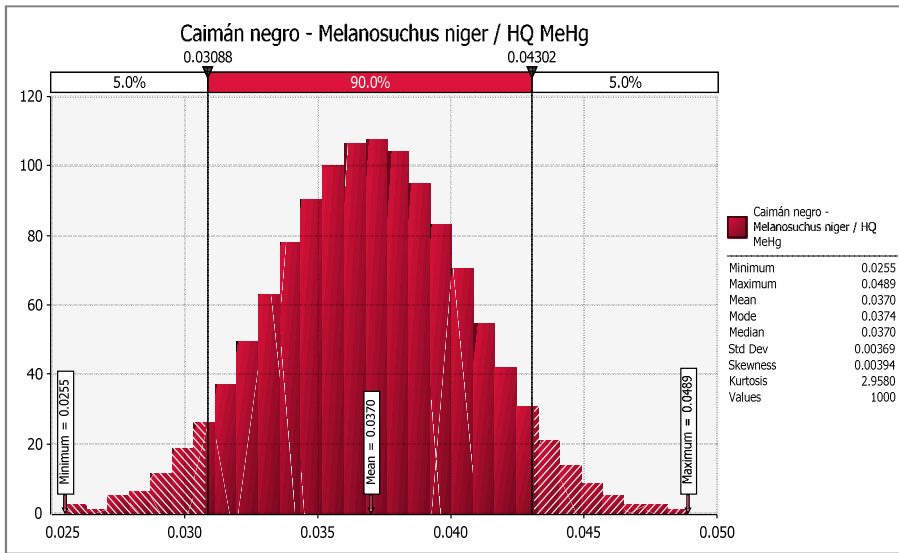
*Mercurio total en sedimentos: Distribución log logística*

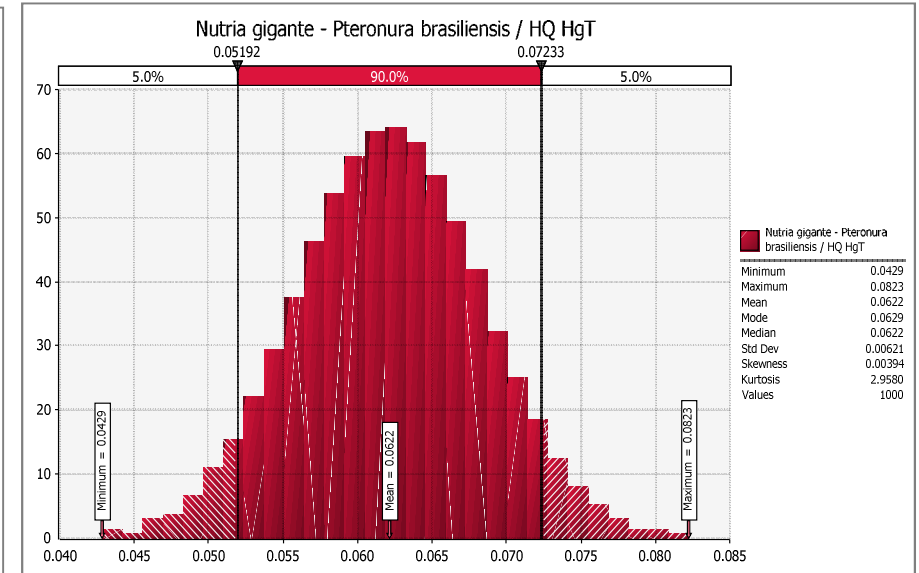
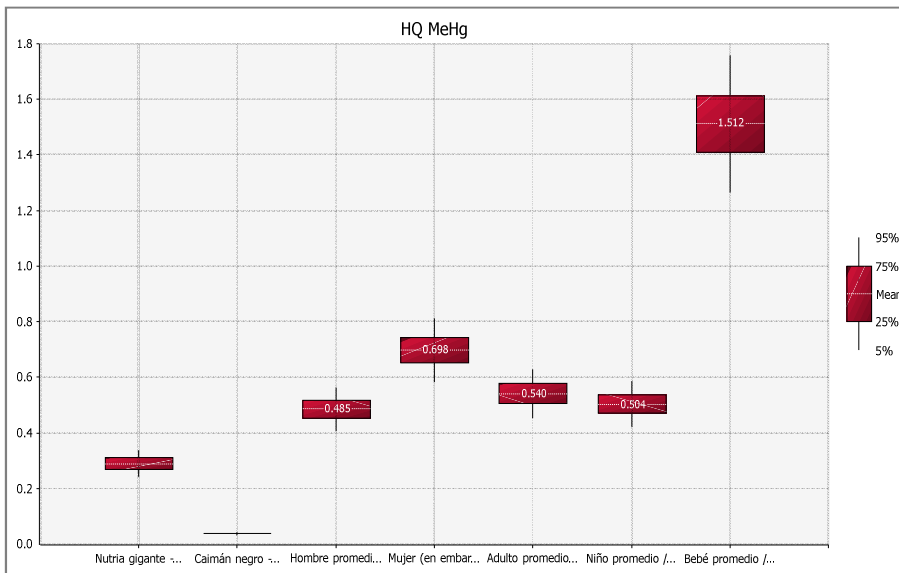
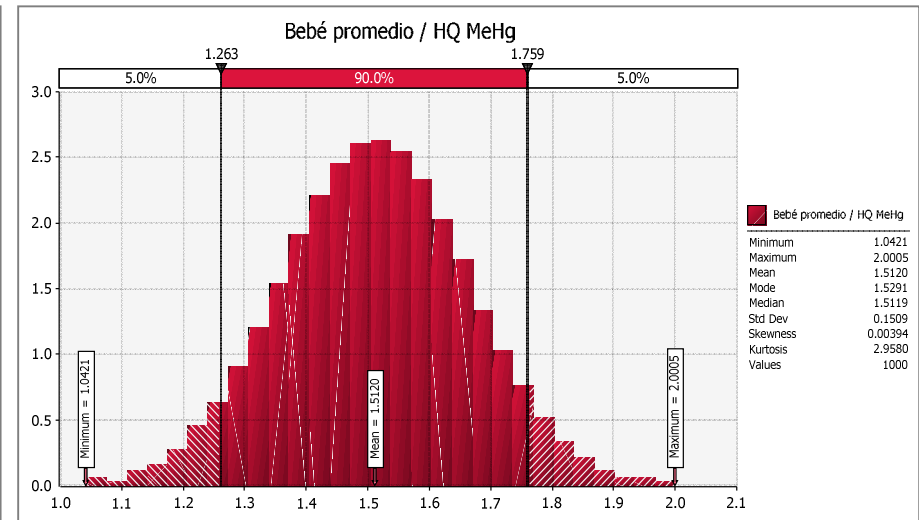
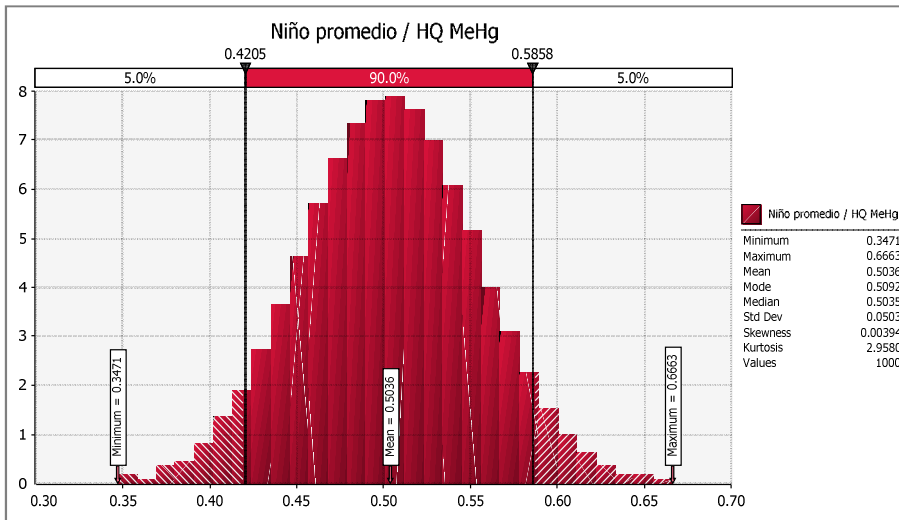


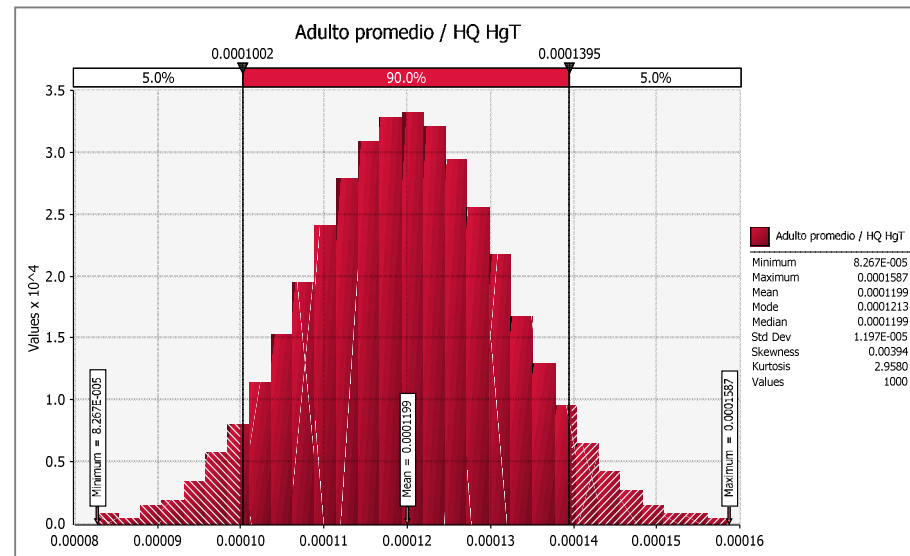
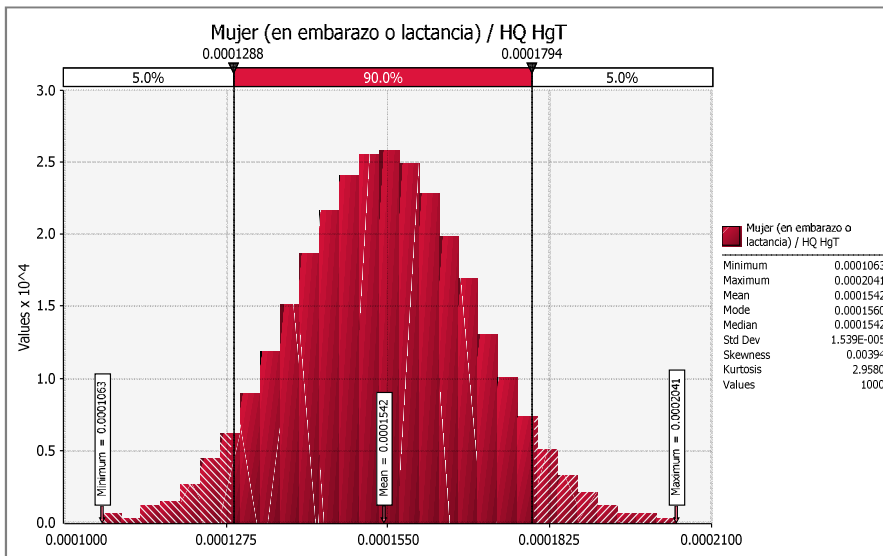
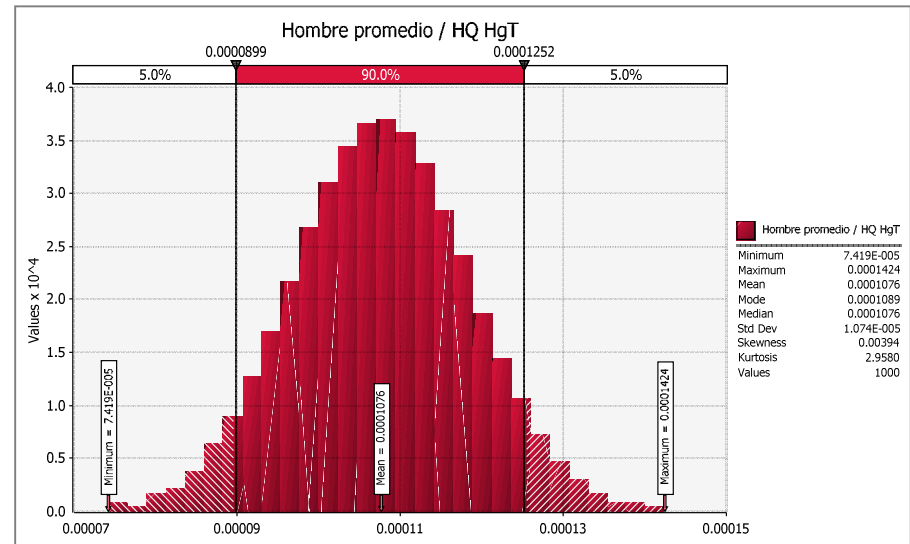
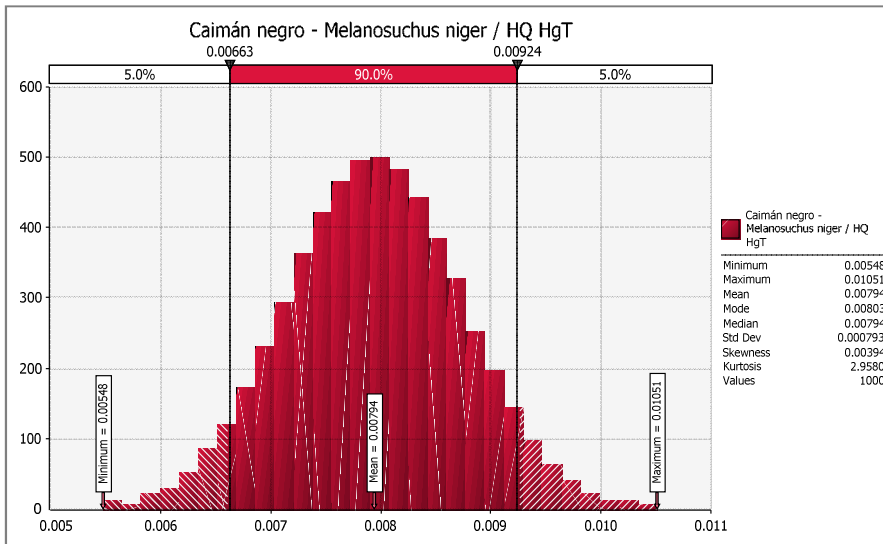
# Salidas

