

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES Y DEL AMBIENTE**



TESIS

**VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL
AGUA DEL RIO CUNAS EVALUADA MEDIANTE INDICADORES
AMBIENTALES, CHUPACA**

PRESENTADA POR:

Bach. HENRY DOMINGUEZ FRANCO.

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTIAE EN GESTIÓN SOSTENIBLE DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**

ASESOR:

Dra. MARÍA CUSTODIO VILLANUEVA

HUANCAYO – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES Y DEL AMBIENTE**

TESIS:

**VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL
AGUA DEL RIO CUNAS EVALUADA MEDIANTE INDICADORES
AMBIENTALES, CHUPACA**

PRESENTADA POR:

Bach. HENRY DOMINGUEZ FRANCO.

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTIAE EN GESTIÓN SOSTENIBLE DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE:

PRIMER MIEMBRO:

M Sc. Edwin Zorrilla Delgado

SEGUNDO MIEMBRO:

Dr. Juan José Bullón Rosas

ASESOR DE TESIS:

Dra. María Custodio Villanueva

Huancayo, febrero del 2021

Dedicatoria

A mis padres Salvador y Julia, mis hermanos, quienes me brindaron su apoyo directo o indirecto para lograr este proyecto.

Agradecimiento

A Dios y todas aquellas instituciones y personas que contribuyeron a realizar este proyecto a través de su guía y apoyo.

A la Dra. María Custodio Villanueva, investigadora principal del proyecto “Recuperación de afluentes de la industria láctea mediante biomasa microbiana autóctona y energía solar para producir agua y bioenergía de uso agrícola”, por permitirme ser parte de dicho proyecto y como asesora por la orientación en todas las fases de la tesis.

Al Laboratorio de Investigación de Aguas de la Universidad Nacional del Centro del Perú, a Ambiental Laboratorios S.A.C. y a Nueva Acrópolis por las facilidades brindadas durante la ejecución del trabajo de tesis.

A todas aquellas personas, colegas y amigos que me brindaron su apoyo incondicional para el logro de mis objetivos.

Este trabajo fue financiado por el CONCYTEC-FONDECYT en el marco de la convocatoria E041-01 [contrato 076-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU]

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I	14
MARCO TEÓRICO	14
1.1. Antecedentes o marco referencial	14
1.1.1. En el contexto internacional	14
1.1.2. En el contexto nacional	18
1.2. Bases teóricas y conceptuales	19
1.2.1. Estándares de calidad ambiental (ECA)	19
1.2.2. Índice de calidad de agua (ICA-PE)	21
1.2.3. Parámetros a evaluar en el ECA-PE	22
1.2.4. Determinación del índice de calidad de agua (ICA-PE)	23
1.3. Definición de términos básicos	25
1.4. Hipótesis de investigación	27
1.4.1. Hipótesis general	27
1.4.2. Hipótesis específicas	28
1.5. Operacionalización de las variables	28
CAPÍTULO II	29
DISEÑO METODOLÓGICO	29
2.1. Tipo y nivel de investigación	29
2.2. Métodos de investigación	29
2.3. Diseño de investigación	29
2.4. Población y muestra	30
2.4.1. Población	30
2.4.2. Muestra	30
2.4.3. Técnicas de muestreo	30

2.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos	31
2.5.1. Técnicas de recopilación de datos	31
2.6. Técnicas de procesamiento de datos	33
CAPÍTULO III	34
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	34
3.1. Análisis de resultados	34
3.1.1. Calidad del agua del río Cunas según sector en época de avenida	34
3.1.2. Calidad del agua del río Cunas según sector en época de estiaje	41
3.1.3. Variación espacio temporal de la calidad de agua del río Cunas según indicadores ambientales	48
3.2. Prueba de hipótesis	49
3.2.1. Hipótesis específica A	49
3.2.2. Hipótesis específica B	51
3.2.3. Hipótesis general	52
3.3. Discusión de resultados	54
3.4. Estrategias de manejo de la calidad de agua del río Cunas	61
3.4.1. Implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales	61
3.4.2. Monitoreo de la calidad de agua	64
3.4.3. Recuperación y conservación de vegetación de las fajas marginales	64
3.4.4. Mecanismos de implementación de las propuestas	65
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	72
ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA	73
ANEXO N° 02: PRUEBA DE NORMALIDAD	75
ANEXO N° 03: ENSAYOS DE LABORATORIO	78
ANEXO N° 04: PANEL FOTOGRÁFICO	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO N° 05: PLANOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos.	22
Tabla 2. Interpretación de la calificación del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE).	25
Tabla 3 Organización de la variable	28
Tabla 4 <i>Puntos de muestreo de agua del río Cunas</i>	30
Tabla 5. Calidad fisicoquímica, inorgánica y microbiológica del río Cunas en época de avenida.	34
Tabla 6. Calidad fisicoquímica, inorgánica y microbiológica del río Cunas en época de estiaje.	41
Tabla 7. Índice de calidad ambiental del agua del río Cunas en época de avenida.	48
Tabla 8. Índice de calidad ambiental del agua del río Cunas en época de estiaje.	48
Tabla 9. Prueba de Kruskal – Wallis para la hipótesis específica A.	50
Tabla 10 Valor de significancia de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua del río Cunas por sector en época de avenida	50
Tabla 11. Prueba de Kruskal – Wallis para la hipótesis específica B.	51
Tabla 12. <i>Valor de significancia de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua del río Cunas por sector en época de estiaje</i>	52
Tabla 13. Prueba de Kruskal – Wallis para la hipótesis general.	53
Tabla 14. Comparación de ICA - PE del río Cunas por sector en época de avenida.	53
Tabla 15. Comparación de ICA - PE del río Cunas por sector en época de estiaje.	54
Tabla 16. Componentes de la propuesta de medidas de mitigación de impactos en el río Cunas.	66
Tabla 17. Test de normalidad para los datos en época de avenida.	76
Tabla 18. Test de normalidad para los datos en época de estiaje.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del diseño no experimental de tipo longitudinal de evolución de grupos.	29
Figura 2. Muestreo de agua del río Consac, tributario del río Cunas.	31
Figura 3. Muestreo en el sector de la parte baja del río Cunas.	31
Figura 4. Variación del pH por sector del río Cunas en época de avenida.	35
Figura 5. Variación de sólidos suspendidos totales por sector del río Cunas en época de avenida.	36
Figura 6. Variación del oxígeno disuelto por sector del río Cunas en época de avenida.	36
Figura 7. Variación del nitrógeno total por sector del río Cunas en época de avenida.	37
Figura 8. Variación del fósforo total por sector del río Cunas en época de avenida.	37
Figura 9. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno por sector del río Cunas en época de avenida.	38
Figura 10. Variación del cobre por sector del río Cunas en época de avenida.	39
Figura 11. Variación del hierro por sector del río Cunas en época de avenida.	39
Figura 12. Variación del zinc por sector del río Cunas en época de avenida.	40
Figura 13. Variación del contenido de <i>Escherichia coli</i> por sector del río Cunas en época de avenida.	40
Figura 14. Variación del pH por sector del río Cunas en época de estiaje.	42
Figura 15. Variación de sólidos suspendidos totales por sector del río Cunas en época de estiaje.	43
Figura 16. Variación del oxígeno disuelto por sector del río Cunas en época de estiaje.	43
Figura 17. Variación del nitrógeno total por sector del río Cunas en época de estiaje.	44
Figura 18. Variación del fósforo total por sector del río Cunas en época de estiaje.	44

Figura 19. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno por sector del río Cunas en época de estiaje.	45
Figura 20. Variación del cobre por sector del río Cunas en época de estiaje.	46
Figura 21. Variación del hierro por sector del río Cunas en época de estiaje.	46
Figura 22. Variación del zinc por sector del río Cunas en época de estiaje.	47
Figura 23. Variación del contenido de <i>Escherichia coli</i> por sector del río Cunas en época de estiaje.	47
Figura 24. Variación del índice de calidad ambiental del agua del río Cunas en época de avenida y estiaje.	49
Figura 25. Esquema del biodigestor prefabricado – Para zonas rurales.	62
Figura 26. Esquema de tanques Imhoff – Para zonas urbanas.	62
Figura 27. Planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Chupaca – Junín.	63
Figura 28. Planta de tratamiento de aguas residuales (Filtro percolador) de la localidad de Chupaca – Junín.	63

RESUMEN

La gestión de cuencas hidrográficas requiere de información que permita intervenir posibles fuentes que afectan los sistemas acuáticos. Se evaluó la calidad del agua superficial en la cuenca del río Cunas (Perú) mediante métodos estadísticos multivariado e índice de calidad de agua ICA-PE. Se establecieron 27 sitios de muestreo en el río Cunas y nueve sitios en el río tributario. Las muestras de agua se colectaron en dos épocas climáticas contrastantes y la determinación del ICA-PE se realizó en base a parámetros fisicoquímicos y bacteriológico. El PCA generó tres PC con una variación explicada acumulada de 78.28 %. El modelo lineal generalizado mostró fuertes relaciones positivas significativas ($p < 0.001$) de *Escherichia coli* con el Fe, los nitratos, el Cu y el TDS, y una fuerte relación negativa significativa ($p < 0.001$) con el pH. En general, el ICA – PE calificaron a las masas de agua en el sector de la parte alta del río Cunas como agua de calidad buena (87.07), en la parte media como agua de calidad favorable (67.65) y en la parte baja como agua de calidad mala (34.86). En el tributario el ICA-PE calificó a las masas de agua como agua de calidad buena (82.34).

Palabras clave: calidad del agua, gestión de cuenca, ICA-PE, río Cunas, agua superficial.

ABSTRACT

The management of hydrographic basins requires information that allows the intervention of possible sources that affect aquatic systems. The quality of surface water in the Cunas river basin (Peru) was evaluated using multivariate statistical methods and the ICA-PE water quality index. 27 sampling sites were established on the Cunas River and nine sites on the tributary river. The water samples were collected in two contrasting climatic seasons and the determination of the ICA-PE was made based on physicochemical and bacteriological parameters. The PCA generated three PCs with a cumulative explained variation of 78.28%. The generalized linear model showed strong significant positive relationships ($p < 0.001$) of *E. coli* with Fe, nitrates, Cu and TDS, and a strong significant negative relationship ($p < 0.001$) with pH. In general, the ICA - PE classified the water bodies in the upper part of the Cunas river as good quality water (87.07), in the middle part as favorable quality water (67.65) and in the lower part as poor quality water (34.86). In the tributary, the ICA-PE classified the water bodies as good quality water (82.34).

Keywords: water quality, watershed management, ICA-PE, Cunas river, surface water.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el 0.007 % del 2.5 % de agua dulce que existe en la Tierra es potable, valor que se va reduciendo por la contaminación. Además, en realidad unos 2200 millones de personas no cuentan con agua para consumo humano y de 4200 millones, el 55% de la población mundial, no tienen un sistema de saneamiento apropiado y el uso de agua se ha elevado considerablemente en el último siglo y se incrementa a un ritmo de un 1% anual.

En el Perú indudablemente hay una disparidad en el reparto del recurso hídrico, el 38 % de los usuarios dispone del 98 % del recurso hídrico de lo que se tiene y la diferencia que es el 62 % al 1.8 % de agua del país (Calla y Cabrera, 2010). Según Calvo-Brenes y Mora-Molina (2015), el uso del agua destaca como mejor indicador del nivel de desarrollo social y económico de un país, pues además de ser un factor de mucha importancia para la protección de la vida, además, conserva de la flora y fauna en una determinada ecosistema.

Las fuentes de agua superficial es la base del desarrollo de los habitantes que acceden para el abastecimiento en las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los núcleos poblacionales (Torres, Hernán y Patiño, 2009). No obstante, la calidad de estas fuentes de agua se ve agravada porque los ríos descienden por las zonas altoandinas llegando a la costa, trayendo consigo el arrastre de sedimentos característicos de la cuenca hidrográfica y lo procedente de efluentes de alcantarillado, industrias y disoluciones de agroquímicos derivados de actividades agrícolas (Calizaya-Anco, Avendaño-Cáceres, & Delgado-Vargas, 2013).

A pesar de ser los ríos corrientes naturales que actúan como sistemas dinámicos y multifuncionales son sometidos a cambios climáticos y a la particularidad de la cuenca que los alberga, la calidad de su agua se altera en el transcurso de la época y de su propia trayectoria por la mezcla de factores ambientales generando una gran heterogeneidad (Custodio y Chanamé, 2016; Guzmán-Colis et al., 2011). Pues la actividad productiva del hombre genera aguas residuales y producción de desechos, constituyendo contaminantes que modifican su naturaleza de calidad de las aguas superficiales (Chán y Peña, 2015).

Además, en el Perú la calidad del agua para consumo humano está vinculada a la calidad de las fuentes, y que en su gran parte están expuestas a metales de origen natural y antropogénica (Villena Chávez, 2018).

Ante ello, existen varios procedimientos para valorar la calidad del agua, entre los que destacan los índices de calidad del agua (ICA), que son metodologías que contribuye información sobre los características del agua (Pérez-Castillo & Rodríguez, 2008). Los ICA sintetizan en un único valor el resultado de análisis de los diferentes parámetros sobre la calidad del agua y permiten comunicar en forma simplificada la condición del agua para un determinado uso o efectuar comparaciones temporales y espaciales en fuentes de agua. La cual, resultan de gran utilidad para las entidades reguladores de los recursos hídricos (Pérez, 2008).

Conocer el comportamiento del recurso hídrico por medio de los ICA que agrupan información de varios parámetros, permite trabajar con enormes cantidades de data en una forma única de evaluación de calidad del agua; es así que, reducen el número de mediciones y facilitan la forma de comunicación de los resultados; esto hace que los ICA sea un instrumento fundamental de gestión.

Cabe señalar que, información de la calidad del agua evaluada mediante el ICA del río Cunas es escasa, a pesar de presentar similitud con la problemática señalada en los párrafos anteriores, lo cual limita la aplicación de un monitoreo de la calidad de los parámetros físicos, químicos y bacteriológico como indicadores. En ese contexto, la investigación plantea como objetivo general de evaluar la variabilidad espacio – temporal de la calidad del agua del río Cunas evaluada mediante indicadores ambientales, y como objetivos específicos determinar la variabilidad de la calidad del agua el río Cunas por sector en época de avenida y estiaje; además, de proponer estrategias de manejo de la calidad de agua del río Cunas.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes o marco referencial

1.1.1. En el contexto internacional

Calvo-Brenes y Mora-Molina (2015) evaluaron la calidad del agua de dos ríos importantes de la península de México: “el Tigre y el Rincón, en dos períodos de tiempo diferentes para verificar si la calidad del agua ha cambiado a lo largo del tiempo evaluado. Los niveles de contaminación se determinaron por medio del Índice Holandés y también por su contenido en coliformes fecales. En cada uno de los ríos se evaluó la parte alta y la baja ya que las condiciones socioambientales son diferentes. Los periodos evaluados fueron el 2008 - 2009 y el 2010 - 2011. Además, los datos recolectados se segregaron en dos épocas: la lluviosa y la seca, con el fin de facilitar el análisis estadístico empleando el programa de cómputo estadístico SPSS. Se encontró que el contenido de coliformes fecales durante la época seca es tal que permite el uso de esos ríos para actividades recreativas de contacto primario en ambos períodos de tiempo evaluados. En cambio, en la época de invierno, el contenido de coliformes fecales superó los niveles de permisibilidad para poder efectuar actividades recreativas en el año 2009. En el caso del invierno del 2011, los niveles de coliformes fecales estuvieron por debajo del nivel máximo de permisibilidad para tal uso, excepto para el río Tigre, en su zona alta en el mes de julio, y para el mismo río en su zona baja en el de Junio, que tuvieron valores no aptos para practicar la natación. El nivel de contaminación de los puntos muestreados, según el índice holandés, oscila entre niveles de no contaminación hasta contaminación leve. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre la época de invierno y la de verano, o entre los períodos de tiempo evaluados del 2008 - 2009 y el 2010 - 2011, dada la variabilidad de los datos entre épocas por punto de muestreo en un período dado. La única excepción es el punto del río Tigre en su zona baja (Ti-3) que sí presenta un incremento estadístico en los niveles de contaminación, entre un período y otro, durante la época de invierno”.

Chán y Peña (2015) en Guatemala, registraron que el 90 % del abastecimiento del agua urbana son de las cabeceras de cuenca (70 % superficiales). Eligieron tres ríos de la cuenca alta del Sislacán (Chitá, Ixconá-Sis y Sacobá), vertiente del Pacífico, para evaluar la calidad del agua para consumo humano. En las tres microcuencas hay actividades agropecuarias y poblaciones urbanas y rurales. Las muestras fueron recolectadas en dos puntos de cada río, cabecera y desembocadura, en 2012. Las variables medidas fueron: NO₃⁻, NO₂⁼, SO₄⁼, Fe, Cl, Mn, dureza, coliformes totales y coliformes fecales. Se usó como índice de contaminación el promedio de los cocientes entre el valor observado y su respectivo límite máximo permitido. En los tres ríos existen aportes estadísticamente significativos de contaminantes químicos y coliformes totales y fecales. Aunque los contaminantes químicos no comprometen la calidad del agua para su consumo; los microbiológicos son una amenaza.

