



**UNIVERSIDAD PERUANA  
CAYETANO HEREDIA**

---

Escuela de Postgrado Víctor Alzamora Castro

**VARIABILIDAD MILENIAL DE LAS  
POBLACIONES DE PECES INFERIDA A  
PARTIR DE ESCAMAS Y RESTOS  
ÓSEOS EN SEDIMENTOS LAMINADOS  
FRENTE A CHIMBOTE, DESDE LA  
ÚLTIMA DEGLACIACIÓN AL INICIO  
DEL HOLOCENO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGÍSTER EN CIENCIAS DEL MAR**

**FELIX ARTURO CAMPUSANO BALTAZAR**

**LIMA – PERÚ**

**2013**

**JURADO EVALUADOR DE LA TESIS**

**Dr. José Macharé (Presidente)**

**Dr. Jorge Tam Malaga (Vocal)**

**Dr. Pedro Tapia Ormeño (Secretario)**

**ASESOR DE LA TESIS**

**Dr. Dimitri Gutiérrez Aguilar**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Elizabeth y Urbano por su apoyo

*incondicional.*

*A mis hermanos y amigos que siempre*

**están en mi corazón y en mis recuerdos**



## AGRADECIMIENTOS

La realización de esta tesis no hubiera sido posible sin la beca de financiamiento para estudios de posgrado otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) del Ministerio de Educación del Perú en el marco de la Cátedra CONCYTEC en Ciencias del Mar.

Asimismo, la realización de esta investigación fue posible gracias al financiamiento de los proyectos PROSUR, LMI-DISCOH y PALEOTRACES. Estos proyectos cuentan con el financiamiento y el asesoramiento internacional del Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD).

Mi profundo agradecimiento al Dr. Dimitri Gutiérrez, asesor de esta tesis, por su apoyo y guía constantes en el desarrollo de esta investigación. Agradecimiento al Dr. Renato Salvatelli por las sugerencias y revisiones del manuscrito de este trabajo.

Al Dr. Ralph Schneider (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Alemania) jefe del Crucero METEOR M772-2 que hizo posible la colección del material de estudio para llevar a cabo este trabajo de investigación. Al Dr. Philippe Martinez (UMR 5805 EPOC - OASU, Université Bordeaux 1, Talence, Bordeaux, France) por proporcionar las imágenes Scopix del testigo M772-2. A la Dra. Elfi Mollier-Vogel (Proyecto SFB754, Climate-Biogeochemistry Interactions in The Tropical Ocean / CAU Kiel, Alemania) por proporcionar amablemente las edades  $^{14}\text{C}$  del testigo M772-029, y por sus sugerencias y apoyo en este trabajo de investigación. A Robert Marquina (Área de bentos marino, Dirección de Oceanografía, IMARPE, Perú) por el apoyo en la colección del testigo CD0701 (Chimbote). Al Dr. Pedro Tapia y a César López por proporcionar amablemente la información sobre la asociación de diatomeas determinadas en el testigo M772-029.

A los doctores David Field, Jorge Valdés, Abdel Sifeddine, Lub Ortlieb, y al Ing. Federico Velazco por sus sugerencias y apoyo realizados a este trabajo, y por la confianza depositada en mí desde un principio para el inicio del desarrollo de la

línea de investigación en Paleoecología de peces pequeños pelágicos y demersales.

A los investigadores del Laboratorio de Geología Marina del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Ing. Juana Solís y M.Sc. Ernesto Fernández, por su apoyo para el uso de los equipos e instalaciones del laboratorio, pero sobre todo por la amistad brindada y los buenos momentos compartidos.

A todos mis amigos del Laboratorio de Geología Marina, Mónica, Lizbeth, Wilson, Cathy y Maricarmen, y a mis amigos de la maestría en Ciencias del Mar por su apoyo a lo largo de los dos años de estudios y por las contribuciones enriquecedoras dadas a este trabajo.

Mi profundo agradecimiento a mis padres Elizabeth y Urbano, y hermanos por su comprensión y apoyo incondicional a lo largo de mi vida académica y personal.

A todos y a cada uno de ustedes...  
Muchas gracias

## CONTENIDO

|             |                                                                                                             |           |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I.</b>   | <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                                                                    | <b>1</b>  |
| <b>II.</b>  | <b>PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>                                                               | <b>7</b>  |
| 2.1.        | Planteamiento del problema.....                                                                             | 7         |
| 2.2.        | Marco Teórico .....                                                                                         | 8         |
| 2.2.1.      | <i>Respuestas poblacionales y de dinámica espacial de anchoveta y merluza a cambios oceanográficos.....</i> | <i>8</i>  |
| 2.2.2.      | <i>Variabilidad climática océano-atmósfera desde los últimos veinte mil años e impactos regionales.....</i> | <i>12</i> |
| 2.2.2.1.    | <i>Respuesta del Sistema de la Corriente Perú-Chile desde final del Último Máximo Glacial</i>               | <i>13</i> |
| 2.2.2.2.    | <i>Respuesta del Sistema de la Corriente Perú-Chile durante el Holoceno .....</i>                           | <i>15</i> |
| 2.2.3.      | <i>Proxies de poblaciones de peces en el pasado .....</i>                                                   | <i>16</i> |
| 2.2.4.      | Preservación de escamas y restos óseos de peces.....                                                        | 18        |
| 2.2.5.      | Registros de variabilidad de escamas y restos óseos de peces desde el Último Máximo Glacial.....            | 19        |
| 2.2.6.      | <i>Registros de variabilidad de escamas y restos óseos de peces en los últimos siglos.</i>                  | <i>21</i> |
| 2.3.        | Justificación del Estudio .....                                                                             | 21        |
| 2.4.        | Objetivos.....                                                                                              | 22        |
| 2.4.1.      | <i>Objetivo general .....</i>                                                                               | <i>22</i> |
| 2.4.2.      | <i>Objetivos específicos .....</i>                                                                          | <i>23</i> |
| 2.5.        | Hipótesis de Investigación.....                                                                             | 23        |
| <b>III.</b> | <b>METODOLOGÍA.....</b>                                                                                     | <b>25</b> |
| 3.1.        | Definición de las variables de estudio.....                                                                 | 25        |
| 3.2.        | Selección del material de estudio .....                                                                     | 26        |
| 3.3.        | Material de estudio.....                                                                                    | 26        |
| 3.3.1.      | <i>Cronología .....</i>                                                                                     | <i>30</i> |
| 3.3.2.      | <i>Resolución temporal de estudio de los testigos de sedimento .....</i>                                    | <i>31</i> |
| 3.4.        | Método del estudio.....                                                                                     | 33        |
| 3.4.1.      | <i>Descripción de los testigos .....</i>                                                                    | <i>33</i> |
| 3.4.1.1.    | <i>Descripción general .....</i>                                                                            | <i>33</i> |
| 3.4.1.2.    | <i>Determinación y descripción de las Unidades Sedimentarias del testigo M772-029</i>                       | <i>34</i> |
| 3.4.2.      | <i>Modelo de edad.....</i>                                                                                  | <i>35</i> |
| 3.4.3.      | <i>Tasas de acumulación de sedimento .....</i>                                                              | <i>37</i> |

|            |                                                                                                                    |           |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.4.     | <i>Caracterización de las abundancias de escamas y restos óseos de peces.....</i>                                  | 37        |
| 3.4.5.     | <i>Indicadores de preservación de escamas y restos óseos de peces .....</i>                                        | 40        |
| 3.4.5.1.   | <i>Cocientes de escamas:vértebras de peces .....</i>                                                               | 40        |
| 3.4.5.2.   | <i>Índices de Alteración Física de restos de peces .....</i>                                                       | 40        |
| 3.4.6.     | <i>Índices de bioturbación de estructuras sedimentarias.....</i>                                                   | 42        |
| 3.4.7.     | <i>Comparación de las abundancias de restos de peces a escala milenial con la asociación de diatomeas.....</i>     | 44        |
| 3.5.       | <i>Análisis estadístico.....</i>                                                                                   | 45        |
| <b>IV.</b> | <b>RESULTADOS .....</b>                                                                                            | <b>47</b> |
| 4.1.       | <i>Modelo de edad .....</i>                                                                                        | 47        |
| 4.1.1.     | <i>Estimación del modelo de Edad en función de la profundidad del testigo M772-029</i><br><i>47</i>                |           |
| 4.1.2.     | <i>Estimación del modelo de edad en función de la masa acumulada de sedimento del testigo M772-029 .....</i>       | 50        |
| 4.1.3.     | <i>Estimación del modelo de edad del testigo CD0701.....</i>                                                       | 53        |
| 4.2.       | <i>Concentraciones de restos de peces asociados a Unidades Sedimentarias.....</i>                                  | 56        |
| 4.2.1.     | <i>Concentraciones de escamas en el testigo M772-029 .....</i>                                                     | 58        |
| 4.2.2.     | <i>Concentraciones de escamas en el testigo CD0701.....</i>                                                        | 62        |
| 4.2.3.     | <i>Concentraciones de vértebras en el testigo M772-029.....</i>                                                    | 65        |
| 4.2.4.     | <i>Concentraciones de vértebras en el testigo CD0701 .....</i>                                                     | 69        |
| 4.3.       | <i>Indicadores de preservación de escamas y restos óseos de peces asociados a las Unidades Sedimentarias.....</i>  | 72        |
| 4.3.1.     | <i>Cocientes de escamas:vértebras de peces por Unidad Sedimentaria .....</i>                                       | 72        |
| 4.3.1.1.   | <i>Cocientes de escamas:vértebras de peces en el testigo M772-029.....</i>                                         | 72        |
| 4.3.1.2.   | <i>Cocientes de escamas:vértebras de peces en el testigo CD0701 .....</i>                                          | 74        |
| 4.3.2.     | <i>Índices de preservación de escamas de peces por Unidad Sedimentaria.....</i>                                    | 76        |
| 4.3.2.1.   | <i>Índices de preservación de escamas en el testigo M772-029.....</i>                                              | 76        |
| 4.3.2.2.   | <i>Índices de preservación de escamas en el testigo CD0701 .....</i>                                               | 78        |
| 4.3.3.     | <i>Índices de preservación de vértebras y otros restos óseos de peces por Unidad Sedimentaria.....</i>             | 80        |
| 4.3.3.1.   | <i>Índices de preservación de vértebras en el testigo M772-029 .....</i>                                           | 80        |
| 4.3.3.2.   | <i>Índices de preservación de vértebras en el testigo CD0701.....</i>                                              | 82        |
| 4.4.       | <i>Flujos de escamas y restos óseos de peces asociados a períodos climáticos desde la última deglaciación.....</i> | 84        |
| 4.4.1.     | <i>Flujos de escamas asociados a períodos climáticos desde la última deglaciación...86</i>                         |           |
| 4.4.2.     | <i>Flujos de vértebras asociados a períodos climáticos desde la última deglaciación .94</i>                        |           |

|              |                                                                                                                                              |            |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.5.         | Indicadores de preservación de escamas y restos óseos de peces asociados a períodos climáticos desde la última deglaciación .....            | 100        |
| 4.5.1.       | <i>Cocientes de escamas: vértebras de peces asociados a los períodos climáticos .....</i>                                                    | 100        |
| 4.5.2.       | <i>Índices de preservación de escamas de peces asociados a los períodos climáticos</i>                                                       | 102        |
| 4.5.3.       | <i>Índices de preservación de vértebras asociados a los períodos climáticos .....</i>                                                        | 106        |
| 4.5.4.       | <i>Cocientes de escamas de anchoveta a escamas de otras especies en muestras agrupadas</i>                                                   | 109        |
| 4.5.5.       | <i>Indicadores de preservación de escamas y vértebras en muestras agrupadas .....</i>                                                        | 110        |
| 4.6.         | Índices de bioturbación de estructuras sedimentarias .....                                                                                   | 113        |
| <b>V.</b>    | <b>DISCUSIÓN .....</b>                                                                                                                       | <b>119</b> |
| 5.1.         | Problemas y limitaciones de las discontinuidades sedimentarias .....                                                                         | 119        |
| 5.2.         | Cambios en el patrón y en la tasa de sedimentación.....                                                                                      | 120        |
| 5.3.         | Cambios en la preservación y en la abundancia de escamas y restos óseos de peces ..                                                          | 123        |
| 5.4.         | Comparación de los registros <i>proxies</i> de estudio con otros <i>proxies</i> del testigo y con otros registros locales y regionales ..... | 126        |
| <b>VI.</b>   | <b>CONCLUSIONES .....</b>                                                                                                                    | <b>140</b> |
| <b>VII.</b>  | <b>CONSIDERACIONES.....</b>                                                                                                                  | <b>142</b> |
| 7.1.         | Recomendaciones.....                                                                                                                         | 142        |
| 7.2.         | Limitaciones .....                                                                                                                           | 143        |
| <b>VIII.</b> | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                                      | <b>145</b> |
|              | Bibliografía.....                                                                                                                            | 154        |
|              | Referencias de internet .....                                                                                                                | 154        |
| <b>IX.</b>   | <b>ANEXOS .....</b>                                                                                                                          | <b>155</b> |

## Lista de tablas

|                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Modelo significativo de regresión sobre las dataciones ( $^{14}\text{C}$ ) calibradas (Cal. ka BP)....                                                                                                                                                         | 48  |
| Tabla 2. Cálculo del intercepto $A_1$ y pendiente $B_3$ de la segunda ecuación lineal simple $\text{Edad}_2(Z)$ derivada del modelo general estimado de la relación entre de edad $^{14}\text{C}$ calibrada (Cal. ka BP) y profundidad (cm) en el testigo M772-029..... | 49  |
| Tabla 3. Modelo significativo de regresión sobre las dataciones ( $^{14}\text{C}$ ) calibradas (Cal. año BP) en el testigo M772-029. Como factor predictor se incluye a la masa acumulada de sedimento ( $Z_m$ )..                                                      | 51  |
| Tabla 4. Cálculo de las tasas de acumulación de de sedimento ( $W_1$ y $W_2$ ), del intercepto $A_1$ , y la pendiente $B_3$ del segundo modelo lineal simple $\text{Edad}_2(Z_m)$ derivado del modelo general $\text{Edad}(Z_m)$ en el testigo M772-029.....            | 54  |
| Tabla 5. Diferencias de los flujos de escamas de anchoveta, merluza y otras (no identificadas) entre períodos climáticos según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ....                                                                               | 89  |
| Tabla 6. Coeficientes de Correlación ( $r$ ) entre los flujos de escamas de las diferentes especies de peces en los testigos M772-029 y CD0701 compuestos.....                                                                                                          | 90  |
| Tabla 7. Diferencias de los cocientes escamas a ecamas NE/NE entre los períodos climáticos de interés en los testigos M772-029 y CD0701 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.....                                                                 | 92  |
| Tabla 8. Diferencias de los flujos de vértebras entre períodos climáticos de interés en los testigos M772-029 y CD0701 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ....                                                                                 | 97  |
| Tabla 9. Diferencias de los índices IAF de escamas entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.....                                                                                                             | 105 |
| Tabla 10. Diferencias de los índices IAF entre escamas de anchoveta y merluza en los testigo M772-029 y CD0701 de acuerdo a la prueba U de Mann-Whitney.....                                                                                                            | 106 |
| Tabla 11. Diferencias de los índices IAF de vértebras entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.....                                                                                                          | 108 |
| Tabla 12. Síntesis de los cambios mileniales inferidos.....                                                                                                                                                                                                             | 138 |

## Lista de figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. (a) Localización de los testigos largo (M772-029: 09.30° S, 79.62° W, 433 m) y corto (CD0701: 8,77° S, 79,95° W, 445 m); (b) distribución de merluza (Wosnitza-Mendo & Guevara, 2000); (c) extensión de la Zona Mínima de Oxígeno (Fuente: Dr. Ralph Schneider, M77-2). ....                               | 27 |
| Figura 2. Imágenes fotográficas y Scopix del testigo M772-029, señalando la posición (cuadrados color rojo) de las muestras analizadas, la profundidad (cm), los horizontes con dataciones $^{14}\text{C}$ convencionales, y los límites entre las 5 unidades sedimentarias (I, II, III, IV, y V) determinadas. .... | 28 |
| Figura 3. (Izquierda) Fotografía, y (derecha) Radiografía Rx del testigo CD0701.....                                                                                                                                                                                                                                 | 32 |
| Figura 4. Escamas típicas de las especies de peces más comunes frente a las costas de Perú.....                                                                                                                                                                                                                      | 38 |
| Figura 5. Imágenes de restos de peces categorizados por nivel de preservación, determinado mediante observación de presencia de alteración física sobre la superficie del resto de pez.....                                                                                                                          | 41 |
| Figura 6. Modelo o función de edad calculada de la relación entre las variables edad $^{14}\text{C}$ calibrada (cal. ka BP) y la profundidad ( $Z$ , cm) en el testigo M772-029.....                                                                                                                                 | 49 |
| Figura 7. Modelo o función de edad calculada de la relación entre las variables edad $^{14}\text{C}$ calibrada (cal. ka BP) y la masa acumulada de sedimento $Z_m$ ( $\text{g.cm}^{-2}$ ) en el testigo M772-029.....                                                                                                | 52 |
| Figura 8. Modelo de edad (Cal. ka BP) empleado para el testigo M772-029.....                                                                                                                                                                                                                                         | 55 |

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 9. Modelo de edad del testigo CD0701.....                                                                                                                                      | 57  |
| Figura 10. Concentraciones de escamas identificadas por especie en el testigo M772-029-3.....                                                                                         | 60  |
| Figura 11. Concentraciones de escamas de peces identificadas por especie en testigo CD0701...64                                                                                       |     |
| Figura 12. Concentraciones de vértebras de peces versus la profundidad en el testigo M772-029.....                                                                                    | 67  |
| Figura 13. Concentraciones de vértebras de peces en el testigo CD0701.....                                                                                                            | 71  |
| Figura 14. Cocientes de escamas: vértebras de peces (#Escamas/#Vértebras, NE/NV) en el testigo M772-029.....                                                                          | 73  |
| Figura 15. Cocientes de escamas: vértebras (#Escamas/#Vértebras) en el testigo CD0701.....                                                                                            | 75  |
| Figura 16. Índices IAF de escamas de peces por especie versus la profundidad en el testigo M772-029.....                                                                              | 77  |
| Figura 17. Índices IAF de escamas de peces en el testigo CD0701.....                                                                                                                  | 79  |
| Figura 18. Índices IAF de vértebras de peces versus la profundidad en el testigo M772-029.....                                                                                        | 81  |
| Figura 19. Índices IAF de vértebras de peces versus la profundidad en el testigo CD0701.....                                                                                          | 83  |
| Figura 20. Porcentajes de escamas por especie y por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.....                                                                        | 85  |
| Figura 21. Flujos de escamas de peces versus la edad asociados con los períodos climáticos globales en los testigos M772-029 y CD0701.....                                            | 87  |
| Figura 22. Cocientes de escamas: escamas (NE/NE) versus la edad asociados con los períodos climáticos globales en los testigos M772-029 y CD0701.....                                 | 91  |
| Figura 23. Flujos de escamas de peces durante el último siglo (años AD) en el testigo CD0701..93                                                                                      |     |
| Figura 24. Porcentajes de vértebras por especie y por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.....                                                                      | 95  |
| Figura 25. Flujos de vértebras de peces por especie versus la edad asociados con los períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.....                                       | 96  |
| Figura 26. Flujos de vértebras de peces por especie versus la edad (años AD) en el testigo CD0701.....                                                                                | 99  |
| Figura 27. Cocientes de escamas: vértebras, escamas enteras: escamas fragmentadas de peces versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701.....                                      | 101 |
| Figura 28. Índices IAF de escamas de peces versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701.....                                                                                      | 103 |
| Figura 29. Índices de IAF de vértebras de peces versus la edad en los testigos CD0701 y M772-029.....                                                                                 | 107 |
| Figura 30. Cocientes de escamas de anchoveta a escamas de otras especies en muestras agrupadas versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701.....                                  | 110 |
| Figura 31. Indicadores de preservación en muestras agrupadas versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701.....                                                                    | 112 |
| Figura 32. Índice de bioturbación en superficie de las estructuras sedimentarias versus la profundidad (m) (izquierda) y edad (ka BP) (derecha) en el testigo M772-029.....           | 114 |
| Figura 33. Índice de macro y micro-bioturbación en superficie de estructuras sedimentarias versus la profundidad (m) (izquierda) y edad (ka BP) (derecha) en el testigo M772-029..... | 117 |
| Figura 34. Comparación entre los parámetros sedimentológicos y los índices de macrobioturbación y microbioturbación versus la edad (cal. ka BP) en el testigo M772-029.....           | 118 |

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 35. Comparación de la composición isotópica de nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) con el índice de bioturbación (IB) versus la edad (ka BP) en el testigo M772-029.....                       | 127 |
| Figura 36. Flujos e índices de preservación de escamas y vértebras de peces, e índice de bioturbación (IB, %) versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701. ....                                  | 129 |
| Figura 37. Comparación de los flujos e Índices IAF de vértebras, huesos, espinas y óseos totales de peces, y el índice de bioturbación (IB, %) versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701. .... | 130 |
| Figura 38. Comparación de los flujos e índices IAF de escamas con los proxies geoquímicos versus la edad (ka BP) en el testigo M772-029 y CD0701.....                                                 | 134 |