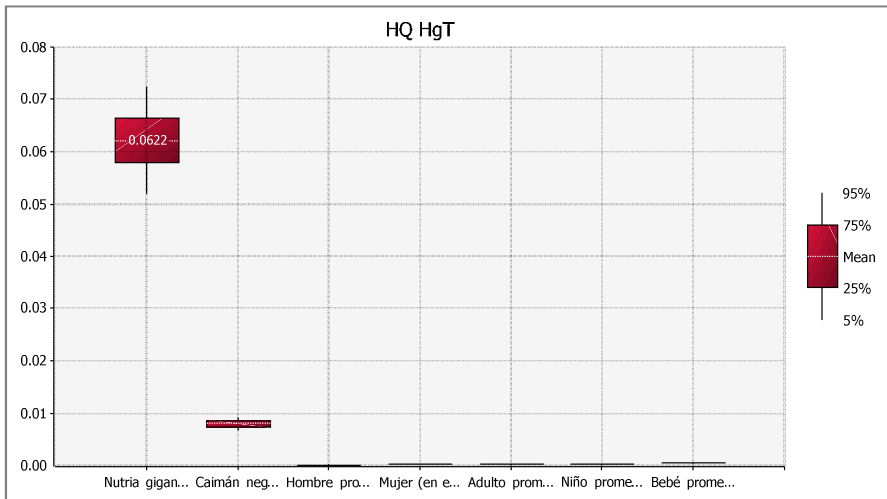
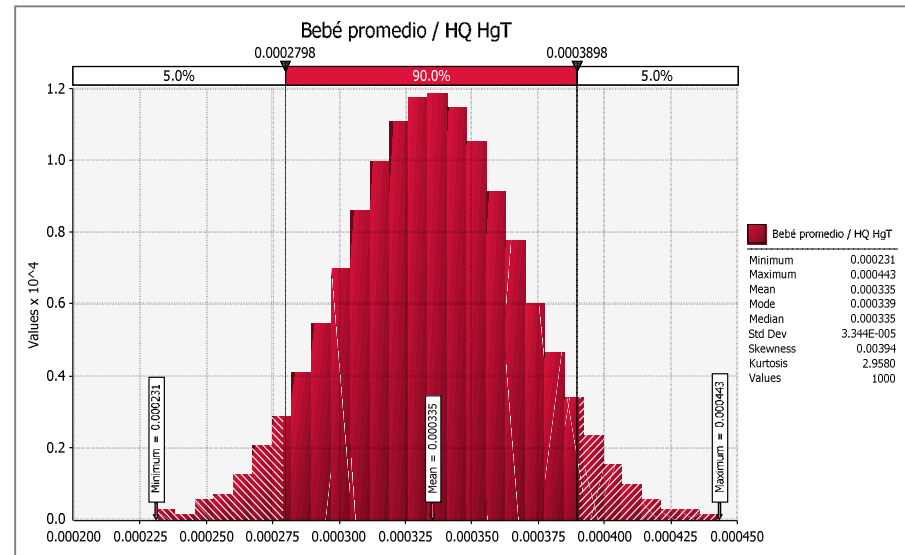
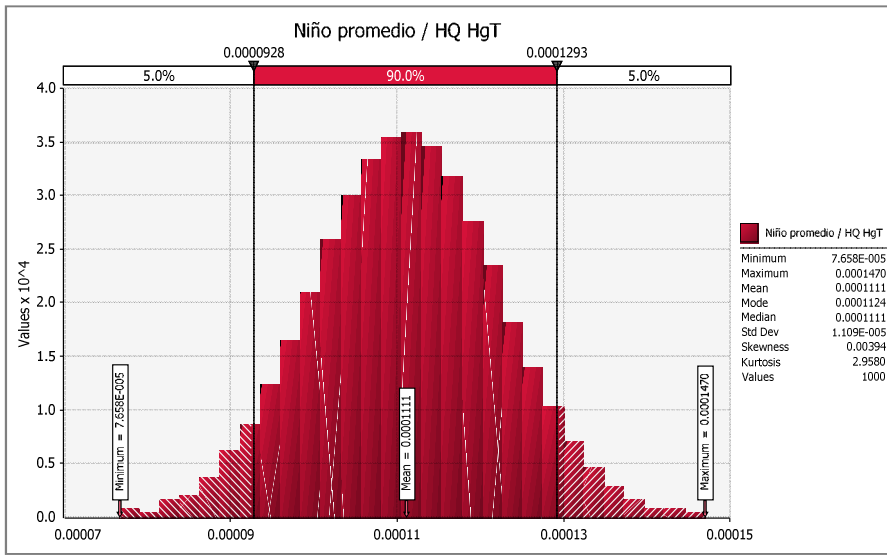












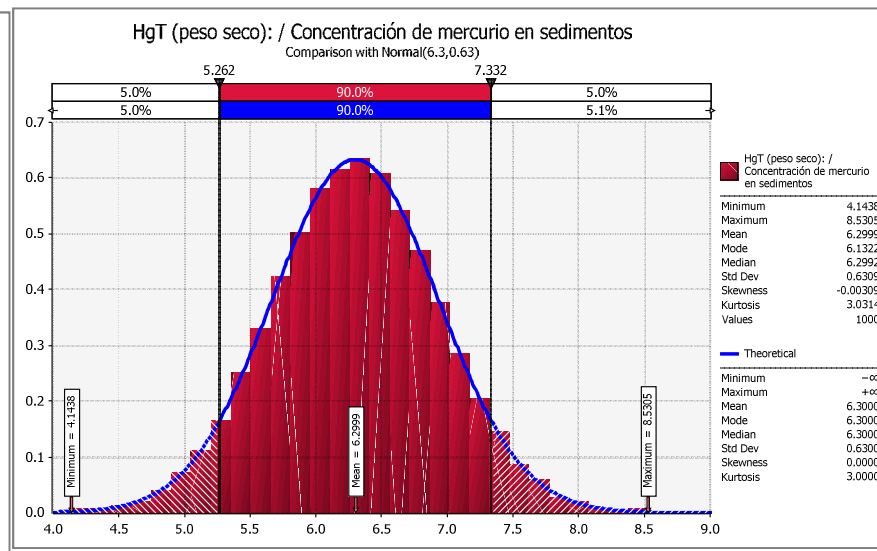
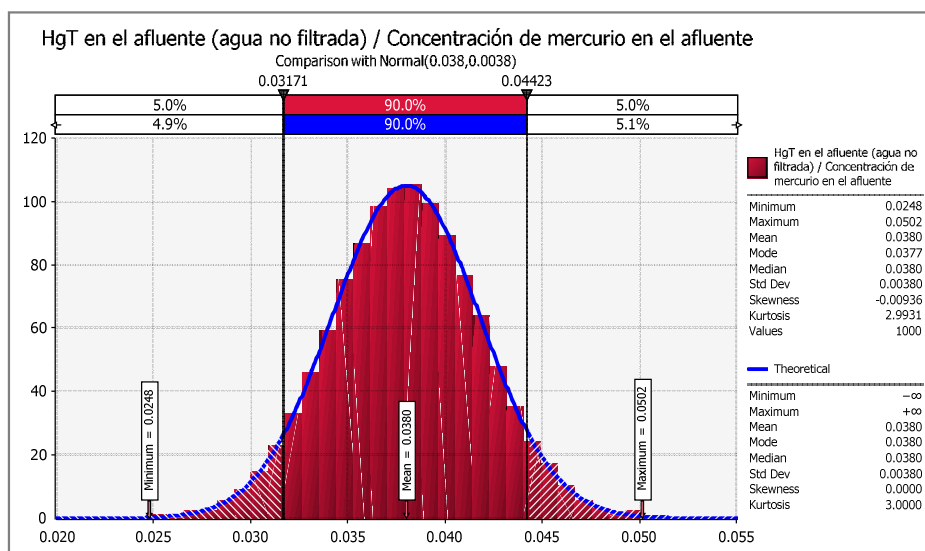