Toledo et al. (2014) evaluaron la necesidad de instaurar un manejo global de los recursos naturales que se fomenta mediante las microcuencas como Unidades de Planeación y Gestión. En este sentido se realizó una evaluación del agua de las microcuencas del Área Natural Protegida Sierra de Quila, que es un bosque de pino- encino y que abastece de recurso hídrico a la población de Tecolotán en el estado de Jalisco. Se eligieron 10 puntos de monitoreo en las microcuencas del río Santa Rosa, se colectaron muestras de agua antes y después de la temporada de lluvias respectivamente; las cuales se realizaron ensayos fisicoquímicos y bacteriológicos. El resultado del análisis fisicoquímico de las 27 muestras, muestra que esta dentro de la Norma para Riego; mientras que, los parámetros que indican como límites la Norma para consumo humano, exceden en los nueve puntos. En el resultado del análisis bacteriológico se evidenció la presencia de mesófilos aerobios y coliformes totales en todas las muestras y los coliformes fecales en cuando menos una de las muestras de cada sitio. Considerando estos resultados se hicieron algunas recomendaciones a los actores que participan en el manejo y uso del Área Natural Protegida Sierra de Quila.

Silva et al. (2013) describieron la calidad química de las fuentes hídricas a nivel subterráneos como superficiales en la cuenca del río Duero (México). Las fuentes subterráneas se evaluó mediante un estudio hidrogeoquímico en 97 puntos (20 manantiales y 76 pozos) en tiempos de estiaje. Se aplicó el Índice de Calidad del Agua (ICA; NSFQI) en el agua superficial para 35 sitios, a partir de ocho parámetros, dividiéndolos en manantiales y el cauce. Se cotejaron los diferentes parámetros con información previa mediante un análisis de varianza. Los resultados de evaluación calidad del agua subterránea en términos generales resultó buena y está asociada con el tipo de rocas y geología de la cuenca. Predomina la clase de agua C1-S1, baja en salinidad y sodio, pudiéndose emplear gran parte en los cultivos y en suelos sin desarrollar algún peligro por salinidad y sodicidad. Según los resultados de los valores del ICA, uso en agua potable, resultan que la mayoría de los manantiales están contaminados, a diferencia del manantial de Carapan (condición excelente con 92 puntos). En el cauce, la utilización en la agricultura, el 75 % de los sitios resulta como contaminado y el 25 % levemente contaminado. Por último, el incremento del deterioro de la calidad del agua del río, a pesar de un balance hidrológico positivo, impulsa la extracción y uso del agua subterránea, llevando a un proceso de mal manejo del acuífero.

Guzmán-Colis et al. (2011) evaluaron la variación espacial y temporal de las concentraciones de materia orgánica, nutrientes, tóxicos orgánicos, organismos coliformes y metales pesados en el río San Pedro (México), principal corriente del estado de Aguascalientes. En su recorrido de aproximadamente 90 km por la entidad, recibe el aporte de 24 cursos de agua y cerca del 96 % de las aguas residuales tratadas y crudas generadas por los diversos sectores (aproximadamente 120 Mm/año). Se tomaron muestras de agua en 43 estaciones de colecta en las épocas de sequía y de lluvias, y se analizaron 23 parámetros. En ninguno de los parámetros evaluados se observó una tendencia espacial definida. A excepción de los metales pesados, los contaminantes estudiados presentaron concentraciones elevadas en el 95% de las estaciones de colecta en ambas campañas de muestreo (sin mostrar variación temporal significativa).

Destacan especialmente los altos niveles de contaminación por materia orgánica, nitrógeno total, detergentes y coliformes fecales. Para evaluar de forma integral la calidad del agua se utilizó un Índice Global de la Calidad del Agua (IGCA), basado en la metodología desarrollada por el Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) para el río Alberta. De acuerdo con las categorías del índice propuesto, la calidad global del agua del río San Pedro es en general pobre, apartándose usualmente de su condición natural o conveniente para uso agrícola. El IGCA mostró un ligero incremento en los sitios de muestreo cercanos a las descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales, situándose en la categoría de marginal.

Álvarez et al. (2008) realizaron una evaluación integral sobre la calidad del agua superficial en los diferentes almacenamientos y corrientes de la cuenca hidrológica del río Amajac (México). Se definieron los problemas relacionados con los contaminantes específicos y se establecen alternativas de solución como base para los programas y políticas de ordenamiento de los recursos hídricos. Se escogieron cuatro presas, una laguna y cinco ríos, donde se midió el caudal, la velocidad del agua y el tirante máximo. Además, se evaluaron los siguientes parámetros como: oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitrógeno, fósforo, sulfatos, carbonatos bicarbonatos, cloro y manganeso. Según los resultados, el agua del río en Tulancingo se encuentra altamente contaminada.

Torres et al. (2009) plantearon que el daño de las fuentes hídricas de abastecimiento incurre directamente en el nivel de riesgo sanitario existente y en el modelo de tratamiento requerido para su reducción; con la evaluación de la calidad del agua se permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando la continuidad de agua segura. Una herramienta, es el índice de calidad de agua (ICA); los de tipo multiplicativo son más sensibles a las variaciones en la calidad del agua que los de tipo aditivo. Las que consideran las variaciones en el tiempo y en el espacio y además permiten una comparación con la normativa vigente en la zona de estudio, como en CCME – WQI y DWQI, son aplicables en fuentes como el río Cauca (Colombia) que está sujeto a constantes alteraciones de calidad. Para la

utilización de estas fuentes para el consumo humano, valores entre 90 y 100 de la generalidad de los ICA significan desarrollar tratamientos menores como sólo desinfección, mientras que entre 50 y 90 requieren tratamiento más que una desinfección y en algunos casos tratamientos especiales que están asociados a mayores costos y complejidad.

1.1.2. En el contexto nacional

Calizaya-Anco et al. (2013) determinaron el estado de la calidad del agua de la cuenca del río Locumba, Tacna (Perú), se recolectaron muestras de agua en diez estaciones de monitoreo existentes a lo largo de la cuenca en seis periodos anualmente. También, se estimó la diversidad y número de diatomeas y once parámetros fisicoquímicos para determinar el nivel de afectación del agua. Resulta, que conforme se desciende por el recorrido del río, la diversidad de diatomeas disminuyó de 2.37 bits cel-1 a 0,71 bits cel-1 y se incrementa los contaminantes. Además, con este crecimiento, observaron un aumento en el número de especies que perturban el medio ambiente al igual que se incrementa el grado de contaminación por los parámetros fisicoquímicos evaluados.

Custodio y Chanamé (2016) analizaron la situación de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales. Se definieron tres zonas de muestreo y en dos épocas del año. La determinación de las presiones antrópicas se hizo mediante la determinación de la carga de DBO₅ aportada por los efluentes al río. Se muestrearon agua para la determinación de nitratos, fosfatos y coliformes termotolerantes. Los parámetros medidos en campo fueron: oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, conductividad, temperatura, pH y turbidez. Las muestras de macroinvertebrados bentónicos se colectaron utilizando una red Surber con malla de 250 µm de abertura. Los resultados de la presión antrópica sobre los macroinvertebrados bentónicos fueron: media de DBO₅ de aguas residuales de la actividad piscícola 7.70 mg/L, de la actividad pecuaria 869 mg/L y de la actividad urbana 428.3 mg/L. Los resultados de los indicadores físicos químicos y bacteriológicos mostraron diferencias significativas para la conductividad, temperatura y sólidos totales disueltos.

Se identificaron cuatro phyla, siete clases, 12 órdenes y 26 familias de macroinvertebrados bentónicos. Se concluye que las descargas de aguas residuales de las actividades pecuaria y urbana son presiones antrópicas significativas sobre la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos. Los indicadores fisicoquímicos y bacteriológicos de la calidad del agua determinados, según zonas y época de muestreo, están en el rango de los ECA para agua de ríos de la sierra.

Calla y Cabrera (2010) abordaron los efectos que ha tenido la calidad del agua del río Rímac en el desarrollo de la actividad minera en el distrito de San Mateo de Huanchar, Huarochirí, Lima. El área de estudio es de actividad minera polimetálica, se ha desarrollado desde hace unos 30 años, tiempo en la cual no se tenían las actuales exigencias legales ambientales y como consecuencia de ello existen en la zona 21 pasivos ambientales mineros entre bocaminas, relaveras e infraestructuras asentados a orillas de del río Rímac y de sus tributarios principales como el río Blanco y el río Aruri, los cuales son aportantes de lixiviados a las aguas del río Rímac. La investigación se ha desarrollado en una serie de tiempo de diez años tomando como referencia de análisis de los parámetros inorgánicos (metales); los cuales han tenido un análisis comparativo con las normativas legales ambientales tanto nacionales como internacionales priorizando en los Estándares Nacionales de Calidad del Agua (ECAs) Categoría III, siendo el referente legal ambiental decisivo para el análisis de la calidad del agua del año 2008, ya que constituyen los valores óptimos que aseguran la calidad de los recursos hídricos superficiales del país.

1.2. Bases teóricas y conceptuales

1.2.1. Estándares de calidad ambiental (ECA)

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es un instrumento de gestión ambiental que mide el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional, establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no significan riesgos para la salud y el ambiente.

En el año 2017, el Ministerio del Ambiente (MINAM) a través del D.S. N° 004-2017-MINAM, aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, esta normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA-Agua y mantiene a otros.

El presente ECA-Agua, cuenta con 4 categorías y 17 subcategorías:

Categoría 1: Poblacional y recreacional

- a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
 - A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.
 - A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
 - A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.
- b) Subcategorías B: Agua superficiales destinadas para recreación.
 - B1: Contacto primario
 - B2: Contacto secundario

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.

- a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicadas en aguas marinos costeras.
- b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino-costeras.
- c) Subcategoría C3: Actividades marino-portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino-costeras.
- d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas.

Categoría 3: Riego de Vegetales y bebidas de animales.

- a) Subcategoría D1: Riego de vegetales

- Agua para riego no restringido
- Agua para riego restringido

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

b) Subcategoría E2: Ríos

- Ríos de la costa y sierra
- Ríos de la selva

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeras y marinas

- Estuarios
- Marinos

Los ECA- Agua son de cumplimiento obligatorio considerando los usos de las fuentes. Es un instrumento útil para evaluar el estado de la calidad de los cuerpos naturales de agua en las cuencas hidrográficas de alcance nacional.

1.2.2. Índice de calidad de agua (ICA-PE)

En Perú, la valoración de la calidad del agua se realiza mediante la comparación de los resultados de análisis de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA-Agua según la categoría correspondiente; lo que define su cumplimiento o incumplimiento, precisando únicamente los parámetros críticos según su concentración del contaminante. Sin embargo, esta evaluación es ambigua al no establecer el nivel de calidad de agua, es decir si esta tiene una calidad excelente, buena, regular, mala o muy mala.

Los Índices de Calidad de Agua (ICA), son herramientas matemáticas que integran información de múltiples parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua.

Según la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OECD), los indicadores de calidad ambientales tienen dos funciones principales:

- Minimizan el número de evaluaciones y los parámetros que normalmente se requieran para hacer una representación exacta de una situación.
- Facilitar la forma de comunicación de los resultados obtenidos.

En consecuencia, los ICA's es un instrumento fundamental en la gestión de la calidad de los recursos hídricos ya que permite transmitir información de manera simplificada sobre la calidad a los responsables y al público en general, compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo siendo la valoración en una escala de 0 a 100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente. Por lo expuesto, este índice ha tenido uso generalizado desde su creación y es empleado por varios países (ANA, 2018).

1.2.3. Parámetros a evaluar en el ECA-PE

Según la evaluación del análisis procedente de los monitoreos de la calidad en las aguas superficial desarrollado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se determinaron los parámetros más recurrentes de evaluación en relación con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, así como la posible modificación al recurso hídrico y eventual riesgo a la salud y al ambiente (MINAM, 2017).

Se han establecido los parámetros de evaluación, según la Categoría 4 –E2 para su evaluación y la aplicación de la metodología ICA-PE y es como sigue, según los métodos normalizados (APHA, 1992).

Tabla 1
Parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológico para la categoría 4 –E2.

Nº	Parámetro	Unidades	ECA
1	Potencial de hidrógeno (pH)	Unid. pH	6,5 - 9,0
2	Sólidos suspendidos totales	mg/L	≤ 100
3	Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5
4	Nitrógeno Total	mg/L	///

5	Fósforo total	mg/L	0,05
6	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	10
7	Cobre	mg/L	0,1
8	Hierro	mg/L	///
9	Zinc	mg/L	0,12
10	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	///

Fuente: MINAM (2017).

///: No contempla para la categoría evaluada.

1.2.4. Determinación del índice de calidad de agua (ICA-PE)

Para ello se aplica la fórmula canadiense, que está en función de tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo un valor único entre 0 y 100, que va a describir la calidad del agua de un punto de control (ANA, 2018).

F1- Alcance: indica la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa vigente, respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA de agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

F2- Frecuencia: indica la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA- Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos).

$$F_2 = \frac{\text{Número de los parámetros que NO cumplen el ECA Agua de los datos evaluados}}{\text{Numero total de datos evaluados}}$$

F3- Amplitud: Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) \times 100$$

Donde, la Suma Normalizada de Excedentes (NSE):

$$NSE = \text{Suma Normalizada de Excedente} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}}$$

Excedente, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA-Agua.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA-Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$Excedente_i = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parametro en el ECA Agua}} \right) - 1$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA- Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (> 4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$Excednte_i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} \right) - 1$$

Cuando se obtiene los valores de los factores (F_1 , F_2 , y F_3) se procede a realizar el cálculo del Índice de Calidad de Agua: que varía en un rango de 0 a 100, siendo 100 el valor que representa excelente calidad y 0 el valor de mala calidad, la diferencia se realiza con el valor que viene dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres (03) factores, F_1 , F_2 y F_3 , que se representa con la siguiente ecuación:

$$CCME_{WQI} = 100 - \left(\sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \right)$$

En el cálculo del índice de calidad del agua, se emplea hojas de cálculo de Microsoft Excel, un macro donde se alimenta los datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los factores (F_1 , F_2 y F_3) y asimismo el valor del índice de calidad de agua, $CCME_{WQI}$ es calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional que comprende de 1 a 100, con lo que se establece escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad

del agua, como Mala, Regular, Favorable, Buena y Excelente que se muestra en el siguiente tabla:

Tabla 2
Interpretación de la calificación del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE).

CCME _{WQI}	Calificación	Interpretación
95 - 100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80 – 94	Buena	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65 – 79	Favorable	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
45 – 64	Regular	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento.
0 - 44	Mala	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA (ANA, 2018).

La calificación cualitativa viene asociada a una escala cromática (color), la finalidad es facilitar la comunicación la situación de calidad del agua.

Este indicador evalúa la incidencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que son considerados, y que mediante modelos matemáticos permite transformar grandes cantidades de resultados de concentraciones de los parámetros evaluados a una escala de medición única.

1.3. Definición de términos básicos

Calidad del agua. Define la calidad de agua como término que se usa para describir la condición del agua, incluyendo las características físicas, químicas y biológicas, normalmente con respecto a su conveniencia, para un propósito particular (es decir, para consumo, nadar o pescar). La calidad de agua también es afectada por las sustancias como pesticidas o fertilizantes

que pueden afectar negativamente la vida cuando presenta en ciertas concentraciones (MINAM, 2017).

Cuenca hidrográfica. Área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema interconectado de cursos de agua, en la que el caudal del agua es descargado a través de una salida simple (Monsalve, 1995). También es la unidad territorial formada por un río, lago o laguna con sus efluentes y por un área de drenaje en la que se encuentran los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como el agua, el suelo, la vegetación, la fauna y que mantienen una continua y particular interacción con los usos y desarrollo productivo (Parra, 2009).

Descripción de los parámetros de calidad de agua. La calidad del agua puede verse afectada por sustancias que a ciertos niveles de concentraciones podrían ser dañinos a los organismos (humanos, plantas y animales) o exceder un estándar de calidad ambiental (MINAM, 2017).

Se ha considerado los siguientes parámetros para evaluación de la calidad de agua y con ello determinar el índice de calidad del agua.

Oxígeno disuelto. Es un parámetro de mucha importancia, ya que su evaluación permite informar la capacidad recuperadora de una fuente de agua y la subsistencia de la vida acuática orgánicos (OMS, 2011).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Es un parámetro asociado al aporte de materia orgánica, mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, (OMS, 2011).

Escherichia coli. El género predominante de los coliformes en el agua es la *Escherichia*. Se encuentran presente en concentraciones muy grandes en las heces humanas y animales, y escasamente en ausencia de contaminación fecal, (OMS, 2011).

Cobre. Al estar en contacto el agua con la corteza terrestre podemos encontrar sales de cobre disueltas en aguas superficiales, este no se

considera una amenaza acumulativo sistémico. Dosis orales de hasta 100 mg causan síntomas de gastroenteritis y náuseas. (OMS, 2011).

Hierro. Los metales pesados en su gran mayoría se hallan unidos a óxidos e hidróxido de manganeso y hierro y a sustancias orgánicas, que de forma muy acusada dañan los procesos de interacción entre los sólidos y los metales disueltos (Brocekaert et al., 1990).

Zinc. Es un oligoelemento con mucha importancia que se encuentra prácticamente en todos los alimentos y en el agua potable en forma de sales o complejos orgánicos (OMS, 2011).

Potencial hidrógeno (pH). Es el logaritmo en base 10, de la actividad molar de los iones hidrógeno de una solución. Muestra la relación entre la acidez o alcalinidad del agua (OMS, 2011).

Sólidos suspendidos totales. Es el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica. Es la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de su asentamiento (OMS, 2011).

Fósforo total. Forma la base de un gran número de compuestos, como los fosfatos, estos tienen una importancia en los procesos como en la transferencia de energía, el metabolismo, la fotosíntesis, la función nerviosa y la acción muscular (OMS, 2011).