## Lista de anexos

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo 1. Una vista simplificada latitudinal de los cambios pasados en la productividad (basado en cocientes de $\text{CaCO}_3$ para núcleos frente a Chile, y las tasas de acumulación de $\text{CaCO}_3$ para Perú), y desnitrificación en la columna de agua (inferido de registros de $\delta^{15}\text{N}$ ) en el Sistema de Corriente Perú-Chile para el período entre 30 ka BP y el presente..... | 155 |
| Anexo 2. Dataciones convencionales del el testigo M772-029.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 156 |
| Anexo 3. Dataciones calibradas empleadas para el desarrollo del modelo de edad del el testigo M772-029.....                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 157 |
| Anexo 4. Submuestreo del testigo M772-029.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 158 |
| Anexo 5. Relaciones entre las dataciones $^{14}\text{C}$ calibradas (cal. ka BP) y la profundidad (izquierda), y entre las dataciones $^{14}\text{C}$ calibradas y la masa acumulada del sedimento ( $Z_m$ ) (derecha) en el testigo M772-029.....                                                                                                                                                       | 159 |
| Anexo 6. Representación de la secuencia del tratamiento de las muestras de sedimentos. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 160 |
| Anexo 7. Diagramas esquemáticos de la clasificación semicuantitativa para la determinación de los índices de bioturbación.....                                                                                                                                                                                                                                                                           | 161 |
| Anexo 8. Imágenes, y diagramas esquemáticos como ejemplo representativo del método de cuantificación de la bioturbación sobre las estructuras sedimentarias del testigo M772-029.....                                                                                                                                                                                                                    | 162 |
| Anexo 9. Imágenes, y diagramas esquemáticos como ejemplo representativo del método de cuantificación de la macro-bioturbación sobre las estructuras sedimentarias del testigo M772-029.....                                                                                                                                                                                                              | 163 |
| Anexo 10. Descripción de los testigos.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 164 |
| Anexo 11. Características Sedimentológicas.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 172 |
| Anexo 12. Bioestratigrafía de diatomeas.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 179 |
| Anexo 13. Porcentajes (izquierda) y números (derecha) de escamas de peces identificadas por especie en el testigo M772-029.....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 181 |
| Anexo 14. Porcentajes de escamas por Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 182 |
| Anexo 15. Porcentajes (izquierda) y números (derecha) de escamas de peces identificadas por especie en el testigo completo CD0701. ....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 183 |
| Anexo 16. Porcentajes de escamas de peces identificadas por especie por Unidades Sedimentarias en testigo CD0701.....                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 184 |
| Anexo 17. Promedios y desviaciones estándares de las escamas de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029.....                                                                                                                                                                                                                                                                             | 185 |
| Anexo 18. Diferencias de las concentraciones de escamas entre las Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ....                                                                                                                                                                                                                         | 186 |



|                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo 19. Diferencias de las concentraciones de escamas entre las Zonas Bioestratigráficas de diatomeas en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ..                               | 186 |
| Anexo 20. Promedios y desviaciones estándares de las concentraciones de escamas de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701. ....                                                                              | 187 |
| Anexo 21. Diferencias de las concentraciones de escamas entre las Unidades sedimentarias en el testigo CD0701 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ....                                              | 187 |
| Anexo 22. Porcentajes (izquierda) y abundancias (derecha) de vértebras de peces por especies en el testigo completo M7720-029. ....                                                                                         | 188 |
| Anexo 23. Porcentajes de vértebras de peces por especie en cada Unidad Sedimentaria del testigo M772-029. ....                                                                                                              | 189 |
| Anexo 24. Promedio y desviación estándar de las concentraciones de vértebras, huesos y espinas por Unidades Sedimentarias del testigo M772-029. ....                                                                        | 190 |
| Anexo 25. Diferencias de las concentraciones de vértebras entre las Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ....                                          | 190 |
| Anexo 26. Diferencias de las concentraciones de vértebras entre las Zonas Bioestratigráficas de diatomeas en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ..                             | 191 |
| Anexo 27. Porcentajes (izquierda) y números (derecha) de vértebras de peces por especie en el testigo completo CD0701. ....                                                                                                 | 191 |
| Anexo 28. Porcentajes y números de vértebras de peces por Unidad Sedimentaria (I, II, y III) del testigo CD0701. ....                                                                                                       | 192 |
| Anexo 29. Diferencias de las concentraciones de vértebras entre las Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ....                                            | 193 |
| Anexo 30. Promedios y desviaciones estándares de las concentraciones de restos de peces por Unidades Sedimentarias (I, II, III) en el testigo CD0701. ....                                                                  | 194 |
| Anexo 31. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación de los cocientes escamas de peces a vértebras de peces (NE/NV) por Unidades Sedimentarias en el Testigo M772-029. ....                             | 195 |
| Anexo 32. Diferencias de los cocientes escamas: vértebras (NE/NV) entre las Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ....                                  | 195 |
| Anexo 33. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación de los cocientes de escamas: vértebras (NE/NV) por Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701. ....                                               | 196 |
| Anexo 34. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación (Cv) de los índices IAF de escamas de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029. ....                                                | 197 |
| Anexo 35. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación (Cv) de los índices IAF de escamas de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701. ....                                                  | 198 |
| Anexo 36. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación (Cv) de los índices IAF de vértebras de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029. ....                                              | 199 |
| Anexo 37. Diferencias de los índices IAF de escamas totales y vértebras de peces entre las Unidades Bioestratigráficas de diatomeas en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. .... | 200 |
| Anexo 38. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación de los índices IAF de vértebras de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701. ....                                                     | 201 |
| Anexo 39. Promedios y desviaciones estándar de los flujos de escamas por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701. ....                                                                                        | 202 |
| Anexo 40. Promedios y desviaciones estándar de los flujos de vértebras, huesos y espinas de peces por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701. ....                                                           | 203 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Anexo 41. Diferencias de los cocientes de escamas: vértebras de peces (NE/NV) entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. ....</i>                                                                       | <i>204</i> |
| <i>Anexo 42. Diferencias de los cocientes de escamas enteras: escamas fragmentadas (NE<sub>e</sub>/NE<sub>f</sub>) entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.....</i>                                      | <i>204</i> |
| <i>Anexo 43. Promedios, desviaciones estándares y coeficiente de variación de los índices IAF de escamas por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.....</i>                                                                                          | <i>205</i> |
| <i>Anexo 44. Promedios y desviaciones estándar de los Índices IAF de escamas de peces por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.....</i>                                                                                                             | <i>206</i> |
| <i>Anexo 45. Promedios y desviaciones estándar de los Índices IAF de vértebras, huesos y espinas de peces por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701. ....</i>                                                                                        | <i>207</i> |
| <i>Anexo 46. Promedios, desviaciones estándares y coeficiente de variación de los índices IAF de vértebras de peces por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701. Los períodos climáticos (LC, EH, YD, BA, OD y ELD) son como en la Figura 20. ....</i> | <i>208</i> |
| <i>Anexo 47. Diferencias de los cocientes NE/NE en muestras agrupadas entre los períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.....</i>                                                                                                                       | <i>209</i> |
| <i>Anexo 48. Diferencias de los Indicadores de Preservación (IP) en muestras agrupadas entre los períodos climáticos en los testigos M772-029 &amp; CD0701.....</i>                                                                                                  | <i>209</i> |
| <i>Anexo 49. Horizontes donde los sedimentos presentaron macro-bioturbación (MB) a lo largo del testigo M772-029.....</i>                                                                                                                                            | <i>210</i> |
| <i>Anexo 50. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre el índice de bioturbación y los diferentes proxies en los testigos M772-029 y CD0701 compuestos.....</i>                                                                                                | <i>212</i> |
| <i>Anexo 51. Diferencia de los Índices de bioturbación en las estructuras sedimentarias entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.....</i>                                                                 | <i>213</i> |
| <i>Anexo 52. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros sedimentológicos y del índice de bioturbación por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.....</i>                                                                                    | <i>213</i> |

## RESUMEN

Se infiere la variabilidad milenial de las abundancias locales de anchoveta (*Engraulis ringens*), merluza (*Merluccius gayi peruanus*) y otras especies de peces frente a Chimbote, a partir de los flujos de escamas y restos óseos a los sedimentos marinos desde la última deglaciación al inicio del Holoceno. Se usaron dos testigos de sedimentos laminados colectados en el talud continental superior frente a Chimbote ( $\sim 09^{\circ}30'S$ ), una localidad que se encuentra actualmente en el núcleo de la principal población de la anchoveta peruana y en el borde sur de la distribución poblacional de la merluza. Los flujos de escamas y restos óseos de peces, considerados *proxies* de la abundancia de ambas especies, fueron comparados con un índice de bioturbación (IB) y la asociación de diatomeas (AD), como *proxies* de oxigenación subsuperficial y de la intensidad de las surgencias, respectivamente. Durante 18-14.6 ka BP y 11.5-10.3 ka BP se expresó una relación directa entre la intensidad de las surgencias costeras y la abundancia de peces, especialmente anchoveta. Mientras que entre 14.6-12.7 ka BP la relación entre la intensidad de las surgencias y la abundancia de peces tendió a ser negativa. Además durante los 15.7-14.6 ka BP y 12.7-11.5, asociados a los períodos climáticos *Oldest Dryas* y *Younger Dryas*, respectivamente, se detectó un aumento relativo de la merluza respecto a la anchoveta, asociado al aumento de la oxigenación subsuperficial. Por lo tanto, se propone que a escala milenial la intensidad de las surgencias costeras es un factor de primer orden no lineal en relación a ambas especies, mientras que la oxigenación subsuperficial es un factor de segundo orden, para la merluza, favoreciendo la expansión de su población de norte a sur.

## ABSTRACT

The millennial variability of fish local abundances off Chimbote, northern Peru, was reconstructed from fish debris fluxes to marine sediments, since the last deglaciation to the Holocene onset. For this goal, we studied two sediment cores of fish scales and bones, which were retrieved from the upper continental slope at  $\sim 09^{\circ}30'S$ , an area which is currently in the nucleus of the Peruvian Anchovy (*Engraulis ringens*) distribution and at the southern tip of the Hake (*Merluccius gayi peruanus*) distribution. A bioturbation index (BI) and diatom assemblages (DA) were used as *proxies* of paleo-oxygenation in bottom waters and upwelling intensity, respectively. During 18-14.6 ka BP and 11.5-10.3, ka BP there is a direct link between upwelling intensity and fish abundances, especially Anchovy scales. By contrast, during 14.6-12.7 ka BP the relation between upwelling intensity and fish abundances tended to be negative. Moreover, during 15.7-14.6 ka BP and 12.7-11.5 ka BP, associated with the climatic periods late Oldest Dryas and Younger Dryas, respectively, it was detected a relative increase of Hake over anchovy, coupled with subsurface oxygenation. In conclusion our results support the view that, at millennial time scales, the upwelling intensity is a first order, non lineal factor over both species, whereas subsurface oxygenation is a second-order factor for Hake, inciting its expansion from north to south.

**Palabras claves:** *Merluccius gayi peruanus*, *Engraulis ringens*, escamas, vértebras, Zona Mínima de Oxígeno, sedimentos laminados, Chimbote, Perú, última deglaciación, Holoceno.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El clima global interactúa directamente con las condiciones biológicas, físicas y químicas en los océanos tropicales, los cuales son altamente sensibles a los cambios de los forzantes atmosféricos globales y/o locales (Doi et al., 2010; Masina et al., 2011; Lin et al., 2011). La productividad biológica, los ciclos biogeoquímicos, y los procesos físicos entre otros se retroalimentan en los ecosistemas pelágicos asociados a sistemas de surgencias costeras (Vichi et al., 2005, 2007; Helly & Levin, 2004). Los sistemas de surgencias costeras de borde oriental se caracterizan por presentar una alta productividad biológica, los cuales son sensibles a la variabilidad ambiental causada en respuesta a los cambios globales y/o regionales del clima (Boyce et al., 2010).

Los sistemas de Surgencia de borde oriental (EBUS, siglas en inglés), es decir los sistemas de Perú, California, Benguela y Canaria son los ecosistemas marinos más productivos en el mundo (Rykaczewski & Checkley, 2007; Lachkar & Gruber, 2012). Estos EBUS son reconocidos por soportar y contribuir más del 20 % de las principales pesquerías en el mundo (Pauly and Christensen, 1995; Bakun, 1990, 1996; Carr, 2001; Carr and Kearns, 2003; Rykaczewski & Checkley, 2007; Alheit & Bakun, 2010). Sin embargo, cada EBUS muestra diferencias sustanciales en la productividad biológica por causas no muy bien entendidas (Carr, 2002; Lachkar & Gruber, 2012). Por ello, entender la respuesta individual de los EBUS a la variabilidad ambiental es esencial para entender el funcionamiento de estos ecosistemas (Rykaczewski & Checkley, 2007).

Entre los cuatro principales EBUS, el Sistema de la Corriente Perú-Chile (SCPC) sostiene la más grande pesquería (referencias en Brochier et al., 2013),

dominado por pequeños peces pelágicos, principalmente la anchoveta peruana (Alheit & Ñiquen, 2004), y especies demersales entre las cuales la merluza es la más abundante (Wosnitza-Mendo et al., 2009). El SCPC está caracterizada por aguas frías producto de las surgencias costeras que provee de nutrientes al fitoplancton, incrementando la productividad biológica (Chavez et al., 2008). Resultado de la alta productividad, el SCPC produce más peces por unidad de área que otras regiones en los océanos del mundo, representando menos del 0.1 % de la superficie del océano mundial, pero produce alrededor del 10% de la pesquería mundial (Chavez et al., 2008). En adición, como un resultado del hundimiento y descomposición de la productividad primaria derivada de la superficie, y una ventilación pobre, las aguas oxigenadas superficiales suprayacen una zona mínima de oxígeno (ZMO) intensa y somera, que actúa como una barrera para la migración vertical de los organismos (Bertrand et al., 2010).

Las condiciones oceanográficas del Sistema de la Corriente Perú-Chile, influyen en la abundancia y distribución de las poblaciones de peces pelágicos (Alheit & Bakun, 2010; Bakun, 2009; Bertrand et al., 2004a, 2008; Swartzman et al., 2008) y demersales (Guevara-Carrasco & Leonart, 2008; Ballón et al., 2008). Las condiciones que regulan la abundancia y distribución de las poblaciones de la merluza y anchoveta comprenden diferentes regímenes de temperatura, oxígeno disuelto (OD), y productividad primaria. Sin embargo, varios autores indican la existencia de una interacción ecológica entre la merluza y la anchoveta, sugiriendo un efecto de las abundancias de peces pelágicos sobre el reclutamiento de las merluzas (referencias en Wosnitza-Mendo et al., 2009).

Entre las principales especies de peces demersales, la merluza es la más abundante e importante para la pesquería de arrastre de fondo. La merluza considerada una especie demersal con comportamiento semi pelágico, se encuentra distribuida entre los  $\sim 01^{\circ}$  N y  $\sim 14^{\circ}$  S; con mayores concentraciones entre los  $3^{\circ}$  y  $9^{\circ}$  S, y puede ser encontrada desde cerca de la superficie hasta los 800 m (Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008). El hábitat de dicha especie está relacionada a la denominada “Extensión sur de la Corriente de Cromwell”, caracterizada por un nivel alto de oxígeno relativo a la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) (Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008; Ballón et al., 2008; Lloris et al., 2005; Wosnitza-Mendo & Guevara-Carrasco, 2000). Los juveniles se distribuyen más al sur que los adultos, y los juveniles tienden a ser más pelágicos que los adultos (Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008). Se indican, que en condiciones regulares el recurso se distribuye a temperaturas de fondo que fluctúan entre  $10^{\circ}$  y  $16^{\circ}$  C; y a niveles de oxígeno disuelto entre 0.25 y  $1.25 \text{ mL L}^{-1}$  (Espino et al., 1985; Chirichigno, 2001; Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008).

Por otro lado, la anchoveta es una especie pelágica que está ampliamente distribuida a lo largo de la costa de Sudamérica (entre  $4^{\circ} 30' \text{ S}$  hasta los  $42^{\circ} 30' \text{ S}$ ), desde la costa hasta los 200 km (con núcleos de mayor densidad a  $\sim 100$  mn frente a Chicama, a 60 mn frente a Huarmey, entre 20 y 40 mn entre Chanchay y Callao, y entre 5-30 mn frente a Pisco-San Juan [IMARPE, 2013]), caracterizada en dos stocks: Stock Norte-Centro frente a Perú que produce la más alta tasa de la pesca mundial (desde el límite norte hasta los  $15^{\circ}$  S, Serra et al., 2012), y stock sur Perú - norte Chile ( $16^{\circ}$ – $24^{\circ}$  S, Schwartzlose et al., 1999; Barange et al., 2010); concentrándose los mayores volúmenes entre los  $6^{\circ}$  S –  $9^{\circ}$  S (Pauly & Tsukayama,

1987; Alheit & Ñiquen, 2004). La anchoveta está asociada con las aguas costeras frías altamente productivas resultantes de las surgencias, con temperaturas superficiales de 14 - 22 °C, salinidades de 34.9 - 35.1 UPS. La especie se concentra entre los 10 a 20 m de profundidad, aunque puede alcanzar los 80 m (Pauly & Tsukayama, 1987; Ñiquen et al., 2000; Chavez et al., 2003; Bertrand et al., 2004; Ñiquen and Bouchon, 2004; Alheit & Ñiquen, 2004; Pizarro & Montecinos, 2004; Cubillos et al., 2007; Swartzman et al., 2008; Cahin et al., 2009; Alheit and Bakun, 2010). Uno de los factores limitantes en su distribución vertical es la disponibilidad de oxígeno disuelto. Las concentraciones de oxígeno del hábitat generalmente alcanzan alrededor de los 5 mL L<sup>-1</sup>; la capa con mayores niveles de oxígeno entre 1-7 mL L<sup>-1</sup> está confinada al nivel superior de 20 a 40 m (Checkley et al., 2009; Swartzman et al., 2008; Gutiérrez M. el al, 2007; Bertrand A. et al., 2008, 2004a). Sin embargo, la anchoveta parece tolerar la oxiclina somera (Bertrand et al., 2008, 2010).

Bertrand et al. (2011) muestran que la anchoveta tiene una mayor tolerancia a condiciones de oxígeno con niveles relativamente bajos, mientras que la sardina evita períodos y áreas con concentraciones bajas de oxígeno.

Las condiciones de oxigenación explican por qué el hábitat de la sardina se mueve más lejos de la costa donde la retención de huevos y larvas es menos eficiente y la cantidad de alimento decae reduciendo la sobrevivencia y el éxito de alimentación larval (Bertand et al., 2011). Un hábitat con bajo oxígeno cerca de la costa es favorable para la anchoveta, permitiéndole acceder a grandes concentraciones de macro-zooplankton (Ballón et al., 2011).



La historia de la variabilidad de las abundancias en las poblaciones de peces frente a Perú se ha inferido en gran medida en base a datos de desembarques desde los años 1960s (anchoveta) y 1970s (merluza), evidenciando variabilidad de escala decadal tanto para la merluza (Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008; Ballón et al., 2008, Wosnitza-Mendo et al., 2009); como para la anchoveta (Csirke et al., 1996; Schwartzlose et al., 1999; Chávez et al., 2003; Barange et al., 2009; Alheit et al., 2009). Los datos históricos de la pesquería al estar limitada a las últimas cinco décadas, nos imposibilitan deducir otros modos de variabilidad de mayor escala temporal. Además, nos impide determinar si las fluctuaciones de ambas especies están correlacionadas entre sí y en qué signo en el pasado.

En el Pacífico Sur Oriental se ha evidenciado que la paleo-productividad biológica ha variado durante los últimos veinte mil años (Hebbeln et al., 2002; Kim et al., 2002; Fontugne et al., 2004; Romero et al., 2006; Mohtadi et al., 2008; Montecino & Lange, 2009; Carré et al., 2011). La reconstrucción de los cambios en la productividad biológica en el pasado es un componente principal para entender la respuesta del ecosistema a los cambios climáticos. Por ello, en estudios recientes la paleo-productividad ha sido inferida a partir de *proxies* geoquímicos (Rein et al., 2005; Salvattecí 2013) y restos biológicos (Salvattecí, 2013) en los sedimentos frente a Perú. Por ejemplo, Rein et al. (2005) indican a partir del estudio de concentraciones de pigmentos fotosintéticos (clorinas y carotenoides) un aumento de la productividad primaria desde el Último Máximo Glacial (LGM, 24 – 19 ka BP) frente a las costas de Perú. Salvattecí (2013) encontró que la productividad frente a Pisco aumentó relativamente desde el inicio de la última deglaciación (18 ka BP). Sin embargo, estos registros son aún

muy escasos para una mayor aproximación de las condiciones de la productividad biológica en esos períodos en un contexto geográfico regional. Cabe indicar que la zona de Pisco se encuentra fuera del área principal de distribución de la merluza y en el límite sur de la distribución del stock norte-centro de la anchoveta. En cambio, en este estudio vamos usar testigos frente a Chimbote ( $\sim 9^{\circ}\text{S}$ ) en donde los cambios de las abundancias de las escamas de merluza y anchoveta son más representativos de los cambios en las abundancias de ambas especies.

Por lo tanto, es necesario desarrollar más registros en diferentes localidades de la zona de surgencia costera frente a Perú, no solamente para entender el funcionamiento de estos ecosistemas, sino también para conocer la respuesta del sistema de afloramiento a los cambios globales y/o regionales del clima, y así prever una evaluación más precisa y un mejor manejo de los recursos hidrobiológicos.

## II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Planteamiento del problema

Los estudios en la reconstrucción de las poblaciones de peces a partir de registros sedimentarios muestran variabilidad a mayor escala temporal que los datos históricos basados en las pesquerías (Gutiérrez et al., 2009; Díaz-Ochoa et al., 2009; Salvattecí, 2008; Valdés et al., 2008; Salvattecí et al., 2006; Gutiérrez et al., 2006; DeVries & Pearcy, 1982), alcanzando escalas de cientos de años (Gutiérrez et al., 2009; Díaz-Ochoa et al., 2009; Gutiérrez et al., 2005) y de miles de años (DeVries & Pearcy, 1982; Salvattecí, 2013). En estos registros, se puede inferir una variabilidad paralela entre las abundancias de merluza y anchoveta (Díaz-Ochoa et al., 2009; Gutiérrez et al., com.pers.; DeVries & Pearcy, 1982), y una relación negativa entre la productividad y las condiciones de oxigenación (Gutiérrez et al., 2009).

La variabilidad paralela de las poblaciones de merluza y anchoveta a escalas de tiempo de cientos y miles de años en el pasado es difícil de explicar dada las preferencias de nichos de ambas especies indicadas más arriba. Sin embargo, podría deberse a: (1) Condiciones que presenten a la vez una mayor productividad primaria (asociada con la intensidad de la surgencia) y una mayor oxigenación de la capa subsuperficial, propiciando la expansión de la merluza hacia el sur o (2) condiciones predominantes que presenten una alta productividad primaria con baja oxigenación de la capa subsuperficial, propiciando una separación de los hábitats de ambas especies, que serían favorecidas de todos modos por la mayor productividad de base del sistema.

Po lo tanto, para expresar estas incógnitas, planteamos la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo las condiciones de la intensidad de las surgencias y de la oxigenación de la capa subsuperficial modulan los cambios en las abundancias de la merluza y anchoveta frente a Chimbote, a escalas mileniales, durante los últimos ~18 mil años?

## 2.2. Marco Teórico

### 2.2.1. *Respuestas poblacionales y de dinámica espacial de anchoveta y merluza a cambios oceanográficos.*

El ecosistema de afloramiento costero peruano es uno de los sistemas de borde oriental más productivos y sostiene una de las pesquerías más grandes a nivel global. Estos sistemas son usualmente caracterizados por grandes poblaciones de pequeños pelágicos, como la anchoveta y sardina (Brochier et al., 2010), y especies demersales como la merluza (Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008; Ballón et al., 2008). Estas especies ejercen un control principal en las dinámicas tróficas de los ecosistemas marinos (Cury et al., 2000).

Los reclutamientos de la anchoveta sufren grandes fluctuaciones interanuales, debido a las fluctuaciones ambientales, pero también a causa de la presión de los depredadores y la presión de la pesca (Fréon et al., 2005). En particular, las condiciones ambientales que prevalecen durante el desove influyen grandemente la sobrevivencia de huevos y larvas (Brochier et al., 2009). Dichos autores indican que la mayoría de la mortalidad pre-reclutamiento

ocurre durante las etapas tempranas de vida. La localización y el tiempo de desove, en particular, son cruciales para el reclutamiento exitoso (Bakun, 1996; Cury & Roy, 1989) y son importantes para el mantenimiento de la estructura poblacional en general (Nielsen et al., 2005).

Es claro que la variabilidad climática a escalas de tiempo anual e interdecadal influye en las dinámicas poblacionales de los stocks de peces explotados (Bakun, 2009). La costa peruana es afectada fuertemente por El Niño que altera el ambiente físico-químico (por ejemplo la intensidad de las surgencias, la temperatura, la salinidad, el oxígeno, la estratificación vertical) y las condiciones biológicas (la distribución, composición y abundancia de especies) frente a Perú (Arntz & Fahrbach, 1991; Wolff et al., 2003). Bertrand et al. (2004) cuestionaron la tradicional visión que El Niño es malo para la anchoveta y bueno para la sardina. Durante El Niño 1997-98, la anchoveta fue capaz de explotar un nicho temporal y espacial de escala pequeña en las condiciones generales desfavorables (constituido por el refugio en zonas muy costeras). Además las sardinas no actuaron mejor que la anchoveta durante este El Niño y no fueron capaces de tomar ventaja del nicho abierto por este evento de corto período (Bertrand et al., 2004).

Las fluctuaciones en la pesquería basadas en observaciones desde mediados del siglo XX han sugerido cambios interdecadales en las poblaciones de anchoveta y de sardina (Chávez et al., 2003). Luego de una dominancia de la anchoveta en las capturas hasta mediados de la década de 1970, sucedió un período de co-dominancia de la sardina y la anchoveta hasta 1992, para después ocurrir un nuevo período caracterizado por la recuperación poblacional de la

anchoveta y la disminución en la población de sardinas. A partir de 1999 la composición de las capturas muestra niveles de sardina dramáticamente bajos (*“era de full anchoveta”*; Gutiérrez M. et al., 2007). Según Chávez et al. (2003), estas variaciones interdecadales están asociadas con la Oscilación Decadal del Pacífico (Chávez et al., 2003), el cual es un patrón de la variabilidad climática del pacífico que cambia de fase en escala de tiempo decadal, usualmente alrededor de 20 a 30 años (Mantua 1997, 2002). Además, dichas variaciones interdecadales, con mecanismos aún no muy claros se asocian a los cambios en la distribución de masas de agua (Schwartzman et al., 2008), o de oxigenación (Bertrand et al., 2008). Sin embargo, registros sedimentarios estudiados frente a Perú y al norte de Chile no muestran un patrón interdecadal de la sardina, cuestionando la relación con el PDO (Gutiérrez et al., 2009; Valdés et al., 2008).

Las poblaciones de juveniles y adultos de merluza exhiben una segregación latitudinal en su distribución frente a la costa peruana (Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008). Los juveniles de merluza se desarrollan tradicionalmente en latitudes al sur del puerto de Paita (5° S), donde la alta producción de plancton (principalmente eufaúsidos) provee abundante alimento; mientras que los adultos son tradicionalmente encontrados en frente y norte del Puerto de Paita donde hay una alta diversidad de especies como alimento (principalmente peces) (Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008). Según Guevara Carrasco & Lleonart (2008) sostienen que el EN 1991-1993 marco el inicio de cambios en los hábitats de la merluza, desapareciendo las merluzas adultas de tamaño grande de las áreas tradicionales de pesca, y la invasión de estas áreas por juveniles de tamaño pequeño, tradicionalmente distribuidas en áreas del sur. La

relativa separación espacial de juveniles y adultos sirve para disminuir el canibalismo característico de esta especie, y también determina el patrón de distribución conocido de tallas por latitud. Sin embargo, este patrón es dinámico, debido que esta zona es un borde ecológico, donde presenta una alta variabilidad oceanográfica estacional e interanual, con las principales manifestaciones marcadas del evento El Niño y La Niña (Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008).