## Escenario pesimista

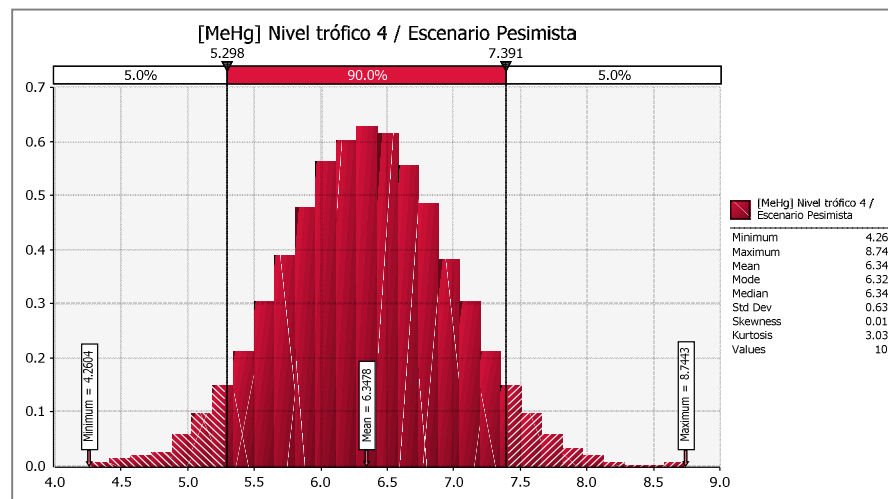
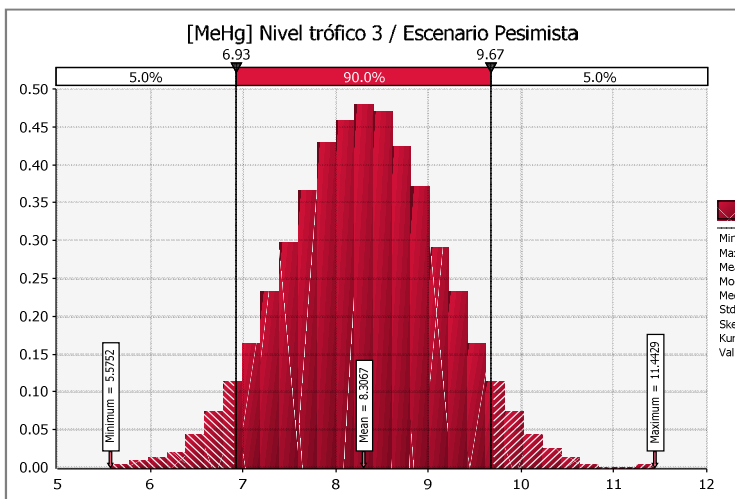
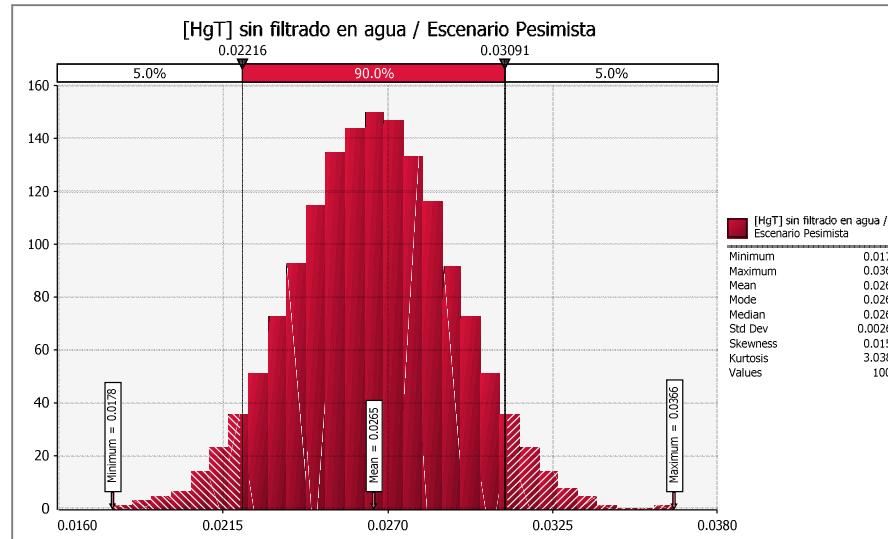
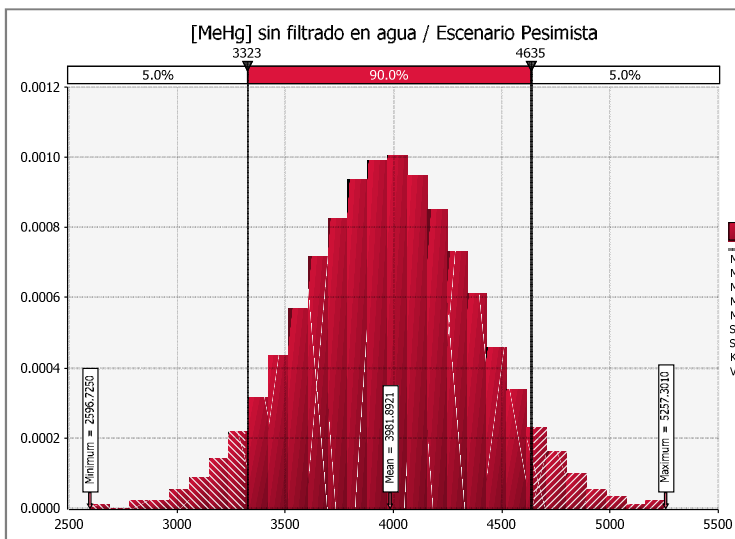
Entradas

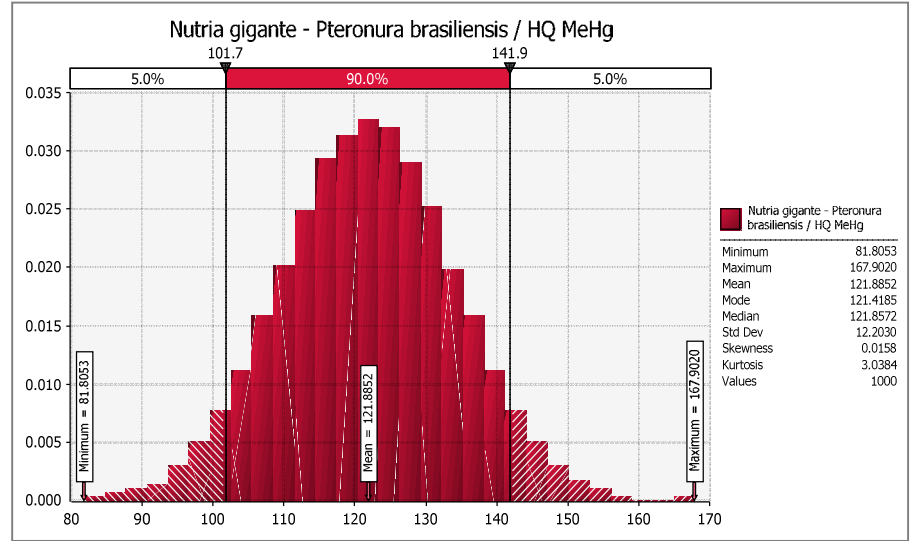
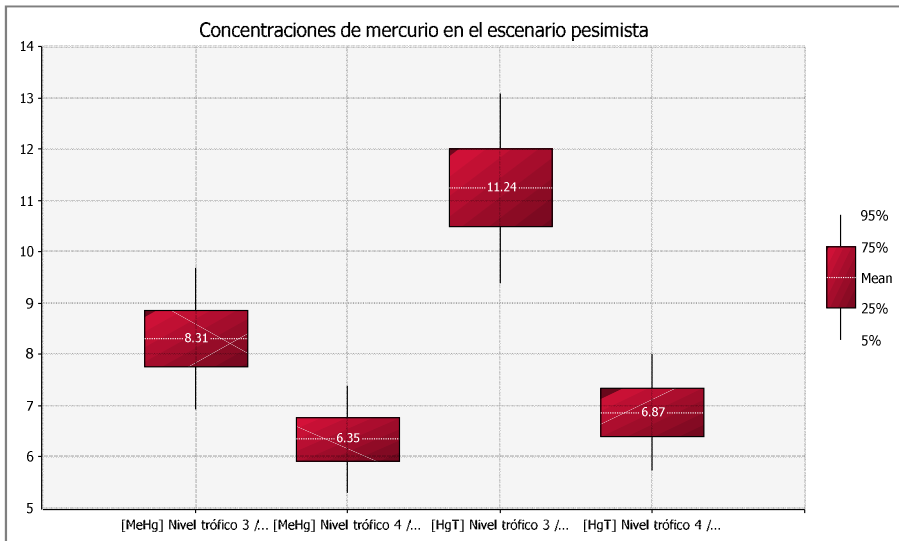
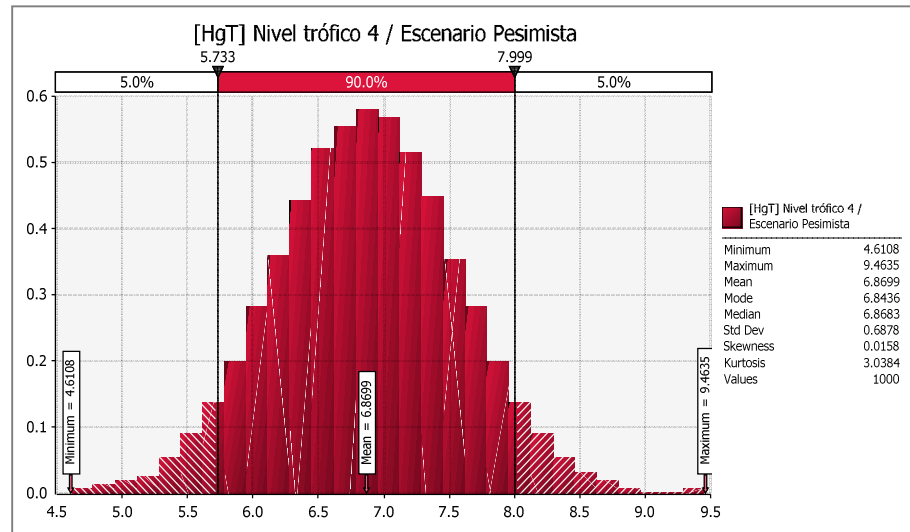
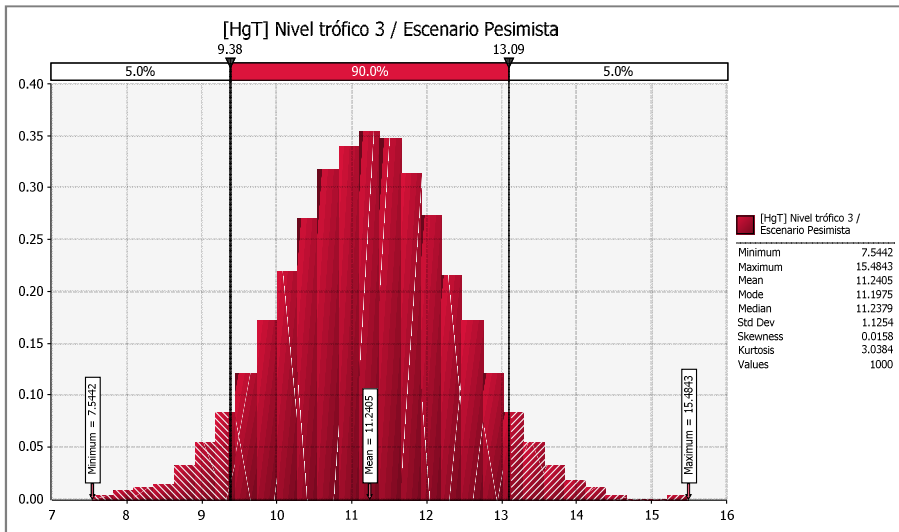
*Mercurio total en el agua en el afluyente: Distribución normal*