Nitrógeno total. Es la relación que tiene entre la suma de los valores de nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal muestreados en una estación. (OMS, 2011).

1.4. Hipótesis de investigación

1.4.1. Hipótesis general

La variabilidad espacio temporal de la calidad del agua del río Cunas evaluada mediante indicadores ambientales es significativa.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) La variabilidad de la calidad del agua del río Cunas por sector en época de avenida es significativa.
- b) La variabilidad de la calidad del agua del río Cunas por sector en época de estiaje es significativa.

1.5. Operacionalización de las variables

Tabla 3

Operacionalización de la variable.

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida
Calidad de agua	Calidad fisicoquímica	Potencial de hidrógeno (pH)	unidades
		Sólidos suspendidos totales	mg/L
		Oxígeno disuelto	mg/L
		Nitrógeno Total	mg/L
		Fósforo total	mg/L
		Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L
	Calidad inorgánica	Cobre	mg/L
		Hierro	mg/L
		Zinc	mg/L
	Calidad microbiológica	<i>Escherichia coli</i>	mg/L

CAPÍTULO II DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, ya que se refiere al estudio y la investigación científica que busca solucionar problemas reales. Está dirigida a la obtención del conocimiento de la calidad del agua en el río Cunas a través de la caracterización de los parámetros seleccionados evaluados (estado actual) y el entendimiento de los fenómenos actuales que repercuten en el estado actual de la calidad del agua y por ende el índice de calidad del agua.

El nivel de investigación considerado fue el descriptivo ya que busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Asimismo, con la investigación se identificó las presiones que ejercen las actividades humanas la calidad del agua y por consiguiente el Índice de Calidad de Agua (ICA-PE).

2.2. Métodos de investigación

Los métodos básicos que se han utilizado han sido los métodos empíricos (observación indirecta, observación directa y medición), teóricos (descripción y explicación) y evaluación en laboratorio (ensayos).

2.3. Diseño de investigación

Es el no experimental, ya que no existió manipulación intencionadamente de la variable de estudio; además se consideró el tipo longitudinal de evolución de grupos, de acuerdo al siguiente esquema:

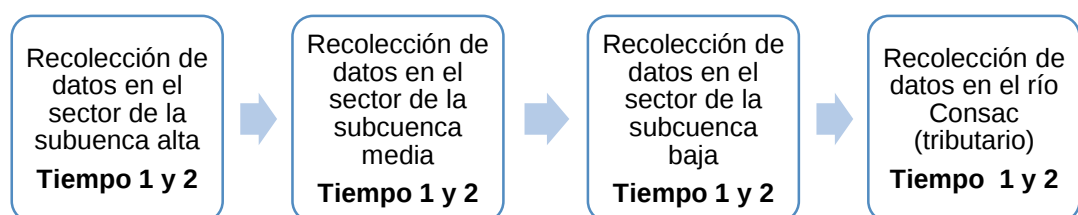


Figura 1. Esquema del diseño no experimental de tipo longitudinal de evolución de grupos.

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

La población correspondió al río Cunas, ubicado en las provincias de Chupaca y Concepción, del departamento de Junín.

2.4.2. Muestra

Se determinó 4 sectores de muestreo en el río Cunas, considerando la representatividad del área en términos de influencia de la actividad económica, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4
Puntos de muestreo de agua del río Cunas.

Sector	Coordenadas UTM (WGS84 zona 18L)		Altura (msnm)
	Este (m)	Norte (m)	
Parte alta (localidad de Yanacancha)	459051.15	8653974.93	3759
Parte media (altura del C.P. Copca)	457419.72	8668966.93	3424
Parte baja (inmediaciones del puente La Eternidad)	470632.08	8666832.25	3226
Río Consac (tributario)	448367.67	8673752.6	3476

Es dable mencionar que, las cuatro zonas de muestreo descritos en el río Cunas mostraron las siguientes características: en la parte alta no se encuentra asentamientos humanos, en la parte media se presenta poblaciones no nucleados en las márgenes ribereñas del río, en la parte baja se presenta asentamientos humanos nucleados y de alta densidad; por último, en la zona del tributario se encuentra asentamientos humanos dispersos con actividad agrícola y ganadera.

Las recolecciones de muestras fueron simultáneas para la determinación de los indicadores fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológico del agua del río Cunas por sector, en tiempos de avenida y estiaje, consideradas en la investigación.

2.4.3. Técnicas de muestreo

Se consideró el tipo de muestreo no probabilístico o intencional, definiéndose así cuatro sectores para la determinación de la calidad del agua del río Cunas.

2.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

2.5.1. Técnicas de recopilación de datos

La observación directa. Se utilizó mediante un procedimiento sistematizado y controlado, durante la visita de los cuatro puntos de muestreo en el río Cunas, tanto para el análisis de calidad del agua y la evaluación de las actividades antropológicas en la zona de estudio.

Obtención y análisis de muestras. Las muestras fueron recolectadas en dos etapas, la primera en estiaje y correspondió a julio (23/07/19), agosto (22/09/19) y setiembre (25/10/19), la segunda en avenida y correspondió a diciembre (23/12/19), enero (24/01/20) y febrero (18/02/20). Para tal acción, se realizó en concordancia a los protocolos de monitoreo según la R.J. N° 010-2016-ANA (ANA, 2016).



Figura 2. Muestreo de agua del río Consac, tributario del río Cunas.



Figura 3. Muestreo en el sector de la parte baja del río Cunas.

Análisis físico-químico de las muestras de agua. - Las muestras de agua fueron colectadas en dirección opuesta al flujo de la corriente, desde la superficie del río, en botellas de vidrio de 500 ml, previamente rotulados, tratadas con una solución de ácido clorhídrico en proporción 1:1 y enjuagadas con agua destilada. Seguidamente, las muestras se pusieron en cooler con sus ice pack para conservar una temperatura de 4 °C y trasladados al laboratorio para la determinación de demanda biológica de oxígeno (DBO₅), nitratos y fosfatos.

Los parámetros de campo fueron: oxígeno disuelto (mg/L), sólidos totales disueltos (mg/L) y pH que se determinaron directamente en las aguas del río Cunas y el tributario, río Consac en cada sector de muestreo, con los equipos portátiles Hanna Instruments (HI 991301 Microprocessor pH/ temperatura, HI 9835 Microprocessor Conductivity/ TDS y HI 9146 Microprocessor oxígeno disuelto). Previamente, los equipos fueron calibrados.

La DBO₅ se obtuvo empleando el método Respirométrico con el equipo OxiDirect Lovibond. Los nitratos (mg/L) y fosfatos (mg/L), se determinaron con el fotómetro PC-MultiDirect, de acuerdo al procedimiento aceptado por la Agencia para la protección del ambiente de EE. UU. [USEPA], Hach company (2000).



Figura 4. Equipo OxiDirect Lovibond para determinar DBO₅.

Análisis bacteriológico de las muestras del agua. - Las muestras fueron colectadas en recipientes de vidrio previamente esterilizados de 250 ml y conservadas a una temperatura de 4 °C hasta el momento de su análisis. La obtención de la cantidad de *Escherichia coli* se realizó en el Laboratorio de Investigación de Aguas de la Universidad Nacional del Centro del Perú, según el método del número más probable.

Para la comparación de los resultados del ensayo físico-químicas y bacteriológicas obtenidos se utilizó los Estándares de Calidad del Agua (ECA) aprobados por el Decreto Supremo N° 007-2017-MINAM (MINAM, 2017).

2.6. Técnicas de procesamiento de datos

Las concentraciones determinadas fueron procesadas en el programa Microsoft Excel 2013 para la síntesis del mismo, su representación gráfica y para la obtención del Índice de Calidad del Agua (ICA-PE); además se utilizó el programa de ArcGIS para la elaboración de planos, tal como la ubicación de los puntos de muestreo en su trayectoria del río Cunas, la georreferenciación de las presiones antrópicas, entre otros.

Para contrastar las hipótesis, previamente se determinó la normalidad de los datos referentes a los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en época de avenida y estiaje, utilizando el programa SPSS con el test de Shapiro – Wilk por ser el tamaño de la muestra menor a 50, resultando una distribución no normal. Por ello, se consideró el estadístico de prueba de hipótesis Kruskal – Wallis, además del ANOVA en una vía de Kruskal – Wallis para la comparación de cuatro sectores en base a diferencias significativas ($p < 0.05$) en las dos épocas.

CAPÍTULO III ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de resultados

3.1.1. Calidad del agua del río Cunas según sector en época de avenida

La Tabla 5 muestra los resultados estadísticos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológico evaluados por sector del río Cunas en época de avenida (diciembre, enero y febrero). En el sector de la parte alta media, el promedio de los valores obtenidos está en el rango de los ECA para agua categoría 4 y subcategoría E2 establecido por el MINAM (2017). En la parte baja el promedio de SST, oxígeno disuelto, fósforo total, DBO₅, *Escherichia coli*; no cumplen lo establecido por el ECA para agua.

Tabla 5
Calidad fisicoquímica, inorgánica y microbiológica del río Cunas en época de avenida.

Sector	Estadístico	pH (unidad)	SST (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
Parte alta	Media	8.51	39.44	5.51	0.01	0.003	1.56
	Desviación estándar	0.79	5.56	1.06	0.00	0.001	1.01
	Mínimo	6.23	33.70	3.25	0.00	0.000	0.00
	Máximo	9.23	49.00	6.77	0.01	0.01	3.00
Parte media	Media	8.47	13.22	8.12	0.27	0.02	5.81
	Desviación estándar	0.76	1.65	0.84	0.08	0.01	4.01
	Mínimo	6.33	10.00	6.34	0.16	0.01	0.00
	Máximo	9.23	16.00	8.78	0.40	0.04	15.00
Parte baja	Media	7.96	103.33	4.58	1.47	0.09	15.74
	Desviación estándar	1.07	9.22	0.96	0.29	0.07	5.10
	Mínimo	6.12	87.00	0.00	1.00	0.02	8.00
	Máximo	8.85	120.00	5.20	2.00	0.18	25.00
Tributario	Media	8.56	13.37	7.20	0.22	0.02	1.30
	Desviación estándar	0.85	2.29	0.86	0.05	0.01	0.78
	Mínimo	6.12	9.00	5.69	0.14	0.01	0.00
	Máximo	9.43	18.00	8.26	0.31	0.04	2.00

Continuación de la Tabla 5.

Sector	Estadístico	Cobre (mg/L)	Hierro (mg/L)	Zinc (mg/L)	<i>Escherichia coli</i> (mg/L)
Parte alta	Media	0.000	0.02	0.01	42.17

	Desviación estándar	0.000	0.00	0.00	26.19
	Mínimo	0.000	0.02	0.01	17.30
	Máximo	0.000	0.02	0.01	115.00
Parte media	Media	0.000	0.04	0.02	435.59
	Desviación estándar	0.000	0.02	0.01	379.36
	Mínimo	0.000	0.02	0.01	108.00
	Máximo	0.000	0.07	0.03	1300.00
Parte baja	Media	0.001	0.03	0.09	4893.70
	Desviación estándar	0.000	0.01	0.12	4083.50
	Mínimo	0.001	0.03	0.01	1000.00
	Máximo	0.001	0.04	0.33	13700.00
Tributario	Media	0.000	0.07	0.03	787.78
	Desviación estándar	0.000	0.07	0.01	342.30
	Mínimo	0.000	0.02	0.02	200.00
	Máximo	0.000	0.42	0.05	1500.00

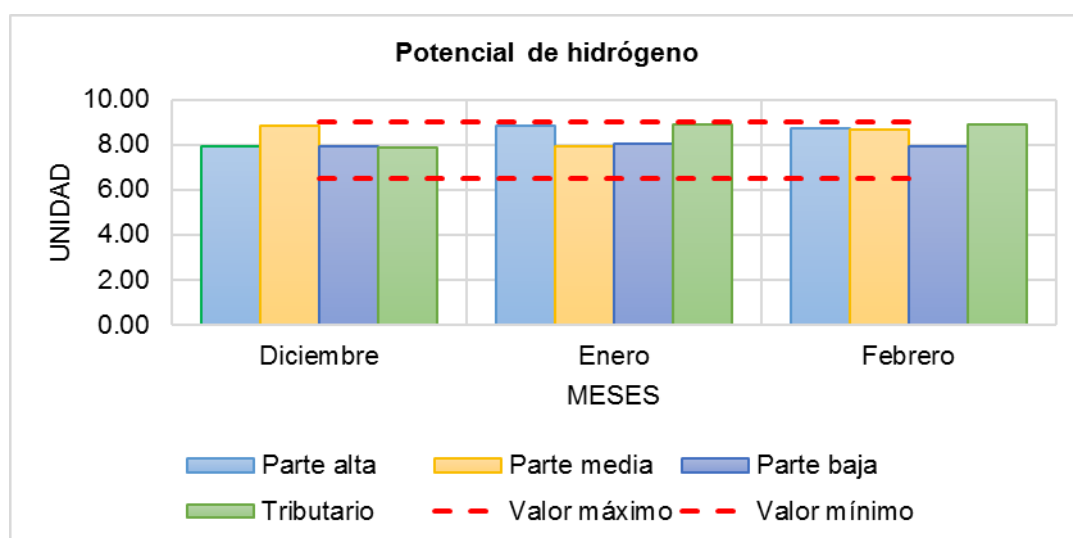


Figura 4. Variación del pH por sector del río Cunas en época de avenida.

Del mismo modo, en la Figura 4 se representa la variación del pH del río Cunas por sector y en los meses de avenida, que varía entre 6.23 y 9.23 en la parte alta, 6.33 y 9.23 en la parte media, 6.12 y 8.85 en la parte baja y 6.12 y 9.43 en el tributario; adicional a ello, se especifica el rango del pH establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para la categoría 4 – E2 y los resultados de estos se encuentran dentro de los rangos de la ECA (Estándar de Calidad Ambiental) evaluado (6.5 a 9.5).

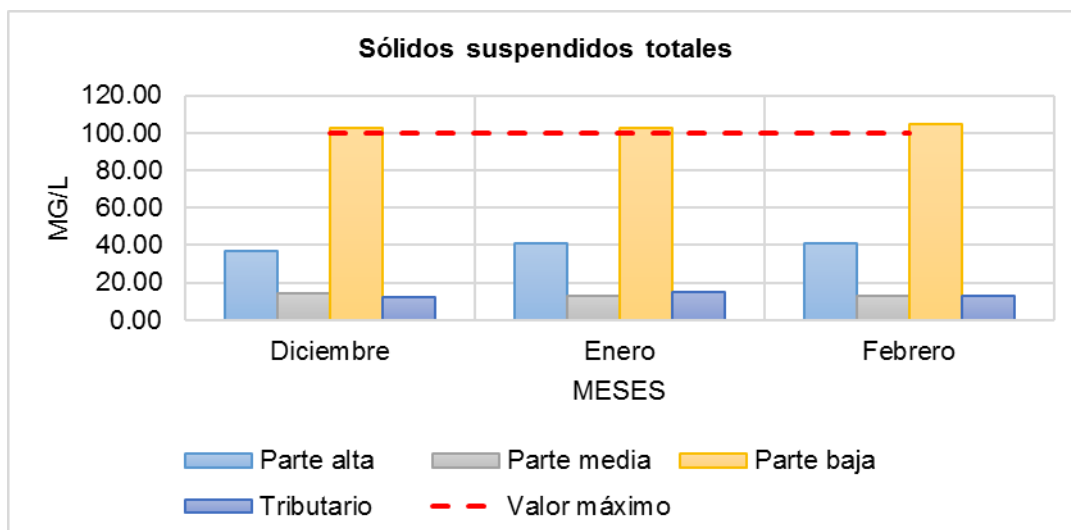


Figura 5. Variación de sólidos suspendidos totales por sector del río Cunas en época de avenida.

La Figura 5 muestra la variación de sólidos suspendidos totales del río Cunas por sector y en los meses de avenida, adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para la categoría 4 – E2 y que los resultados se encuentran en el límite o sobrepasa los ECA (<100 mg/l) en todo la etapa de evaluación, además, este parámetro esta vinculado al material en suspensión en las corrientes de agua superficial, estos pueden afectar sensiblemente su calidad y limitar su uso.

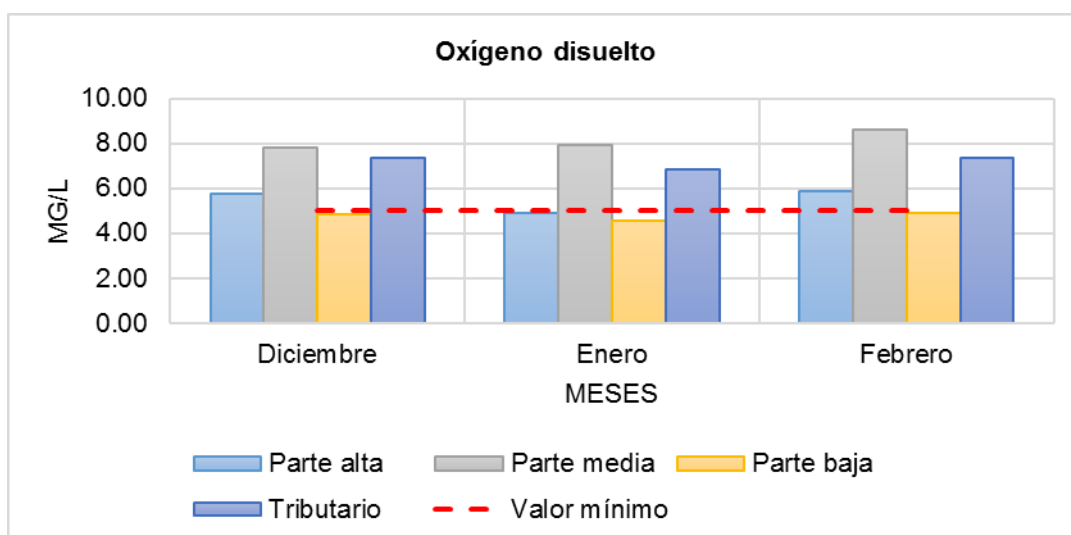


Figura 6. Variación del oxígeno disuelto por sector del río Cunas en época de avenida.