El impacto del evento El Niño (EN) sobre la merluza se encuentra en debate. Convencionalmente se ha sostenido que EN beneficia a la recuperación de las poblaciones (Espino, 1990). Sin embargo, algunas investigaciones recientes plantean que EN perjudicaría a la población, afectando la disponibilidad de pequeños *Sciaenida* (bereche) como presa durante EN, para las merluzas de tamaño medio (Wosnitza-Mendo et al., 2004). Ballón et al. (2008) indican que la distribución de la merluza está restringida por la presencia de la ZMO. Durante El Niño, la concentración de oxígeno se incrementa cerca al fondo (Gutiérrez et al., 2008), expandiendo el rango de distribución de la merluza (Ballón et al., 2008), lo que favorece la ampliación de la distribución de los huevos y larvas (Sandoval de Castillo et al., 1989), así como juveniles y adultos (Samamé et al., 1985). Sin embargo, Ballón et al. (2008) indican que EN tuvo un fuerte efecto negativo en la biología (condiciones somáticas y reproductivas deprimidas) de la merluza. La afectación de la condición somática que a su vez está relacionada con la reducción de la fecundidad, podría ser debido a que la alimentación de la merluza sería afectada por la escasez de alimento durante los eventos EN.

### 2.2.2. Variabilidad climática océano-atmósfera desde los últimos veinte mil años e impactos regionales

En estudios paleoclimáticos, un “*proxy*” indicador del clima es un registro local, que es interpretado usando principios físicos o biofísicos para representar alguna combinación de las variaciones relacionadas al clima hacia atrás en el tiempo (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 2003). Los *proxies* paleoclimáticos tienen el potencial de proveer la evidencia de cambios climáticos de gran escala previa a la existencia de los registros históricos documentales o instrumentales (Bradley, 1999). Para la reconstrucción del clima se usa una variedad de *proxies* provenientes de corales, sedimentos marinos, glaciares, lagos, entre otros. Estos *proxies* son de tipo microfósil, mineralógico, geoquímico orgánico, isotópico, etc. La utilización combinada y comparativa de múltiples *proxies* y registros han permitido inferir las condiciones paleo-climáticas y paleo-oceanográficas de los últimos 20 mil años a nivel global en el Pacífico oriental en particular.

Las condiciones climáticas desde los últimos 20 mil años han variado asociadas a los cambios en la posición latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (Peterson et al., 2000; Wang Y. et al., 2001; Wang X. et al., 2004; Koutavas and Lynch-Stieglitz, 2004; Placzek et al., 2006; Tierney & Russell, 2007; Brown et al., 2007; Montecino & Lange, 2009). Registros paleo-climáticos continentales y marinos de elementos geoquímicos, reflectancia del color, ópalo, entre otros, evidencian un desplazamiento hacia el sur de la ZCIT durante el evento Henrich 1 (HE1, ~16.8 ka BP) y el evento Younger Dryas (YD, ~12.8 - 11.5 ka BP) tanto en África (Tierney & Russell, 2007; Brown et al., 2007), Asia



(Wang Y. et al., 2001), como en América del Sur (Peterson et al., 2000, Wang X. et al., 2004; Koutavas and Lynch-Stieglitz, 2004; Placzek et al., 2006). Es de esperar que el desplazamiento de la ZCIT en el Pacífico influya en la actividad ENSO, ya que la posición de la ZCIT está asociada con la “lengua fría” del Pacífico Oriental, la que a su vez alimenta la circulación de Walker. A continuación presentaremos una revisión de diversos estudios principalmente basados en registros sedimentarios marinos a partir desde el final (~19-20 ka BP) del LGM.

#### 2.2.2.1. Respuesta del Sistema de la Corriente Perú-Chile desde final del Último Máximo Glacial

La composición isotópica del nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) sedimentario ha sido ampliamente usada como un instrumento para reconstruir las variaciones pasadas de la desnitrificación en la columna de agua a escalas de tiempo de cientos a millones de años (Altabet, 2006). Los resultados de varios testigos datados por el método de  $^{14}\text{C}$ , de las regiones de surgencia de Perú y Chile revelan similitudes marcadas entre áreas geográficas con valores bajos de  $\delta^{15}\text{N}$  sedimentario en el Glacial, entre ~30-19 ka BP, seguido por un abrupto incremento aprox. a ~17 ka BP (5‰ aumenta frente a Perú y Chile; 3.5‰ aumenta frente a la costa central y sur de Chile) (Higginson & Altabet, 2004; De Pol- Holz et al., 2006; Robinson et al., 2007; Mohtadi et al., 2008).

Por otro lado, Chazen et al. (2007) también usaron isótopos de nitrógeno y análisis de alquenonas para desarrollar un registro de temperatura superficial del mar (TSM), productividad, y desnitrificación desde el LGM al Holoceno tardío. Estos autores indican que ocurrió un calentamiento cerca a ~17 ka BP, seguido de

un incremento en la desnitrificación, el cual estuvo desacoplado de la productividad local. Asimismo, Rein et al. (2005) también evidencian cambios cerca a esta edad de ~17 ka BP; en un estudio de las condiciones sedimentológicas y oceanográficas frente a las costas de Perú durante el período deglacial. Estos cambios importantes ocurrieron entre los 18 y 16 ka BP cuando la tasa de sedimentación, concentraciones líticas, y los pigmentos incrementaron fuertemente (Rein et al., 2005). En un estudio reciente, Salvattecí (2013) sostiene que durante el LGM la ZMO estaba débil y la producción exportada muy baja. Luego, la intensidad de la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) habría aumentado abruptamente ca. ~17 ka BP (Montecinos & Lange, 2009; Mohtadi et al., 2008) (**Anexo 1**), unos ~1000-2000 años después del LGM (Mohtadi & Hebbeln, 2004).

Rein et al. (2005) indican que durante el período de 15-13.8 ka BP la TSM varió en un rango de ~1° C. La temperatura disminuyó, desde su máxima temperatura en 15 ka BP al *Younger Dryas* (YD, 12.9 a 11.8 ka BP), presentando varias fluctuaciones grandes durante el complejo *Bølling-Allerød*. Durante el *Younger Dryas* la superficie del mar se enfrió rápidamente, aunque se mantuvo a temperaturas 1.5°-2° C más cálida que las temperaturas mínimas del LGM (Rein et al., 2005). Así mismo, estos autores indican que al inicio del período del YD la productividad primaria aumentó en paralelo con la disminución abrupta de la TSM (Rein et al., 2005). Sin embargo, DeVries & Pearcy (1982) observaron la presencia de una asociación de restos de peces y diatomeas de aguas cálidas en los sedimentos depositados durante el YD en la costa central frente a Perú, presentes tan al sur como a los 11°15'S alrededor de los 11500 años BP. Por lo cual,

probablemente al menos durante parte del YD, la intensidad de la surgencia estaba debilitada o la franja de surgencia se encontraba replegada hacia el sur.

#### 2.2.2.2. Respuesta del Sistema de la Corriente Perú-Chile durante el Holoceno

Holoceno temprano (11.5 – 8.6 ka BP). La TSM empezó a aumentar al final del YD con fluctuaciones grandes hasta los 10.3 ka (Rein et al., 2005). Rein et al. (2005) indicaron que entre 10.3 y 8.9 ka BP la variabilidad de la TSM frente a la costa de Perú fue reducida, alcanzando valores cerca de 2° C más cálidos que hoy en día, y que durante la mayor parte del Holoceno. Además, Chazen et al. (2007) indicaron que las temperaturas cálidas persistieron a través del Holoceno temprano en lo que puede ser descrito como un estado permanente de ‘tipo El Niño’.

Holoceno Medio (8.6 – 6 ka BP). Durante el Holoceno medio varios proxies muestran claramente una disminución en la TSM frente a Perú (Carré M. et al., 2012; Koutavas A. et al., 2006), pero la señal no es clara para la productividad primaria. Koutavas et al. (2002) indican la disminución de las TSMs cerca a las islas Galápagos durante el Holoceno medio, que son interpretadas como resultado de la reducción de la actividad ENSO; por lo cual, frente a Perú se esperaba observar condiciones promedio de mayor productividad primaria. Sin embargo, los registros sedimentarios del Holoceno medio son escasos o muestran una baja sedimentación (Suess et al., 1987; Rein et al., 2005, Skilbeck et al., 2006), por lo que no existen evidencias claras en este tipo de registros de las condiciones oceanográficas predominantes en el Holoceno medio frente al Perú.

Holoceno Tardío (después de 5.6 ka BP). Rein et al. (2005) muestran un incremento del aporte lítico en la plataforma peruana entre 6 y 5 ka BP concordante con la presencia de aguas relativamente cálidas en el norte de Perú (Sandweiss et al., 1996, 1997; DeVries et al., 1997; Wells and Noller, 1997; Sandweiss et al., 2001; Andrus et al., 2002) revelando el reforzamiento de la actividad de El Niño después de 5.6 ka a 5.2 ka BP. Además, Sandweiss et al. (2001) indican un máximo en la actividad de El Niño después de 2.8 ka BP. Por último, se sostiene que el clima actual inducido por la surgencia en el margen continental Perú-Chile, caracterizado por temperaturas frías (21.5° C), alta productividad y desnitrificación intensa, ha persistido desde el Holoceno medio (4 ka BP) (Chazen C. et al., 2007, 2009).

Por otro lado, Ortlieb et al. (2011) indican un aumento en el efecto reservorio marino ( $\Delta R$ ) de radiocarbono en organismos marinos carbonatados durante el Holoceno temprano (10.4-6.8 ka BP) frente al sur de Perú/norte de Chile. Estos resultados han sido interpretados como producto de un fortalecimiento del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) y de la superficialización de las Aguas Sub-superficiales Ecuatoriales, asociados con la intensificación de las surgencias costeras durante el Holoceno temprano. La posterior disminución en el efecto reservorio, entre 5.2-1.2 ka BP sugiere el debilitamiento del APS y de la intensidad de las surgencias costeras (Ortlieb et al., 2011).

### 2.2.3. *Proxies de poblaciones de peces en el pasado*

Los restos biogénicos depositados en sedimentos marinos se utilizan como *proxies* para reconstruir cambios ambientales y/o ecológicos en el pasado (ej. disminución

o extinción de poblaciones de especies de flora y fauna por causas ambientales). La reconstrucción de las poblaciones pasadas de peces, está basada generalmente en la interpretación de escamas y restos óseos depositados en los sedimentos marinos (Field et al., 2009; Salvattecí et al., 2005, 2006). Se presume que las fluctuaciones del número de escamas u otros restos de peces en testigos provenientes de fangos anaerobios reflejan las pasadas fluctuaciones naturales de las biomásas relativas de ciertas especies (Shackleton, 1986; Baumgartner et al., 1992; Salvattecí et al., 2005, 2006, 2008; Gutiérrez et al., 2005; Valdés et al., 2008; Field et al., 2009; Finney et al., 2010).

Las escamas depositadas en los sedimentos son provenientes principalmente de los desprendimientos de escamas de peces vivos, mientras que las vértebras y huesos son provenientes generalmente del tránsito a través de los intestinos de algunos depredadores (DeVries and Percy, 1982; O'Connell and Tunnicliffe, 2001; Field et al., 2009). Se sostiene que a diferencia de las vértebras y huesos de peces, las escamas no logran pasar a través de los intestinos de la mayoría de depredadores (DeVries and Percy, 1982; O'Connell and Tunnicliffe, 2001). La sedimentación de una pieza de un pez en un evento de mortalidad suele ser muy rara (Field et al., 2009; Salvattecí et al., 2012). Por ello se interpreta que las abundancias de escamas en los sedimentos representarían principalmente las abundancias de escamas desprendidas de peces vivos en la columna de agua, reflejando las abundancias de la población local de peces (Field D., 2009; Salvattecí R., 2008; Baumgartner T. et al., 1992; Soutar A., 1967, 1969, 1974).

#### 2.2.4. *Preservación de escamas y restos óseos de peces*

Los sistemas de borde oriental suelen estar asociados con una ZMO. El ecosistema de afloramiento costero peruano se encuentra asociado con una de las más intensas ZMOs a nivel global. La deficiencia de oxígeno disuelto ( $< 0.1 \text{ mL L}^{-1}$ ) caracteriza el agua de fondo sobre la plataforma continental, facilitando la formación y preservación de sedimentos laminados en el lecho marino, por ausencia de bioturbación. Las escamas y restos óseos de peces tienden a preservarse en los sedimentos laminados debido a la ausencia de oxígeno (Soutar, 1974; Baumgartner et al., 1992; Salvattecí 2008; Gutiérrez et. Al., 2009). En el área de afloramiento costero frente a la costa central de Perú la distribución de vértebras de anchoveta y merluza en los sedimentos superficiales son similares a la distribución general de las poblaciones en el presente (DeVries & Pearcy, 1982).

Los cambios en la concentración de oxígeno podrían afectar la preservación de los *proxies* de productividad biológica directamente o indirectamente. Frente a la costa central peruana, los restos de peces son más abundantes a profundidades menores a 600 m. En aguas más profundas los restos de peces parecen estar sujetos a mayor disolución y abrasión (DeVries & Pearcy, 1982). Sobre la plataforma central del Perú, las escamas de peces poseen más fisuras y coloraciones alteradas en los intervalos correspondientes a la sedimentación durante la Pequeña Edad de Hielo (LIA, siglas en inglés), indicando que la degradación podría ser parcialmente responsable para los números reducidos de escamas de peces (Gutiérrez et al., 2009). Las vértebras son menos propensas a la disolución en comparación a las escamas por tener una

razón menor de área/volumen (DeVries y Pearcy, 1982; Field et al., 2009). En consecuencia bajos valores en la razón escamas/vértebras nos indicarían una mayor disolución de las escamas (DeVries & Pearcy, 1982; Salvattecí, 2012).

Las escamas y restos óseos de los peces pueden ser afectados por procesos de degradación natural en la columna de agua o en la diagénesis de la sedimentación reciente, complicando la interpretación de las abundancias de restos de peces en el registro sedimentario (Field et al., 2009, Salvattecí et al., 2012). Salvattecí et al. (2012) observaron fisuras en la superficie y deterioro de la estructura de los restos de peces procedente de sedimentos marinos frente a Pisco. Las alteraciones físicas observadas en las escamas y restos óseos de peces, son posiblemente producto de la degradación de la capa superficial, a causa de la actividad de bacterias y hongos (Salvattecí et al., 2012). En contraste, Salvattecí (2013) muestra que la degradación se da principalmente en las capas de colágeno dentro de la escama, sugiriendo que la capa exterior sería afectada por otros procesos aún no muy bien explicados. Por tanto, el desarrollo de indicadores de degradación es necesario para discriminar entre los cambios del flujo hacia el sedimento y los cambios en la preservación de escamas y restos óseos de peces.

#### *2.2.5. Registros de variabilidad de escamas y restos óseos de peces desde el*

##### *Último Máximo Glacial*

Salvattecí (2013) indica que las abundancias de peces inferidas muestran valores mínimos durante el LGM; durante el EG y LGM los flujos de escamas de peces de todas las especies fueron bajos, sugiriendo que las especies oceánicas también fueron afectadas. Además, Salvattecí (2013) encontró altas abundancias de

escamas de anchoveta durante el H1S (Henrich 1 Stadial, 18 – 14.7 ka BP) pero debido a una mayor preservación, sugiriendo que la biomasa de anchoveta era baja en ese período climático. En el mismo período encontró la aparición de escamas de agujilla (*Scomberesox saurus scombroides*), y ausencia de escamas de sardina y caballa. Además, Salvattecí (2013) encontró durante el EH altos flujos de escamas de todas las especies oceánicas (sardina, jurel, caballa y agujilla). En el Holoceno medio encontró relativamente altos flujos de escamas de anchoveta y bajos para el resto de las especies, aunque el período de tiempo en cuestión no está bien representado en el testigo estudiado debido a la presencia de hiatus. En el LH encontró altos flujos de escamas de anchoveta, sardina, jurel, y caballa; en el mismo período encontró flujos moderados de agujilla merluza y mictófidis; sosteniendo que las condiciones climáticas oceanográficas son favorables para la anchoveta y otras especies oceánicas desde el EH (Salvattecí, 20013).

DeVries & Percy (1982) indican que durante el Pleistoceno tardío, los clupeidos habrían sido menos abundantes frente a Perú, presentando niveles de las abundancias de escamas parecidos entre sardina y anchoveta. La ocurrencia de máximas acumulaciones de escamas de sardina fue en períodos entre 2000-2700 años BP, y entre 11400-11600 BP, mientras que las mínimas acumulaciones de escamas de anchoveta ocurrieron entre los 11400 y 11700 años BP (YD) y entre 200 y 400 años BP (LIA) (DeVries & Percy, 1982). Los tres períodos de tiempo mencionados corresponden a períodos globales más fríos (Devries & Percy, 1982). Durante el período 2000 a 2700 años BP, las altas abundancias relativas de escamas de sardina coincidieron con bajas concentraciones de escamas de merluza y anchoveta, y con altas tasas de acumulación de fitoplancton silíceo de aguas



frías. Esta combinación de restos de peces de aguas cálidas y restos de fitoplancton de aguas frías precedió y siguió a un intervalo caracterizado por una agrupación de baja productividad de agua cálida oceánica (DeVries & Pearcy, 1982).

#### *2.2.6. Registros de variabilidad de escamas y restos óseos de peces en los últimos siglos*

En los ecosistemas de afloramiento costero, la variabilidad a escala centenal en la productividad primaria y en la abundancia de pequeños peces pelágicos puede superar a las fluctuaciones en una escala temporal menor (Baumgartner et al., 1992; Field et al., 2009). Por ejemplo, la respuesta del ecosistema a los cambios biogeoquímicos asociados con el final de la Pequeña Edad de Hielo, hacia las primeras décadas del s. XX, involucraron un incremento general de la productividad y de las principales poblaciones de peces, en contraste a las alternancias multi-decadales observadas durante el siglo XX (Gutiérrez et al., 2009). Las abundancias de peces inferidas de las escamas, huesos, y vértebras, fueron dramáticamente más bajas durante el LIA y el núcleo de la anchoveta se encontraba aparentemente desplazada hacia el sur de su posición actual (Gutiérrez et al., 2009).

#### *2.3. Justificación del Estudio*

Es conocido que la dinámica de los ecosistemas marinos y la distribución y abundancia de las poblaciones de peces son forzadas climáticamente (Bertrand et

al., 2004a, 2008; Swartzman et al., 2008; Guevara-Carrasco & Lleonart, 2008; Ballón et al., 2008; Bakun, 2009; Alheit & Bakun, 2010). Por ello, en el contexto actual del calentamiento global es útil conocer cómo responde el sistema de la Corriente Peruana y las principales poblaciones de peces a cambios persistentes de clima global en largos períodos de tiempo en el pasado. Ello nos ayudará a entender las fluctuaciones y las escalas temporales de variación de las abundancias poblacionales de peces de importancia para la pesquería.

Por otra parte, el estudio del pasado contribuye a la determinación de los principales mecanismos de control climático-oceanográfico, que pueden ser considerados en modelos ecosistémicos. En este estudio, la evidencia para la respuesta regional del Pacífico Oriental a los cambios pasados en el clima podría ayudar a construir futuros escenarios del impacto del cambio climático en el ecosistema, lo que a su vez conlleva al replanteamiento y mejoramiento del manejo de los recursos pesqueros.

## 2.4. Objetivos

### 2.4.1. *Objetivo general*

Determinar la variación milenial de las abundancias poblacionales de merluza y anchoveta, relacionadas con las condiciones de la intensidad de las surgencias, y la oxigenación de la capa subsuperficial, frente a la costa de Chimbote.

#### 2.4.2. *Objetivos específicos*

1. Determinar los cambios en las abundancias relativas de escamas, vértebras y otros restos óseos de anchoveta, merluza, sardina, y otras especies, a escala milenial a lo largo de testigos de sedimentos del margen continental frente a Chimbote.
2. Evaluar la preservación de escamas, vértebras y otros restos óseos de peces a escala milenial a lo largo de testigos de sedimentos.
3. Evaluar las estructuras icnológicas preservadas en los sedimentos; determinando índices de bioturbación como indicadores indirectos (*proxies*) de la oxigenación del agua de fondo, a escala milenial a lo largo de testigos de sedimento.
4. Comparar las abundancias y preservación de los restos de peces con la asociación de diatomeas como *proxy* de la intensidad de las surgencias a escala milenial a lo largo de testigos de sedimentos.
5. Comparar las abundancias y preservación de los restos de peces con otros registros paleoclimáticos globales y/o regionales.

#### 2.5. Hipótesis de Investigación

Hipótesis:

1. El aumento de las abundancias poblacionales de merluza relativo a las de anchoveta está asociado con condiciones de mayor oxigenación subsuperficial, a escala de miles de años.

2. El aumento general de la producción secundaria de peces está asociado con una mayor intensidad de la surgencia costera, a escala de miles de años.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Definición de las variables de estudio

- Variables Dependientes (VD):
  - Abundancias específicas del total de escamas, vértebras, y otros restos óseos de peces, como *proxies* del total de abundancias locales de peces.
  - Abundancias de escamas y restos óseos de anchoveta como *proxy* de las abundancias locales de anchoveta
  - Abundancias de escamas y restos óseos de merluza como *proxy* de las abundancias locales de merluza
- Variables Independientes (VI):
  - Índices de bioturbación de las estructuras sedimentarias como *proxy* de oxigenación
  - Densidad aparente del sedimento, niveles de grise generados a partir de las imagenes Scopix, como *proxies* de los cambios en las condiciones sedimentológicas
  - Períodos definidos por los cambios en la asociación de diatomeas como *proxies* de los cambios en la intensidad de las surgencias costeras.

### 3.2. Selección del material de estudio

Se estudiaron dos núcleos (testigos) de sedimentos colectados frente a Chimbote (M772-029: 09.30° S, 79.62° W, 433 m; CD0701: 8,77° S, 79,95° W, 445 m) por la expedición Meteor 77-2 (IFM-GEOMAR) y por el Crucero de Evaluación de Recursos Demersales BIC Olaya 2007-01, respectivamente. La localización de colecta se ubica en la intersección de la ZMO con el talud continental superior, sobre el borde sur de la distribución de la merluza (**Figura 1**).

### 3.3. Material de estudio

El testigo largo (M772-029) de sedimento marino, colectado con el equipo Piston Core alcanzó una longitud aproximada de ~13.54 m (**Figura 2**). El testigo presentó una discontinuidad a los ~30 cm, seguida de una sección (~30-57 cm) con intensa perturbación, y secuencias laminadas más o menos continuas a partir de los 57 cm hasta la base del testigo. Las discontinuidades presentadas en el testigo se originaron posiblemente por efectos de corrientes de turbidez o *slumps*. Las dataciones convencionales (edades de  $^{14}\text{C}$ ) del testigo variaron entre 15335  $\pm$ 55 años BP en la base del testigo (1263 cm) hasta 4250  $\pm$ 40 años BP a 38 cm del tope del testigo (R. Schneider y E. Vollier-Megel, Universidad de Kiel, com. personal) (ver **Anexo 2, Figura 2**).