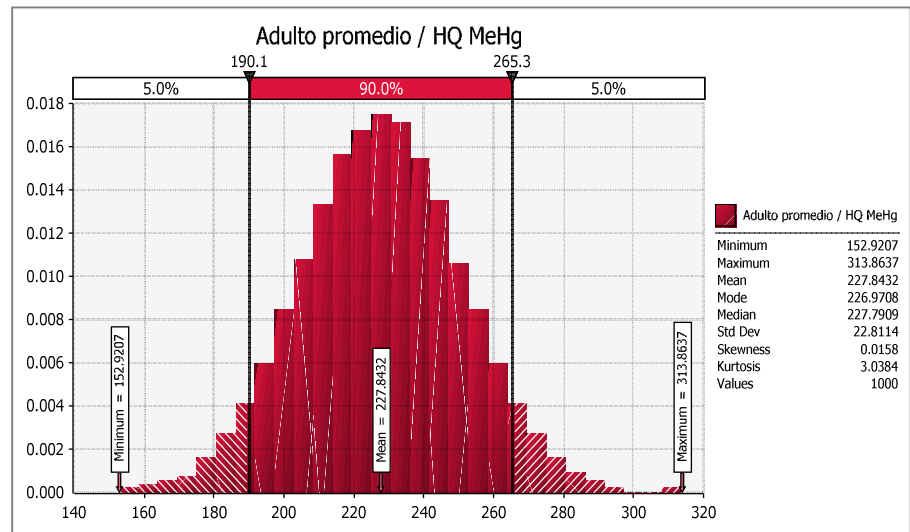
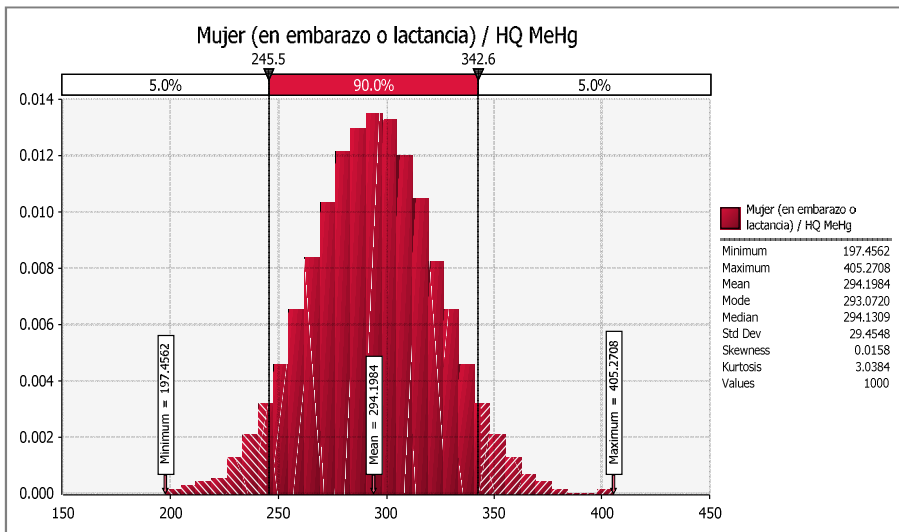
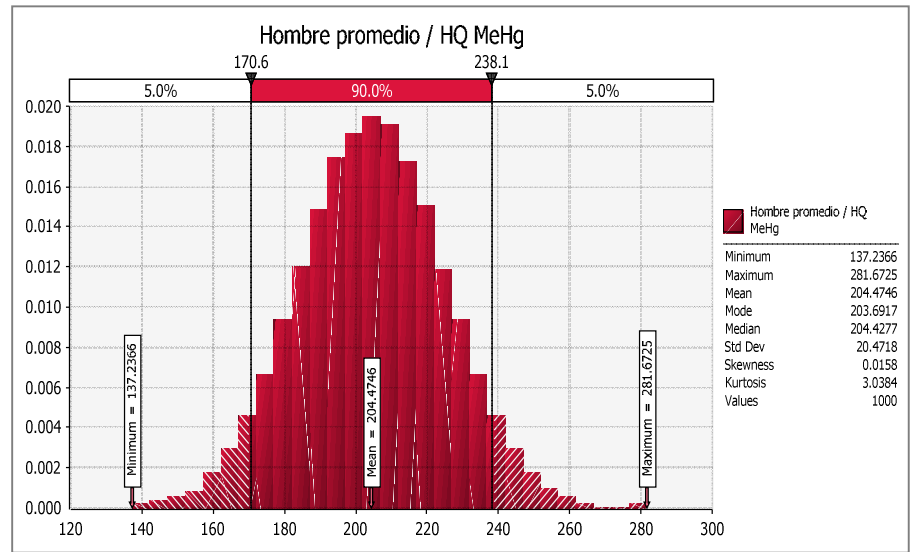
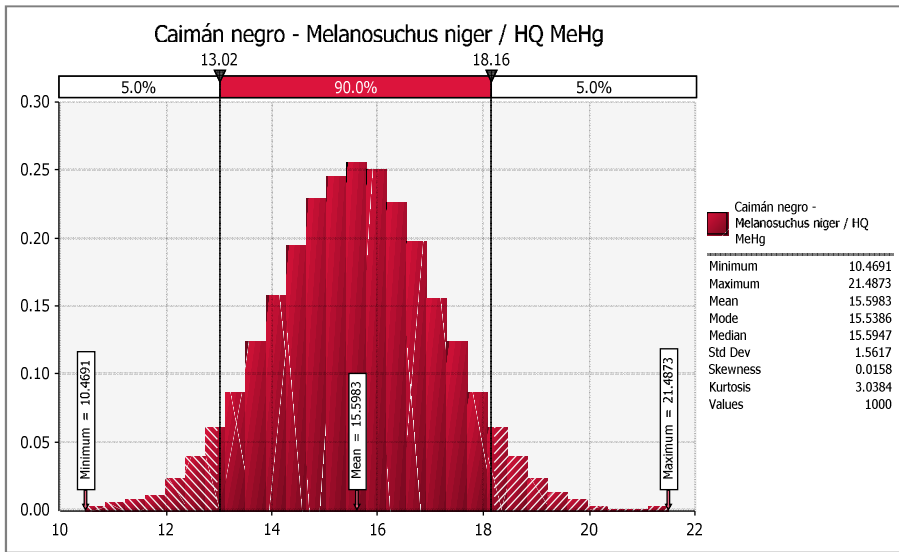
*Mercurio total en sedimentos: Distribución pesimista*

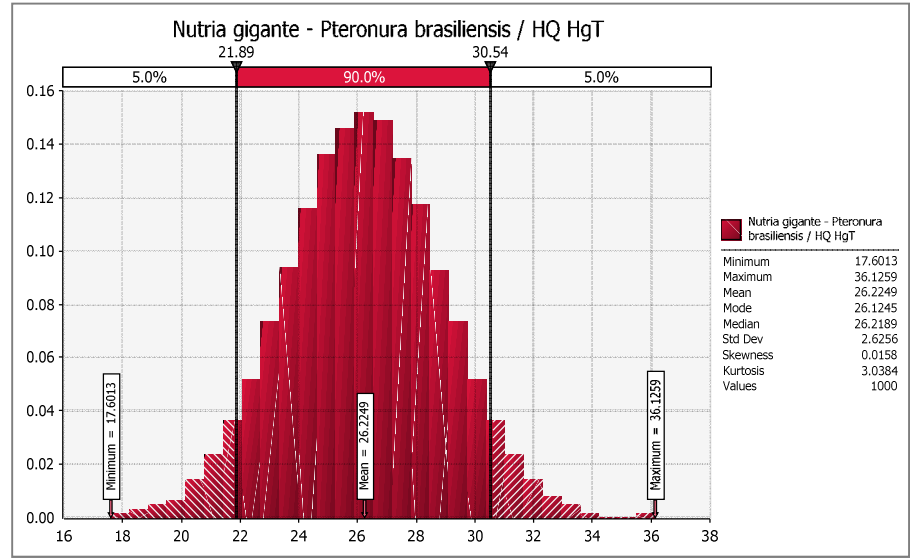
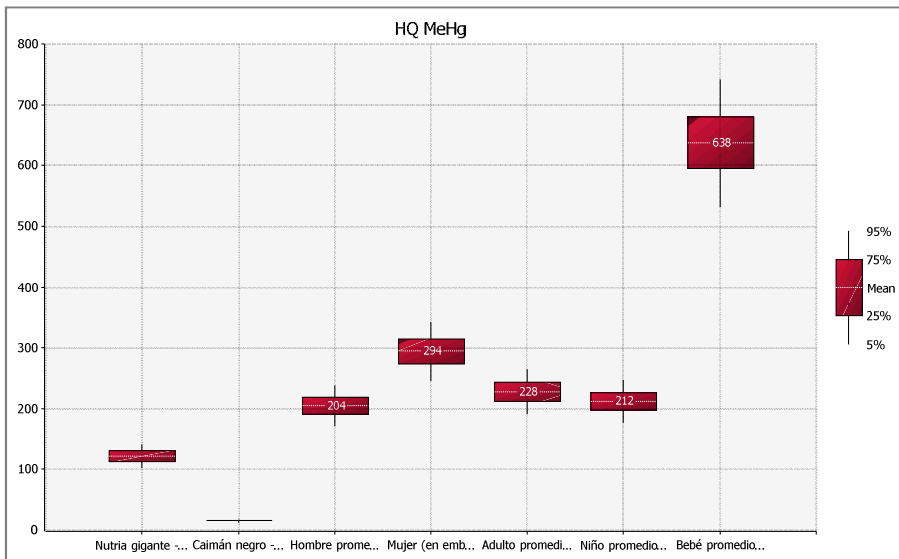
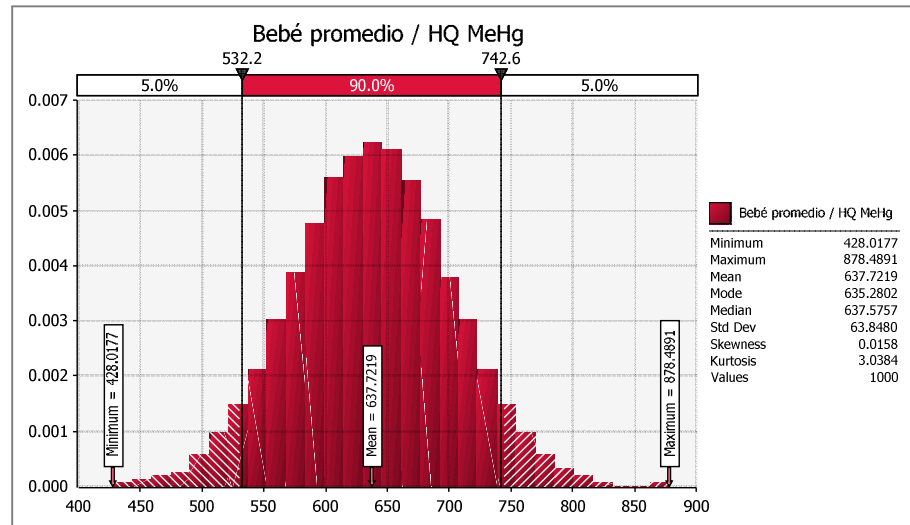
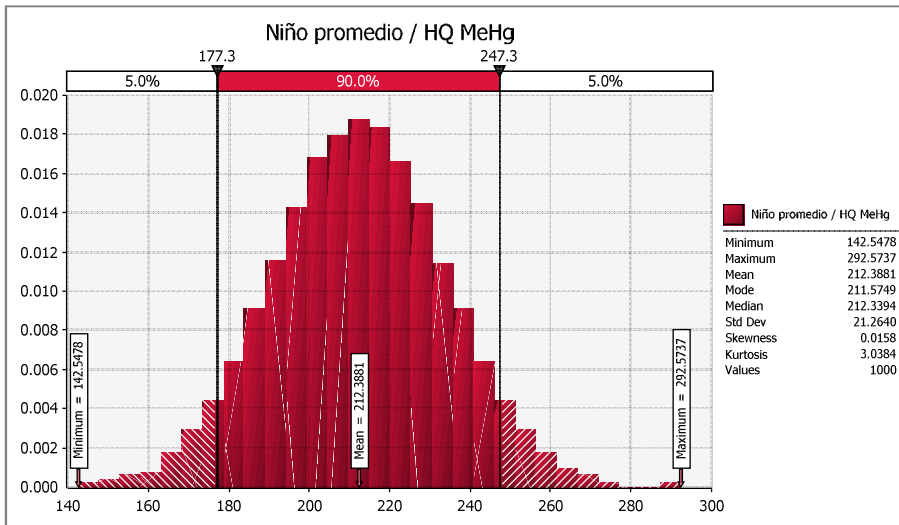