Continuando se tiene la Figura 6 donde se especifica la variación de sólidos suspendidos totales del río Cunas por sector y en los meses de avenida; adicional a ello, se especifica el valor mínimo de este parámetro

establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, en la que se muestra que en la parte baja existe una deficiencia de oxígeno disuelto (4.58 mg/l) y esto hace que no cumple con el ECA (≥ 5 mg/l) en todo los meses de evaluación. Concentraciones bajas de oxígeno en el agua puede ser indicios de una contaminación elevada.

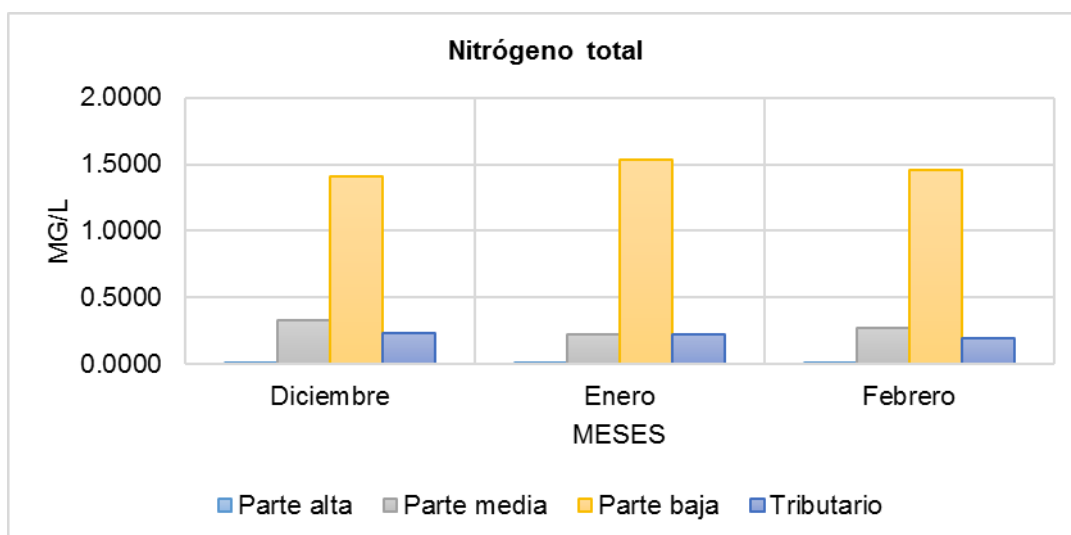


Figura 7. Variación del nitrógeno total por sector del río Cunas en época de avenida.

La Figura 7 muestra la variación del nitrógeno total del río Cunas por sector y en los meses de avenida. Se evidencia que en la parte baja existe una mayor presencia de nitrógeno total con una media de 1.47 mg/l en comparación de otros sectores. No aplica un ECA para esta subcategoría de evaluación. El nitrógeno total lo representa el nitrato y en menor proporción para el amonio y el nitrito.

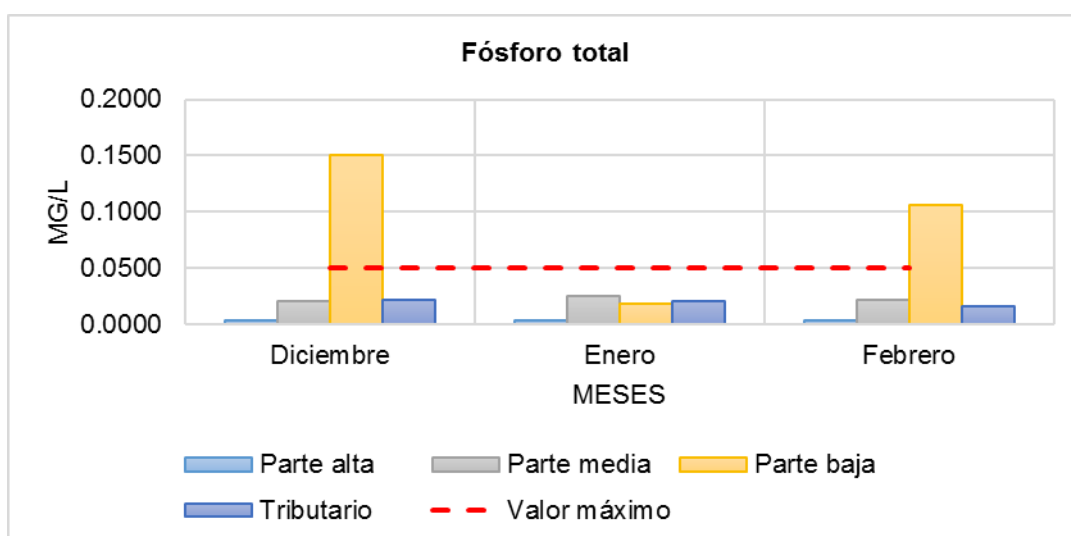


Figura 8. Variación del fósforo total por sector del río Cunas en época de avenida.

Asimismo, en la Figura 8 se presenta la variación de fósforo total del río Cunas por sector y en los meses de avenida; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para la categoría 4 – E2, se resalta que en los meses de diciembre y febrero de evaluación, los resultados tienen una media de 0.2 mg/l que superan los ECA (0.05 mg/l).

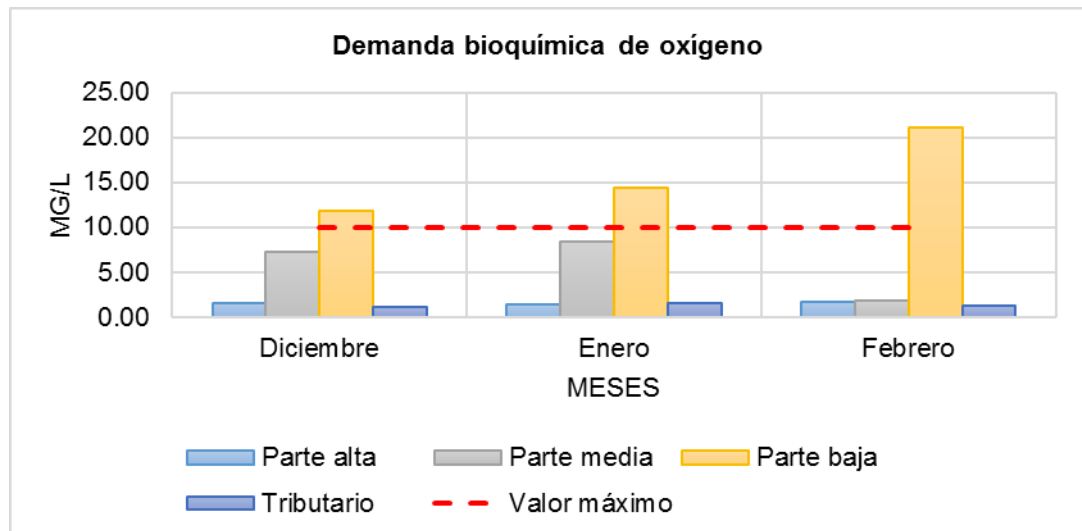


Figura 9. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno por sector del río Cunas en época de avenida.

Del mismo modo, en la Figura 8 se representa la variación de la demanda bioquímica de oxígeno del río Cunas por sector y en los meses de avenida; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para la categoría 4 – E2, además, se observa que en la parte baja, el valor medio es de 15.74 mg/l, el cual sobrepasa el ECA (10 mg/l) de evaluación, considerando que este parámetro determina la cantidad de oxígeno disuelto consumido.

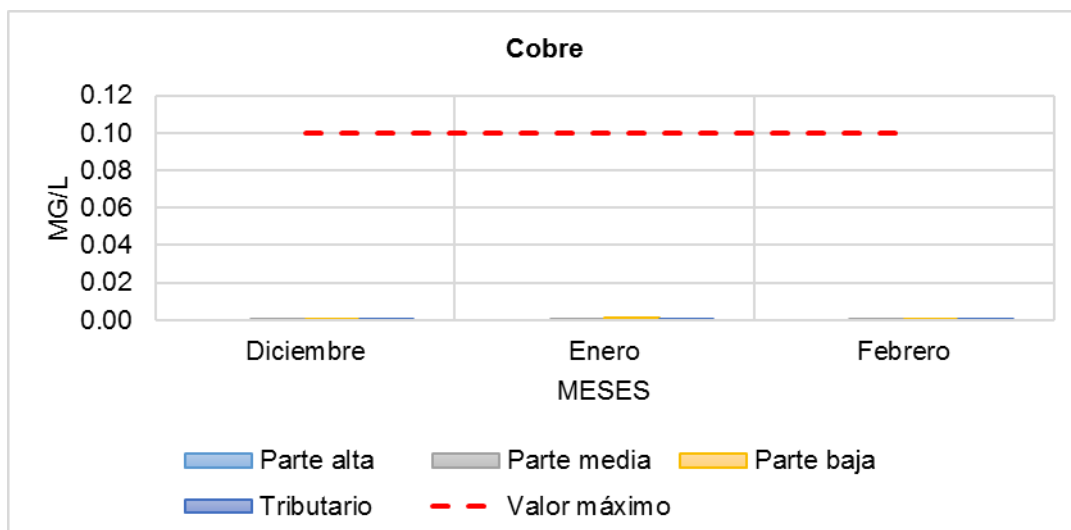


Figura 10. Variación del cobre por sector del río Cunas en época de avenida.

Asimismo, la Figura 10 muestra la variación de cobre del río Cunas por sector y en los meses de avenida; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, donde se muestra que la media de cobre en la parte baja es de 0.001 mg/l y que en ninguno de los sectores supera los ECA (0.1 mg/l) de evaluación.

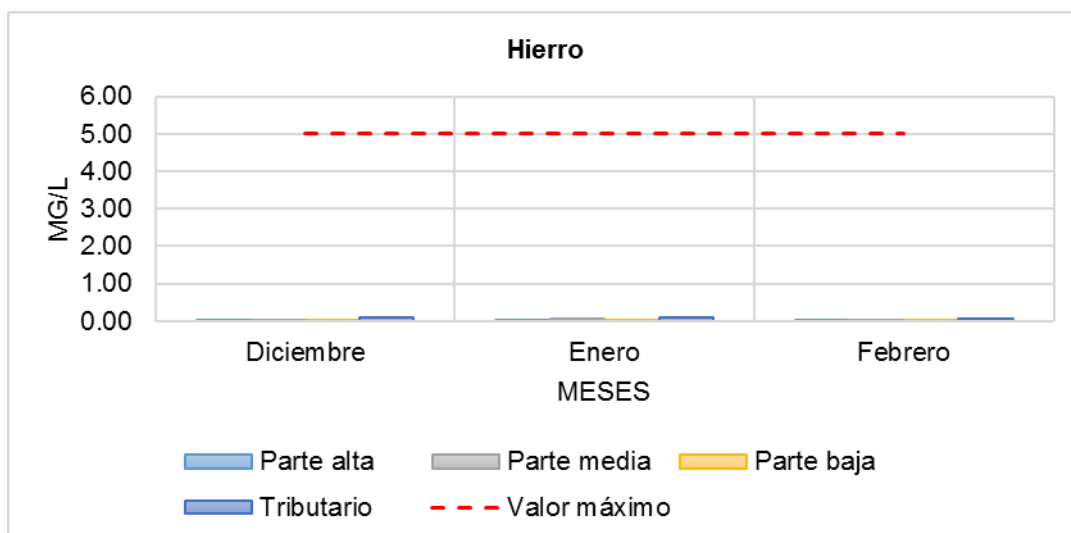


Figura 11. Variación del hierro por sector del río Cunas en época de avenida.

Respecto a la variación del hierro del río Cunas por sector y en los meses de avenida, esto se muestra en la Figura 11; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 3 – D1 (riego para vegetales), donde se muestra que en ninguno de los sectores supera los ECA (5.0 mg/l) de evaluación.

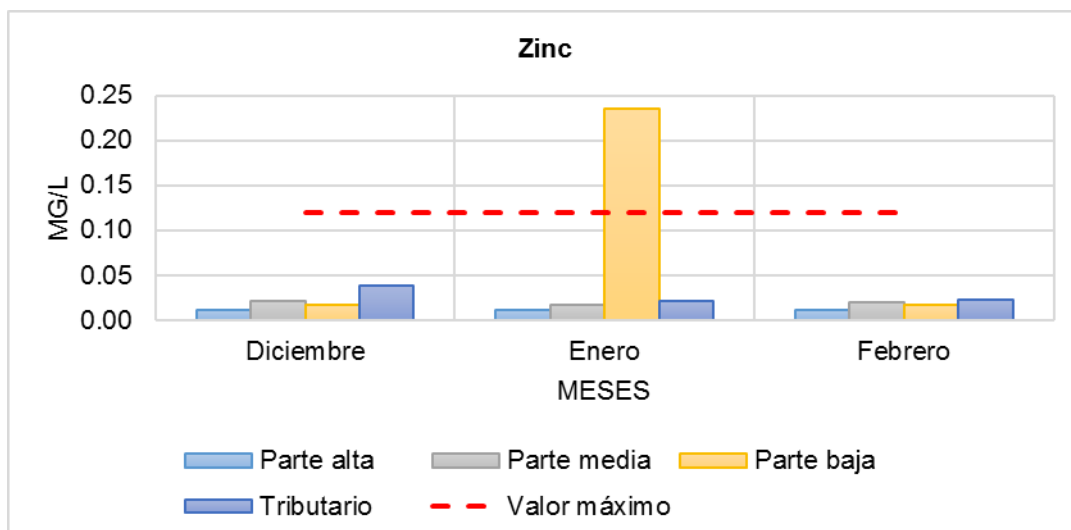


Figura 12. Variación del zinc por sector del río Cunas en época de avenida.

Del mismo modo, en la Figura 12 se representa la variación del zinc del río Cunas por sector y en los meses de avenida; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, donde se muestra que el resultado de zinc del mes de enero supera en la parte baja a los ECA (0.12 mg/l) de evaluación y en los otros sectores y el mes de diciembre y febrero no supera.

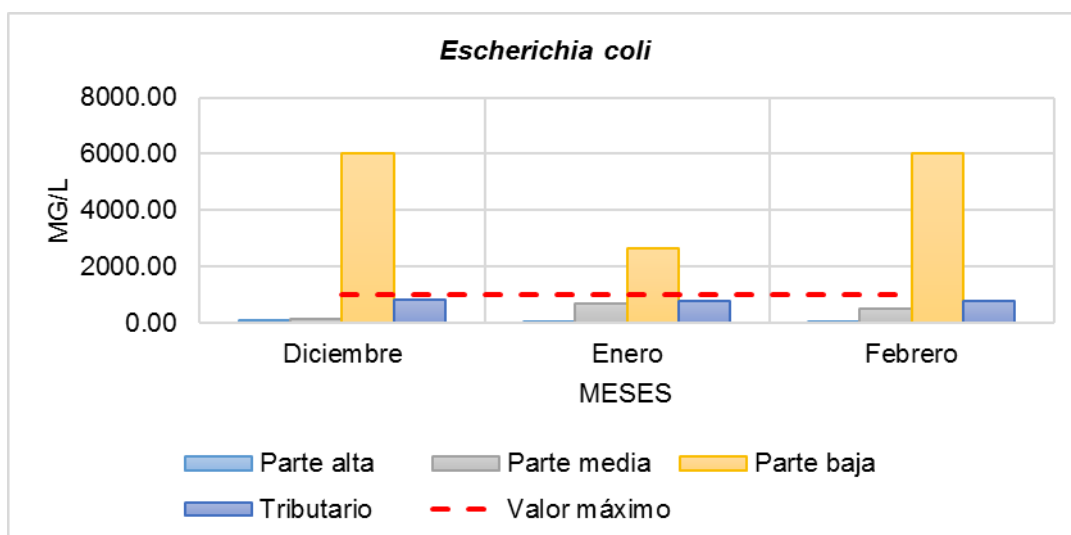


Figura 13. Variación del contenido de *Escherichia coli* por sector del río Cunas en época de avenida.

En la Figura 13 se representa la variación del contenido de *Escherichia coli* del río Cunas por sector y en los meses de avenida; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, donde se muestra

que los resultados de evaluación, tanto en los meses de diciembre, enero y febrero superan los ECA de evaluación en la parte baja y en los otros sectores no.

3.1.2. Calidad del agua del río Cunas según sector en época de estiaje

La Tabla 6 muestra los resultados estadísticos de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológico del agua del río Cunas por sector en el periodo de estiaje (julio, agosto y setiembre). En el sector de la parte alta y en el río Consac (tributario) el promedio de los valores obtenidos se encuentra dentro de los parámetros establecido por el ECA en la categoría 4 subcategoría E2 establecido por el MINAM (2017). No obstante, en el sector de la parte media, el contenido de *Escherichia coli*; asimismo, en la parte baja el promedio de SST, fósforo total, DBO₅ y *Escherichia coli* no cumplen lo establecido por el ECA para agua.