El segundo testigo (corto) de sedimento marino, colectado con un equipo Multisacatestigos (CD0701), alcanzó una longitud aproximada de 27 cm y recuperó la superficie, según las observaciones en el campo. Los análisis de Rayos-X revelaron una secuencia laminada desde la superficie hasta la presencia

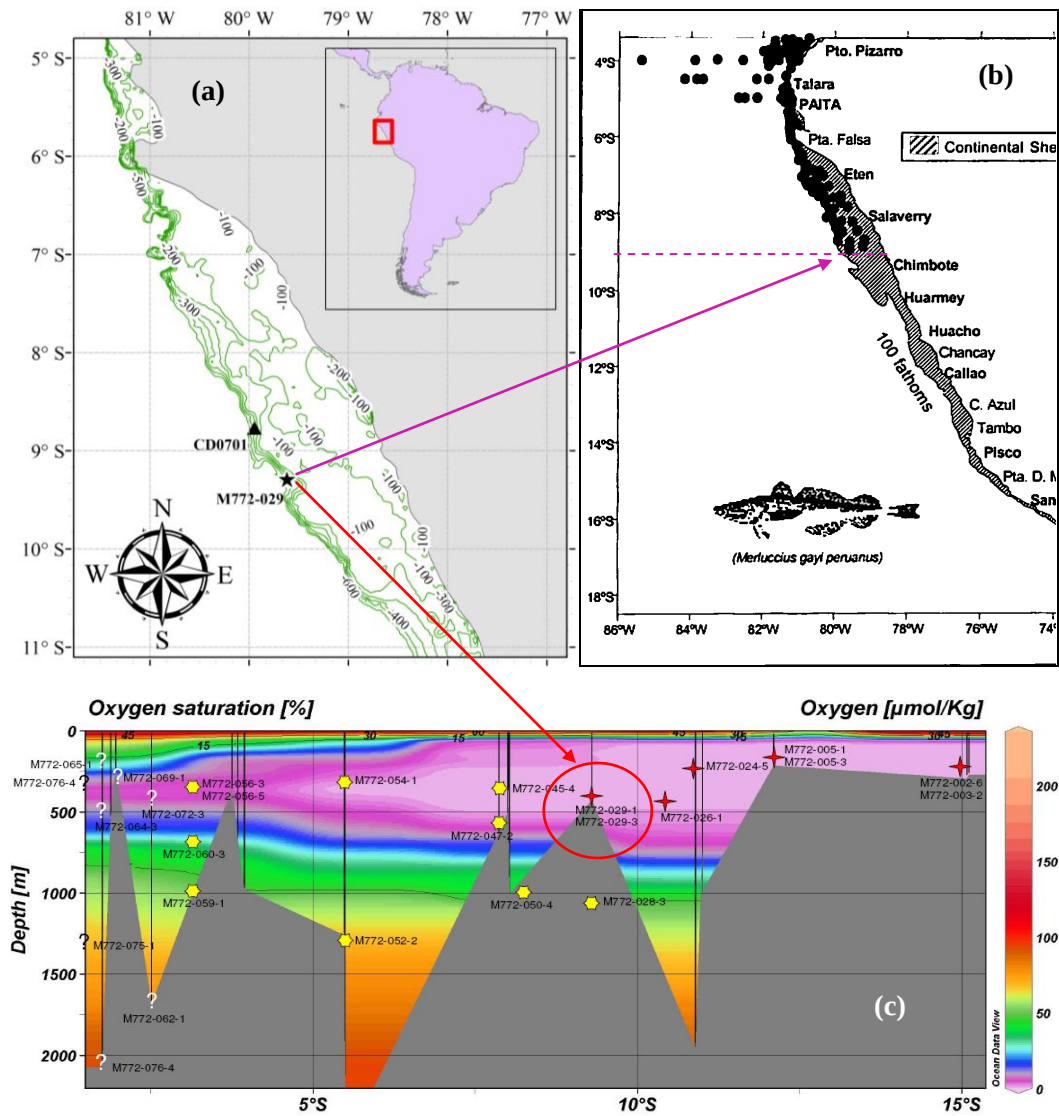


Figura 1. (a) Localización de los testigos largo (M772-029: 09.30° S, 79.62° W, 433 m) y corto (CD0701: 8.77° S, 79.95° W, 445 m); (b) distribución de merluza (Wosnitz-Mendo & Guevara, 2000); (c) extensión de la Zona Mínima de Oxígeno (Fuente: Dr. Ralph Schneider, M77-2).

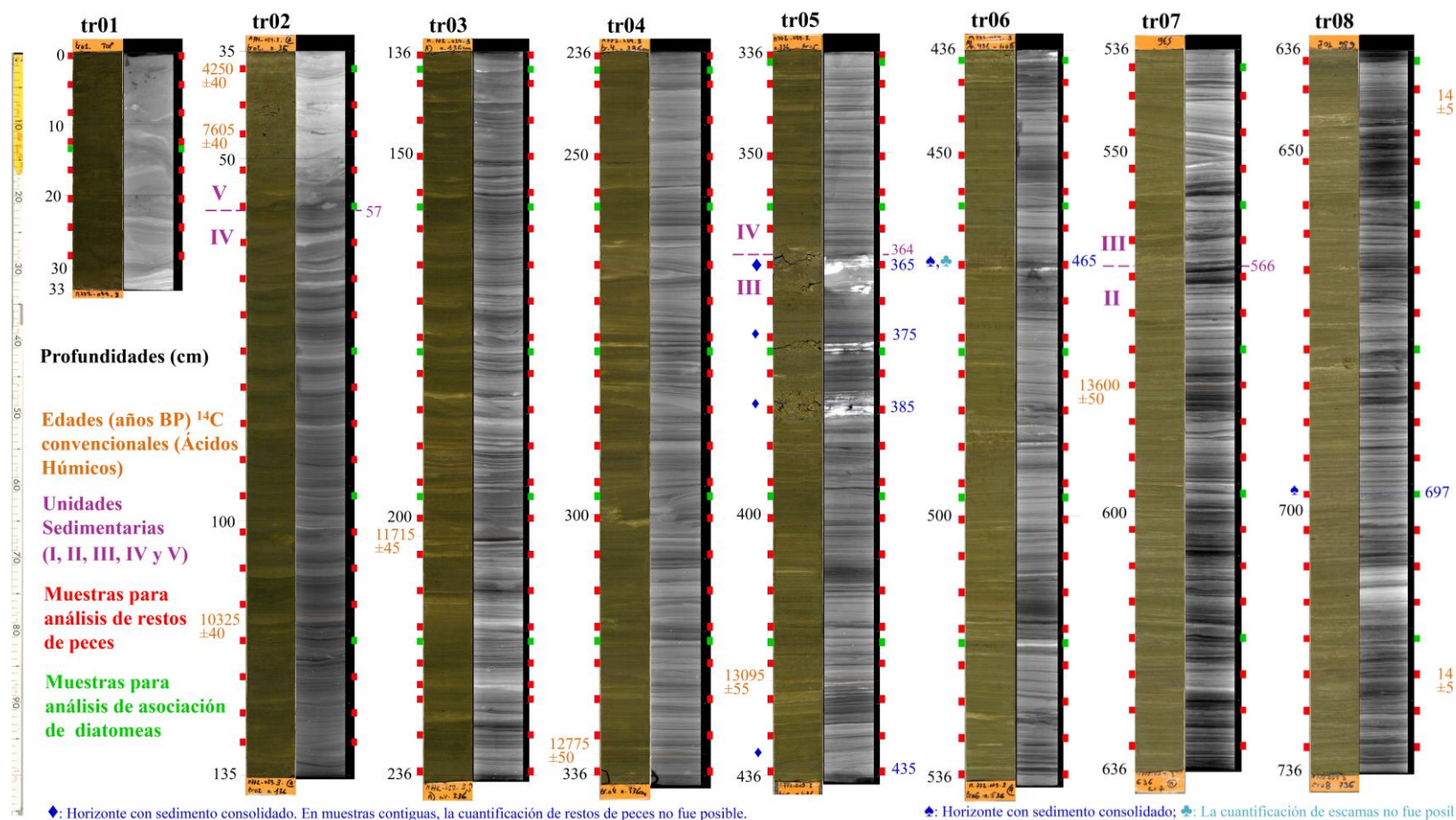


Figura 2. Imágenes fotográficas y Scopix del testigo M772-029, señalando la posición (cuadrados color rojo) de las muestras analizadas, la profundidad (cm), los horizontes con dataciones  $^{14}\text{C}$  convencionales, y los límites entre las 5 unidades sedimentarias (I, II, III, IV, y V) determinadas.



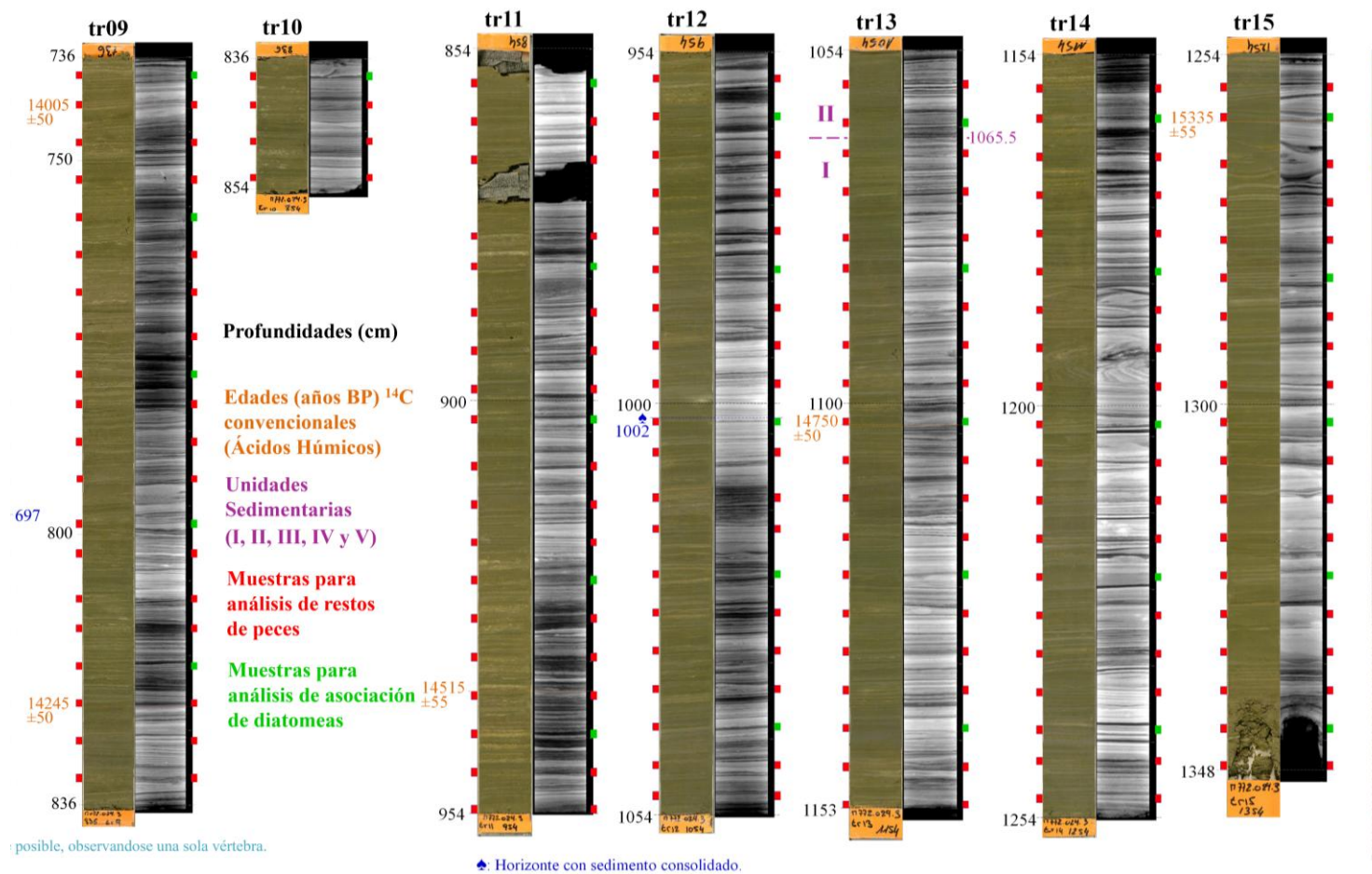


Figura 2. (Continuación).

de un hiato a los ~16 cm, seguido de una concreción hasta los ~19 cm, y una secuencia laminada hasta la base (**Figura 3**). Se cuentan con dos dataciones convencionales de la materia orgánica sedimentaria en este testigo:  $10,989 \pm 68$  años BP (base del testigo) y  $10,852 \pm 63$  años BP (19 cm). La tasa de sedimentación (TS) en la parte superior del testigo se asume de 1-2 mm por año según trabajos realizados para otras localidades del borde continental frente a Perú (Muñoz et al., 2004; Gutiérrez et al., 2006). Por cual, un centímetro de muestra abarcaría un aproximado de 5-10 años.

### 3.3.1. Cronología

En el caso del testigo largo (M772-029), se usó la cronología calibrada desarrollada en la Universidad de Kiel (R. Schneider y E. Vollier-Megel, Universidad de Kiel). Las dataciones se realizaron aplicando la determinación de edades radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) en la componente húmica de la materia orgánica sedimentaria (RS y E.V-M, com. personal). En total se obtuvieron doce muestras con dataciones calibradas a lo largo del testigo (**Anexo 3**). Para la calibración de todas las edades convencionales se aplicó el efecto reservorio regional de  $511 \pm 278$  años estimado por Ortlieb et al. (2011) para el Holoceno temprano frente a Perú-Chile. De acuerdo a estas dataciones calibradas se obtuvo un rango cronológico desde los  $17494 \pm 596$  años BP (en 1263 cm) hasta los  $10711 \pm 708$  años BP (en 113 cm), sin tomar en cuenta dos dataciones en horizontes más superiores del testigo, debido a que estas se encontraban en la sección (0-57 cm) con el *slump* (**Anexo 3**).

En el caso del testigo corto (CD0701) para los 27-19 cm se usó edades  $^{14}\text{C}$  convencionales datadas en dos horizontes. Las edades convencionales fueron de  $10989 \pm 68$  años BP (en 25 cm) y  $10852 \pm 63$  años BP (en 19 cm). Las edades convencionales fueron calibradas empleando el mismo valor de efecto reservorio como en el testigo largo ( $511 \pm 278$  años, Ortlieb et al., 2011). La calibración se realizó con el programa Calib 6.1.0 usando el método de la curva de calibración Marine09 (Reimer et al., 2009). La sección 19-16 cm se supuso que corresponde al período climático Holoceno Medio (*Middle Holocene*, MH,  $\sim 8 - 5$  ka BP), ya que este período se caracteriza por presentar las menores tasas de sedimentación o la mayor intensidad erosiva en los sedimentos del margen continental peruano (Rein et al., 2004, Skilbeck et al., en preparación). Para los 16 - 0 cm se usó una cronología estimada, usando una tasa de sedimentación (TS) de  $0.147 \pm 0.011$  cm.año $^{-1}$ ; dicha TS se obtuvo de promediar la TSs en otras áreas (centro y sur) en el margen continental frente a Perú (Gutiérrez et al., 2009; Skilbeck & Fink, 2006; Christensen, 1982 en Muñoz et al., 2004). De acuerdo a dicha TS se estima una ventana de tiempo de los últimos  $109 \pm 8$  años en los primeros 16 cm suprayacentes al sedimento consolidado (posiblemente fosforita) (**Figura 3**).

### 3.3.2. Resolución temporal de estudio de los testigos de sedimento

El testigo largo (M772-029) se sub-muestró a una resolución de 1 cm (**Anexo 4**), seleccionando una muestra (de 1 cm de espesor) cada cinco centímetros para el análisis de escamas, vértebras y restos óseos de peces, que aproximadamente corresponde a períodos de tiempo mayores a  $\sim 50-80$  años (entre 61-375 cm) y mayores a  $\sim 12-30$  años (entre 375 y 1354 cm), según el modelo de edad

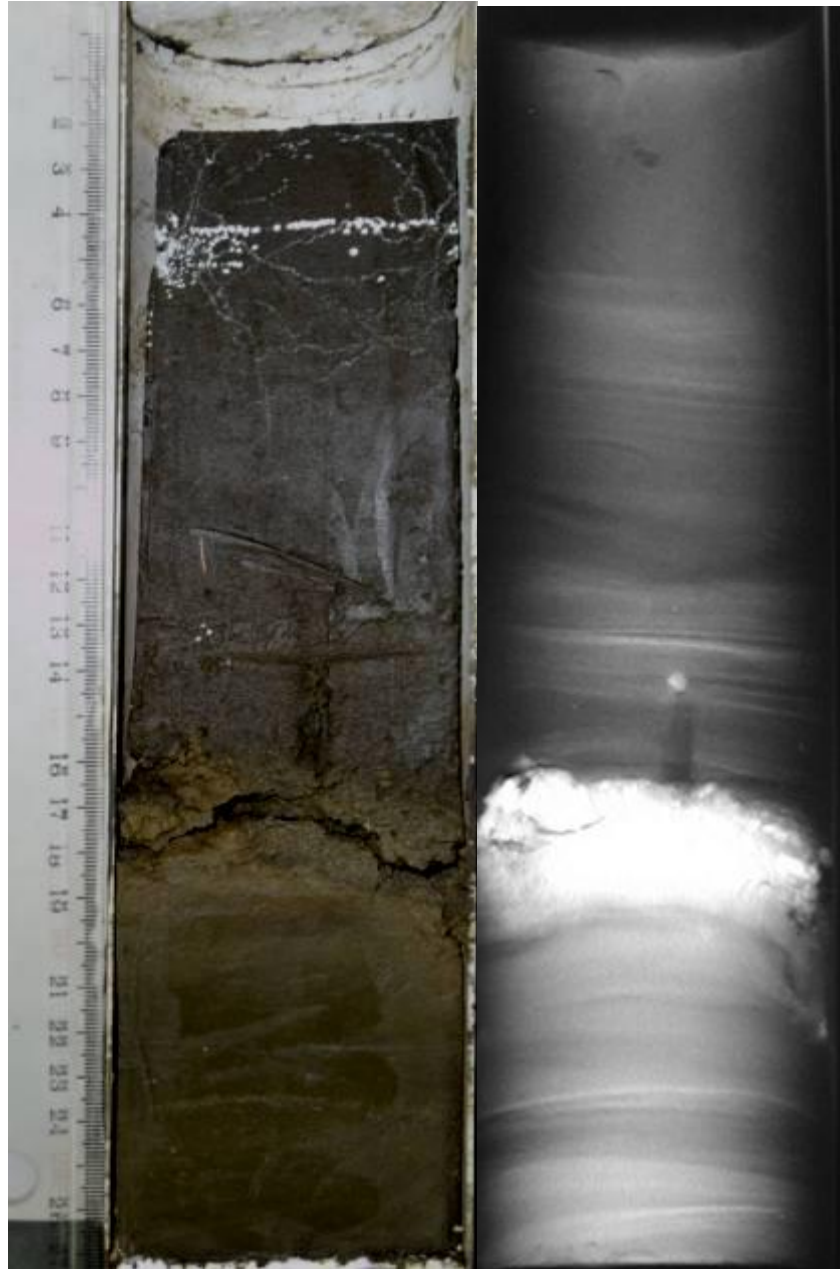


Figura 3. (Izquierda) Fotografía, y (derecha) Radiografía Rx del testigo CD0701. Se observa secuencias laminadas desde la superficie hasta ~16 cm, seguido de una concreción hasta los ~19 cm, y nuevamente secuencias laminadas hasta la base. El testigo presenta un hiato en los ~16cm.

modelo de edad desarrollado (ver 3.4.2 y 4.7.2). A esta misma resolución, otros investigadores han efectuado mediciones de datos geoquímicos, como alquenonas (para reconstrucción de TSMs) y  $d^{15}N$  (como *proxy* de oxigenación en la columna de agua).

El testigo corto (CD0701) se estudió por completo a una resolución de 1 cm y 0.5 cm de espesor. De acuerdo a la resolución mencionada permitieron resolver variaciones en el último siglo.

### 3.4. Método del estudio

#### 3.4.1. Descripción de los testigos

##### 3.4.1.1. Descripción general

La descripción general del testigo largo (M772-023) y corto (CR0701) se realizó in situ durante la expedición Meteor 77-2 (IFM-GEOMAR) y de Evaluación de Recursos Demersales BIC Olaya 2007-01. La descripción se realizó tomando en cuenta la litología, el tipo de sedimento predominante, las estructuras sedimentarias, y el color del sedimento en el perfil vertical del testigo. El método empleado para la descripción de las estructuras y litología sedimentaria fue de acuerdo a Mazzullo & Graham (1988); y para la descripción del color se realizó por comparación visual con las cartas de colores de Munsell (Munsell Soil Color Charts) (Mazzullo & Graham, 1988).

#### 3.4.1.2. Determinación y descripción de las Unidades Sedimentarias dell testigo

##### M772-029

El desarrollo de la columna estratigráfica fue basado en la descripción de las estructuras sedimentarias, estableciendo paquetes con secuencias aproximadamente continuas. Esta columna se desarrolló utilizando la descripción realizada previamente in situ durante la colección de los testigos, imágenes fotográficas (testigo M772-029 y CD0701), y radiografías de Rayos-x de tipo convencional (CD0701), y digital (Scopix, Migeon et al., 1999) (M772-029). El establecimiento de paquetes estratigráficos con secuencias continuas facilitó la selección de ventanas de tiempo de interés.

La determinación de las unidades sedimentarias se basó en la diferenciación de patrones en las estructuras sedimentarias (distinguidas a partir de las imágenes fotográficas y Scopix), densidades aparentes, y de los niveles de grise. Los valores de niveles de grise fueron generados a partir de las imágenes Scopix de radiografias de rayos X, utilizando el programa computacional Visilog 6.4. Las unidades sedimentarias fueron numeradas en romanos, iniciando desde la base del testigo hacia la parte superior.

En estas unidades sedimentarias a partir de las imágenes fotográficas se identificaron capas claras, así como capas de sedimentos con densidades relativamente bajas y relativamente altas (a partir de las imágenes Scopix). Las capas con densidades relativamente bajas, posiblemente correspondan a capas ricas en diatomeas y/o carbonatos. Las capas con densidades relativamente altas posiblemente correspondan a capas ricas en material de origen terrígeno (Balsam W. et al., 1999; Peterson et al., 2000).

### 3.4.2. Modelo de edad

El modelo de edad en el testigo M772-029 se desarrollo a partir de las dataciones calibradas (ver sección 3.3.1). Se advierte que la pendiente de la edad con relación a la profundidad cambia abruptamente entre los 300 y 400 cm (**Anexo 4, Anexo 5**). Dada la variación general de la relación edad: profundidad se desarrolló un modelo de ajuste no lineal a partir de las relaciones entre las variables: Edad calibrada versus la profundidad, así como de la edad calibrada versus la masa acumulada de sedimento ( $Z_m$ ). Los valores de  $Z_m$  se calcularon desde los 61 cm (Excluyendo el *slump*) hasta la base del testigo (**Anexo 5**).

El método de estimación no lineal consistió en una regresión con punto de inflexión. La función fue ajustada con el programa computacional Statistica v. 6.0, a partir de los datos de edad calibrada, profundidad, y masa acumulada del sedimento. El punto de inflexión es donde sucede el cambio de pendiente entre las relaciones de las variables edad versus profundidad y edad versus masa acumulada de sedimento. De los doce horizontes datados sólo se usaron diez dataciones para el cálculo de la función de regresión. Las dos dataciones en la parte superior del testigo fueron excluidas debido a que ambas se encontraban en la sección (57 – 0 cm) caracterizada como *slump*, es decir la capa de sedimento posiblemente originada por un episodio instantáneo de transporte lateral.

La función a ajustar consiste básicamente en dos ecuaciones de regresión lineal simple; una para las edades con profundidades menores o igual al punto de inflexión, y otra para las edades con profundidades mayores a dicho horizonte (**Anexo 5**).

Según Neter et al. (1985) en Hill & Lewicki (2007) el ajuste del modelo es el siguiente:

$$y = b_0 + b_1 * x + b_2 * (x - bk) * (x > bk) \dots \dots \dots (1)$$

Donde, para nuestro caso de estudio la variable dependiente  $y$  representó a la edad (cal. años AP) y la variable  $x$  a la profundidad (cm) en un modelo y en el otro modelo la variable  $x$  representó a la masa acumulada del sedimento ( $\text{g.cm}^{-2}$ ).

Este modelo tiene una expresión lógica ( $x > bk$ , donde  $bk$  es el punto de inflexión) que sirve como un multiplicador: Si la expresión es verdad, ello se evaluará a 1; si es falso, se evaluará a 0. Por lo tanto esta ecuación representa dos modelos. Para los valores de  $x$  que son menores que o igual a  $bk$  ( $x > bk$  es falso, es decir igual a 0):

$$y = b_0 + b_1 * x \dots \dots \dots (2)$$

Para valores de  $x$  que son mayor que  $bk$  [es decir, cuando ( $x > bk$ ) es igual a 1], la ecuación es:

$$y = b_0 + b_1 * x + b_2 * (x - bk) \dots \dots \dots (3)$$

Al multiplicar esta ecuación, obtenemos que para valores  $x$  mayor que 300, la pendiente es igual a  $b_1 + b_2$ , y el intercepto es igual a  $(b_0 - 500 * b_2)$ .