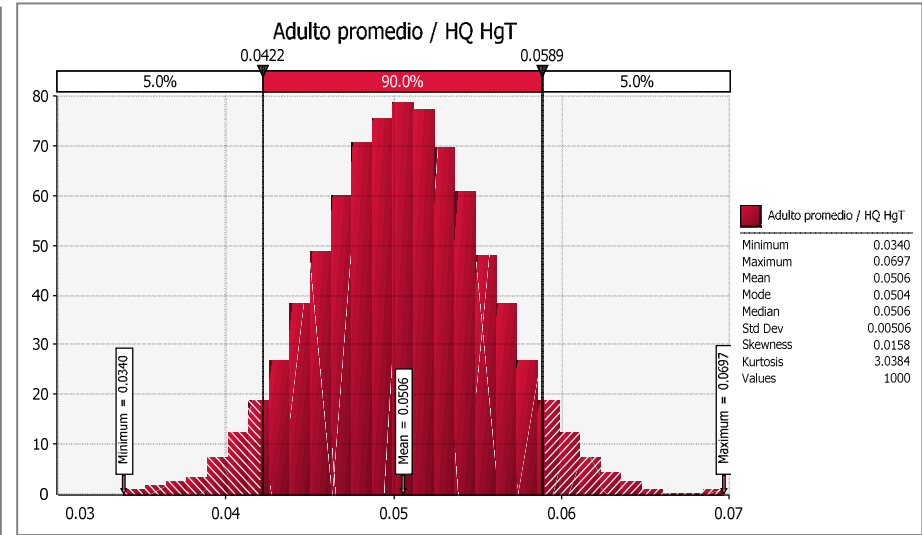
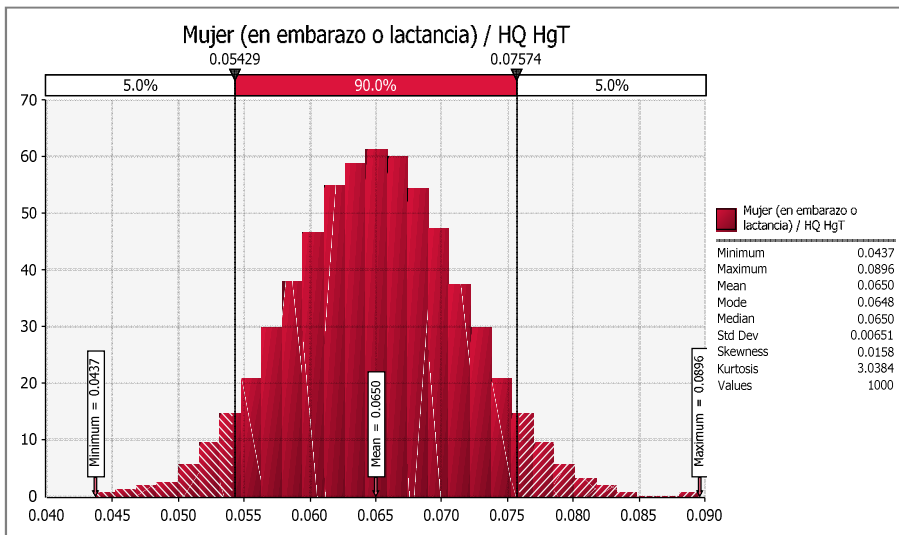
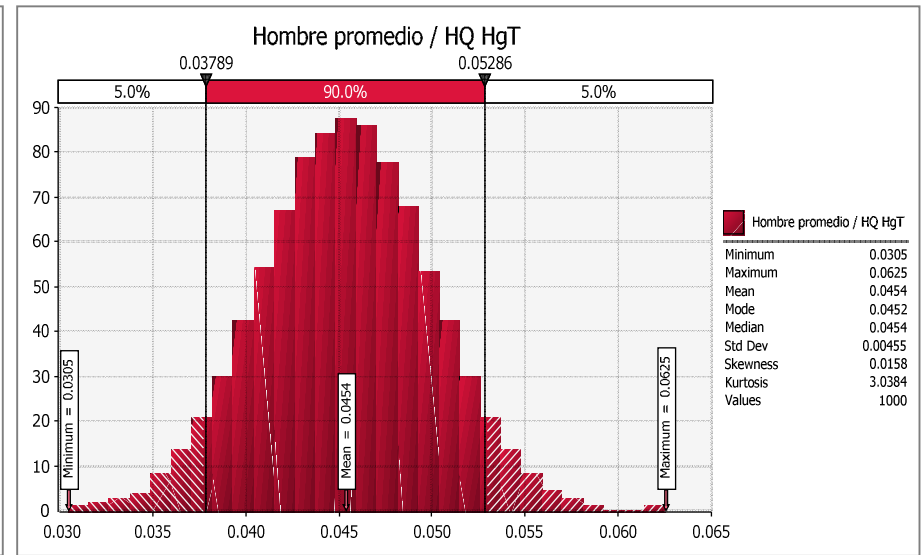
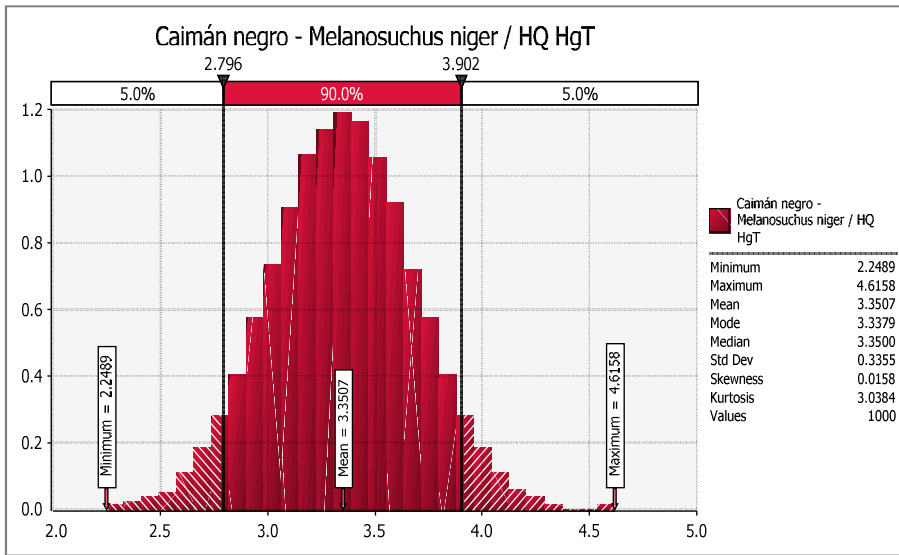
# Salidas

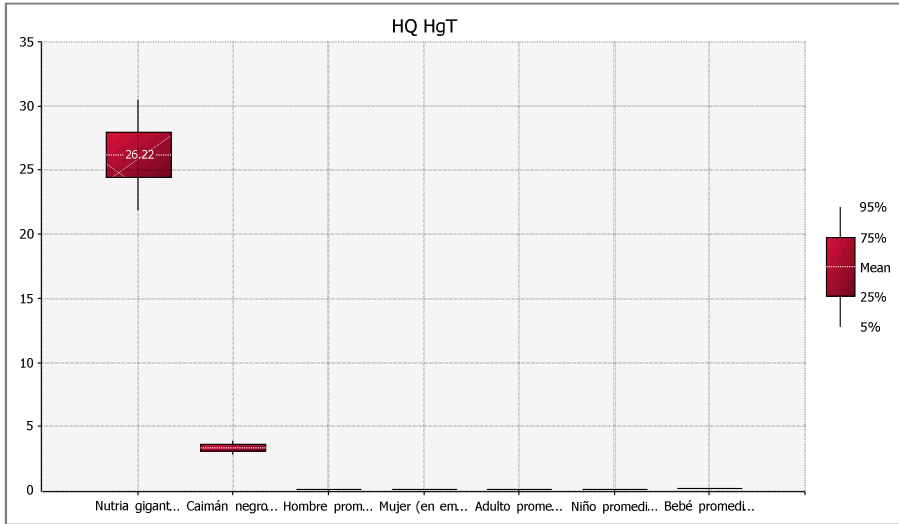
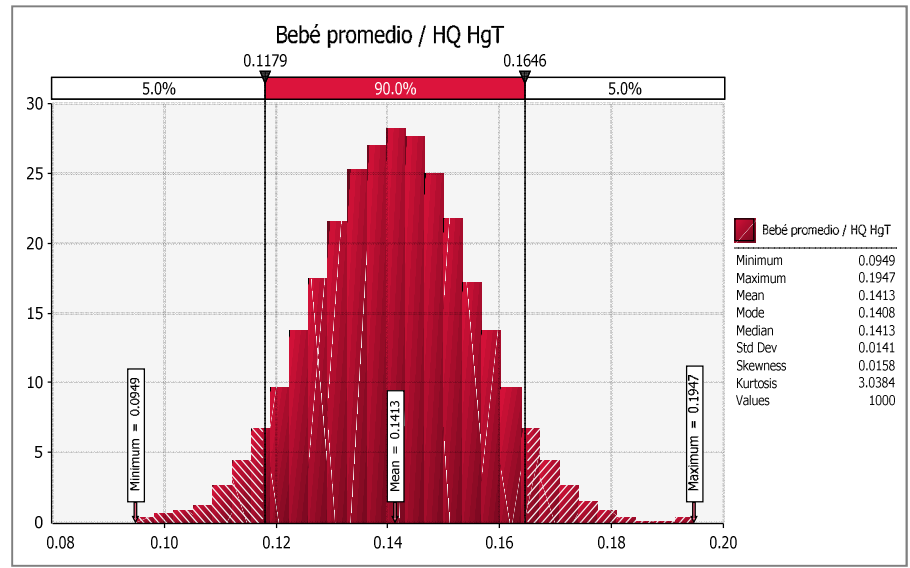
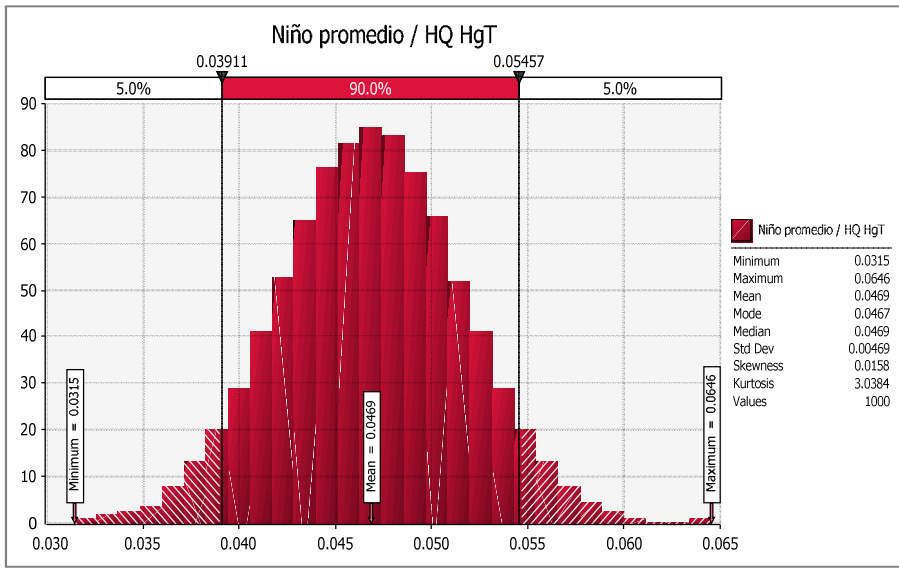