Tabla 6
Calidad fisicoquímica, inorgánica y microbiológica del río Cunas en época de estiaje.

Sector	Estadístico	pH (unidades)	SST (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
Parte alta	Media	8.47	42.05	5.47	0.01	0.003	1.52
	Desviación estándar	0.74	5.52	0.91	0.00	0.001	1.05
	Mínimo	6.10	33.70	3.25	0.00	0.001	0.00
	Máximo	8.91	49.00	6.77	0.01	0.01	3.00
Parte media	Media	8.77	80.56	5.49	0.25	0.04	3.99
	Desviación estándar	0.25	28.11	0.96	0.12	0.01	1.41
	Mínimo	8.50	37.80	4.10	0.05	0.02	2.00
	Máximo	9.34	101.00	6.53	0.48	0.06	7.00
Parte baja	Media	8.64	114.08	5.17	2.28	0.28	14.74
	Desviación estándar	0.24	54.54	0.62	0.66	0.11	3.56
	Mínimo	8.02	32.00	4.10	1.20	0.16	9.00
	Máximo	8.93	163.60	6.10	3.20	0.73	21.00
Tributario	Media	8.53	40.30	5.33	0.21	0.03	1.81
	Desviación estándar	0.76	5.55	0.62	0.02	0.01	1.30
	Mínimo	6.20	33.30	3.74	0.19	0.02	0.00
	Máximo	9.30	48.40	5.83	0.26	0.05	4.00

Continuación de la Tabla 6.

Sector	Estadístico	Cobre (mg/L)	Hierro (mg/L)	Zinc (mg/L)	<i>Escherichia coli</i> (mg/L)
Parte alta	Media	0.000	0.02	0.01	33.43
	Desviación estándar	0.000	0.00	0.00	10.57
	Mínimo	0.000	0.02	0.01	17.30
	Máximo	0.000	0.02	0.01	52.45
Parte media	Media	0.000	0.02	0.01	1735.78
	Desviación estándar	0.000	0.00	0.00	5757.76
	Mínimo	0.000	0.00	0.01	21.00
	Máximo	0.000	0.02	0.01	30200.00
Parte baja	Media	0.000	0.28	0.02	54716.67
	Desviación estándar	0.000	0.30	0.01	33033.51
	Mínimo	0.000	0.07	0.01	20300.00
	Máximo	0.001	0.69	0.04	100000.00
Tributario	Media	0.000	0.04	0.03	128.61
	Desviación estándar	0.000	0.01	0.00	107.30
	Mínimo	0.000	0.02	0.03	31.40
	Máximo	0.000	0.05	0.04	290.90

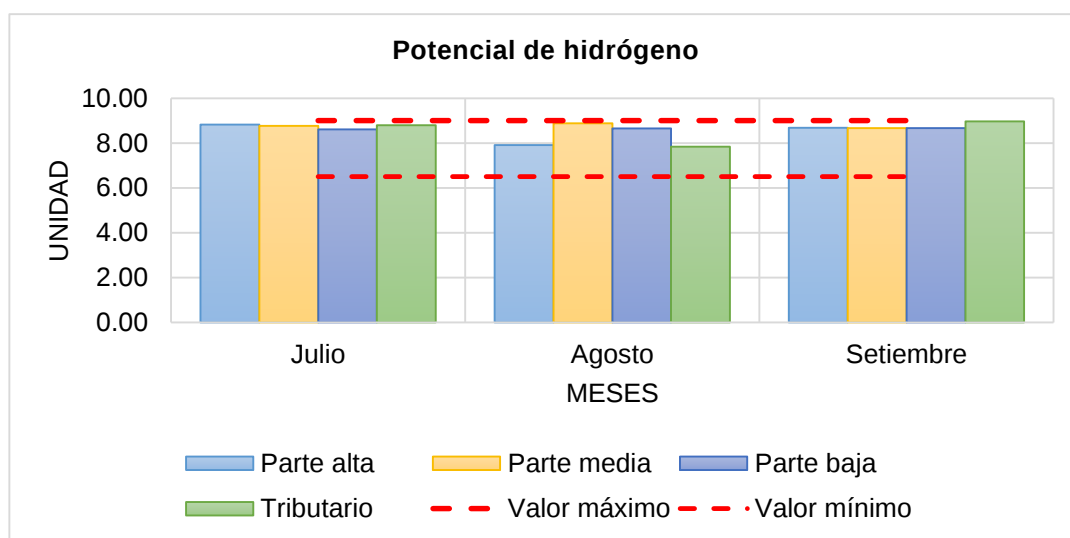


Figura 14. Variación del pH por sector del río Cunas en época de estiaje.

Del mismo modo, en la Figura 14 se representa la variación del pH del río Cunas por sector y en los meses de estiaje; adicional a ello, se especifica el rango del pH establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para la categoría 4 – E2, donde se muestra que los resultados de evaluación de pH en todo los sectores y meses de evaluación se encuentran dentro de los ECA (6,5 a 9,0) de evaluación y con una ligera tendencia a la basicidad .

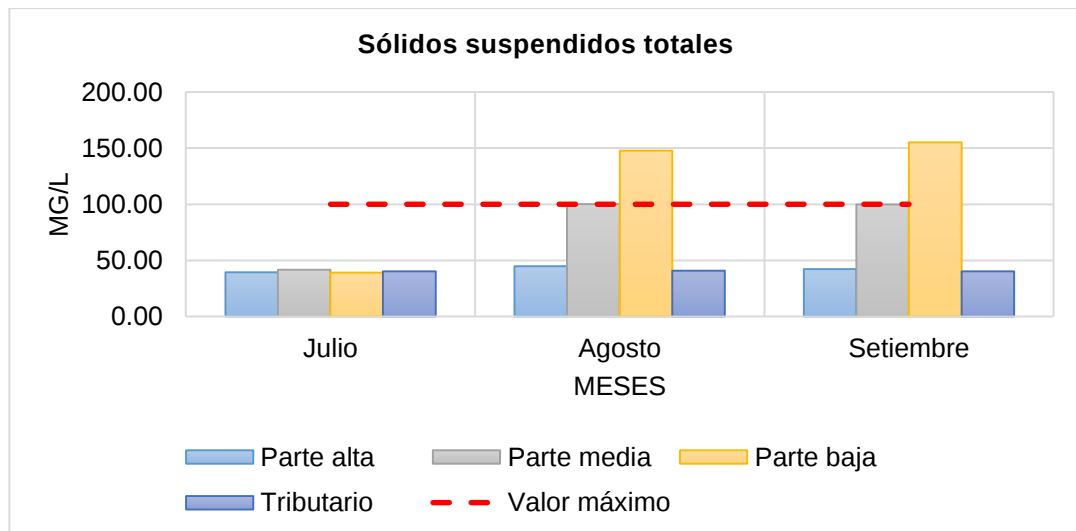


Figura 15. Variación de sólidos suspendidos totales por sector del río Cunas en época de estiaje.

La Figura 15 muestra la variación de sólidos suspendidos totales del río Cunas por sector y en los meses de estiaje; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, donde se muestra que los resultados en los meses de agosto y setiembre superan los ECA (≤ 100 mg/l) de evaluación en la parte baja, mientras que en los otros sectores no.

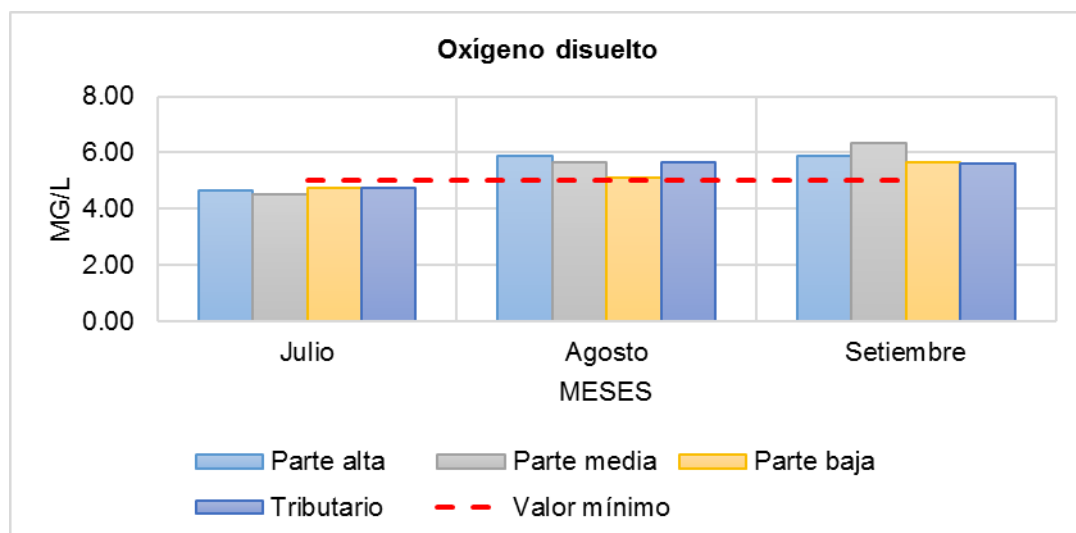


Figura 16. Variación del oxígeno disuelto por sector del río Cunas en época de estiaje.

Continuando se tiene la Figura 16 donde se especifica la variación de sólidos suspendidos totales del río Cunas por sector y en los meses de estiaje; adicional a ello, se especifica el valor mínimo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, donde se muestra que los resultados en los meses de julio

y agosto existe una deficiencia de oxígeno disuelto, el cual no cumple con los ECA (≥ 5 mg/l) de evaluación en la parte baja, mientras que en los otros sectores si cumple con respecto a los meses de agosto y setiembre.

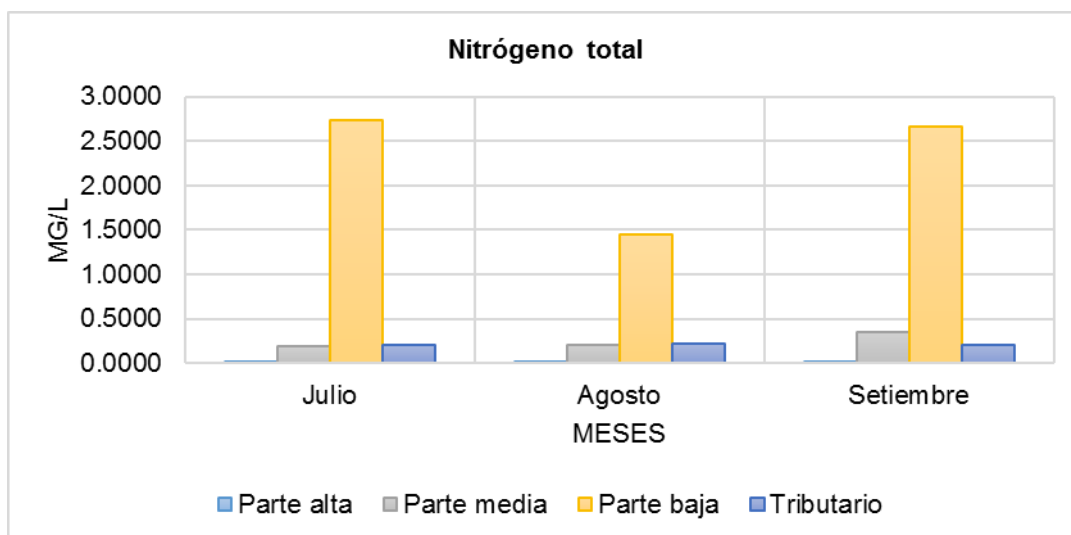


Figura 17. Variación del nitrógeno total por sector del río Cunas en época de estiaje.

La Figura 17 muestra la variación del nitrógeno total del río Cunas por sector y en los meses de estiaje, donde se muestra que los resultados del nitrógeno total tiene una media de 0.25 mg/l en la parte baja, resalta la diferencia que tiene en referencia los otros sectores. Cave menciona que no tiene un ECA de evaluación para esta subcategoría.

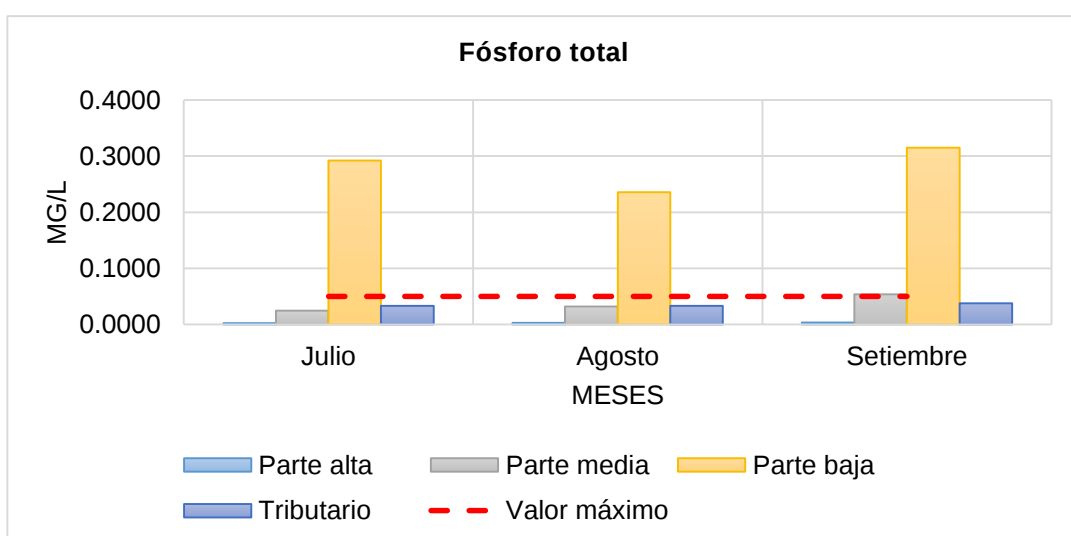


Figura 18. Variación del fósforo total por sector del río Cunas en época de estiaje.

Asimismo, en la Figura 18 muestra la variación de fósforo total del río Cunas por sector y en los meses de estiaje; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, donde se muestra que los resultados tienen una media de 0.28 mg/l en la parte baja superan los ECA (0,05 mg/l) en los meses de evaluación, mientras que en los otros sectores y meses si cumplen.

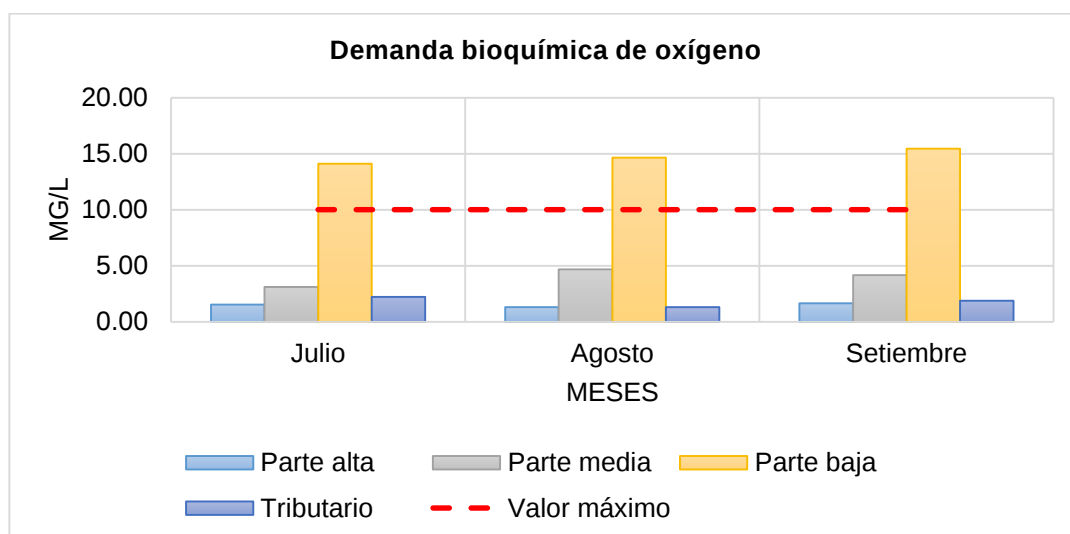


Figura 19. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno por sector del río Cunas en época de estiaje.

Del mismo modo, en la Figura 19 se representa la variación de la demanda bioquímica de oxígeno del río Cunas por sector y en los meses de estiaje; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, donde se muestra que los resultados tienen una media de 3.99 mg/l en la parte baja superan los ECA (10 mg/l) en los meses de evaluación, mientras que en los otros sectores y meses si cumplen.

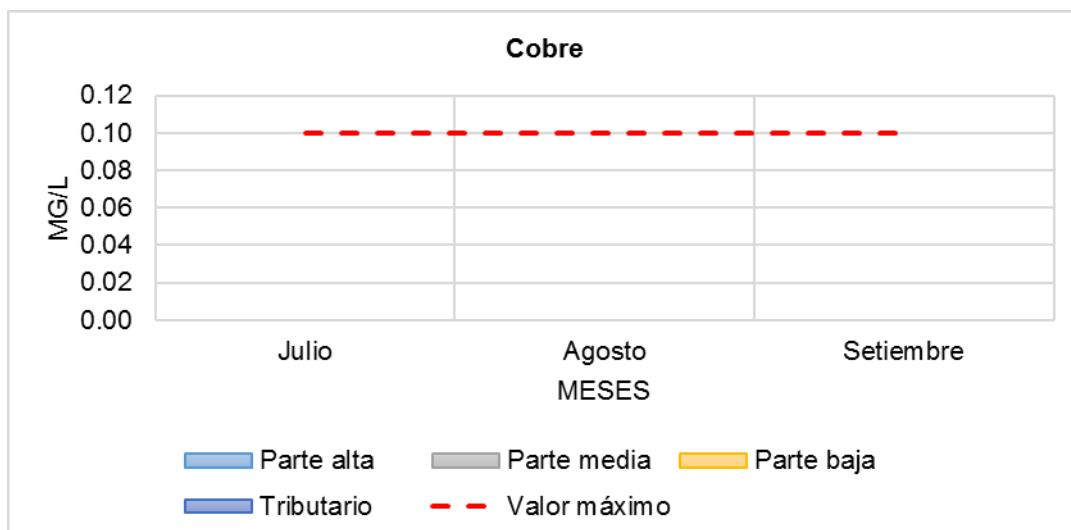


Figura 20. Variación del cobre por sector del río Cunas en época de estiaje.