Finalmente, fue conveniente usar el modelo de edad [*Edad* ( $Z_m$ )] en función de la masa acumulada ( $Z_m$ ) del sedimento, debido a que esta proporciona directamente el parámetro de tasa de acumulación de masa del sedimento ( $W$ ,  $\text{g.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$ ). El parámetro  $W$  se usó para calcular los flujos (# resto de pez. $\text{cm}^{-1}$



$^2.\text{año}^{-1}$ ) de restos de peces a partir de las concentraciones de escamas, vértebras, y otros restos óseos de peces (ver explicación en punto 3.4.3).

#### 3.4.3. Tasas de acumulación de sedimento

Se calcularon dos tasas de acumulación ( $W_1$ ,  $W_2$ ) de sedimento para el testigo M772-029.  $W_1$  ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$ ) se calculó a partir de la inversa de la pendiente ( $B_1$ ) de la ecuación lineal simple para  $Z_m$  menor que o igual a  $bk$ :

$$W_1 = \frac{1}{B_1}$$

$W_2$  ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$ ) se calculó a partir de la inversa de la pendiente ( $B_3 = B_1 + B_2$ ) de la ecuación lineal simple para  $Z_m$  mayor a  $bk$ :

$$W_2 = \frac{1}{B_1 + B_2}$$

#### 3.4.4. Caracterización de las abundancias de escamas y restos óseos de peces

La identificación y el conteo de las escamas y vértebras de las especies de peces más comunes (**Figura 4**) se realizaron luego de haber separado y recuperado mecánicamente estos restos de peces del sedimento mediante un tratamiento con insumos químicos en laboratorio. La muestra de sedimento fue tratada en baño María con agua destilada, y 30 mL de solución al 35 % de peróxido de hidrógeno y pirofosfato de sodio por 9 minutos. La solución de peróxido de hidrógeno y pirofosfato de sodio fue agregada en dos oportunidades, en intervalos de 3 minutos. Luego el material fue tamizado húmedo con agua corriente y con un

tamiz de 350  $\mu\text{m}$ . Cabe indicar que la cantidad de material por muestra de sedimento usada para tamizar los restos de peces, fue equivalente a una masa seca de sedimento que osciló entre 4 y 22 g aproximadamente.



Figura 4. Escamas típicas de las especies de peces más comunes frente a las costas de Perú.

El material retenido en el tamiz se colocó en un frasco plástico de 40 mL conteniendo una solución de etanol (al 70%) para preservar las escamas, vértebras y restos óseos de peces (Salvatteci et al., 2012). La identificación y el conteo de los restos de peces se realizaron a través de un estero-microscopio con la ayuda de catálogos y muestras actuales (ver en **Anexo 6**).

En el testigo largo (M772-029), se caracterizaron las abundancias relativas de escamas y restos óseos de merluza, anchoveta y sardina, como también sus indicadores de preservación. La metodología de conteo que se aplicó es la misma de Salvatteci (2008). Se contaron como escamas enteras a las escamas completas (parte lateral derecho e izquierdo, más foco), las escamas con una parte lateral (derecho o izquierdo) con presencia del foco, y a las escamas que sólo presentaron el foco. Se contaron como media escama a las escamas que presentaron una parte

lateral (derecho o izquierdo), con la mitad o parte del foco. Al resto de escamas que no cumplieron con lo descrito se les consideró como fragmentos de escamas.

En el testigo corto (CD0701), el conteo e identificación de las escamas se realizó de la misma manera como se describió para el testigo M772-029. Este conteo e identificación de los restos de peces se realizó en un testigo y medio del mismo lance. La sección restante se destinó para la datación.

El conteo e identificación de vértebras de peces en ambos testigos (M772-029 y CD0701) se realizó de forma similar al conteo de las escamas. El conteo se realizó agrupando en tres categorías; es decir como vértebras enteras, mitades y fragmentos. Para la identificación se usó catálogos y muestras recientes, como material de referencia.

Los conteos de escamas, vértebras, y otros restos óseos de peces se expresaron tanto en concentraciones por masa de sedimento (# resto de pez/ gramo de sedimento seco) como en flujos (# resto de pez.cm<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup>.10<sup>3</sup>). Las abundancias de restos de peces por muestra pueden ser afectadas por los cambios en la tasa de sedimentación, por lo cual es recomendable la conversión a flujos (O'Connell J. & Tunnicliffe O., 2001). Los flujos de los restos de peces fueron obtenidos multiplicando las concentraciones de restos de peces (# resto de pez.g<sup>-1</sup>) por la tasa de acumulación de sedimento (W, g.cm<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup>) calculada a partir del modelo de edad [*Edad* (*Z<sub>m</sub>*)]. Dado que los flujos calculados fueron pesqueños, los valores fueron multiplicados por mil.

### *3.4.5. Indicadores de preservación de escamas y restos óseos de peces*

#### *3.4.5.1. Cocientes de escamas:vértebras de peces*

Se determinaron los cocientes escamas/vértebras por especie. Estos cocientes se usaron como indicadores de preservación, aumentando la consistencia en la evaluación de los cambios de la preservación de los restos de peces en los testigos. Altos valores en los cocientes escamas/restos óseos nos sugieren una alta preservación de las escamas suponiendo que los restos óseos sufren un proceso de degradación más lento (Salvatteci et al., 2012).

#### *3.4.5.2. Índices de Alteración Física de restos de peces*

Las escamas y restos óseos de peces observadas a través del estéreo-microscopio fueron calificados en cuatro categorías de preservación de acuerdo al Grado de Cobertura de Alteración Física (GAF) en su superficie (**Figura 5**). Las cuatro categorías (GAF 1, GAF 2, GAF 3, y GAF 4) de preservación fueron definidas en un rango de mayor preservación (GAF 1) a menor preservación (GAF 4) (**Figura 5**).

Los GAF sobre la superficie de los restos de peces son descritos a continuación:

GAF 1: Sin Cobertura de Alteración Física (AF) en la superficie del resto de pez. La superficie del resto de pez presenta estructura intacta, sin presencia de fisuras y/o alteración física. Los restos de peces con esta categoría son considerados en estado de muy buena preservación.

GAF 2: De 0 a 33% de AF en la superficie del resto de pez. La superficie del resto de pez presenta fisuras y/o alteración física, desde pequeños puntos o áreas localizadas, hasta un tercio del total de su cobertura. Los restos de peces con esta categoría son considerados con preservación física desde buena a regular.

GAF 3: De 33% a 66% de AF en la superficie del resto de pez. La superficie del resto de pez presenta fisuras y/o alteración física ocupando desde más de un tercio (~33%) hasta los dos tercios (~66%) del total de su cobertura. Los restos de peces con esta categoría son considerados en mal estado de preservación física.

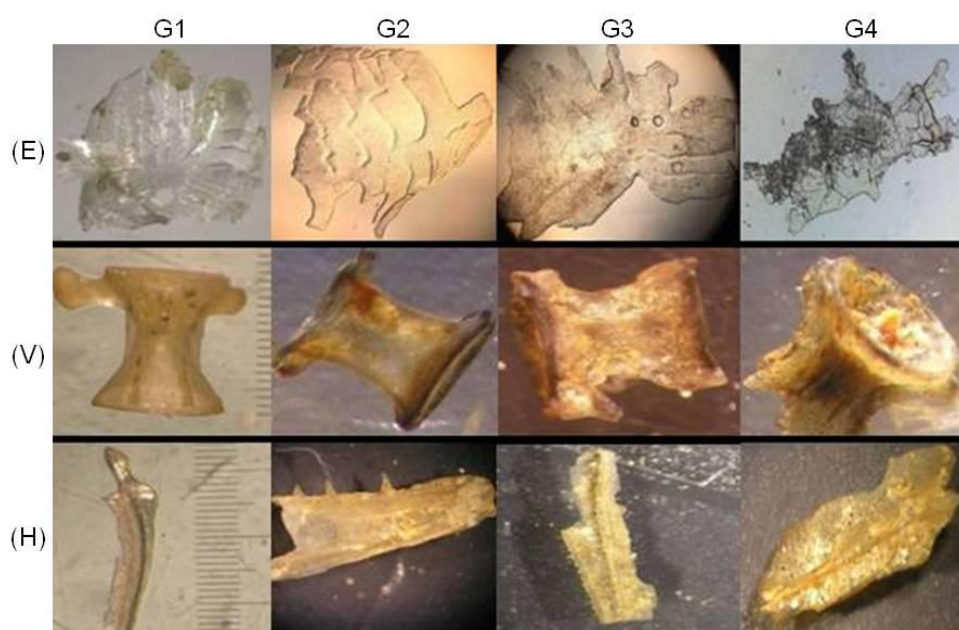


Figura 5. Imágenes de restos de peces categorizados por nivel de preservación, determinado mediante observación de presencia de alteración física sobre la superficie del resto de pez.

Los rótulos en mayúscula que indican el tipo de resto de pez son como sigue: E, Escamas (1<sup>era</sup> fila); V, Vértebras (2<sup>da</sup> fila); H, Huesos (3<sup>ra</sup> fila). Los rótulos que indican los niveles de preservación son: G1, Restos de peces (RP) con nivel de preservación de grado 1 (máxima preservación, 1<sup>era</sup> columna); G2, RP con nivel de preservación de grado 2 (2<sup>da</sup> columna); G3, RP con nivel de preservación de grado 3 (3<sup>ra</sup> columna); G4, RP con nivel de preservación de grado 4 (mínima preservación, 4<sup>ta</sup> columna). A mayor grado (G) le corresponde mayor degradación.

GAF 4: De 66% a 100% de AF en la superficie del resto de pez. La superficie del resto de pez presenta muchas fisuras densas y/o estructura orgánica dañada, ocupando los dos tercios (~66%) hasta el total (~100%) de su cobertura. Los restos de peces con esta categoría son considerados en muy mal estado de preservación.

Los índices de cobertura de alteración física (IAF) son valores adimensionales (sin unidades) calculados a partir de las cantidades relativas de escamas, vértebras y otros restos óseos de peces categorizadas por grado de preservación en cada muestra. Los índices IAF fueron definidos en un rango de valores desde 1 (mejor preservación) hasta 4 (menor preservación). La fórmula de promedio ponderado empleada se describe a continuación:

$$IAF = \frac{(NRPG1 * 1) + (NRPG2 * 2) + (NRPG3 * 3) + (NRPG4 * 4)}{NTRP}$$

IAF: Índice de Cobertura de Alteración Física.

NRPG1: # de restos de pez en GAF 1.

NRPG2: # de restos de pez en GAF 2.

NRPG3: # de restos de pez en GAF 3.

NRPG4: # de restos de pez en GAF 4

GAF (1-4): grado de cobertura de alteración física en superficie de los restos de peces.

NTRP: # total de restos de peces.

#### 3.4.6. *Índices de bioturbación de estructuras sedimentarias*

La intensidad de la bioturbación en los sedimentos expuestos tiende a reflejar la disponibilidad de oxígeno en el ambiente (Marenco & Bottjer, 2010, Savrda &

Bottjer, 1986). Por ello, se desarrolló índices de bioturbación con la finalidad de obtener una serie de tiempo de un *proxy* de oxigenación en el agua de fondo y de la oxigenación de la capa subsuperficial por extensión. Droser & Bottjer (1986) desarrollaron una metodología de clasificación semi-cuantitativa para documentar los cambios en la extensión de la bioturbación registrada en la estratigrafía (**Anexo 7**) En estudios posteriores, métodos más objetivos y cuantitativos fueron propuestos para describir la cantidad de bioturbación en superficies verticales y horizontales sedimentarias (Miller & Smail, 1997; Martin, 1993; van Geen et al., 2003; Bentley et al., 2006). En el presente estudio, el método de determinación del índice de bioturbación que consistió en calcular la cantidad de estructuras icnológicas grabadas en la superficie vertical de los testigos M772-029 y CD0701, fue adaptado de los diferentes métodos propuestos en los estudios arriba mencionados.

La cuantificación de las estructuras icnológicas consistió en calcular el porcentaje de área bioturbada relativo al área de una capa sedimentaria definida. Estos cálculos y procedimientos respectivos se realizaron empleando el programa computacional de análisis de imágenes Visilog 6.4. Para ello se usó como insumo principal las imágenes Scopix de radiografía de rayos X. El procedimiento realizado para el cálculo del porcentaje de bioturbación se escribe a continuación:

- Se establecieron capas sedimentarias vinculados a las muestras para análisis de restos de peces, a lo largo del testigo M772-029 (excluyendo a la sección que presenta el *slump*, 57 - 0 cm) y CD0701. Cada estrato sedimentario se definió con un espesor de 5 cm, seleccionando 2 cm de espesor en la capa de sedimento suprayacente y 2 cm de espesor en la capa de sedimento

infrayacente respecto a la muestra (1 cm de espesor) para análisis de restos de peces (**Anexo 8, Anexo 9**).

- Luego, sobre las imágenes Scopix se trazaron polígonos regulares que representaron a las capas sedimentarias establecidas (**Anexo 8, Anexo 9**).
- Seguido, se trazaron polígonos irregulares sobre las imágenes Scopix, representando a los parches de bioturbación (estructuras icnológicas) que están incluidas dentro de cada capa sedimentaria (**Anexo 8, Anexo 9**).
- La estimación del índice de bioturbación consistió en calcular el porcentaje de área acumulada de parches bioturbados relativo al área total de cada capa sedimentaria definida. El índice varió de 0 % (sin bioturbación) a 100 % (bioturbado y mezclado totalmente por actividad biológica).

Finalmente, las huellas o marcas de bioturbación encontradas a lo largo del testigo M772-029 y CD0701, se clasificaron por tamaño. Las huellas biogénicas con espesores mayores a 2 mm y menores a 1 cm correspondieron a la macro-bioturbación; mientras que las huellas biogénicas con espesores menores a 2 mm correspondieron a la micro-bioturbación (**Anexo 9**).

#### *3.4.7. Comparación de las abundancias de restos de peces a escala milenial con la asociación de diatomeas*

La bioestratigrafía de las diatomeas en el testigo M772-029 fue determinada a menor resolución (cada 20 cm) en otro estudio, información que fue proporcionada generosamente por el Dr. Pedro Tapia. La asociación de diatomeas fue usada como *proxy* de la intensidad de las surgencias costeras a escala milenial,



con el fin de identificar alguna asociación con los *proxies* (restos de peces) de las poblaciones de peces.

### 3.5. Análisis estadístico

La determinación del grado de relación entre los restos de peces de diferentes especies identificadas se realizó usando una correlación basada en el coeficiente de correlación (valores  $r$ ) de Pearson (Rodgers & Nicewander, 1988; Stigler, 1989; Rovien & von, 1997; Godwin & Leech, 2006). El nivel de probabilidad fue corregido para las comparaciones múltiples, dividiendo el nivel de probabilidad  $\alpha$  ( $p < 0.05$ ) entre el número de pruebas realizadas (Glantz, 2002).

Se realizaron pruebas de homogeneidad para determinar diferencias significativas de los diferentes *proxies* entre las Unidades Sedimentarias, Unidades bioestratigráficas de diatomeas, y entre los períodos climáticos. Se aplicó el análisis de Kruskal Wallis, seguido de pruebas de U de Mann Whitney, como comparaciones post hoc entre pares.

Se realizaron agrupaciones de cada cinco muestras en cada período climático de interés, calculando los indicadores de preservación: Índices de Cobertura de Alteración Física en escamas y vértebras, y los cocientes de escamas a vértebras. Estos indicadores de preservación se calcularon en cada agrupación como si fueran una sola muestra. Estos nuevos datos obtenidos se sometieron a una prueba de Kruskal-Wallis para probar si existen diferencias significativas y luego a pruebas de U Mann-Whitney, para establecer las comparaciones post hoc entre pares. La prueba de diferencias significativas se realizó en los diferentes indicadores de preservación entre los períodos climáticos definidos en el testigo

M772-029. El testigo corto (CD0701) se incluyó en esta prueba, considerándolo como un período climático adicional a la serie de datos del testigo M772-029.

El *proxy* de oxigenación (índice de bioturbación) fue comparado con las abundancias e indicadores de preservación de escamas y restos óseos de peces, usando una correlación basada en el coeficiente de correlación (valor  $r$ ) de Pearson. El nivel de probabilidad fue corregido para las comparaciones múltiples, dividiendo el nivel de probabilidad  $\alpha$  ( $p < 0.05$ ) entre el número de pruebas realizadas (Glantz, 2002). Además, se realizó una prueba de homogeneidad para determinar la existencia de diferencias significativas de las intensidades de bioturbación entre los períodos climáticos, a través de análisis de varianza y las pruebas de comparación por pares (ver arriba).

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Modelo de edad

#### 4.1.1. Estimación del modelo de Edad en función de la profundidad del testigo

M772-029

En el testigo M772-029, el modelo de ajuste de la función calculada a partir de la relación entre la datación  $^{14}\text{C}$  calibrada (cal. ka BP) y la profundidad (Z, cm) resultó significativo ( $R^2 = 0.99$ ,  $p = 0.012$ ); los parámetros también resultaron significativos (**Tabla 1**). La función general calculada se muestra a continuación:

$$\text{Edad (Z)} = 9356 + 14.02 \cdot Z + (-10.43) \cdot (Z - 358.9) \cdot [Z > 358.9]$$

Donde:

Punto de inflexión,  $PI = 358.9 \pm 36.3$

$$A_0 = 9356 \pm 427.9$$

$$B_1 = 14.02 \pm 1.83$$

$$B_2 = -10.43 \pm 1.87$$

Z: Profundidad (cm)

En esta ecuación el operador lógico es  $[Z > 358.9]$ , donde el valor 358.9 es el punto de inflexión calculado, a partir del cual cambia la pendiente de la relación entre edad y profundidad (**Figura 6**). A partir de la función general Edad (Z) se derivaron dos ecuaciones lineales simples con diferente pendiente e intercepto cada una (**Tabla 1**, **Tabla 2**). Para los valores de Z que son menores que o igual a 358.9 ( $Z > 358.9$  es falso, es decir igual a 0), la ecuación es:

Tabla 1. Modelo significativo de regresión sobre las dataciones ( $^{14}\text{C}$ ) calibradas (Cal. ka BP).

Como factor predictor se incluye a la profundidad (Z, cm). Se indican el signo y valor de los coeficientes del predictor, y los valores  $p$  correspondientes. Los valores  $p$  de los modelos derivan de la prueba  $t(6)$  correspondiente con 6 grados de libertad. El modelo de regresión fue obtenido por el método de estimación no lineal para calcular la función de regresión con punto de inflexión. Este modelo fue calculado previo al cálculo del modelo de edad de la relación entre la edad  $^{14}\text{C}$  calibrada (Cal. ka BP) y la masa acumulada del sedimento ( $Z_m$ ), para exhibir posteriormente la coherencia ente ellos. VD: Variable dependiente, VI: Variable independiente,  $A_0$ : intercepto o constante,  $B_1$  y  $B_2$ : coeficientes.

| VD                                       | VI         | Parámetros          |        |                     |        |                      |       |                     |        | Ajuste del modelo |    |       |
|------------------------------------------|------------|---------------------|--------|---------------------|--------|----------------------|-------|---------------------|--------|-------------------|----|-------|
|                                          |            | $A_0$               | $p$    | $B_1$               | $p$    | $B_2$                | $p$   | $PI$                | $p$    | $R^2$             | n  | $p$   |
| Datación $^{14}\text{C}$<br>(Cal. ka BP) | Prof. (cm) | 9356<br>$\pm 427.9$ | <0.001 | 14.02<br>$\pm 1.83$ | <0.001 | -10.43<br>$\pm 1.87$ | <0.01 | 358.9<br>$\pm 36.3$ | <0.001 | 0.99              | 10 | 0.012 |

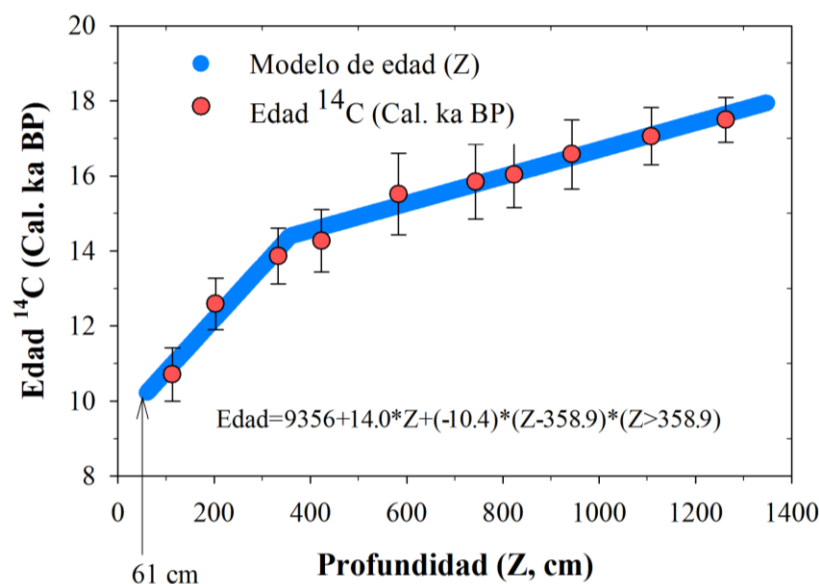


Figura 6. Modelo o función de edad calculada de la relación entre las variables edad  $^{14}\text{C}$  calibrada (cal. ka BP) y la profundidad (Z, cm) en el testigo M772-029.

Los puntos rojos con barras verticales representan a los valores de las dataciones calibradas con sus errores respectivos. El modelo de edad obtenido está representado gráficamente por la línea azul y en forma de ecuación por la función [Edad (Z)] insertada en la figura. La edad se calculó desde los 61 cm hasta la base del testigo, excluyendo la sección (0-57 cm) del *slump*.

Tabla 2. Cálculo del intercepto  $A_1$  y pendiente  $B_3$  de la segunda ecuación lineal simple  $\text{Edad}_2(\text{Z})$  derivada del modelo general estimado de la relación entre de edad  $^{14}\text{C}$  calibrada (Cal. ka BP) y profundidad (cm) en el testigo M772-029.

La función  $\text{Edad}_2(\text{Z})$  es para Z (Prof.) mayor a 358.9 cm:  $\text{Edad}_2 = A_0 + B_1 * Z + B_2 * (Z - 358.9)$ . Al multiplicar esta ecuación, obtenemos que para valores Z mayor que 358.9, la pendiente es igual a  $B_1 + B_2 = B_3$ , y el intercepto es igual a  $(A_0 - 358.9 * B_2) = A_1$ . Los errores calculados (Bevington P. & Robinson D., 2002) correspondientes para  $A_1$  (constante) y  $B_3$  se muestran en la segunda fila de la tabla con letra en negrita.

|            | $A_0$  | $B_1$  | $B_2$  | $A_1$          | $B_3$        |
|------------|--------|--------|--------|----------------|--------------|
| Estimación | 9356.2 | 14.02  | -10.43 | <b>13100.9</b> | <b>3.58</b>  |
| Std.Err.   | ±427.9 | ±1.83  | ±1.87  | <b>±881.3</b>  | <b>±2.61</b> |
| t(6)       | 21.86  | 7.68   | -5.58  |                |              |
| p-level    | <0.001 | <0.001 | <0.01  |                |              |

$$Edad_1(Z) = A_0 + B_1 * Z$$

$$Edad_1(Z) = 9356 + 14.02 * Z$$

Para valores de Z que son mayor que 358.9 [es decir, cuando (Z > 358.9) es igual a 1], la ecuación es:

$$Edad_2(Z) = A_0 + B_1 * Z + B_2 * (Z - 358.9)$$

Al multiplicar esta ecuación, obtenemos que para valores Z mayor que 358.9, la pendiente es igual a  $B_1 + B_2 = B_3$ , y el intercepto es igual a  $(A_0 - 358.9 * B_2) = A_1$ :

$$Edad_2(Z) = A_1 + B_3 * Z$$

$$Edad_2(Z) = 13101 + 3.58 * Z$$

Los errores calculados correspondientes a la pendiente  $B_3$  y al coeficiente o intercepto  $A_1$  se muestran en la (**Tabla 2**).

#### 4.1.2. Estimación del modelo de edad en función de la masa acumulada de sedimento del testigo M772-029

En el testigo M772-029, el modelo de ajuste de la función calculada de la relación entre la edad  $^{14}\text{C}$  calibrada (cal. ka BP) y la masa acumulada de sedimento ( $Z_m$ ) resultó significativo ( $R^2 = 0.98$ ,  $p = 0.016$ ); los parámetros también resultaron significativos (**Tabla 3**). La función general calculada se muestra a continuación:

$$Edad(Z_m) = 10305 + 23.1 * Z_m + (-16.7) * (Z_m - 182.7) * [Z_m > 182.7]$$

Donde:

Punto de inflexión,  $PI = 182.7 \pm 26.5 \text{ g.cm}^{-2}$

Tabla 3. Modelo significativo de regresión sobre las dataciones ( $^{14}\text{C}$ ) calibradas (Cal. año BP) en el testigo M772-029. Como factor predictor se incluye a la masa acumulada de sedimento ( $Z_m$ ).