**ANEXO X: DATOS DE ENTRADA PARA LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE HG EX “EXPERT SYSTEM FOR RISK  
ASSESSMENT OF MERCURY DISCHARGE FROM GOLD MINING OPERATIONS”**

| Determinación del factor $\alpha$ para ajustar el diagnóstico a las condiciones de diferentes países amazónicos. |  | Factor        | Nivel de certidumbre o dato en el escenario actual | Nivel de certidumbre o dato en el escenario pesimista (minería extrema) | Nivel de certidumbre o dato en el escenario optimista (minería formal) | Nivel de certidumbre o dato en el escenario alternativo (otros medios de vida predominan) |
|--|--|---------------|--|---|--|---|
| 1  | Algunas leyes y regulaciones no son fáciles de cumplir. ¿Es fácil evadir las leyes sobre control de uso de mercurio?   | Sociopolítico | 100%   | 100%  | 30%  | 50%   |
| 2  | ¿El gobierno da algún incentivo para las operaciones mineras informales? Acá también se puede considerar la importancia de la actividad minera en la región.   | Sociopolítico | 0%   | 100%  | 0%   | 0%  |
| 3  | Frecuentemente la polución de mercurio afecta otros grupos sociales que no están involucrados directamente en la minería como pescadores, nativos, población urbana, etc. ¿Estos grupos que podrían estar afectados tienen poder político? El poder político comprende: representación política, alto nivel económico, alta densidad poblacional, etc. | Sociopolítico | 20%  | 0%  | 100%   | 100%  |
| 4  | Muchas sociedades mantienen la mística de que las minas de oro son una manera fácil de volverse ricos. ¿Esto es importante en esta sociedad?   | Sociopolítico | 70%  | 100%  | 0%   | 0%  |
| 5  | ¿La ocupación en minería es tradicional en esta sociedad?  | Sociopolítico | 50%  | 100%  | 0%   | 0%  |
| 6  | ¿El nivel educativo es alto en esta sociedad?  | Sociopolítico | 0%   | 0%  | 50%  | 50%   |
| 7  | ¿Los mineros interactúan frecuentemente con otras personas educadas (nivel universitario)?   | Sociopolítico | 0%   | 0%  | 50%  | 50%   |
| 8  | ¿El medio de comunicación dominante en esta sociedad es confiable y bien informado?  | Sociopolítico | 30%  | 0%  | 100%   | 100%  |
| 9  | Los grupos ecológicos son activos.   | Sociopolítico | 80%  | 0%  | 100%   | 100%  |
| 10   | ¿La amalgamación es la primera opción considerada por los mineros para extraer el oro?   | Técnico       | 100%   | 100%  | 0%   | 0%  |
| 11   | ¿El mercurio es fácilmente disponible por los mineros?   | Técnico       | 100%   | 100%  | 0%   | 0%  |
| 12   | Los placeres de oro, coluviales, depósitos de laterita y relaves abandonados son usualmente dejados por las compañías debido su baja ley. ¿Actualmente los mineros están trabajando este tipo de depósitos de oro?   | Técnico       | 50%  | 100%  | 0%   | 0%  |
| 13   | ¿Los mineros hacen frecuentemente mejoras en el proceso de amalgamación para incrementar la recuperación de oro y reducir la emisión de mercurio?  | Técnico       | 5%   | 0%  | 100%   | 100%  |
| 14   | ¿Es fácil introducir nuevas tecnologías de extracción de oro?  | Técnico       | 5%   | 0%  | 100%   | 100%  |
| 15   | ¿Los mineros son conscientes de los efectos secundarios del mercurio?  | Técnico       | 30%  | 0%  | 100%   | 100%  |
| 16   | ¿Los mineros tienen acceso a algún soporte técnico especializado?  | Técnico       | 50%  | 0%  | 100%   | 100%  |



| Determinación del factor $\alpha$ para ajustar el diagnóstico a las condiciones de diferentes países amazónicos.   |  | Factor       | Nivel de certidumbre o dato en el escenario actual | Nivel de certidumbre o dato en el escenario pesimista (minería extrema) | Nivel de certidumbre o dato en el escenario optimista (minería formal) | Nivel de certidumbre o dato en el escenario alternativo (otros medios de vida predominan) |
|--|--|--------------|--|---|--|---|
| 17   | ¿El gobierno y otras instituciones de investigación traen alternativas o soluciones para el uso de mercurio?   | Técnico      | 80%  | 0%  | 100%   | 100%  |
| 18   | ¿Los mineros están actualmente trabajando depósitos minerales en los que la recuperación del concentrado es baja cuando se utiliza la amalgamación?  | Técnico      | 80%  | 100%  | 0%   | 0%  |
| 19   | ¿Es fácil implementar un programa de monitoreo para medir la extensión de la contaminación por mercurio?   | Técnico      | 50%  | 0%  | 100%   | 100%  |
| 20   | ¿Hay algún ejemplo reciente de descubrimientos excepcionales de oro?   | Económico    | 50%  | 100%  | 50%  | 50%   |
| 21   | ¿Es la actividad minera importante para la economía de la región?  | Económico    | 80%  | 100%  | 50%  | 20%   |
| 22   | La agricultura representa la actividad principal en algunas regiones, pero la lucha por tierras lleva a los individuos a ver la minería como una alternativa. ¿Es este el caso para esta sociedad? | Económico    | 50%  | 80%   | 0%   | 0%  |
| 23   | ¿El precio local del mercurio es alto comparado con su precio en el mercado internacional (8 - 10 \$ / Kg)?  | Económico    | 0%   | 0%  | 100%   | 100%  |
| 24   | ¿El mercurio representa un alto costo en la operación minera?  | Económico    | 20%  | 0%  | 100%   | 100%  |
| 25   | ¿Las operaciones mineras requieren equipos caros (alta inversión)?   | Económico    | 80%  | 0%  | 100%   | 100%  |
| 26   | ¿La región está experimentando tiempos de dificultades económicas y la minería es vista como una alternativa económica factible?   | Económico    | 70%  | 100%  | 0%   | 0%  |
| 27   | ¿Es bajo el salario mínimo?  | Económico    | 100%   | 100%  | 0%   | 0%  |
| 28   | ¿La inflación es baja?   | Económico    | 50%  | 0%  | 100%   | 100%  |
| El factor $\alpha$ caracteriza la aceptabilidad de la amalgamación en el área minera. La situación típica en la amazonía es $\alpha = 1$ , o una situación intermedia. |  | $\alpha = 1$ | $\alpha = 1$                                       | $\alpha = 100$  | $\alpha = 0.008$   | $\alpha = 0.008$  |



| Determinación de factores que afectan la biodisponibilidad del mercurio |  | Factor           | Escenario actual                  | Escenario pesimista               | Escenario optimista               | Escenario alternativo               |
|---|--|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | ¿Qué área se está estudiando?<br>Una región (Km2) o un sitio aislado (m2). | Alcance          | Región                            | Región                            | Región                            | Región                              |
| 2   | ¿Qué magnitud tiene la actividad? Considerar los Kg. oro producidos / mes. | Tamaño actividad | Aprox. 1800 Kg/mes (gran minería) | Aprox. 3000 Kg/mes (gran minería) | Aprox. 1000 Kg/mes (gran minería) | Aprox. 500 Kg/mes (minería mediana) |

| Determinación de factores que afectan la biodisponibilidad del mercurio |  | Factor   | Escenario actual  | Escenario pesimista  | Escenario optimista   | Escenario alternativo  |
|---|--|--|---|--|---|--|
| 3   | ¿Qué métodos de extracción se utilizan?                            | Método minero                                  | Dragas: 50%<br>Manual: 100%<br>Molino: 20%<br>Chupaderas: 100%<br>Balsas: 100%  | Dragas: 100%<br>Manual: 100%<br>Molino: 100%<br>Chupaderas: 100%<br>Balsas: 100%   | Dragas: 0%<br>Manual: 100%<br>Molino: 0%<br>Chupaderas: 50%<br>Balsas: 100%   | Dragas: 0%<br>Manual: 100%<br>Molino: 0%<br>Chupaderas: 0%<br>Balsas: 100%   |
| 4   | ¿Qué parte del oro se amalgama?                                    | Parte del oro amalgamada                       | Concentrados: 100%<br>Oro puro: 50%   | Concentrados: 100%<br>Oro puro: 100%   | Concentrados: 80%<br>Oro puro: 0%   | Concentrados: 100%<br>Oro puro: 0%   |
| 5   | ¿Qué métodos de amalgamación se usan?                              | Métodos de amalgamación                        | Barril: 100%<br>Licuadora: 5%<br>Mortero manual: 100%<br>Ollas, placas o compuertas: 80%  | Barril: 100%<br>Licuadora: 100%<br>Mortero manual: 100%<br>Ollas, placas o compuertas: 100%  | Barril: 100%<br>Licuadora: 0%<br>Mortero manual: 0%<br>Ollas, placas o compuertas: 0%   | Barril: 80%<br>Licuadora: 0%<br>Mortero manual: 40%<br>Ollas, placas o compuertas: 0%  |
| 6   | ¿Qué métodos se usan para la separación de la amalgama?            | Método de separación de concentrado o amalgama | Mortero en cajas: 100%<br>Mortero en pozas: 100%<br>Mortero en arroyos: 100%<br>Flotación: 5%   | Mortero en cajas: 100%<br>Mortero en pozas: 100%<br>Mortero en arroyos: 100%<br>Flotación: 100%  | Mortero en cajas: 50%<br>Mortero en pozas: 0%<br>Mortero en arroyos: 0%<br>Flotación: 100%  | Mortero en cajas: 0%<br>Mortero en pozas: 0%<br>Mortero en arroyos: 0%<br>Flotación: 100%  |
| 7   | ¿Cuál es el destino de los residuos de la amalgama?                | Destino de los residuos de amalgama            | Son reciclados en el proceso: 5%<br>Se descargan en el cuerpo de agua: 100%<br>Se descargan en estanques: 100%<br>Se quedan en pozas: 50%<br>Tienen una adecuada disposición final: 0%<br>Son vendidos para reprocesamiento: 0% | Son reciclados en el proceso: 0%<br>Se descargan en el cuerpo de agua: 100%<br>Se descargan en estanques: 100%<br>Se quedan en pozas: 100%<br>Tienen una adecuada disposición final: 0%<br>Son vendidos para reprocesamiento: 0% | Son reciclados en el proceso: 50%<br>Se descargan en el cuerpo de agua: 0%<br>Se descargan en estanques: 0%<br>Se quedan en pozas: 50%<br>Tienen una adecuada disposición final: 100%<br>Son vendidos para reprocesamiento: 50% | Son reciclados en el proceso: 100%<br>Se descargan en el cuerpo de agua: 0%<br>Se descargan en estanques: 0%<br>Se quedan en pozas: 0%<br>Tienen una adecuada disposición final: 100%<br>Son vendidos para reprocesamiento: 100% |
| 8   | ¿Cuáles son los métodos de separación del mercurio de la amalgama? | Separación de mercurio - amalgama              | Quema en morteros: 100%<br>Disolución en ácidos: 10%<br>Quema en retortas: 10%  | Quema en morteros: 100%<br>Disolución en ácidos: 100%<br>Quema en retortas: 0%   | Quema en morteros: 0%<br>Disolución en ácidos: 50%<br>Quema en retortas: 100%   | Quema en morteros: 0%<br>Disolución en ácidos: 0%<br>Quema en retortas: 100%   |

| Determinación de factores que afectan la biodisponibilidad del mercurio |  | Factor                     | Escenario actual   | Escenario pesimista  | Escenario optimista                                      | Escenario alternativo                                    |
|---|--|----------------------------|--|--|--|--|
| 9   | ¿Dónde se realiza el refogeo del oro?                                  | Refinamiento del oro       | En tiendas de oro: 100%<br>En el lugar de extracción: 100% | En tiendas de oro: 100%<br>En el lugar de extracción: 100% | En tiendas de oro: 100%<br>En el lugar de extracción: 0% | En tiendas de oro: 100%<br>En el lugar de extracción: 0% |
| 10  | ¿Cuántas tiendas de oro se estima que hay?                             | Cantidad de tiendas de oro | 3000   | 5000   | 100  | 50   |
| 11  | ¿Hay algún filtro o extractor de aire en los lugares donde se refogea? | Filtros de aire            | Sí: 0%<br>No: 0%<br>Duda: 10%                              | Sí: 0%<br>No: 100%<br>Duda: 0%                             | Sí: 100%<br>No: 0%<br>Duda: 0%                           | Sí: 100%<br>No: 0%<br>Duda: 0%                           |