Asimismo, la Figura 20 muestra la variación de cobre del río Cunas por sector y en los meses de estiaje; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, donde se muestra que los resultados no superan los ECA (0.1 mg/l) en todo los sectores y los meses de evaluación.

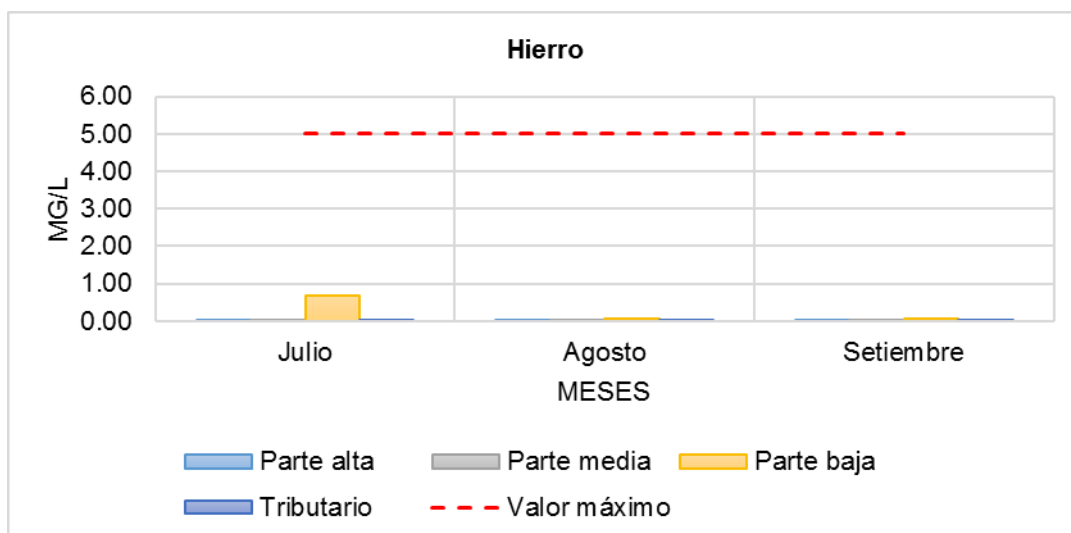


Figura 21. Variación del hierro por sector del río Cunas en época de estiaje.

Respecto a la variación del hierro del río Cunas por sector y en los meses de estiaje, esto se muestra en la Figura 21; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 3 – D1 (riego para vegetales), donde se muestra que los resultados no superan los ECA (5 mg/l) en todo los sectores y los meses de evaluación.

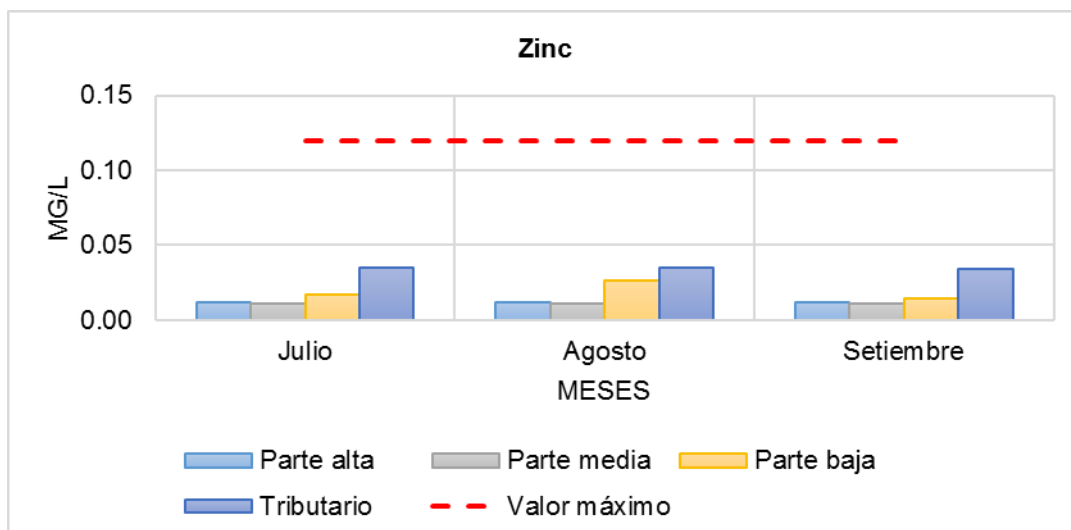


Figura 22. Variación del zinc por sector del río Cunas en época de estiaje.

Del mismo modo, en la Figura 22 se representa la variación del zinc del río Cunas por sector y en los meses de estiaje; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para para la categoría 4 – E2, donde se muestra que los resultados no superan los ECA (0.12 mg/l) en todo los sectores y los meses de evaluación, cabe resaltar existe un ligero incremento de concentración en el tributario.

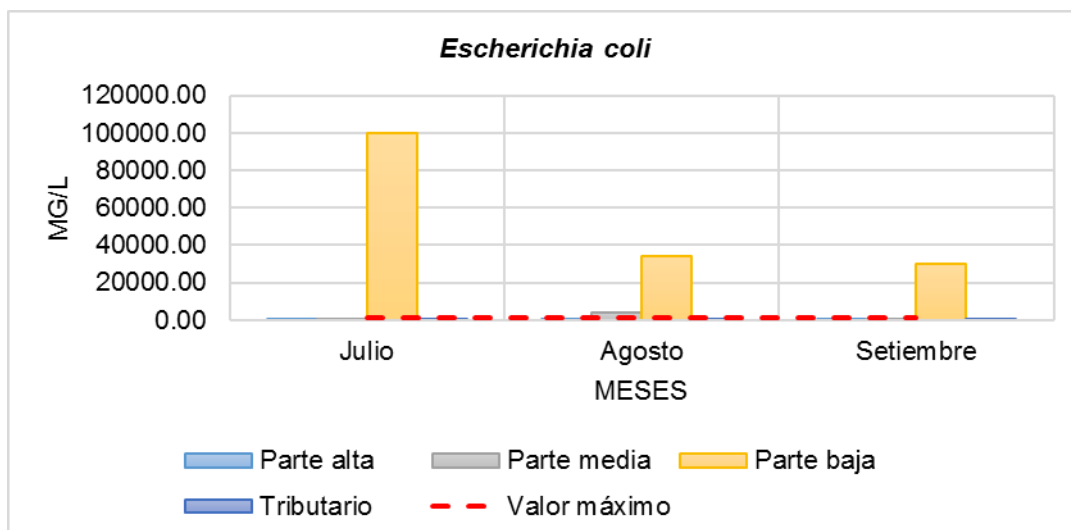


Figura 23. Variación del contenido de *Escherichia coli* por sector del río Cunas en época de estiaje.

En la Figura 23 se representa la variación del contenido de *Escherichia coli* del río Cunas por sector y en los meses de estiaje; adicional a ello, se especifica el valor máximo de este parámetro establecido por el estándar de calidad ambiental de agua para la categoría 3 – D1 (riego para vegetales), donde se muestra que los resultados tienen una media de 1735.78 NMP/100

ml que superan los ECA (1000 NMP/100 ml) en la parte baja, mientras que en los otros sectores no tienen relevancia según la categoría de evaluación.

3.1.3. Variación espacio temporal de la calidad de agua del río Cunas según indicadores ambientales

En la Tabla 7, se muestra el índice de calidad ambiental del agua del río Cunas en época de avenida según indicadores ambientales, siendo así que, en la parte alta el ICA – Pe es de 89.24 lo cual representa una buena calidad, en la parte media de 78.61 con una calidad favorable, en la parte baja de 50.02 con una calidad regular y el tributario con 82.95 con una buena calidad.

Tabla 7
Índice de calidad ambiental del agua del río Cunas en época de avenida.

Factores	Parte alta	Parte media	Parte baja	Tributario
Número de parámetros que no cumplen	2.00	4.00	6.00	3.00
Número de parámetros a evaluar	11.00	11.00	11.00	11.00
Número de datos que NO cumplen el ECA	4.00	7.00	43.00	11.00
Número total de datos	99.00	99.00	99.00	99.00
F1	18.18	36.36	54.55	27.27
F2	4.04	7.07	43.43	11.11
Sumatoria de los excedentes	0.01	0.01	1.05	0.02
F3	0.62	0.81	51.32	1.73
ICA - PE	87.07	67.65	34.86	82.34
Calificación	Buena	Favorable	Mala	Buena

Del mismo modo, en la Tabla 8, se detalla el índice de calidad ambiental del agua del río Cunas en época de estiaje, donde la parte alta el ICA – Pe es 89.43 lo cual representa una buena calidad, en la parte media es 69.00 con una calidad favorable, en la parte baja es 36.94 con una calidad mala y el tributario con 84.08 representando una buena calidad.

Tabla 8
Índice de calidad ambiental del agua del río Cunas en época de estiaje.

Factores	Parte alta	Parte media	Parte baja	Tributario
Número de parámetros que no cumplen	2.00	5.00	5.00	3.00
Número de parámetros a evaluar	11.00	11.00	11.00	11.00
Número de datos que NO cumplen el ECA	2.00	17.00	36.00	4.00
Número total de datos	99.00	99.00	99.00	99.00
F1	18.18	45.45	45.45	27.27

F2	2.02	17.17	36.36	4.04
Sumatoria de los excedentes	0.01	0.30	12.18	0.01
F3	0.52	22.86	92.41	0.57
ICA - PE	89.43	76.21	45.54	80.19
Calificación	Buena	Buena	Regular	Buena

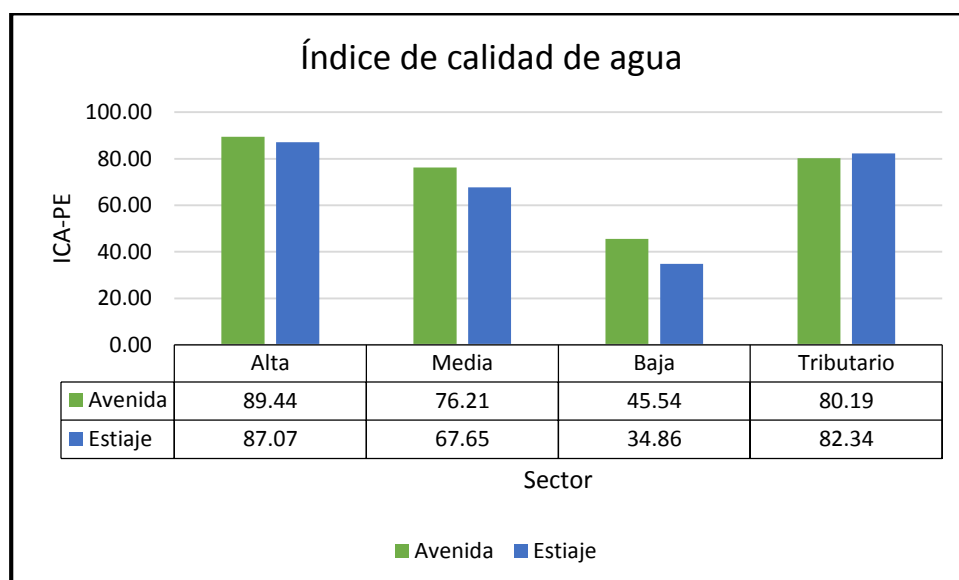


Figura 24. Variación del índice de calidad ambiental del agua del río Cunas en época de avenida y estiaje.

Figura 24 representa la variación del índice de calidad ambiental del agua del río Cunas en época de avenida y estiaje.

3.2. Prueba de hipótesis

3.2.1. Hipótesis específica A

Según la distribución no normal de los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológico del agua del río Cunas por sector en época de avenida (Tabla 17), se utilizó para la prueba de hipótesis el estadístico Kruskal – Wallis para muestras independientes, es así que se presenta lo siguiente:

HA_0 : La variabilidad de la calidad del agua del río Cunas según sector en época de avenida no es significativa.

HA_i : La variabilidad de la calidad del agua del río Cunas según sector en época de avenida es significativa.

En la Tabla 9 se muestra los resultados de la prueba de hipótesis con el estadístico Kruskal – Wallis, donde se obtuvo niveles de significancia menores a 0.05, deduciéndose con ello que existe variación significativa del pH, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, nitrógeno total, fósforo total, DBO₅, cobre, hierro, zinc y *Escherichia coli* del río Cunas durante la época de avenida; es así que se acepta la hipótesis alternar planteada que, la variabilidad de la calidad de agua del río Cunas según sector en época de avenida es significativa.

Tabla 9
Prueba de Kruskal – Wallis para la hipótesis específica A.

Hipótesis nula	Significancia	Decisión
La distribución de pH es la misma entre las categorías de sector	0.015	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de SST es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de oxígeno disuelto es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de nitrógeno total es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de fósforo total es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de DBO ₅ es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de cobre es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de hierro es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de zinc es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de <i>Escherichia coli</i> es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula

Adicionalmente, se comparó cada uno de los parámetros evaluados de acuerdo al sector del río Cunas, esto en base al ANOVA de vía de Kruskal – Wallis. Es así que, la Tabla 10, muestra las significancias que existe en todo los sectores de evaluación y los parámetros en la época de avenida.

Tabla 10

Valor de significancia de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua del río Cunas por sector en época de avenida

Sectores		pH	SST	Oxígeno disuelto	Nitrógeno total	Fosforo total	DBO5	Cu	Fe	Zn	E. Coli
Parte media	-	0.14	0.82	0.02	0.00	0.00	0.53	1.00	0.00	0.00	0.00
Tributario											

Parte media - parte alta	-	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Parte media - parte baja	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tributario - parte alta		0.46	0.00	0.00	0.20	0.48	0.00	0.00	0.58	0.21	0.07
Tributario - parte baja		0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Parte alta - parte baja		0.36	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.05	0.22	0.00

3.2.2. Hipótesis específica B

De acuerdo a la distribución no normal de los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológico del agua del río Cunas por sector en época de estiaje.

Tabla 18), se utilizó para la prueba de hipótesis el estadístico Kruskal – Wallis para muestras independientes, es así que se presenta lo siguiente:

HB₀: La variabilidad de la calidad de agua del río Cunas según sector en época de estiaje no es significativa.

HB_i: La variabilidad de la calidad de agua del río Cunas según sector en época de estiaje es significativa.

La Tabla 11 presenta los resultados de la prueba de hipótesis con el estadístico Kruskal – Wallis, obteniéndose significancias menores a 0.05, deduciéndose que existe variación significativa de SST, nitrógeno total, fósforo total, DBO₅, cobre, hierro, zinc, *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes; sin embargo, el pH y oxígeno disuelto no presenta diferencias significativas; por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna planteada.

Tabla 11
Prueba de Kruskal – Wallis para la hipótesis específica B.

Hipótesis nula	Significancia	Decisión
La distribución de pH es la misma entre las categorías de sector	0.857	Se conserva la hipótesis nula
La distribución de SST es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de oxígeno disuelto es la misma entre las categorías de sector	0.213	Se conserva la hipótesis nula
La distribución de nitrógeno total es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula

La distribución de fósforo total es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de DBO ₅ es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de cobre es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de hierro es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de zinc es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución de <i>Escherichia coli</i> es la misma entre las categorías de sector	0.000	Se rechaza la hipótesis nula

Adicionalmente, se comparó cada uno de los parámetros evaluados de acuerdo al sector del río Cunas, esto en base al ANOVA de vía de Kruskal – Wallis. Siendo así que, Tabla 12 detalla la significancia de todo los sectores, así como todo los parámetros evaluados en la época de estiaje.

Tabla 12

Valor de significancia de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua del río Cunas por sector en época de estiaje

Sectores	pH	SST	Oxígeno disuelto	Nitrógeno total	Fósforo total	DBO5	Cu	Fe	Zn	E. Coli
Parte media - Tributario	-	0.43		0.00	0.00	0.55	1.00	0.00	0.02	0.02
Parte media - parte alta	-	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Parte media - parte baja	-	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tributario - parte alta		0.00		0.64	0.74	0.00	1.00	0.00	0.00	0.21
Tributario - parte baja		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Parte alta - parte baja		0.35		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00

3.2.3. Hipótesis general

Al igual que lo mencionado anteriormente y según a la distribución no normal de los datos obtenidos de los ICA - PE, se utilizó para la prueba de hipótesis el estadístico Kruskal – Wallis para muestras independientes, es así que se presenta lo siguiente:

HA₀: La variabilidad espacio temporal de la calidad del agua del río Cunas evaluada mediante indicadores ambientales no es significativa.

HA_i: La variabilidad espacio temporal de la calidad del agua del río Cunas evaluada mediante indicadores ambientales es significativa.