Se indican el signo y valor de los coeficientes del predictor, y los valores  $p$  correspondientes. Los valores  $p$  del modelo derivan de la prueba  $t(6)$  correspondiente con 6 grados de libertad. El modelo de regresión fue obtenido por el método de estimación no lineal para calcular la función de regresión con punto de inflexión. A partir de este modelo de regresión se derivó dos ecuaciones lineales simples (una para  $Z_m \leq 182.7$  y otra para  $Z_m > 182.7$ ), los cuales fueron empleados como modelo de edad en el testigo. VD: Variable dependiente, VI: Variable independiente,  $A_0$ : intercepto o constante,  $B_1$  y  $B_2$ : coeficientes.

| VD                                       | VI                                      | Parámetros           |        |                     |        |                      |       |                     |        | Ajuste del modelo |     |       |
|------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|--------|---------------------|--------|----------------------|-------|---------------------|--------|-------------------|-----|-------|
|                                          |                                         | $A_0$                | $p$    | $B_1$               | $p$    | $B_2$                | $p$   | $PI$                | $p$    | $R^2$             | $n$ | $p$   |
| Datación $^{14}\text{C}$<br>(Cal. ka BP) | $Z_m$ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) | 10305<br>$\pm 366.8$ | <0.001 | 23.09<br>$\pm 3.47$ | <0.001 | -16.71<br>$\pm 3.57$ | <0.01 | 182.7<br>$\pm 26.5$ | <0.001 | 0.98              | 10  | 0.016 |

$$A0 = 10305 \pm 366.8$$

$$B1 = 23.1 \pm 3.5$$

$$B2 = -16.7 \pm 3.5$$

$Z_m$ : Masa acumulada de sedimento ( $\text{g.cm}^{-2}$ )

En esta ecuación el operador lógico es  $[Z_m > 182.7]$ , donde el valor  $182.7 \text{ g.cm}^{-2}$  es el punto de inflexión calculado, a partir del cual cambia la pendiente de la relación entre edad y masa acumulada de sedimento (**Figura 7**). La edad a la que corresponde el punto de inflexión es  $14.5 \pm 0.7 \text{ ka BP}$ . A partir de la función general Edad ( $Z_m$ ) se derivaron dos ecuaciones lineales simples con pendientes e

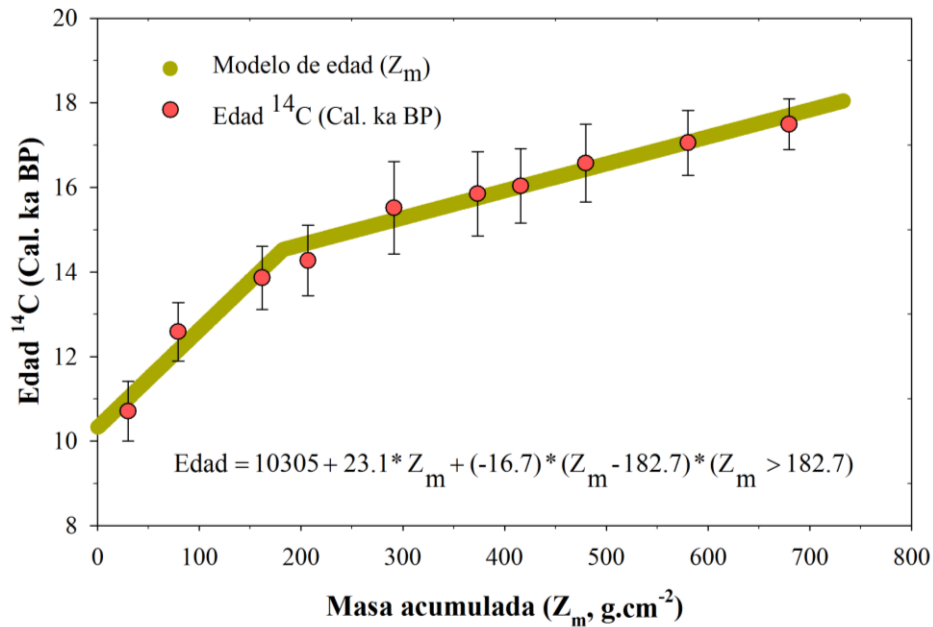


Figura 7. Modelo o función de edad calculada de la relación entre las variables edad  $^{14}\text{C}$  calibrada (cal. ka BP) y la masa acumulada de sedimento  $Z_m$  ( $\text{g.cm}^{-2}$ ) en el testigo M772-029.

Los puntos rojos con barras verticales representan los valores de dataciones calibradas con sus errores respectivos. El modelo de edad obtenido está representado gráficamente por la línea verde y en forma de ecuación por la función [Edad ( $Z_m$ )] insertada en la figura. La edad y  $Z_m$  se calculó desde los 61 cm ( $Z_m=0.68$ ) hasta la base del testigo, excluyendo la sección (0-57 cm) del slump.



interceptores diferentes (**Tabla 4, Figura 8**). Para los valores de  $Z_m$  que son menores que o igual a  $182.7 \text{ g.cm}^{-2}$  ( $Z_m > 182.7$  es falso, es decir igual a 0), la ecuación es:

$$Edad_1(Z_m) = A_0 + B_1 * Z_m = 10305 + 23.1 * Z_m$$

Para valores de  $Z_m$  que son mayor que  $182.7 \text{ g.cm}^{-2}$  [es decir, cuando ( $Z_m > 182.7$ ) es igual a 1], la ecuación es:

$$Edad_2(Z_m) = A_0 + B_1 * Z_m + B_2 * (Z_m - 182.7)$$

Al multiplicar esta ecuación, obtenemos que para valores  $Z_m$  mayor que  $182.7 \text{ g.cm}^{-2}$ , la pendiente es igual a  $B_1 + B_2 = B_3$ , y el intercepto es igual a  $(A_0 - 182.7 * B_2) = A_1$ :

$$Edad_2(Z_m) = A_1 + B_3 * Z_m$$

$$Edad_2(Z_m) = 13358 + 6.4 * Z_m$$

Los errores calculados correspondientes a la pendiente  $B_3$  y al coeficiente o intercepto  $A_1$ , se muestran en la **Tabla 4**.

Se estimó una tasa de acumulación de sedimento  $W_1$  de  $0.043 \pm 0.0065 \text{ g.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$  para  $Z_m$  menor que o igual a  $182.7 \text{ g.cm}^{-2}$ , y otra tasa de acumulación de sedimento  $W_2$  de  $0.157 \pm 0.1225 \text{ g.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$  para  $Z_m$  mayor que  $182.7 \text{ g.cm}^{-2}$  (**Tabla 4, Figura 8**).

#### 4.1.3. Estimación del modelo de edad del testigo CD0701

Las edades calibradas resultantes fueron de  $11745 \pm 829$  años BP (en 25 cm) y  $11505 \pm 864$  años BP (en 19 cm). Este período de edades coincide con la etapa

Tabla 4. Cálculo de las tasas de acumulación de de sedimento ( $W_1$  y  $W_2$ ), del intercepto  $A_1$ , y la pendiente  $B_3$  del segundo modelo lineal simple  $Edad_2$  ( $Z_m$ ) derivado del modelo general  $Edad$  ( $Z_m$ ) en el testigo M772-029.

El modelo general  $Edad$  ( $Z_m$ ) corresponde a la función calculada a partir de la relación entre edad  $14C$  calibrada (ka BP) y masa acumulada de sedimento ( $Z_m$ ). La función  $Edad_2$  ( $Z_m$ ) es para  $Z_m$  mayor que 182.7 g.cm-2:  $Edad_2 = A_0 + B_1 * Z_m + B_2 * (Z_m - 182.7)$ . Al multiplicar esta ecuación, obtenemos que para  $Z_m$  mayor que 182.7 la pendiente es igual a  $B_1 + B_2 = B_3$ , y el intercepto es igual a  $(A_0 - 182.7 * B_2) = A_1$ . Las  $W_1$  y  $W_2$  fueron calculadas a partir de las inversas de los coeficientes [ $W_1 = 1/B_1$ ,  $W_2 = 1/(B_1 + B_2)$ ] del modelo general de edad. La  $W_1$  (g.cm-2.año-1) corresponde a las edades con  $Z_m \leq 182.7$ , y  $W_2$  (g.cm-2.año-1) a las edades con  $Z_m > 182.7$ . Los errores calculados (Bevington P. & Robinson D., 2002) correspondientes para  $A_1$  (constante),  $W_1$  y  $W_2$  se muestran en la segunda fila de la tabla con letra en negrita.

|            | $A_0$   | $B_1$  | $B_2$  | $A_1$          | $B_3$        | $W_1$          | $W_2$          |
|------------|---------|--------|--------|----------------|--------------|----------------|----------------|
| Estimación | 10305.1 | 23.09  | -16.71 | <b>13357.9</b> | <b>6.37</b>  | <b>0.043</b>   | <b>0.157</b>   |
| Std.Err.   | ±366.8  | ±3.47  | ±3.57  | <b>±869.1</b>  | <b>±4.98</b> | <b>±0.0065</b> | <b>±0.1225</b> |
| t(6)       | 28.09   | 6.65   | -4.68  |                |              |                |                |
| p-level    | <0.001  | <0.001 | <0.01  |                |              |                |                |

**Modelo [Edad ( $Z_m$ )] general calculado:**

$$\text{Edad} = 10305 + 23.1 * Z_m + (-16.7) * (Z_m - 182.7) * [Z_m > 182.7]$$

$$PI = 182.7 \pm 26.5 \text{ g.cm}^{-2}$$

$$A_0 = 10305 \pm 366.8 \text{ años BP}$$

$$B_1 = 23.1 \pm 3.5 \text{ años.g}^{-1}.\text{cm}^2$$

$$B_2 = -16.7 \pm 3.5 \text{ años.g}^{-1}.\text{cm}^2$$

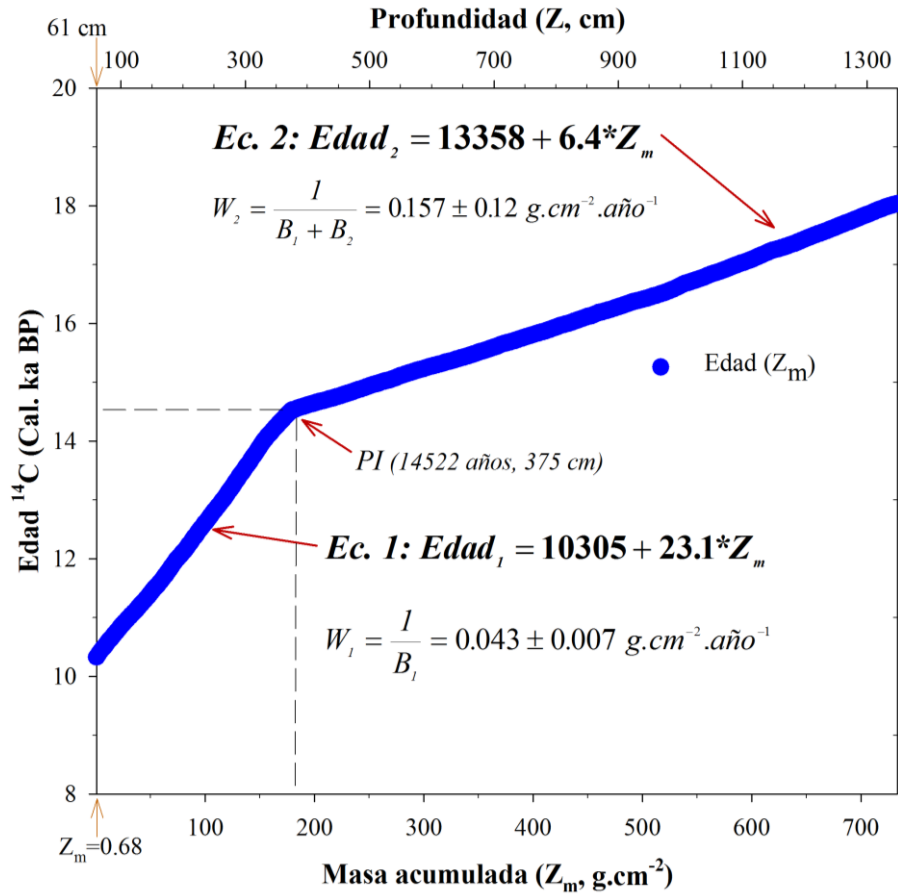


Figura 8. Modelo de edad (Cal. ka BP) empleado para el testigo M772-029.

Este modelo de edad corresponde a la función calculada a partir de la relación entre la edad  $^{14}\text{C}$  calibrada y la masa acumulada del sedimento  $Z_m$  (g.cm $^{-2}$ ). En la parte superior se muestra la función [Edad ( $Z_m$ )] del modelo general calculado, con los parámetros (PI: Punto de inflexión,  $A_0$ : constante,  $B_1$  y  $B_2$ : coeficientes) y sus errores correspondientes. Las dos ecuaciones lineales simples (Eq. 1 y Eq. 2) derivadas del modelo general se exhiben insertadas en el cuadro de la gráfica. Para las edades con  $Z_m$  menores que o igual a 182.7 g.cm $^{-2}$  ( $Z_m > 182.7$  es falso, es decir igual a 0), la ecuación es:  $\text{Edad}_1 = A_0 + B_1 * Z_m$ . Para edades con  $Z_m$  mayor que 182.7 g.cm $^{-2}$  [es decir, cuando ( $Z_m > 182.7$ ) es igual a 1], la ecuación es:  $\text{Edad}_2 = A_0 + B_1 * Z_m + B_2 * (Z_m - 182.7)$ . Al multiplicar la última ecuación, obtenemos que para valores  $Z_m$  mayor que 182.7 g.cm $^{-2}$ , la pendiente es igual a  $B_1 + B_2 = 6.4$ , y el intercepto es igual a  $(A_0 - 182.7 * B_2) = 13358$ . También se muestran las tasas de acumulación de sedimento ( $W_1$ ,  $W_2$ ) insertadas en el cuadro de la gráfica, las cuales fueron calculadas a partir de los coeficientes ( $B_1$  y  $B_2$ ) de la función general.

final del *Younger Dryas*. En la sección 16-0 cm el rango de edad estimada fue desde 1899  $\pm 8$  hasta 2008 AD (del Latín Anno Domini) (**Figura 9**). Para este período de tiempo se obtuvo una tasa de sedimentación ( $\hat{S}$ ) de  $1.47 \pm 0.11 \text{ mm.año}^{-1}$ , y una tasa de acumulación de sedimento (W) de  $0.0625 \pm 0.0002 \text{ g.cm}^{-2}.\text{año}^{-1}$  (**Figura 9**). Esta W se empleó para calcular el flujo de escamas y vértebras para el período de tiempo respectivo.

#### 4.2. Concentraciones de restos de peces asociados a Unidades Sedimentarias

La observación de un total de 274 muestras (de 1 cm de espesor c/u) de sedimentos marinos en el testigo M-772-029 permitió el conteo de escamas, vértebras, huesos, espinas y otros fragmentos óseos de peces. El conteo de los restos de peces alcanzó un total de 1460 escamas enteras, 650 vértebras, 477 huesos y 1057 espinas a lo largo de todo el testigo. En este testigo se encontró escamas y vértebras de anchoveta, merluza, sardina, jurel, caballa y de otras especies no identificadas (**Anexo 13**).

A lo largo del testigo completo M772-029, las mayores abundancias de escamas fueron las de anchoveta (51.7 %), seguidas por las de merluza (42 %), jurel (1.1 %), caballa (0.7 %), sardina (0.5 %), considerando que un 4.0 % del total de escamas no se lograron identificar, categorizándolas como “otras escamas” (**Anexo 13**).

La dominancia entre las escamas de anchoveta y merluza cambia entre las unidades sedimentarias en el testigo M772-029 (**Anexo 14**). En la Unidades I, II, y III, las escamas que predominaron fueron las de anchoveta con 66.1%, 55.8%, y 50.5% respectivamente, seguida por las escamas de merluza con 24%, 39.6%,

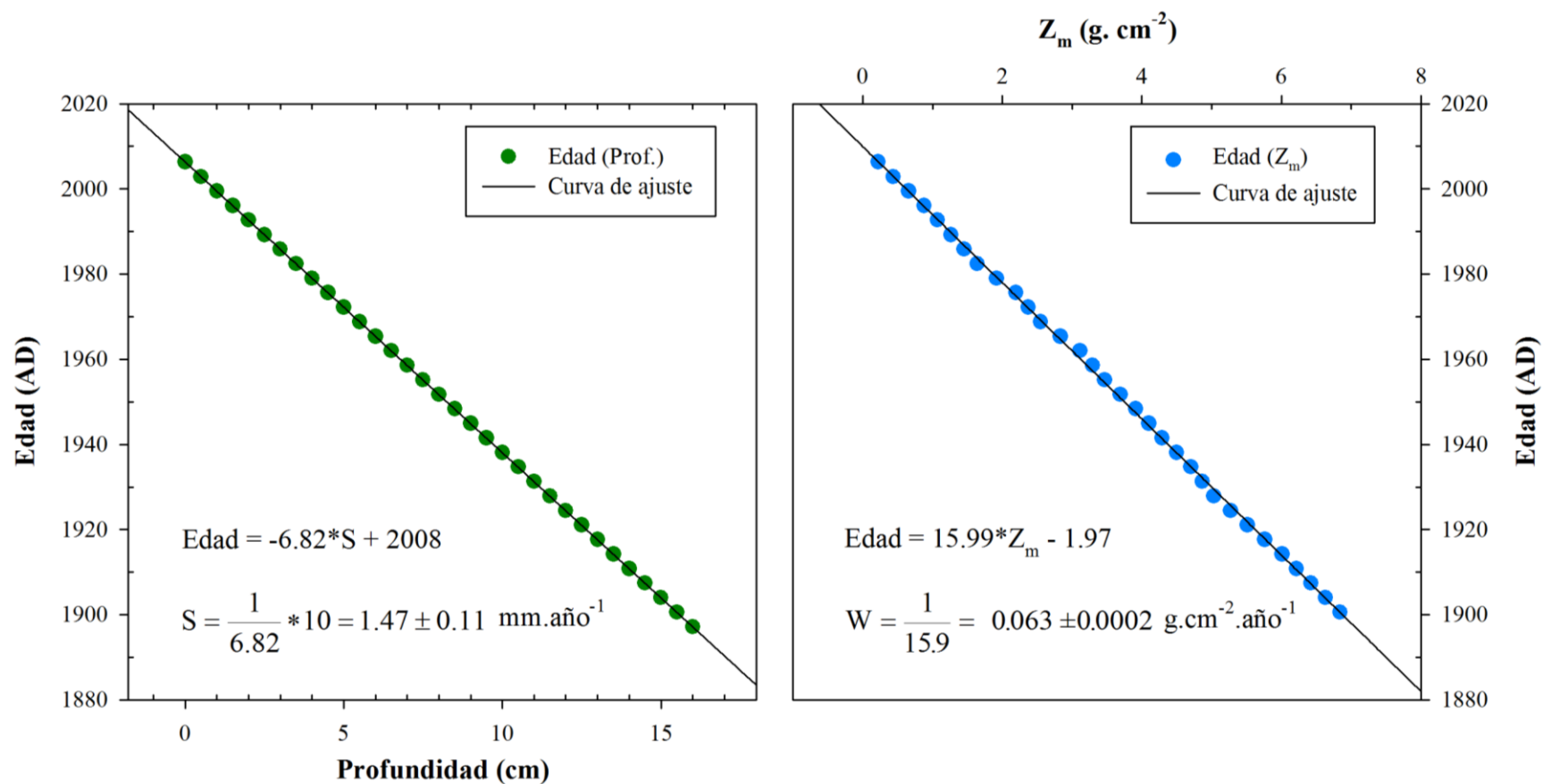


Figura 9. Modelo de edad del testigo CD0701.

En el panel izquierdo se muestra la relación de la edad (AD) versus la profundidad (cm) y el valor de la tasa de sedimentación (S); en el panel derecho se muestra la relación de la edad versus la masa acumulada de sedimento ( $Z_m$ ), y el valor de la tasa de acumulación de sedimento (W).

y 43.3% respectivamente. En contrate, en la Unidad IV las escamas de peces predominante fueron las de merluza con 55%, seguida por las de la anchoveta con 38.4% (**Anexo 14**).

En el testigo CD0701 el análisis de 52 muestras (de 0.5 cm de espesor c/u) de sedimentos permitió el conteo de restos de peces, resultando en un total de 358 escamas, 506 vértebras, 464 huesos y 42 espinas. En este testigo se encontró escamas y vértebras de anchoveta, merluza, sardina, y caballa. A lo largo de este testigo, las mayores cantidades de escamas fueron las de merluza (38.3%), seguidas por las de anchoveta (27.7%), sardina (7.8%), y caballa (6.7%), considerando que un 19.6% del total de escamas no se lograron identificar, categorizándolas como “otras escamas” (**Anexo 15**).

En el testigo CD0701 las escamas de merluza generalmente dominaron en las unidades sedimentarias (I y III) con secuencias laminadas (**Anexo 16**). En la Unidad I y Unidad III las escamas que predominaron fueron las de merluza con 54.2% y 36.2% respectivamente, seguida por las escamas de anchoveta con 12.9% y 34% respectivamente. En la Unidad II las escamas predominantes fueron las de caballa (59.6%), seguida por las de merluza (8.5%), anchoveta (6.4%), considerando que un 25.5% de escamas no se lograron identificarlas categorizándolas como “otras escamas” (**Anexo 16**).

#### *4.2.1. Concentraciones de escamas en el testigo M772-029*

##### Unidad I (1354 - 1065.5 cm):

Las concentraciones de escamas de anchoveta (NE/g) presentaron mucha variabilidad a lo largo de esta unidad, con tendencia a aumentar ligeramente desde

la base (1354 cm) hasta 1102 cm, luego tienden a disminuir hacia el tope (1065.5 cm) (**Figura 10**). Las concentraciones de escamas de merluza tienden a aumentar desde la base (1354 cm) hasta los 1232 cm, luego tienden a disminuir hacia el tope (1065.5 cm) de esta unidad (**Figura 10**). Las concentraciones de escamas no identificadas (otras escamas) presentaron casi total ausencia desde la base hasta los ~12.4 m, seguido presencia con bajas concentraciones desde ~12.4 hasta el límite superior de esta unidad (**Figura 10**).

#### Unidad II (1065.5 – 566 cm):

En esta unidad las concentraciones de escamas de anchoveta presentan mayores valores y con alta variabilidad, seguida de las escamas de merluza, y otras escamas no identificadas (**Figura 10**). Los máximos de concentraciones de escamas de anchoveta se exhiben a ~8 m; los máximos de escamas de merluza se observa a los ~9-10 cm, y ~7 m; los máximos de otras escamas no identificadas se aprecia a ~10m y ~7.5 m (**Figura 10**). Las escamas de sardina, jurel y caballa solo estaban presentes en algunas muestras y con muy bajas concentraciones (**Figura 10**).