| Características del ambiente, punto A (línea base) |   | Factor                         | Escenario actual | Escenario pesimista | Escenario optimista | Escenario alternativo |
|--|---|--------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 1  | Concentración de mercurio en sedimentos (en ppm). Considerar datos de testigos profundos. | HgT en Sedimentos - Línea base | 0.00005          | 0.00005             | 0.00005             | 0.00005               |

| Características del ambiente, punto B (zona de aguas negras a menos de 50 Km. de la zona minera: una quebrada) |   | Factor                      | Escenario actual   | Escenario pesimista  | Escenario optimista  | Escenario alternativo  |
|--|---|-----------------------------|--|--|--|--|
| 1  | ¿El color del agua corriente es negra como la Coca - Cola?          | Color del agua              | 50%  | 50%  | 50%  | 50%  |
| 2  | ¿Cómo clasificará la cantidad de peces en este río de aguas negras? | Productividad de la biomasa | Muchos, fáciles de pescar: 0%<br>No muchos: 100%<br>Pocos, difíciles de pescar: 0% | Muchos, fáciles de pescar: 0%<br>No muchos: 0%<br>Pocos, difíciles de pescar: 100% | Muchos, fáciles de pescar: 100%<br>No muchos: 0%<br>Pocos, difíciles de pescar: 0% | Muchos, fáciles de pescar: 100%<br>No muchos: 0%<br>Pocos, difíciles de pescar: 0% |
| 3  | Conductividad del agua en $\mu\text{S}/\text{cm}$                   | Conductividad del agua      | 10.0   | 5.0  | 50.0   | 50.0   |

| Características del ambiente Punto D (zona contaminada) |   | Factor                            | Escenario actual  | Escenario pesimista   | Escenario optimista   | Escenario alternativo   |
|---|---|-----------------------------------|---|---|---|---|
| 1   | ¿Es posible identificar <i>hotspots</i> o áreas con altos niveles de mercurio?  | Existencia de <i>hotspots</i>     | Sí: 100%<br>No  | Sí: 100%<br>No  | Sí: 100%<br>No  | Sí: 100%<br>No  |
| 2   | Concentración promedio de mercurio en los <i>hotspots</i> (en ppm)  | HgT en <i>hotspots</i>            | 6.30  | 10.00   | 1.50  | 1.50  |
| 3   | Concentración de oro en los <i>hotspots</i> . (en ppm o g/Tn)   | Oro en <i>hotspots</i>            | 31.0  | 31.0  | 31.0  | 15.0  |
| 4   | ¿Cuál es el tamaño de sedimento que mejor describe a aquel donde ha habido descargas de mercurio?<br>  | Tamaño del sedimento              | Limo: 50%<br>Arcilla: 50%   | Limo: 50%<br>Arcilla: 50%   | Limo: 50%<br>Arcilla: 50%   | Limo: 50%<br>Arcilla: 50%   |
| 4   | ¿Cuál es el tamaño de sedimento que mejor describe a aquel donde ha habido descargas de mercurio?<br> | Tamaño del sedimento              | Limo: 50%<br>Arcilla: 50%   | Limo: 50%<br>Arcilla: 50%   | Limo: 50%<br>Arcilla: 50%   | Limo: 50%<br>Arcilla: 50%   |
| 5   | Seleccione el color del sedimento profundo y seco, del lugar donde ha habido descargas de mercurio.   | Color del sedimento contaminado   | Presencia óxidos de hierro: moderada<br>Presencia de compuestos orgánicos: moderada | Presencia óxidos de hierro: moderada<br>Presencia de compuestos orgánicos: moderada | Presencia óxidos de hierro: moderada<br>Presencia de compuestos orgánicos: moderada | Presencia óxidos de hierro: moderada<br>Presencia de compuestos orgánicos: moderada |
| 6   | ¿Con cuántas muestras de sedimentos se cuenta? (sobre todo con finos)   | Cantidad de muestras de sedimento | 36  | 15  | 11  | 11  |

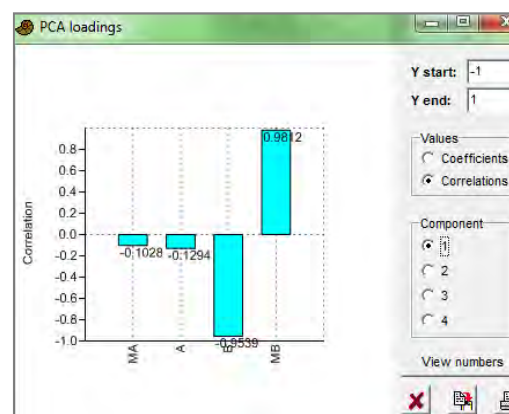
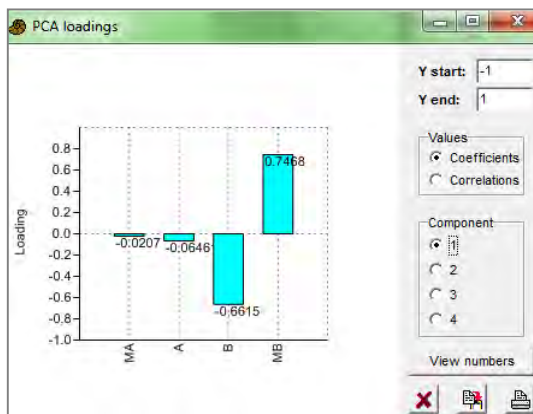
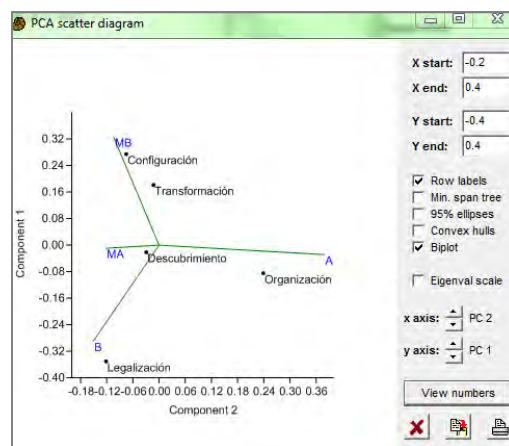
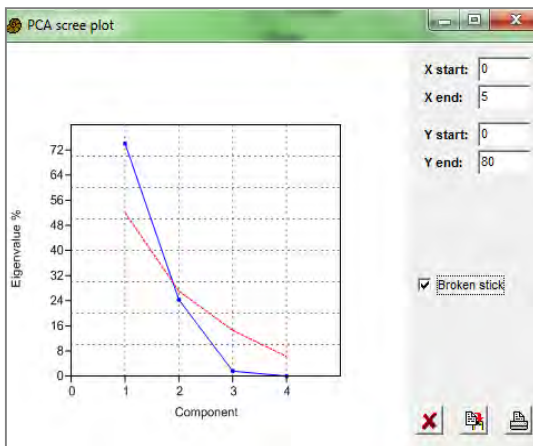
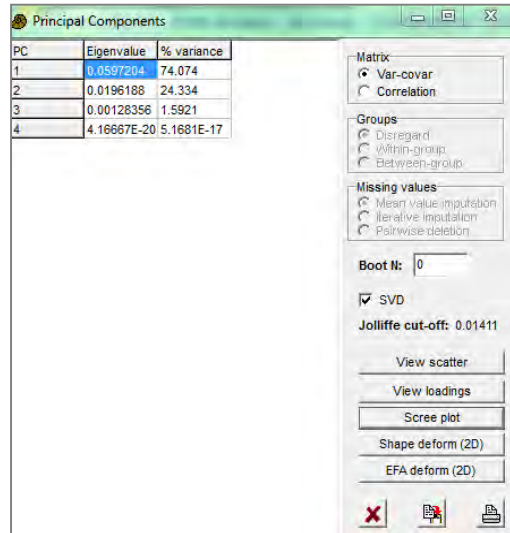
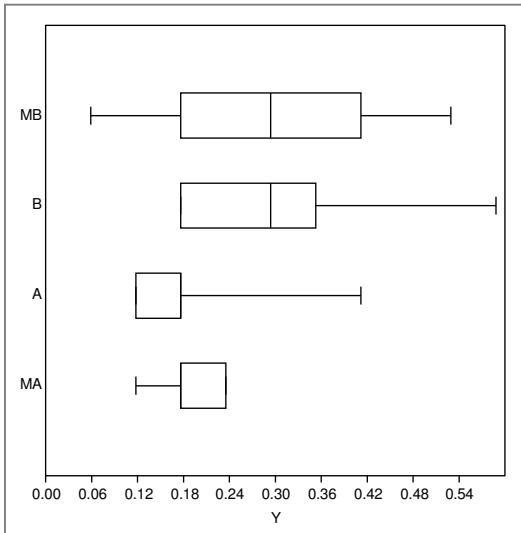
| Características del ambiente<br>Punto D (zona contaminada) | Factor  | Escenario actual                 | Escenario pesimista  | Escenario optimista  | Escenario alternativo                                       |   |
|--|---|----------------------------------|--|--|---|---|
| 7  | Concentración promedio en sedimentos, en ppm.   | HgT en sedimentos                | 0.925  | 1.83   | 0.32  | 0.32  |
| 8  | ¿Se midió Eh y pH de los sedimentos donde el mercurio fue descargado?                   | Medición de potencial redox y pH | Sí: 0%<br>No: 0%<br>Sólo pH: 100%                            | Sí: 0%<br>No: 0%<br>Sólo pH: 100%                            | Sí: 0%<br>No: 0%<br>Sólo pH: 100%                           | Sí: 0%<br>No: 0%<br>Sólo pH: 100%                           |
| 9  | Eh más alto encontrado, en mV.  | Eh                               | -  | -  | -   | -   |
| 10   | pH del lugar donde se midió el Eh   | pH                               | 4.3  | 3.0  | 6.5   | 7.5   |
| 11   | Para inferir la transparencia, ¿cómo clasificaría el cuerpo de agua?                    | Transparencia del agua           | Aguas claras: 0%<br>Un poco borroso: 0%<br>Muy fangoso: 100% | Aguas claras: 0%<br>Un poco borroso: 0%<br>Muy fangoso: 100% | Aguas claras: 0%<br>Un poco borroso: 50%<br>Muy fangoso: 0% | Aguas claras: 50%<br>Un poco borroso: 0%<br>Muy fangoso: 0% |
| 12   | Concentración promedio de mercurio en peces (de preferencia piscívoros), en ppm         | Mercurio en peces                | 0.70   | 2.40   | 0.20  | 0.10  |
| 13   | Concentración promedio de mercurio en invertebrados de hotspots (ej: caracoles), en ppm | Mercurio en invertebrados        | -  | -  | -   | -   |
| 14   | ¿Con cuántas muestras de biota se cuenta?   | Número de muestras de biota      | 69   | 3  | 30  | 9   |