La Tabla 13 muestra los resultados de la prueba de hipótesis con el estadístico Kruskal – Wallis, donde se obtuvo niveles de significancia menores a 0.05, deduciéndose con ello que existe variación significativa del ICA - PE durante la época de avenida y estiaje del río Cunas; es así que se acepta la hipótesis alternar planteada que, existe variabilidad significativa espacio temporal de la calidad del agua del río Cunas evaluada mediante indicadores ambientales.

Tabla 13
Prueba de Kruskal – Wallis para la hipótesis general.

Hipótesis nula	Significancia	Decisión
La distribución del ICA en época de avenida es la misma entre las categorías de sector de la subcuenca	0.000	Se rechaza la hipótesis nula
La distribución del ICA en época de estiaje es la misma entre las categorías de sector de la subcuenca	0.000	Se rechaza la hipótesis nula

Adicionalmente, se comparó los parámetros evaluados de acuerdo al sector del río Cunas, según ANOVA de una vía de Kruskal – Wallis. De acuerdo a la Tabla 14 hay diferencia significativa del ICA – PE en el sector de la parte alta con la parte media y baja, asimismo, entre el sector de la parte baja y el río tributario (sig. menor a 0.05); sin embargo, entre el sector de la parte media con la parte baja y el río tributario con la parte alta y media no se hay diferencia significativa.

Tabla 14
Comparación de ICA - PE del río Cunas por sector en época de avenida.

Sectores	Estadístico de prueba	Error estándar	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada
Parte baja - parte media	6.00	3.96	1.52	0.13	0.78
Parte baja - tributario	-12.00	3.96	-3.03	0.00	0.02
Parte baja - parte alta	18.00	3.96	4.55	0.00	0.00
Parte media - tributario	-6.00	3.96	-1.52	0.13	0.78
Parte media - parte alta	12.00	3.96	3.03	0.00	0.02
Tributario - parte alta	6.00	3.96	1.52	0.13	0.78

Por último, según la Tabla 15 muestra que existe diferencia significativa del ICA – PE obtenido del río Cunas en el sector de la parte alta con la parte media y baja, asimismo, entre el sector de la parte baja y el río tributario (nivel de significancia menor a 0.05); sin embargo, entre el sector de la parte media con la parte baja y el río tributario con la parte alta y media no se presenta diferencia significativa.

Tabla 15

Comparación de ICA - PE del río Cunas por sector en época de estiaje.

Sectores	Estadístico de prueba	Error estándar	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada
Parte baja - parte media	6.00	3.96	1.52	0.13	0.78
Parte baja - tributario	-12.00	3.96	-3.03	0.00	0.02
Parte baja - parte alta	18.00	3.96	4.55	0.00	0.00
Parte media - tributario	-6.00	3.96	-1.52	0.13	0.78
Parte media - parte alta	12.00	3.96	3.03	0.00	0.02
Tributario - parte alta	6.00	3.96	1.52	0.13	0.78

3.3. Discusión de resultados

Las actividades del hombre tanto a escala universal como de cuencas y sub cuencas están sometiendo a fuertes presiones al recurso hídrico, afectando negativamente la calidad del agua.

A pesar de que la mayoría de los Centros Poblados y las ciudades están ubicada en la zona de influencia de la subcuenca del río Cunas y están en un estado de crecimiento poblacional progresivo, el grado de afectación que ha tenido la subcuenca no ha sido tan relevante en la parte media y alta frente a su funcionalidad. Es decir, se encuentra en un desarrollo ecosistémico natural donde hay un mínimo impacto antrópico que afecte su funcionalidad. En cambio, en la parte baja, se refleja un mayor impacto, dado que es donde hay mayor concentración de población y desarrollo económico y por ende mayor incidencia antrópica. Son notables los efectos que han causado acciones como las explotaciones mecanizadas y no controladas de material de arrastre, efluentes informales, acumulación de residuos domésticos y lavados de ropa y zanahoria.

En consecuencia, los resultados de las evaluaciones muestran que el río Cunas sufre diversas presiones, desde la desviación del caudal hasta la contribución de los efluentes procedentes de las actividades piscícolas, pecuarias y urbanas (presiones directas). Cabe mencionar, que la presión de la actividad piscícola es mínima; ya que la concentración de la DBO₅ se encuentra entre los LMP para efluentes e inclusive en el rango de los ECA de la categoría 4: E2, ríos, costa y sierra.

Las presiones ejercidas por las descargas de efluentes de las actividades pecuaria y urbana son muy relevantes ya que superan los LMP las concentraciones de DBO_5 al momento de descarga en las aguas superficiales del río Cunas.

Las inspecciones de campo y las conclusiones muestran que las aguas usadas no son tratados antes de su descarga al cuerpo receptor. Estas están dando lugar a la variación negativa de la calidad del agua y la degradación de la calidad del ambiente acuático, más aún en la parte media (Copca y Huarisca) y baja (Chupaca y Pilcomayo) de la sub cuenca del río Cunas.

La calidad del agua de una cuenca hidrográfica puede o es afectada por varios factores antrópicos o naturales, así como la interacción entre ellos (Ortega et al., 2016).

Al trabajar en cuencas hidrográficas es necesario caracterizar su marco climático, geológico e histórico, pues cada cuenca tiene sus propias particularidades, que puede alterar las variables físicas, químicas y biológicas del agua (Ortega et al., 2016).

La vegetación ribereña ejerce funciones ecosistémicas muy importantes, incluyendo estabilización de laderas, regulación térmica de los arroyos, filtrado y retención de nutrientes, facilita la vida a la fauna presente y mantiene la estabilidad de los ecosistemas acuáticos (Lyon, 2005). Las diversas actividades antrópicas utilizan el recurso hídrico como fuente para propósitos domésticos, industriales e irrigación en la sub cuenca, y en la asimilación de la carga municipal e industrial y residuos de la agricultura (Soldner et al., 2004) los cambios antrópicos en el área de drenaje de cuencas hidrológicas determinan los procesos de erosión dominante y las fuentes de sedimento (Halifa-Marín, et al., 2019).

El permanente desarrollo de las actividades pecuaria y urbana sin criterios técnicos de conservación ambiental está dando lugar a la emisión excesivas de contaminantes (vertidos directamente al río) ocasionando que pierda la capacidad propia del sistema acuático de eliminar estos desechos (Alonso y Camargo, 2005; Neamtu et al., 2009), lo cual pone en riesgo la sostenibilidad del suministro de alimentos y la biodiversidad de las mismas.

La reducción de la fauna ribereña es otra de las presiones identificadas. Este disminuye la estabilidad térmica de la columna de agua, aumenta la

frecuencia de sedimento y de macrofitas acuáticas y, facilita el ingreso de contaminantes al curso del agua (Heartsill-Scalley & Aide, 2003). La consecuencia más importante es el deterioro de la calidad del agua, la disminución de la biodiversidad (Corbacho, Sánchez y Costillo, 2003) por la destrucción del hábitat de muchos estados adultos de la entomofauna acuática (Egler, Buss, Moreira y Baptista, 2012).

Los cambios antrópicos en el área de drenaje (cambio del patrón de la cobertura del suelo, obras de ingeniería, reforestaciones) determinan los procesos de erosión dominante y las fuentes de sedimento (Nadeu, 2011).

Al mismo tiempo, el desarrollo de una densa red de diques de retención de sedimentos a lo largo del cauce y en numerosas subcuencas vertientes (Castillo, 2007), tuvo un papel muy importante en la incisión y estrechamiento del cauce activo. En todos los casos los diques generarían una cuña sedimentaria aguas arriba de los mismos con elevada retención de sedimento fino y agua, siendo colonizadas preferentemente por la vegetación (Boix-Fayos, 2017).

La solución a las presiones que tiene el río Cunas está en desarrollar acciones favorables por la sociedad a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales. Algunas de estas son acciones reguladoras, gastos ambientales o de investigación y entre otros.

Los indicadores de respuesta están orientados a la conservación, preservación y vigilancia; con normas ambientales y mucha incidencia con el cuidado del río Cunas. Otra respuesta es la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticos, el ordenamiento territorial y acercamiento del estado con los usuarios (Plan de Desarrollo Concertado de la provincia de Chupaca, 2008-2015 [PDC], 2011).

Los resultados de la medición del pH del agua obtenidos en el periodo de muestreo (estiaje y avenida) cumplen con la Categoría 4 E2: Ríos Costa y Sierra (conservación del ambiente acuático), con inclinación hacia la alcalinidad. Esto estaría vinculada a las condiciones edáficas por la que discurre la corriente de agua, a la actividad agrícola (Pérez, 2008) y a las descargas de efluentes contaminados al cauce del río (Córdova, 2009). Otra circunstancia no menos importante sería la actividad fotosintética (CO_2) que se da durante el día (Molina, 2008).

El nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos totales del agua en los cuatro sectores (alta, media, baja y un tributario) de muestreo, no muestran concentraciones considerables, estos valores se encuentran dentro de los ECA en la Categoría 4.

Con respecto al oxígeno disuelto, es uno de los más importante de los parámetros que está vinculado a la calidad. Los resultados de análisis del oxígeno disuelto en dos de los tres sectores (alta, media y el tributario de la del río Cunas) muestran niveles relativamente buenos de oxígeno, en la parte baja, es evidente de un intenso uso urbano del suelo, con predominio de actividades agroindustriales, industriales y domésticas cuyas aguas residuales se vierten con poco o ningún tratamiento al río Cunas. Esta alta contaminación, podría explicar los valores bajos de oxígeno disuelto, que en algunos periodos de muestreo resultan menores a los ECAs de evaluación. No obstante, la concentración de oxígeno disuelto depende de las características del cauce, la turbulencia del agua y los procesos químicos y biológicos (Figuerola, 2004). También las concentraciones menores a 5 ppm pueden afectar el funcionamiento y supervivencia de las comunidades biológica y bajo 2 ppm puede llevar a la muerte de la mayor parte de la ictiofauna (Chapman D. , 1992), Además establecen correlaciones entre los parámetros de oxígeno disuelto y la temperatura, (Enrique Posada, 2013).

El grupo de los metales pesados evaluados como el cobre, hierro y zinc en los cuatro (alta, media, baja y un tributario) sectores de muestreo, no muestran incrementos considerables, sus valores no superan los ECA en la Categoría 4. Cabe mencionar que la necesidad de realizar estudios de metales pesados en las fuentes de agua, es principalmente a la alta toxicidad de estos elementos y a su alta persistencia de acumulación de muchos de ellos en los organismos vivos (Rosas, 2001). Los metales pesados, son sustancias no biodegradables, tienen tendencia a formar asociaciones con compuestos de tipo mineral (carbonatos, sulfatos, silicatos, etc.), y en menor cantidad, con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, absorción, quelación o formación de combinaciones químicas (Chapman P. W., 2003). Los flujos de agua suelen ser el camino natural que a partir del cual estos contaminantes se integran en el ciclo global del ecosistema. También se acumulan en los suelos, pudiendo alterar sus

propiedades y sus principales funciones, y en los sedimentos, donde un cambio en las condiciones del medio, como el caudal del río, el pH o el oxígeno disuelto entre otras, puede ser parte de la masa de agua.

En cuanto a los valores de la DBO₅ en el sector de la parte alta, media y tributario de la subcuenca del río Cunas indican la presencia de poca cantidad de materia orgánica en sus aguas. Lo contrario sucede en la subcuenca baja, las concentraciones altas de la DBO₅ indican de una contaminación orgánica y superan los ECA para agua de ríos en la sierra. La cual indican que existen condiciones favorables para la oxidación-reducción sobre la materia orgánica, requiriéndose niveles elevados de oxígeno, (Argota Pérez & Miranda Paca, 2014).

Los resultados del análisis de fósforo total en los tres sectores no superan los ECA (0,5 mg/L), para la conservación del ambiente acuático.

La distribución en el entorno hidrológico aguas abajo de los restos de insumos aplicados en los terrenos agrícolas, puede ocurrir mediante el escurrimiento superficial debido a eventos meteorológicos, como por las vientos y lluvias, proceso conocido como contaminación por fuentes no puntuales (CNP), que también llamada contaminación difusa o no localizada (Loehr, 1984), la cual genera problemas ambientales como la eutrofización de las aguas superficiales (Sharpley, 2003). Además, la eutrofización, un proceso natural o antropogénico, se refiere al incremento de concentración en el agua de nitrógeno (N) y fósforo (P), los cuales son responsables del crecimiento excesivo de algas y malezas acuáticas (Schnoor, 1995).

La *Escherichia coli* es una bacteria por excelencia en el grupo fecal, por su presencia en la flora intestinal del hombre y de los animales se sangre caliente, también supera los ECA en la sub cuenca baja, esto indica contaminación de residuos humanos, animales o erosión de suelo separadamente, o de una combinación de las tres fuentes (Romero, 2002).

La contaminación bacteriana en aguas residuales, tiene consecuencias negativas por generar enfermedades y mortalidad en la humanidad. Este efluente sin tratamiento causa impactos negativos también en los ecosistemas acuáticos y en su biodiversidad.

En relación a los 4 sectores de muestreo (sub cuenca alta, media y tributario) tanto en época de avenida y estiaje, los resultados de pH, sólidos suspendidos totales, DBO₅, oxígeno disuelto, fosforo total, nitrógeno total, cobre, hierro, zinc y la *Escherichia coli* presentaron diferencias significativas mínimas tanto en estiaje y avenida. No obstante, el incremento de las concentraciones fueron más significativas en sub cuenca baja del rio Cunas, en época de verano, posiblemente relacionado por el aumento de la actividad antrópica y dificultad para mantener dilución adecuada que el río presenta en esta época (Morais, 2004), pero igual son de consideración en ambos periodos de evaluación.

El incremento del interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales y estudiar sus cambios al pasar el tiempo, ha estimulado en las últimas décadas el desarrollo de criterios biológicos que permitan estimar las consecuencias de la interacción humana en ellos (Norris & Hawkins, 2000).

Una forma es calcular un índice que combine matemáticamente a todas las medidas de las concentraciones de calidad de agua y de esta manera sea fácilmente entendible de un cuerpo contaminado y reflejar la condición global del mismo (Fernández & Solano, 2005).

Los resultados obtenidos de los índice de calidad de agua (ICA-PE) en la época de estiaje calificaron a las masas de agua en la parte alta como agua de calidad buena con un ICA-PE de 89.43, en la parte media de un ICA-PE de 69.00 de calificación favorable, para la parte baja de un ICA-PE de 36.94 de calificación mala y para el tributario de un ICA-PE de 84.08 de calificación buena todo en el periodo de estiaje, esto indica que el grado de amenaza de tipo antrópicos (contaminación orgánica) es mínimo a excepción de la sub cuenca baja. Las condiciones del recurso hídrico son cercanas a su estado natural.

Los resultados para la época de avenida, el ICA-PE en la parte alta es de 89.24 con calificación buena, para la parte media el ICA-PE es de 78.61 con calificación favorable, para la parte baja el ICA-PE es 50.02 con calificación regular y para el tributario el ICA-PE es 82.95 con calificación buena. En la parte baja, las masas de agua muestran una proyección de calificar como agua de mala calidad, debido a la actividad antrópica que existe en esta zona.

(Alarcón Corro, 2019) hace un estudio del cálculo del ICA-PE en la cuenca baja del río Rímac y da como resultado de una media de 69.25, lo cual hace una calificación favorable. Estos dan cuenta que no guarda relación alguna los resultados obtenidos en los mismos sectores, uno tiene calificación regular y el otro una calificación favorable. También la ANA (2012-2014) hace una evaluación a lo largo de la cuenca en tiempo y espacio de la calidad del río Rímac dando un resultado en la parte alta una calificación favorable (67), en la parte media de regular (45) y en la parte baja de malo (42), los elementos que son parte de la validación de los resultados de los ICA-PE en el río, es el tipo de contaminante y por el lugar donde se encuentre, que haciendo una comparación con la investigación, los resultados en los mismos sectores de evaluación no son iguales. En la cuenca del Moche se evaluó el ICA-PE (2012-2015), dando un resultado en RMoch3 una calificación de malo (30), en RMoch6 una calificación de malo (37) y en RMoch9 una calificación de malo (40), estos, son resultados de la parte alta hacia la parte baja respectivamente y no necesariamente en la parte alta de las cuencas es de buena calidad. Además, (Custodio & Chaname, 2017) evaluó la calidad de la sub cuenca del río Cunas desde la parte media hacia la parte baja, mediante índices fisicoquímicos y biológicos dando como resultados: En la zona de Copca resultado de buena calidad el agua, Huarisca regular calidad y Pilcomayo mala calidad de agua.

Uno de los puntos de la actualidad entre académicos y usuarios a nivel local es la contaminación del agua superficial, en especial la contaminación de lagos, lagunas y reservorios (Semiz & Aksit, 2013). La evaluación de la calidad del agua orientado en el monitoreo espacial y temporal tiene mucha importancia para el estudio de la demanda y suministro del agua con múltiples fines, que a su vez, forman elementos primarios en los planes de manejo sostenible a nivel de cuenca hidrográfica (Jaramillo, Molina, & Betancur, 2011) y la contaminación de las masas de agua es un proceso incipiente debido a la actividad antrópica, como pueden ser la agricultura de exportación, ganadería y crecimiento desordenado de las áreas urbano como rural (Aguirre C., Vanegas Ch., & García Á., 2016).

3.4. Estrategias de manejo de la calidad de agua del río Cunas

Consecuentemente tras haber realizado la evaluación de los resultados obtenidos y estimado los impactos generados por la descarga de efluentes contaminados provenientes de actividades pecuaria y urbana en río Cunas, se sugiere algunas medidas de mitigación y adaptación, con las acciones y mecanismos de minimizar los impactos nocivos sobre la calidad del agua en el río Cunas.