#### Unidad III (566 - 364cm):

En esta unidad las concentraciones de escamas de merluza fueron las más abundantes, seguida por la anchoveta. Las concentraciones de escamas de anchoveta exhiben un patrón con tendencia a aumentar desde la base hasta el límite superior de esta unidad (**Figura 10**). Las concentraciones de escamas de merluza presentan una variabilidad sin un patrón evidente (**Figura 10**). Las escamas de sardina están ausentes, y las de jurel, caballa, y otras no identificadas

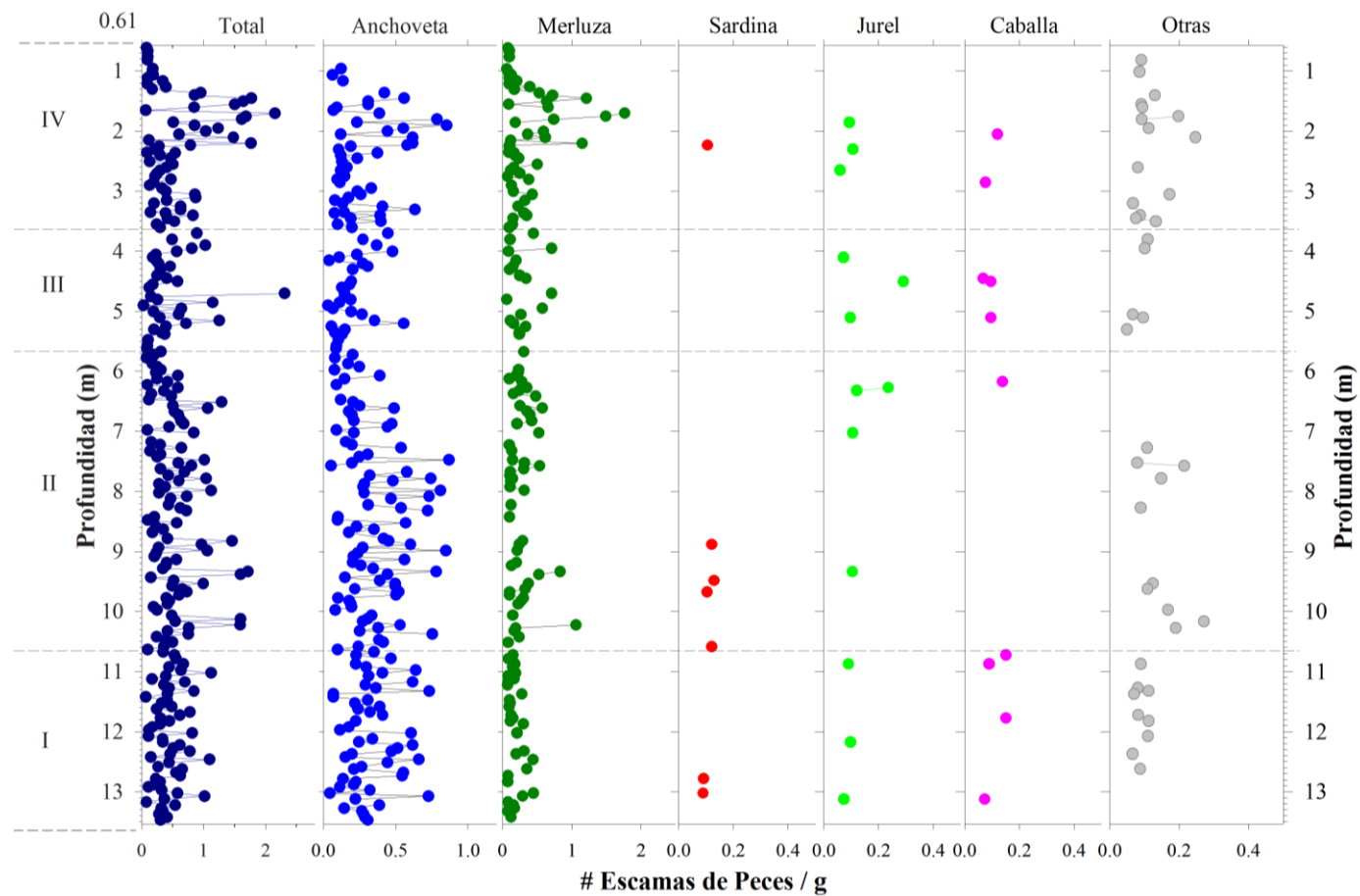


Figura 10. Concentraciones de escamas identificadas por especie en el testigo M772-029-3.

Las concentraciones de escamas están expresadas en números de escamas entre la masa del sedimento seco analizado (#Escamas/g, NE/g). De izquierda a derecha se muestran las escamas totales, de anchoveta, merluza, sardina, jurel, caballa, y otras no identificadas.



solamente se observaron en algunas muestras (**Figura 10**).

Unidad IV (364 - 57 cm):

En esta unidad las concentraciones de escamas más abundantes fueron las de merluza, seguida por las de anchoveta y otras escamas no identificadas. Las concentraciones de escamas de anchoveta aumentan desde la base (364 cm) hasta un máximo a ~2 m, luego disminuye hasta el límite superior (57 cm) de esta unidad (**Figura 10**). Las concentraciones de escamas de merluza exhiben un patrón con tendencia similar al de las escamas de anchoveta pero con un ligero desplazamiento hacia la parte superior del testigo (**Figura 10**). Las concentraciones de escamas no identificadas presentan un patrón muy similar al de las escamas de anchoveta, con máximo a ~2m (**Figura 10**).

Unidad V (57 - 36 cm, 36 – 0 cm):

Las escamas de anchoveta estaban ausentes; solamente se observaron pocas escamas de merluza y otras escamas no identificadas. Las escamas de merluza se encontraron únicamente en dos muestras de esta unidad, con una concentración de 0.09 NE/g (en 52-51 cm) y 0.66 NE/g (en 29-28 cm). Las escamas no identificadas se encontraron solamente en las muestras 42-43 cm, y 51-52 cm con un valor aproximado de 0.09 NE/g. Esta unidad V corresponde a la sección de *slump* del testigo y no se incluyó en la representación gráfica ni en el posterior análisis de los datos.

Las concentraciones de escamas de anchoveta presentaron diferencias altamente significativas entre las Unidades Sedimentarias. Las concentraciones de escamas de anchoveta fueron significativamente mayores en las Unidades

Sedimentarias II y I que en las Unidades IV y III (**Anexo 17, Anexo 18**). Las concentraciones de escamas de merluza presentaron diferencias significativas entre las Unidades Sedimentarias. Las concentraciones de escamas de merluza fueron significativamente mayores en la Unidad Sedimentarias II que en la Unidad IV, a la vez estas concentraciones en la Unidad IV fueron significativamente mayores que en las Unidades III y I (**Anexo 17, Anexo 18**).

Las concentraciones de escamas totales presentaron diferencias significativas entre las Zonas Bioestratigráficas de asociaciones de diatomeas (ZBD). Estas concentraciones de escamas totales en la Zona 3 fueron significativamente mayores que en la Zona 2 (**Anexo 19**). Las concentraciones de escamas de anchoveta presentaron diferencias altamente significativas entre las ZBD, siendo estas concentraciones en la Zona 3 significativamente mayores que en la Zona 1 y Zona 2 (**Anexo 19**). Las concentraciones de escamas de merluza presentaron diferencias altamente significativas entre las ZBD, siendo estas concentraciones en la Zona 3 significativamente mayores que en la Zona 1 (**Anexo 19**). Las concentraciones de otras escamas también presentaron diferencias altamente significativas entre las ZBD, siendo estas concentraciones en la Zona 1 significativamente mayores que en la Zona 2 (**Anexo 19**).

#### *4.2.2. Concentraciones de escamas en el testigo CD0701*

Las concentraciones de escamas de anchoveta fueron bajas desde la base del testigo hasta los 19 cm, aumentando hasta unos máximos entre 11.5 - 9 cm, luego disminuyendo hasta la parte superior del testigo (**Figura 11**). Los cambios en las concentraciones de escamas de merluza y sardina mostraron un patrón con

tendencia similar al de las de anchovetas a lo largo del testigo (**Figura 11**). Las concentraciones de escamas de caballa presentaron un máximo en 17-16.5 cm, siendo relativamente bajas en algunas muestras y cero en muchas muestras del resto del testigo (**Figura 11**).

Las concentraciones de escamas presentan diferencias significativas entre las Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701 (**Anexo 20, Anexo 21**). Las concentraciones de escamas totales son significativamente mayores en la Unidad III que en las Unidades I y II (**Anexo 21**). Las concentraciones de escamas de anchoveta presentan diferencias altamente significativas entre las Unidades Sedimentarias; siendo estas concentraciones significativamente mayores en la Unidad III que en las Unidades I y II (**Anexo 21**). Las concentraciones de escamas de merluza presentan diferencias significativas entre las Unidades Sedimentarias; estas concentraciones son significativamente mayores en las Unidades III y I que en la Unidad II (**Anexo 21**). En la Unidad I las concentraciones de escamas de anchoveta presentan un valor promedio de  $0.04 \pm 0.07$  NE/g, en la sección II un valor promedio de  $0.01 \pm 0.03$  NE/g, y en la sección III un valor promedio de  $0.24 \pm 0.29$  NE/g (**Anexo 20**). Las concentraciones de escamas de merluza en la sección I presentaron un valor promedio de  $0.23 \pm 0.22$  NE/g, en la sección II un valor promedio de  $0.02 \pm 0.03$  NE/g, y en la sección III un valor promedio de  $0.26 \pm 0.24$  NE/g (**Anexo 20**). Las concentraciones de escamas de sardina en la sección I presentan un valor promedio de  $0.02 \pm 0.04$  NE/g, en la sección II las escamas están ausentes, y en la sección III presentan un valor promedio de  $0.07 \pm 0.13$  NE/g (**Anexo 20**). Las concentraciones de escamas consideradas como otras escamas (total no identificadas) en la Unidad I presentan un valor promedio de

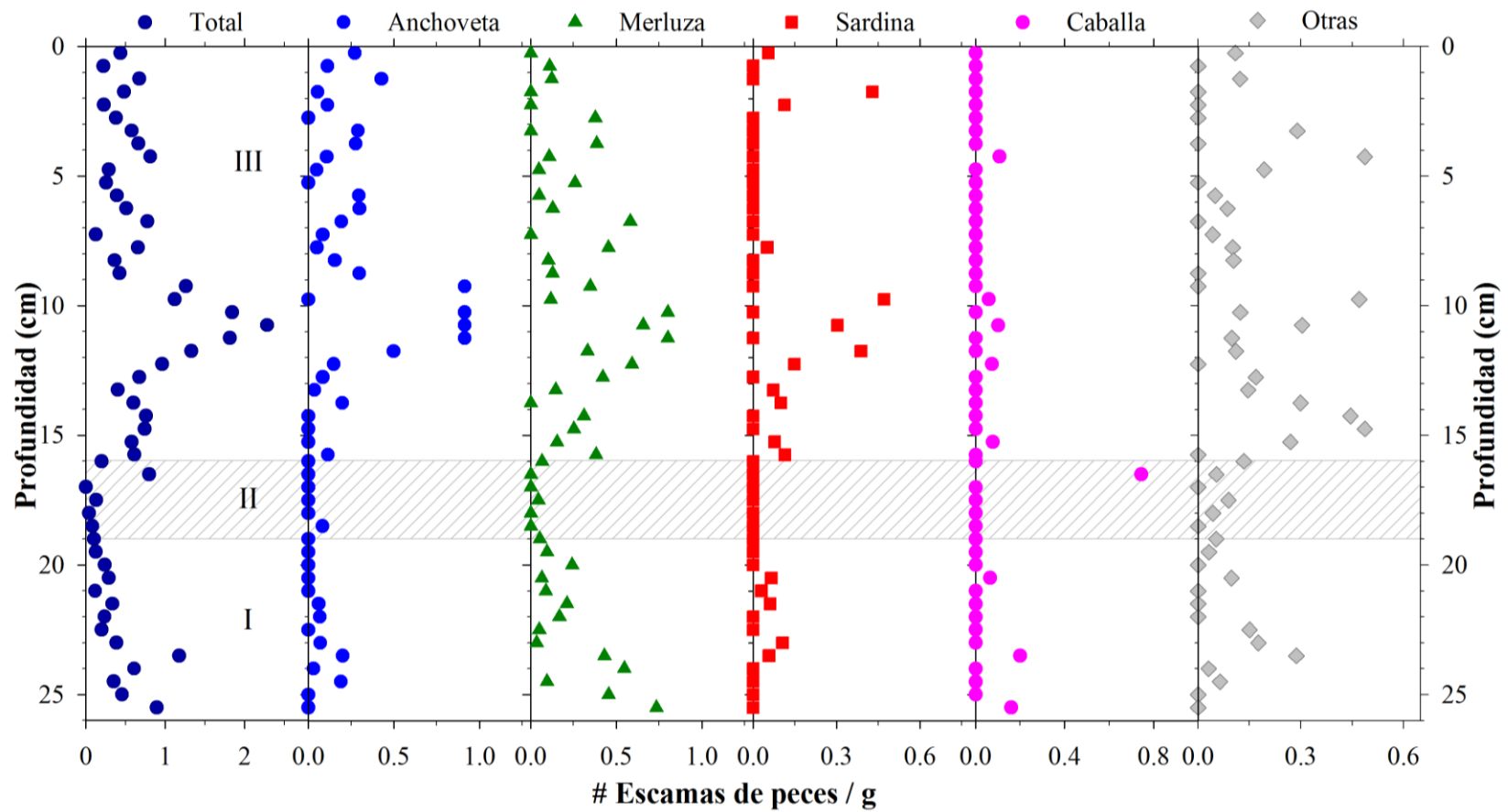


Figura 11. Concentraciones de escamas de peces identificadas por especie en testigo CD0701.

Las concentraciones de escamas están expresadas en número de escamas entre la masa del sedimento seco analizado (#Escamas/g, NE/g). La franja achurada de color gris claro corresponde al estrato (16-19 cm) con sedimento consolidado.

0.06  $\pm$ 0.09 NE/g, en la Unidad II un valor promedio de 0.05  $\pm$ 0.05 NE/g, en la Unidad III un valor promedio de 0.14  $\pm$ 0.16 NE/g (**Anexo 20**).

Los promedios de las concentraciones de escamas de anchoveta, merluza, y sardina presentan los más bajos valores en la Unidad Sedimentaria II. Los promedios de las concentraciones de otras escamas no identificadas exhiben una tendencia a aumentar desde la Unidad I hacia la Unidad III (**Anexo 20**).

#### 4.2.3. Concentraciones de vértebras en el testigo M772-029

A lo largo de todo el testigo M772-029 se encontraron vértebras de anchoveta y merluza, ausencia de vértebras de sardina, jurel, y caballa. Las vértebras de peces más abundantes fueron las de anchoveta (71.60 %), seguido por las de merluza (3.69%). Las vértebras no identificadas no pertenecientes a las especies mencionadas arriba, alcanzaron un 24.70 % del total (**Anexo 22**).

Los porcentajes de las cuantificaciones de vértebras de peces (#vértebras) indican que las vértebras de anchoveta predominan generalmente en la mayoría de las Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029 (**Anexo 23**). En las cuatro Unidades Sedimentarias predominan las vértebras de anchoveta, con mayor proporción en la Unidad II (85%, n=99), seguida de la Unidad IV (72.1%, n=64), Unidad I (61.1 %, n=57), y Unidad III (58.6%, n=41). La mayor abundancia de vértebras de merluza se presenta en la Unidad I (15%) respecto a las otras unidades, seguida de la Unidad III (2.9%), Unidad II (1.2%), y Unidad I (1.1%) (**Anexo 23**).

Las concentraciones de vértebras de peces totales, de anchoveta, y de otras vértebras no identificadas presentan un patrón con una tendencia a aumentar desde

ca. 5 m hasta los 1.5 m, luego disminuyen hacia la parte superior del testigo M772-029 (**Figura 12**). Las mayores concentraciones de las vértebras mencionadas se exhiben en la Unidad IV, con menores concentraciones en la Unidad I y II en sentido decreciente (**Figura 12**).

Unidad I (1354 - 1065.5 cm):

Las concentraciones de vértebras de anchoveta presentaron valores relativamente bajos con un promedio de  $0.20 \pm 0.13$  NV/g, con ausencia en varias muestras. Las concentraciones de vértebras no identificadas (otras vértebras) presenta un valor promedio de  $0.14 \pm 0.10$  NV/g (**Anexo 24**).

Unidad II (1065.5 – 566 cm):

Las concentraciones de vértebras de anchoveta presentaron mucha variabilidad a lo largo de esta sección, con un valor promedio de  $0.24 \pm 0.23$  NV/g, con picos de 2.48 NV/g (1038-1037 cm), 1.32 NV/g (783-782 cm) 1.30 NV/g (748-747 cm) NV/g. Las concentraciones de vértebras no identificadas (otras vértebras) presenta un valor promedio de  $0.16 \pm 0.12$  NV/g (**Anexo 24**).

Unidad III (566 - 364cm):

Las concentraciones de vértebras de anchoveta no muestran algún patrón evidente, con un valor promedio de  $0.19 \pm 0.11$  NV/g, y un pico de 1.25 (441-440 cm) NV/g, con ausencia entre algunas muestras y completa desde la base hasta 525 cm. Las concentraciones de vértebras no identificadas (otras vértebras) presena un valor promedio de  $0.17 \pm 0.10$  NV/g (**Anexo 24**).

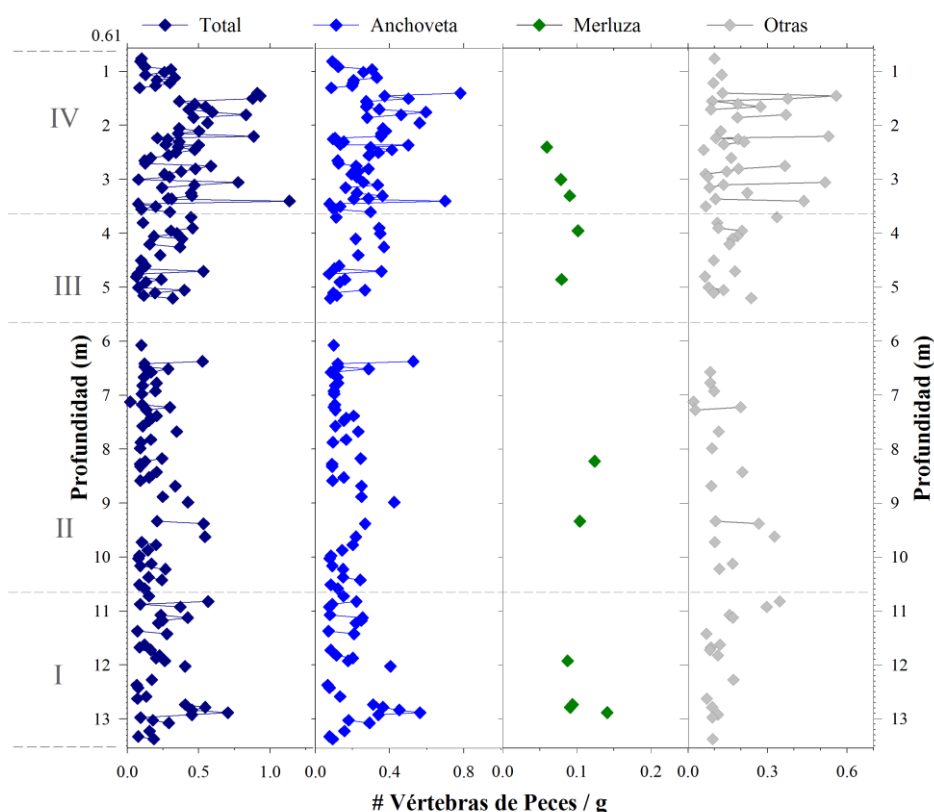


Figura 12. Concentraciones de vértebras de peces versus la profundidad en el testigo M772-029.

Las concentraciones de vértebras están expresadas en número de vértebras entre el sedimento seco analizado (#Vértexes/g, NV/g). De izquierda a derecha se exhiben escamas totales (azul oscuro), anchoveta (azul), merluza (verde), otras no identificadas (gris claro).

#### Unidad IV (364 - 57 cm):

Las concentraciones de vértebras de anchoveta muestran mucha variabilidad, con un valor promedio de  $0.35 \pm 0.27$  NV/g. La presencia de las vértebras de anchoveta resultaron con mayor continuidad en las muestras (cada  $\sim 5$  cm), que en las otras unidades. Las vértebras no identificadas (otras vértebras) presentaron un valor promedio de  $0.22 \pm 0.17$  NV/g. La presencia de las vértebras no identificadas (otras vértebras) resultaron más abundantes y con mayor continuidad en las muestras (cada  $\sim 5$  cm) de esta unidad, que en las otras unidades (**Anexo 24**).

Unidad V (57 - 36 cm, 36 – 0 cm):

En la Unidad V las concentraciones de vértebras de anchoveta presentaron un valor promedio de  $0.20 \pm 0.14$  NV/g; varias muestras resultaron con ausencia de estas vértebras. Las concentraciones de vértebras no identificadas (otras vértebras) presentaron un valor promedio de  $0.17 \pm 0.50$  NV/g. Esta unidad corresponde a la sección de *slump* en el testigo, por ello las concentraciones de vértebras no se incluyeron en la serie de tiempo.

Las concentraciones de vértebras totales, de anchoveta y de otras vértebras son significativamente diferentes entre las diferentes Unidades Sedimentarias (**Anexo 24, Anexo 25**). Las concentraciones de vértebras totales en la Unidad IV son significativamente mayores que en las unidades II, I y III. Las concentraciones de vértebras de anchoveta en la Unidad IV son significativamente mayores que en las unidades II, I y III. Las concentraciones de otras vértebras en la Unidad II son significativamente mayores que en la unidad IV; a la vez en la Unidad IV las concentraciones de vértebras totales son significativamente mayores que en la unidad I (**Anexo 25**). Los promedios de las concentraciones de vértebras de anchoveta y otras vértebras no identificadas muestran el mismo patrón con tendencia a aumentar desde la Unidad I hasta la Unidad IV, con 2 órdenes de magnitud de diferencia entre las concentraciones de las vértebras de anchoveta respecto a las otras vértebras. Las concentraciones de huesos y espinas de peces exhiben un patrón con una tendencia a disminuir desde la Unidad I hasta la Unidad III, luego aumentan hacia la Unidad IV (**Anexo 24**).

Las concentraciones de vértebras totales, de anchoveta y otras vértebras presentan diferencias altamente significativas entre las ZBD, dichas



concentraciones en la Zona 3 son significativamente mayores que en la Zona 1, y en la Zona 1 son significativamente mayores que en la Zona 2 (**Anexo 26**).

#### *4.2.4. Concentraciones de vértebras en el testigo CD0701*

A lo largo de todo el testigo CD0701 se encontraron vértebras de anchoveta, merluza, sardina, con ausencia de vértebras de jurel y caballa (**Anexo 27**). Las mayores concentraciones de vértebras (NV/g) fueron las de anchoveta (27.98%), seguida por las de merluza (17.45%), y sardina (4.75%) en el testigo completo (**Anexo 27**).

Los porcentajes del número de vértebras de peces identificadas por especie indican que las vértebras de merluza y anchoveta predominan en las diferentes Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701 (**Anexo 28**). En la Unidad I predominan las vértebras de merluza (24.6%), seguida por las de anchoveta (21.5%), y de sardina (6.2%). En cambio, en la Unidad II y Unidad III predominan las vértebras de anchoveta con 21.5% y 24.3% respectivamente, seguida por las de merluza con 12.5% y 17.5% respectivamente, y las de sardina con 11.1% y (0.8% respectivamente (**Anexo 28**).

Las concentraciones de vértebras (NV/g) presentan una alta variabilidad a lo largo del testigo CD0701 (**Figura 13**). Las concentraciones de vértebras de anchoveta son bajas desde la base (27 cm) del testigo hasta los 19 cm, aumentando en 19-16 cm, luego exhiben una mayor variabilidad hacia la parte superior del testigo, presentando un valle amplio (valores mínimos) entre 13 -7 cm (**Figura 13**). Las concentraciones de vértebras de merluza presentaron un patrón con tendencia similar al de las de anchoveta desde la base hasta la parte

superior del testigo, con ausencia en algunas muestras. Las concentraciones de vértebras de sardina presentaron un patrón con tendencia similar al de las de anchoveta desde la base del testigo hasta los 16 cm, alcanzando un 0.5 orden de magnitud mayor al de las concentraciones de vértebras de anchoveta; luego están ausentes en muchas muestras hasta el tope del testigo (**Figura 13**). Las concentraciones de vértebras no identificadas exhiben valores mínimos desde la base del testigo (27 cm) hasta los 19 cm, luego aumentan mostrando alta variabilidad desde los 16 cm hasta la parte superior del testigo (**Figura 13**).

Las concentraciones de vértebras de peces de anchoveta, merluza y sardina exhiben máximos valores en la Unidad Sedimentaria II, pero basadas en pocas observaciones (n=6), seguida en sentido decreciente la Unidad III (n=32), y la Unidad I (n=14). Sin embargo, basada en la prueba de homogeneidad, las concentraciones de vértebras totales, de anchoveta y de otras vértebras (no identificadas) en la Unidad III fueron significativamente mayores que en la Unidad I; y las concentraciones de vértebras de sardina en la Unidad III fueron significativamente mayores que en la Unidad II (**Anexo 29**). Las concentraciones de vértebras de peces no identificadas muestran máximos valores en la Unidad III, seguida en sentido decreciente la Unidad II, y la Unidad I (**Figura 13**).