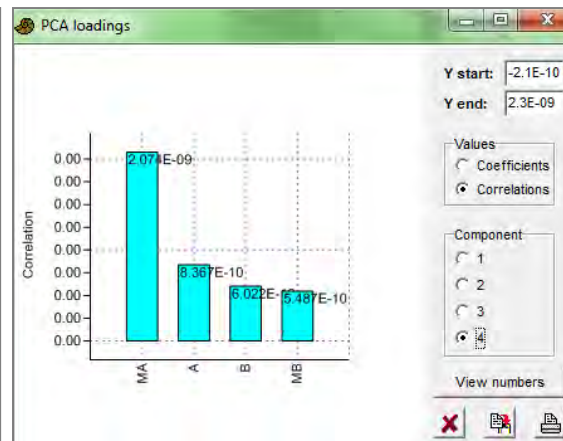
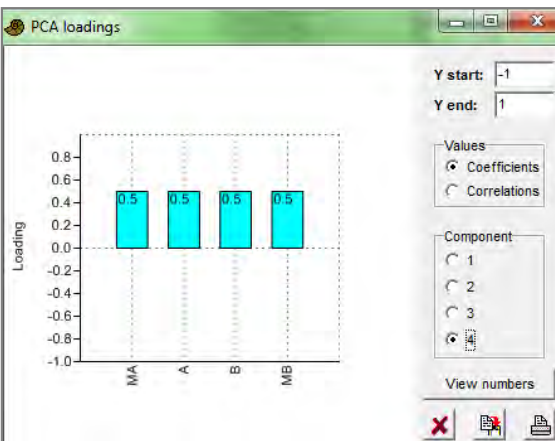
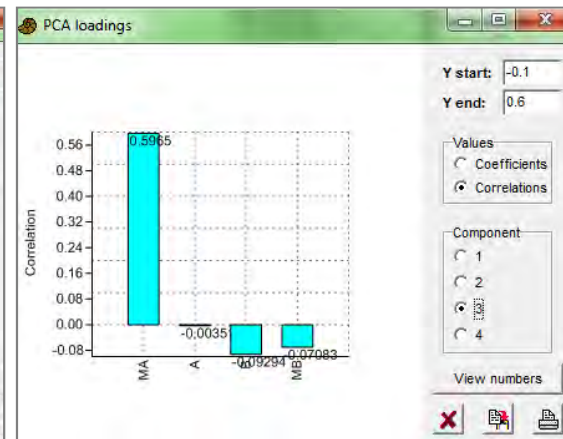
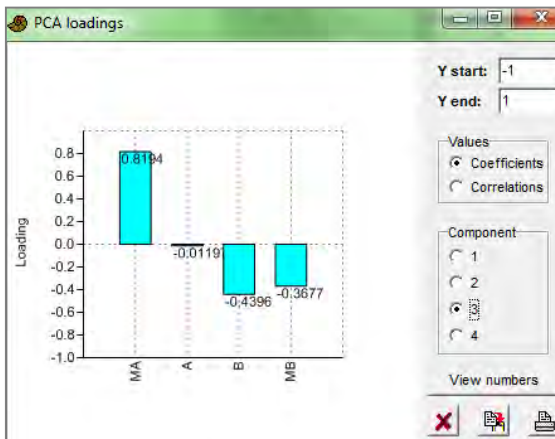
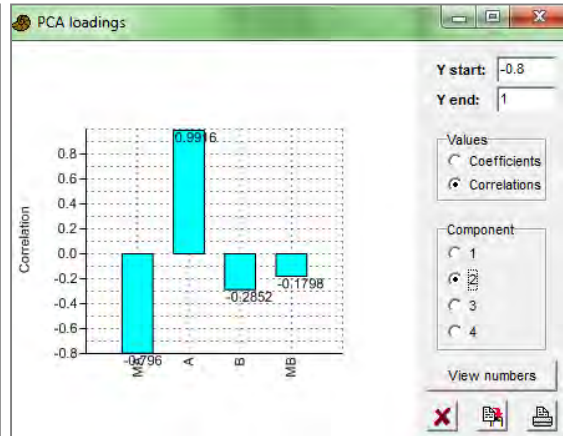
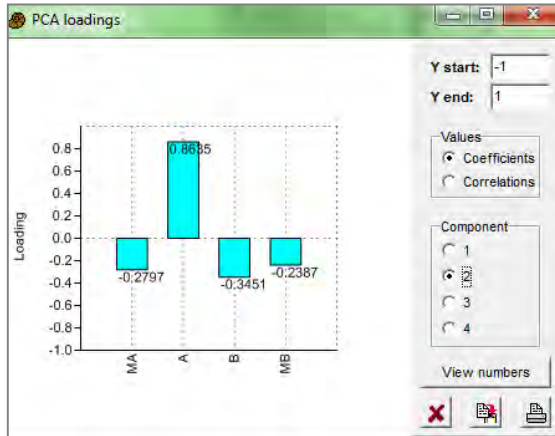
| Características del ambiente<br>Punto C (aguas arriba) | Factor  | Escenario actual   | Escenario pesimista | Escenario optimista | Escenario alternativo |   |
|--|---|--|---------------------|---------------------|-----------------------|---|
| 1  | Concentración promedio de mercurio en sólidos suspendidos | Mercurio en sólidos suspendidos aguas arriba de la actividad minera. | 0.20                | 0.50                | 0.10                  | 1 |

|   | Características del ambiente<br>Punto E (aguas abajo)   | Factor  | Escenario actual              | Escenario pesimista           | Escenario optimista           | Escenario alternativo         |
|---|---|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Concentración promedio de mercurio en sólidos suspendidos   | Mercurio en sólidos suspendidos aguas abajo de la actividad minera. | 2.00                          | 3.00                          | 1.00                          | 0.50                          |
| 2 | Conductividad del agua en $\mu\text{S}/\text{cm}$   | Conductividad del agua,   | 200.00                        | 300.00                        | 100.00                        | 50.00                         |
| 3 | ¿El área de estudio está a menos de 10 Km. del mar?   | Cercanía al mar o fuentes de agua salada.                           | Sí<br>No: 100%                | Sí<br>No: 100%                | Sí<br>No: 100%                | Sí<br>No: 100%                |
| 4 | ¿Considera que alguna de las siguientes fuentes de mercurio está presente en la zona de estudio?<br>Incendios forestales<br>Represas<br>Industrias que generan alta combustión<br>Plantas de cloro - álcali<br>Plantas de pulpa y papel<br>Industrias de componentes eléctricos | Otras fuentes de Hg   | Sí: 100% (roce y quema)<br>No | Sí: 100% (roce y quema)<br>No | Sí: 100% (roce y quema)<br>No | Sí: 100% (roce y quema)<br>No |

## ANEXO Y: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS CAPITALES DE LOS MEDIOS DE VIDA EN LAS DIFERENTES ERAS DE MANEJO

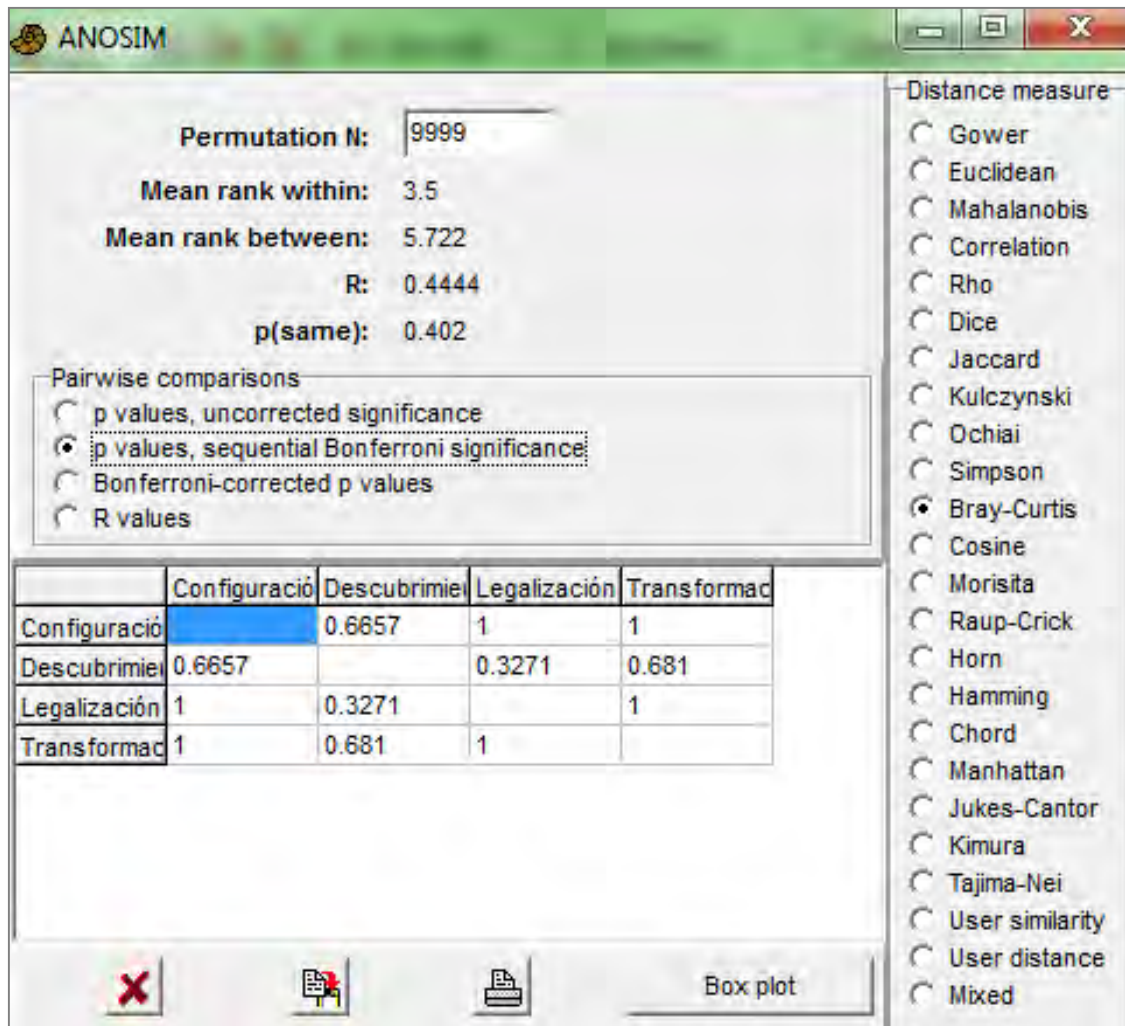
### a) Resultados del análisis de componentes principales con el software Past.





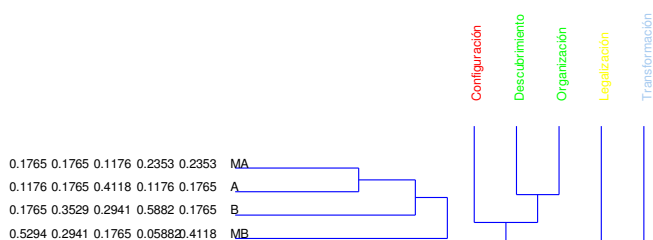


**b) Resultados del análisis de similaridad (ANOSIM) con el software Past.**

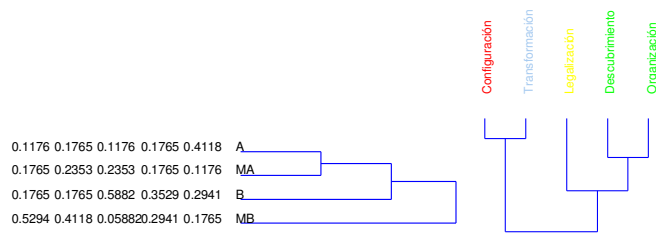


**c) Resultados del análisis de clusters con el software Past**

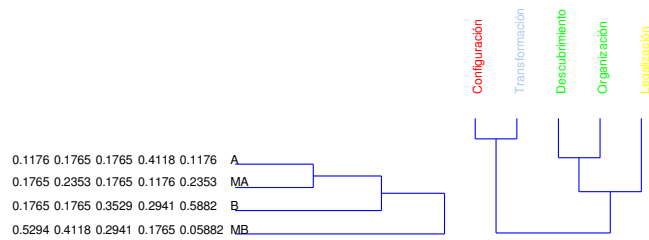
- Cluster analysis – Euclidean distance - Constrained



- **Cluster analysis – Ward’s method**



- **Cluster analysis – Ward’s method - Constrained**



- **Cluster analysis – K means clustering**

| Item           | Cluster |
|----------------|---------|
| Configuración  | 1       |
| Descubrimiento | 3       |
| Organización   | 3       |
| Legalización   | 4       |
| Transformación | 2       |