3.4.1. Implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales

Considerando que actualmente existe descargas de aguas residuales de actividades pecuarias y urbanas (aguas municipales) sin ningún tratamiento técnico al río Cunas, es necesario la implementación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales, con tratamientos biológicos con inóculos microbianos quimioheterótrofos en suspensión, eficientes en la remoción de DBO₅.

Para el caso del manejo de aguas residuales de las actividades urbanas de los centros poblados y asentamientos rurales involucrados en el estudio, será un tratamiento por Unidad Básica de Saneamiento (UBS) (Figura 25) con arrastre hidráulico (Biodigestores Prefabricados), que son recomendados por la entidad especializada (PNSR - MVCS) para poblaciones rurales y dispersos. Además, cabe mencionar que el C.P. Huarisca en coordinación con el distrito de Ahuac, está en la formulación de un proyecto de “Mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado del C.P. de Huarisca y sus barrios del distrito de Ahuac- Chupaca”, en ello se incorporará el sistema de tanque Imhoff (Figura 25), es una tecnología de tratamiento primario para aguas residuales.

Para el caso de efluentes de origen pecuario, y considerando que el establo encontrado es de 25 animales, el tratamiento sería de tres pozas de almacenamiento, con mayor cantidad de microorganismos a la del sistema convencional.

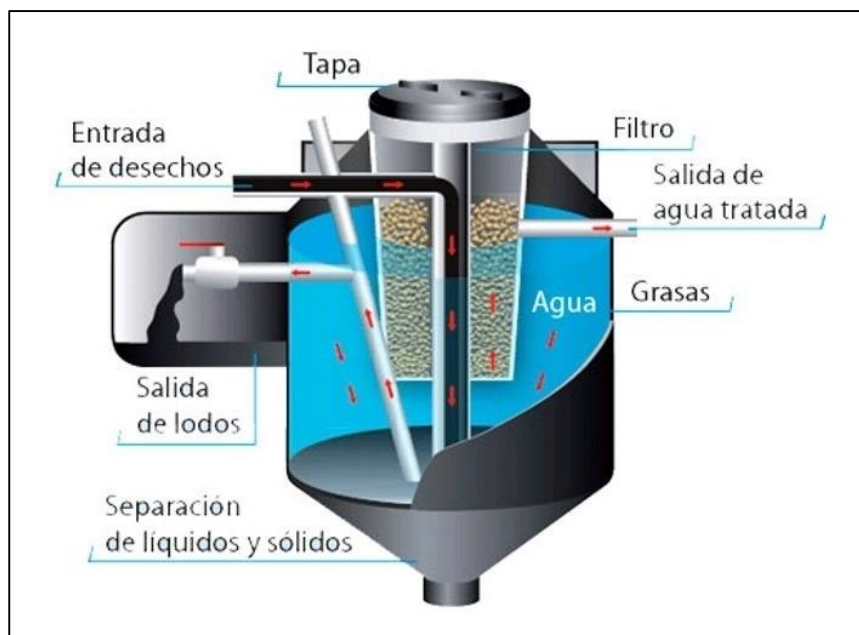


Figura 25. Esquema del biodigestor prefabricado – Para zonas rurales.

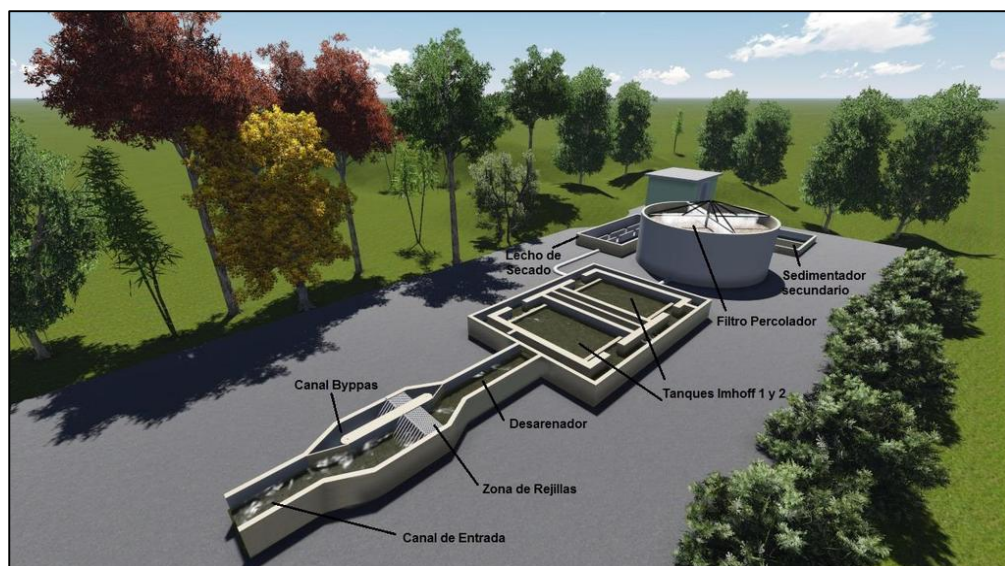


Figura 26. Esquema de tanques Imhoff – Para zonas urbanas.

En Chupaca, la zona urbana que atraviesa el río, se ha podido verificar que a la fecha parte o todo de sus aguas residuales municipales llegan al río Cunas. No obstante, la Municipalidad de Chupaca cuenta con su planta de tratamiento de aguas residuales (Figura 27 y Figura 28) con su proyecto “Mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable y alcantarillado de la localidad de Chupaca - Junín” que consta de dos lagunas de oxidación, dos sedimentadores dortmund, dos filtros percoladores circulares estáticos y sistemas de cloración. Cabe mencionar que esta planta no está en operación por tener algunas deficiencias técnicas.



Figura 27. Planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Chupaca – Junín.



Figura 28. Planta de tratamiento de aguas residuales (Filtro percolador) de la localidad de Chupaca – Junín.

Finalmente, los responsables de ejecutar la mitigación y adaptación de las propuestas son los siguientes:

- Gobierno regional.
- Municipalidad provincial y distrital.
- Empresas privadas.
- Las juntas de regantes.

- Los centros poblados.
- Piscicultores.
- Los productores pecuarios.
- Los agricultores

3.4.2. Monitoreo de la calidad de agua

La determinación de la calidad fisicoquímica, inorgánica y microbiológica es la forma controlar para monitorear la entrada, distribución y dispersión de contaminantes en las masas de agua. Sin embargo, si estos contaminantes dejan de ser valorados o su entrada es muy débil, el monitoreo de los parámetros deja de ser un buen indicador, puesto que estos muestran el momento instantáneo de la condición actual y no se tiene información de cómo varia en el transcurso del tiempo.

En respuesta a las presiones antrópicas encontradas a lo largo del río Cunas, se propone desarrollar monitoreos incluyendo mayor cantidad de parámetros y determinar la calidad de agua del río mediante el índice de calidad de agua ICA-PE. Para este caso, se debe considerar muestreos que cubran la mayor parte de las épocas de avenida y estiaje. En tal sentido se debe fijar los puntos específicos de monitoreo previa una avaluación y también incrementar la frecuencia de evaluación considerando quizá las estaciones del año.

Las entidades de desarrollar las medidas de mitigación y adaptación son:

- La Autoridad Local del Agua – ALA.
- La Dirección Regional de Salud y Ambiental - DIRESA.
- La municipalidad de Chupaca a través de la EPS de agua potable.
- Las municipalidades de los centros poblados y junta de regantes aledaños al río Cunas.

3.4.3. Recuperación y conservación de vegetación de las fajas marginales

Las fajas marginales es el habitat de especies de animales y vegetales. Es la última línea que en ciertas partes es muy delgada de defensa para la

protección de la calidad del agua. Así mismo, ejerce una marcada influencia sobre la organización de la diversidad y la dinámica que existe con los ecosistemas acuáticos y terrestres.

En respuesta a esta presión antrópica detectada, se sugiere realizar la recuperación de esta delgada línea de defensa con especies propias de la zona o nativas, a fin de proteger el recurso acuático.

Los trabajos deben estar limitado al ancho que corresponde a la franja marginal del río Cunas, para así evitar los conflictos sociales con las personas poseedores de sus terrenos cercanos al río, que debe incluir a todos los pobladores de la zona de estudio para asegurar el éxito del proyecto. En este sentido la municipalidad distrital de Ahuac está desarrollando el proyecto de: Creación de defensa ribereña, descolmatación y encausamiento del cauce del río Cunas, Ahuac, Chupaca, Junín.

Las entidades de desarrollar las medidas de mitigación y adaptación son:

- La Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- La Dirección Regional de Agricultura.
- Los centros poblados aledaños al río Cunas
- El Gobierno regional y sociedad civil.

3.4.4. Mecanismos de implementación de las propuestas

Estas no solo implican con contar recurso técnico capacitado y con el financiamiento disponible, sino requiere la conjunción y compromisos de los involucrados como las entidades del estado, privadas y otras cuyos vínculos permitan sostener la propuesta en el tiempo (Tabla 16).

Esta propuesta sólo será posible a través de un trabajo conjunto y coordinado de los organismos responsables y a través del establecimiento de resoluciones u ordenanzas que permitan cautelar la calidad del agua del río Cunas.

Tabla 16

Componentes de la propuesta de medidas de mitigación de impactos en el río Cunas.

Medida	Objetivo	Meta	Responsable	Mecanismo
Implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales	Reducir la carga de contaminantes orgánicos vertidos al río Cunas.	Al 2030, 80 % de aguas residuales provenientes de actividades pecuarias y urbanas son tratadas.	- Los piscicultores - Los productores pecuarios - Los agricultores - Las juntas de regantes - Los centros poblados - Gobierno regional - Municipalidad provincial y distrital - Empresas privadas	Ordenanzas municipales, resoluciones, etc.
Monitoreo de la calidad del agua	Plantear un programa de monitoreo de la calidad de agua del río Cunas.	Al 2030, 100% de cumplimiento de la monitoreo semestral del agua mediante los índices de ICA-PE.	- La Autoridad Local del Agua – ALA. - La Dirección Regional de Salud y Ambiental - DIRESA. - Las municipalidades de los centros poblados y junta de regantes aledaños al río Cunas. - La municipalidad de Chupaca a través de la EPS de agua potable.	Ordenanzas municipales, resoluciones, Notificaciones
Recuperación y conservación de fajas marginales	Establecer un programa de recuperación de vegetación ribereña del río Cunas.	Al 2030, 80% de área de franja marginal recuperada y conservado.	- La Autoridad Nacional del Agua (ANA) - La Dirección Regional de Agricultura. - Las municipalidades de los centros poblados aledaños al río Cunas. • El Gobierno regional y sociedad civil.	Resoluciones

CONCLUSIONES

1. La variabilidad espacio temporal de la calidad del agua del río Cunas evaluada mediante indicadores ambientales es significativa, pues en época de avenida en el sector de la parte alta se obtuvo un valor de 89.44 (calidad buena), en la parte media de 76.21 (calidad favorable), parte baja de 45.54 (calidad regular) y del río Consac de 80.19 (calidad buena); respecto a la época de estiaje en el sector de la parte alta se obtuvo un valor de 87.07 (calidad buena), en la parte media de 67.65 (calidad favorable), parte baja de 34.86 (calidad mala) y del río Consac de 82.34 (calidad buena).
2. La variabilidad de la calidad del agua del río Cunas según sector en época de avenida es significativa, pues en el sector de la parte alta y media, el promedio de los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológico se encuentra dentro de los parámetros establecido por el ECA para agua de categoría 4 subcategoría E2 establecido por el MINAM (2017). En cuanto, a la parte baja el promedio de SST, oxígeno disuelto, fósforo total, DBO5 y *Escherichia coli*; no cumplen lo establecido por el ECA para agua.
3. La variabilidad de la calidad del agua del río Cunas según sector en época de estiaje no es significativa, pues en el sector de la parte alta y en el río Consac (tributario) el promedio de los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológico se encuentra dentro de los parámetros establecido por el ECA para agua de categoría 4 subcategoría E2 establecido por el MINAM (2017). No obstante, en el sector de la parte media, el contenido de *Escherichia coli*; asimismo, en la parte baja el promedio de SST, fósforo total, DBO5 y *Escherichia coli* no cumplen lo establecido por el ECA para agua.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar trabajos de investigación para determinar la calidad del agua en toda la subcuenca del río Cunas con mayores frecuencias e incrementar las zonas de monitoreo y control, adicionalmente involucrar a los principales tributarios del río, a fin de integrarlos en mapas hidrográficos para mejor su aprovechamiento.
2. Recomendar a los responsables del manejo del recurso hídrico a adoptar la propuesta más técnica de medidas de mitigación y adaptación por ser de urgencia, a fin de conservar la calidad, cantidad y continuidad de los recursos hídricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J., Panta, J., Ayala, C., & Acosta, E. (2008). Calidad integral del agua superficial en la cuenca hidrológica del río Amajac. *Información tecnológica*, 19, 21–32.
- ANA. (2016). Protocolo de monitoreo de calidad de agua superficial. Lima - Perú: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA. (2018). Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de aguas continentales superficiales. Lima - Perú: Autoridad Nacional del Agua.
- APHA. (1992). Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual. APHA.
- Boix-Fayos, C. (2017). Carbon redistribution by erosion processes in an intensively disturbed catchment. *Catena*, 149, 799–809.
- Calizaya-Anco, J., Avendaño-Cáceres, M., & Delgado-Vargas, I. (2013). Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30, 58–63.
- Calla, H., & Cabrera, C. (2010). Calidad del agua en la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, afectado por la actividades mineras. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v13i25.399>
- Calvo-Brenes, G., & Mora-Molina, J. (2015). Evaluación de la calidad del agua en los ríos Tigre y Rincón de la península de Osa en dos periodos de tiempo distintos. *Tecnología en Marcha*, 28, 55–63.
- Castillo, V. (2007). Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean Catchment (Vol. 70, pp. 416–427). Vol. 70, pp. 416–427. El Carcavo - España.
- Chán, M., & Peña, W. (2015). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7, 19–23.
- Corbacho, C., Sánchez, J., & Costillo, E. (2003). Patterns of structural complexity and human disturbance of riparian vegetation in agricultural landscapes of a Mediterranean area. *Elsevier*, 95(2–3), 495–507.

- Córdova, S. (2009). Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Lat. Am. J. Aquat Res*, 73, 199–209.
- Custodio, M., & Chanamé, F. (2016). Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín - Perú. *Scientia Agropecuaria*, 7, 33–44.
- Guzmán-Colis, G., Thalasso, F., Ramírez-López, E. M., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A., & Avelar-González, F. (2011). Evaluación espacio - temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 2, 89–102.
- Halifa-Marín, A., Pérez-Cutillas, P., Almagro, M., & Boix-Fayos, C. (2019). Presión antrópica sobre cuencas de drenaje en ecosistemas frágiles: variaciones en las existencias (stock) de carbono orgánico asociadas a cambios morfológicos fluviales. *Cuadernos de investigación geográfica*, 45, 245–269. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7062549>
- Heartsill-Scalley, T., & Aide, T. (2003). Riparian vegetation and stream condition in a tropical agriculture-secondary forest mosaic. *Ecological Applications*, 13(1). [https://doi.org/https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2003\)013\[0225:RVASCI\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1890/1051-0761(2003)013[0225:RVASCI]2.0.CO;2)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. En Mc Graw Hill (5ª). México D.F.
- Lyon, J. (2005). Patterns of plant diversity and plant-environmental relationships across three riparian corridors. *Forest Ecology and Management*, 204, 267–278.
- MINAM. (2017). Ministerio del Ambiente. Recuperado de Estándares de calidad ambiental website: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/>
- Munn, M. (2009). The relative influence of geographic location and reach-scale habitat on benthic invertebrate assemblages in six ecoregions. *Environ Monit Assess*, 154, 1–14.
- Nadeu, E. (2011). Exploring particle size distribution and organic carbon reservoirs mobilized by different erosion processes at the catchment scale. *Journal of Soils and Sediments*, 11, 667–678.

- OMS. (2011). Guía para la calidad del agua de consumo humano. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- Ortega, D., Pérez, D., Américo, J., Carvalho, S., & Segovia, J. (2016). Development of index of resilience for surface water in watersheds. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 10, 72–82. Recuperado de https://www.jstor.org/stable/26240814?seq=1#metadata_info_tab_contents
- Parra, O. (2009). Gestión integral de cuencas hidrográficas. Universidad Nacional de Concepción.
- Pérez-Castillo, A., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 1905–1918.
- Pérez, C. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua del agua en el ambalse Los Molinos. *Revista del Curiham*, 9, 73–93.
- Silva, J., Moncayo, R., Ochoa, S., Estrada, F., Cruz-Cárdenas, G., Escalera, C., ... López, M. (2013). Calidad química del agua subterránea y superficial en la cuenca del río Duero, Michoacán. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4, 127–141.
- Soldner, M., Stephen, I., Ramos, L., Angus, R., Wells, N. C., Grosso, A., & Crane, M. (2004). Relationship between macroinvertebrate fauna and environmental variables in small streams of the Dominican Republic. *ScienceDirect*, 38, 863–874. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135403004068>
- Toledo, S., Pérez, A., Casas, J., García, J., & Santiago-Pérez, A. (2014). Calidad del agua de microcuencas en el área natural protegida Sierra de Quila en Jalisco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5, 112–123.
- Torres, P., Hernán, C., & Patiño, P. (2009). Índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8, 79–94.
- Villena Chávez, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>