Los promedios de las concentraciones de vértebras de anchoveta, merluza, y sardina exhiben un patrón con una tendencia similar entre las Unidades Sedimentarias; estas tienden a aumentar desde la Unidad I hacia la Unidad II, luego disminuyen hacia la Unidad III (**Anexo 30**). Los máximos valores en las concentraciones de vértebras los exhiben las vértebras de anchoveta, siendo estas de 2 y 3 veces más de magnitud mayor que las de merluza y sardina

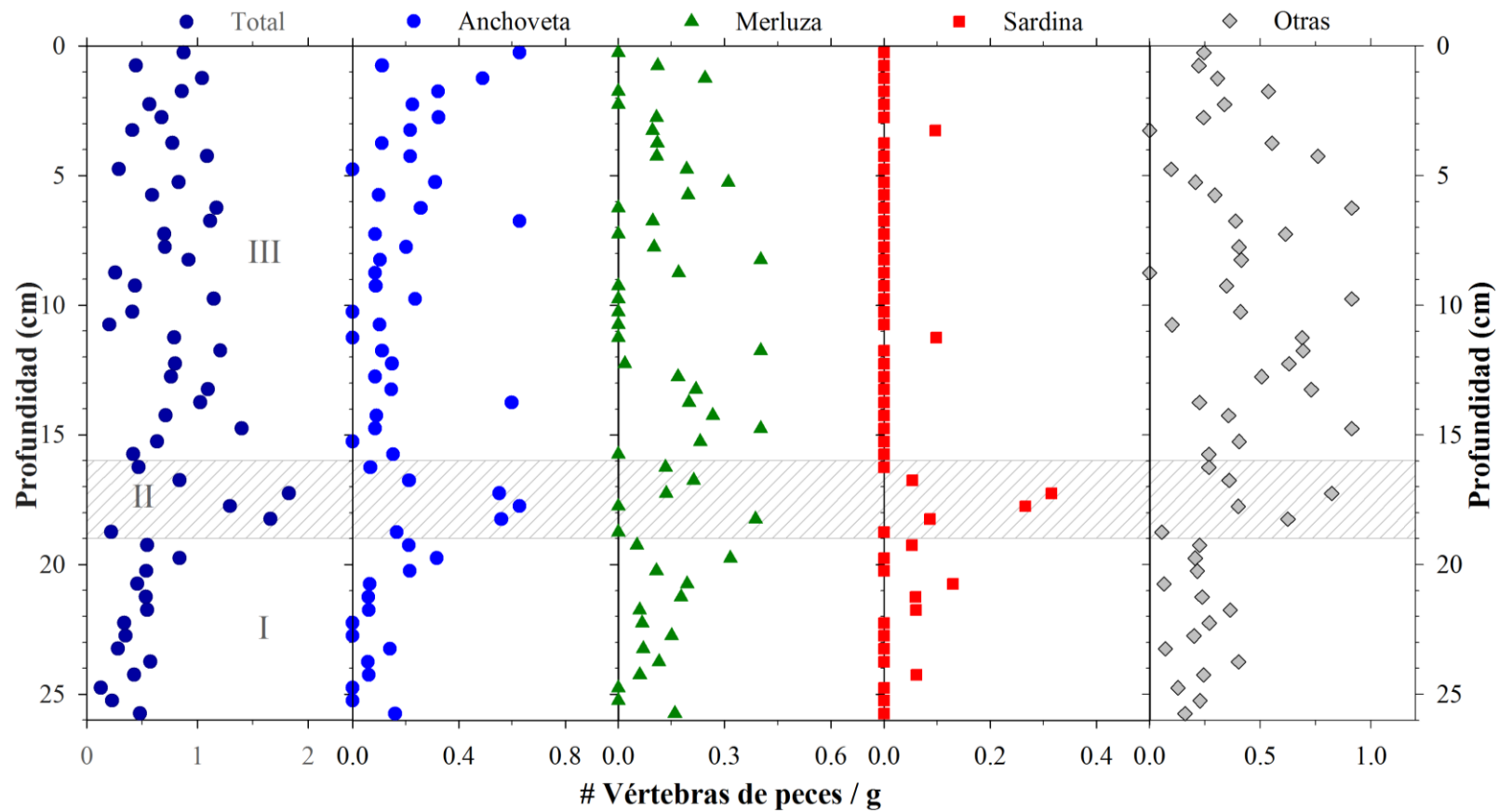


Figura 13. Concentraciones de vértebras de peces en el testigo CD0701.

Las concentraciones de vértebras están expresadas en número de vértebras entre la masa del sedimento seco analizado (#Vértebras/g, NV/g). Los números en romanos I, II, y III representan a las Unidades Sedimentarias identificadas en el testigo: Unidad I, 27-19 cm; Unidad II, 19-16 cm; Unidad III, 16-0 cm. La franja achurada color gris claro representa un estrato (16-19 cm) de sedimento consolidado.

respectivamente. En cambio, las concentraciones de otras vértebras no identificadas tienden a aumentar continuamente desde la Unidad I hasta la Unidad III. Los promedios de las concentraciones de huesos (NH/g) exhiben un patrón con la misma tendencia al de las vértebras de anchoveta, sardina y merluza, pero siendo más similares a las vértebras de anchoveta en su orden de magnitud. Por último se muestra que los promedios de las concentraciones de espinas muestran la misma tendencia que los promedios de las concentraciones de otras vértebras, pero con menor orden de magnitud (**Anexo 30**).

#### 4.3. Indicadores de preservación de escamas y restos óseos de peces asociados a las Unidades Sedimentarias

##### 4.3.1. *Cocientes de escamas:vértebras de peces por Unidad Sedimentaria*

##### 4.3.1.1. *Cocientes de escamas:vértebras de peces en el testigo M772-029*

Los cocientes de NE/NV de anchoveta exhiben un patrón con tendencia a aumentar desde la base del testigo hasta los ~10.5 m, seguida de una disminución hasta los ~9.5 m, luego aumentan hasta los ~8 m, seguida nuevamente de una disminución hasta el tope del testigo (**Figura 14**). Los cocientes NE/NV de otros peces no identificados muestran una tendencia a aumentar desde los ~5 m hasta el tope del testigo, sin valores en muchas muestras del resto del testigo (**Figura 14**).

El promedio máximo de los cocientes NE/NV del total de especies se evidencia en la Unidad Sedimentaria II con  $3.94 \pm 2.69$  NE/NV, seguida en sentido decreciente de las Unidades I, III y IV (**Figura 14, Anexo 31**). Los cocientes NE/NV del total y de anchoveta presentaron diferencias altamente significativas

entre las Unidades Sedimentarias (**Anexo 32**). Los cocientes NE/V del total en la Unidad Sedimentaria II fueron significativamente mayores que en la Unidad IV, en la Unidad IV fueron significativamente mayores que en las Unidades I y III. Los cocientes NE/NV de anchoveta en la Unidad II fueron significativamente mayores que en la Unidad IV y III, en la Unidad IV fueron significativamente mayores que en la Unidad I (**Anexo 32**).

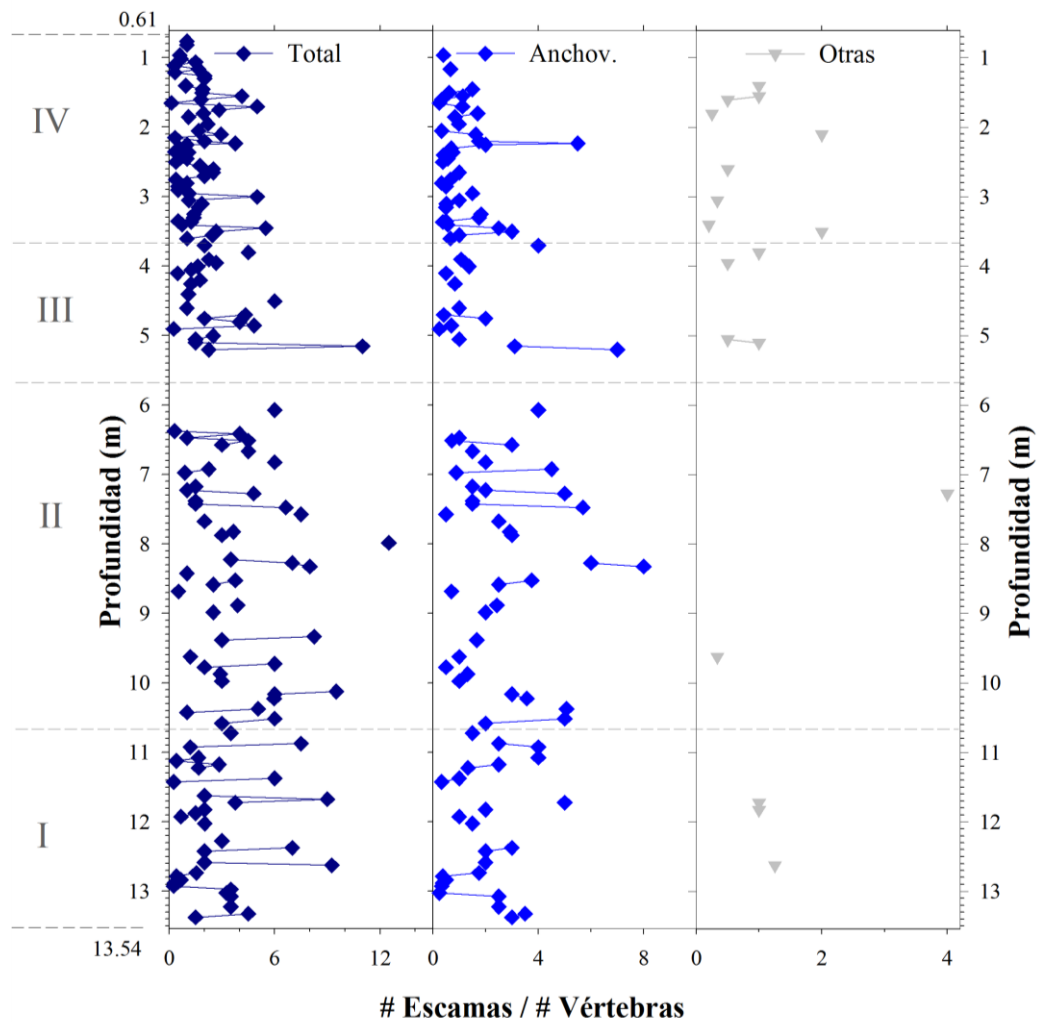


Figura 14. Cocientes de escamas: vértebras de peces (#Escamas/#Vértebras, NE/NV) en el testigo M772-029.

De izquierda a derecha: Cocientes de escamas a vértebras de todas las especies, anchoveta, y de otras especies no identificadas. Los números en romanos representan las Unidades Sedimentarias. Las Unidades Sedimentarias son Unidad I (1354-1065.5cm) Unidad II (1065.5-566 cm), Unidad III (566-364 cm) Unidad IV (364-57 cm).

#### 4.3.1.2. Cocientes de escamas:vértebras de peces en el testigo CD0701

Los cocientes NE/NV de anchoveta exhiben un patrón con tendencia a aumentar desde la base del testigo hasta un máximo a ~9 cm, seguida de una disminución hasta el tope del testigo (**Figura 15**). A diferencia, los cocientes NE/NV de merluza presentan un máximo a ~24 cm, seguida de una tendencia a disminuir hasta los ~16 cm, luego aumentan hasta los ~6 cm, y nuevamente disminuyen hacia el tope del testigo. Los cocientes NE/NV de otros peces no identificados muestran un patrón con tendencia similar al de las de merluzas, además de un máximo de 3 NE/NV a ~10cm, y con ausencia de datos en varias muestras (**Figura 15**).

Los cocientes NE/NV del total de peces presentaron un promedio máximo de  $1.07 \pm 0.83$  NE/NV en la Unidad Sedimentaria I, seguida de las Unidades III y II. Los cocientes NE/NV del total, anchoveta, merluza y de otras especies (no identificadas) no presentaron diferencias significativas entre las Unidades Sedimentarias. Los estadísticos resultantes fueron los siguientes:  $H=5.2$  (g.l=2,  $p=0.074$ ),  $H=0.47$  (g.l=2,  $p=0.789$ ),  $H=0.92$  (g.l=2,  $p=0.631$ ),  $H=2.71$  (g.l=2,  $p=0.258$ ) respectivamente. Los promedios de los cocientes NE/NV de anchoveta presentaron un máximo de  $1.81 \pm 2.22$  NE/NV en la Unidad III, seguida de las Unidades I y II. Los cocientes NE/NV de merluza presento un promedio máximo de  $2.38 \pm 2.58$  NE/NV en la Unidad I, seguida de las Unidades III y II. Los cocientes NE/NV de otros peces presentaron un promedio máximo de  $0.81 \pm 0.82$  NE/NV en la Unidad II, seguida de las Unidades III y II (**Anexo 33**).

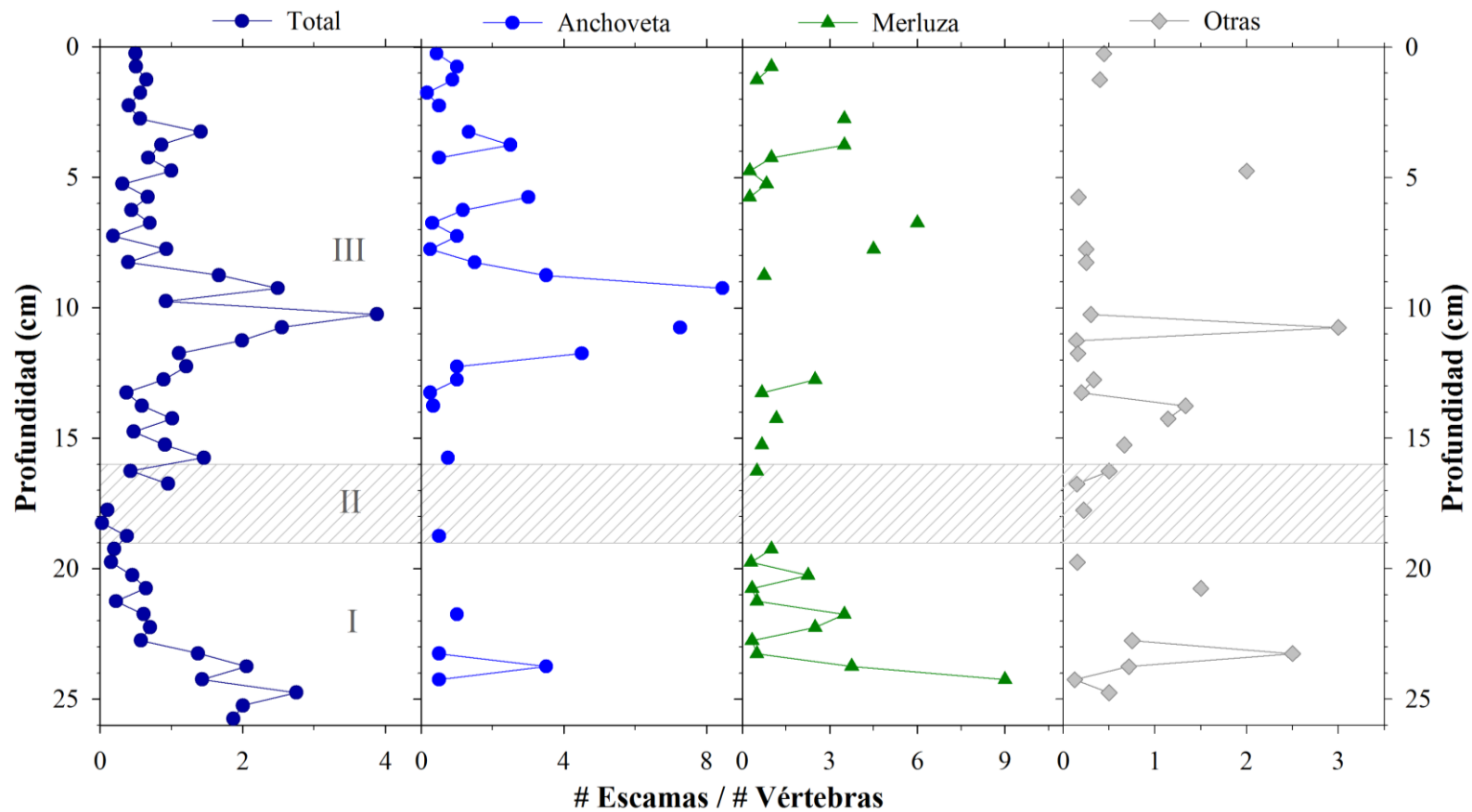


Figura 15. Cocientes de escamas: vértebras ( $\#Escamas/\#Vértebras$ ) en el testigo CD0701.

De izquierda a derecha: Cocientes de escamas: vértebras de todas las especies (línea y marcas color azul oscuro), anchoveta (azul), merluza (verde) y de otras no identificadas (gris claro). Los números en romanos representan las Unidades Sedimentarias. Las Unidades Sedimentarias son Unidad I (27-19 cm), Unidad II (19-16 cm), y Unidad III (16-0 cm). La sección achurada (19-16 cm) corresponde a una sección con sedimentos consolidados.

#### 4.3.2. *Índices de preservación de escamas de peces por Unidad Sedimentaria*

##### 4.3.2.1. *Índices de preservación de escamas en el testigo M772-029*

Los Índices IAF de las escamas totales de peces exhiben la mayor preservación en las unidades sedimentarias II y III (**Figura 16**). Los índices IAF de las escamas de anchoveta y de merluza mostraron la mayor y menor preservación en la unidad sedimentaria II y I respectivamente. Los índices IAF de escamas de sardina, jurel y caballa presentaron datos solamente en algunos niveles de profundidad, debido a escasas observaciones de escamas para estas especies a lo largo del testigo (**Figura 16**). Los índices IAF de otras escamas (no identificadas) muestran la mayor y menor preservación en la unidad sedimentaria II y III respectivamente (**Figura 16**).

Los índices IAF de escamas de anchoveta mostraron mayor variabilidad a lo largo de la UNIDAD I, seguida de la UNIDAD IV y las UNIDADES III y II. De similar manera los índices IAF de escamas de merluza mostraron mayor variabilidad en la UNIDAD I, que en las otras unidades, seguido por las UNIDADES III, IV y II. Los índices IAF de escamas no identificadas presentaron mayor variabilidad en la UNIDAD IV, seguido por las UNIDADES I, II, y III (**Figura 16, Anexo 34**).

Solamente el índice IAF de escamas totales presentó diferencias significativas ( $H=7.4$ ,  $p=0.025$ ,  $g.l=2$ ) entre las Unidades Bioestratigráficas de diatomeas. Esos índices en la Zona 3 fueron significativamente mayores que en la Zona 1, seguido en sentido decreciente el índice IAF en la Zona 2.



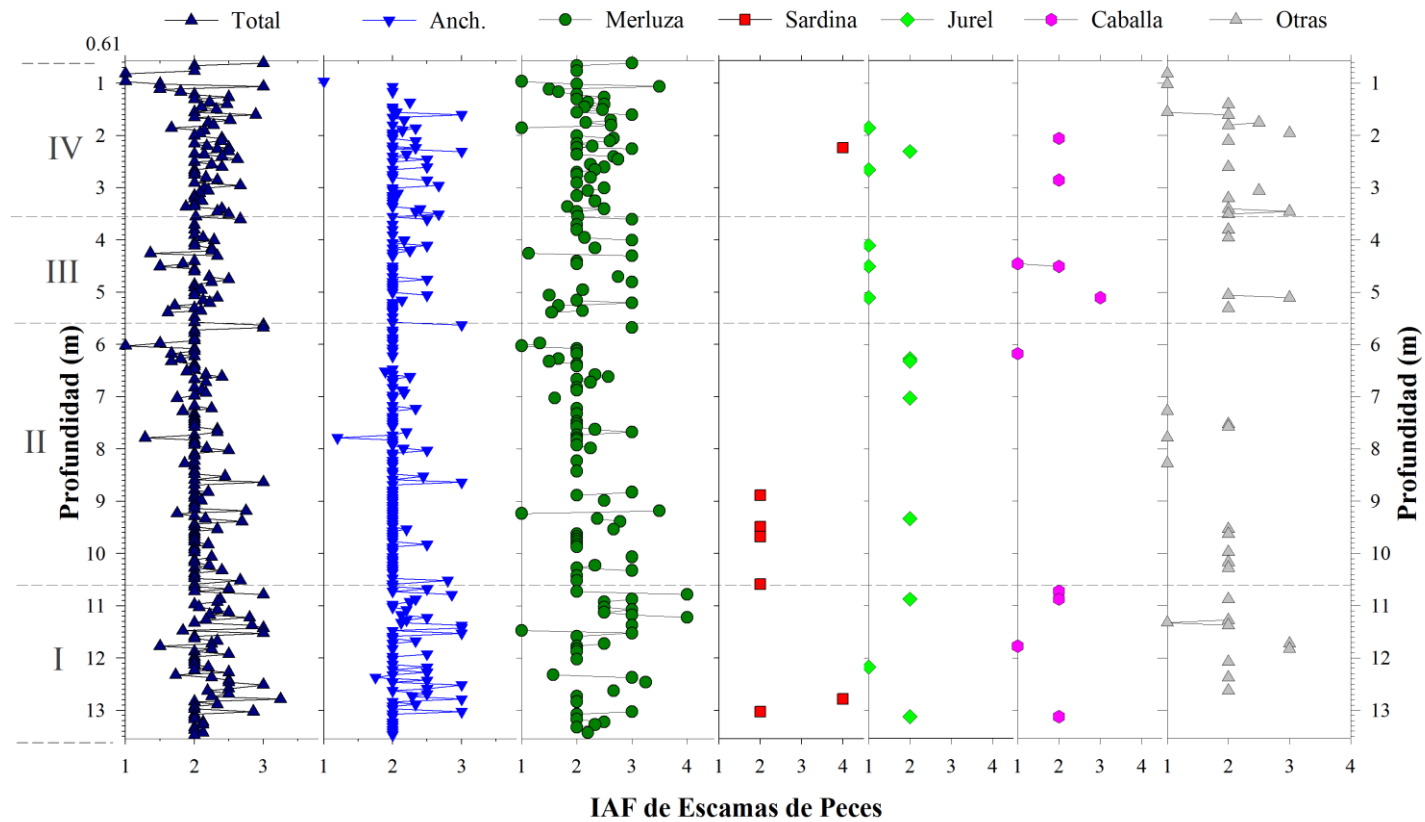


Figura 16. Índices IAF de escamas de peces por especie versus la profundidad en el testigo M772-029.

De izquierda a derecha: índices IAF de escamas totales (líneas y marcas en azul oscuro), anchoveta (azul), merluza (verde), sardina (rojo), jurel (verde claro), caballa (rosado) y en otras escamas no identificadas (gris claro). El rango de valores del índice IAF es de 1 – 4, en 1 la preservación de escamas es la más alta, en 4 la preservación de escamas es la más baja. Las Unidades Sedimentarias son Unidad I (1354-1065.5cm) Unidad II (1065.5-566 cm), Unidad III (566-364 cm) Unidad IV (364-57 cm).

#### 4.3.2.2. Índices de preservación de escamas en el testigo CD0701

Los índices IAF de escamas varían con respecto a la profundidad en el testigo CD0701 (**Figura 17**). Los índices IAF de escamas de anchoveta y merluza exhiben los más bajos valores desde la base del testigo hasta los 19 cm (Unidad Sedimentaria I), luego aumentan mostrando mayor variabilidad respecto a la sección mencionada. Los índices IAF de otras escamas no identificadas presentan una tendencia a aumentar desde la base (IAF  $\approx 2$ ) del testigo hasta los  $\sim 8$  cm (IAF  $\approx 4$ ), luego disminuyen hacia el tope del testigo. Los índices IAF de escamas de sardina y caballa muestran pocos datos a lo largo de este testigo, debido a las pocas observaciones de escamas (**Figura 17**).

Los índices IAF de escamas en general indicaron mayor preservación en las unidades sedimentarias I y II (**Figura 17, Anexo 35**). Los índices IAF de escamas de anchoveta indican mayor preservación en la unidad sedimentaria I, seguido en sentido decreciente en la unidad III y II. El índice IAF de escamas de merluza exhibe una mayor preservación en la unidad sedimentaria II, seguido en sentido decreciente en la unidad I y III. En cambio el índice IAF de otras escamas no identificadas muestra mayor preservación en la unidad sedimentaria I, seguido en sentido decreciente en la unidad II y III. (**Figura 17, Anexo 35**).

Los índices IAF de escamas totales muestran mayor variabilidad en la Unidad II, seguida de las Unidades I y III. Los índices IAF de escamas de anchoveta muestran mayor variabilidad en la Unidad I, seguida de las Unidades III y II. Los índices IAF de escamas de merluza muestran mayor variabilidad en la Unidad II, seguida de las Unidades I y III. Los índices IAF de otras escamas

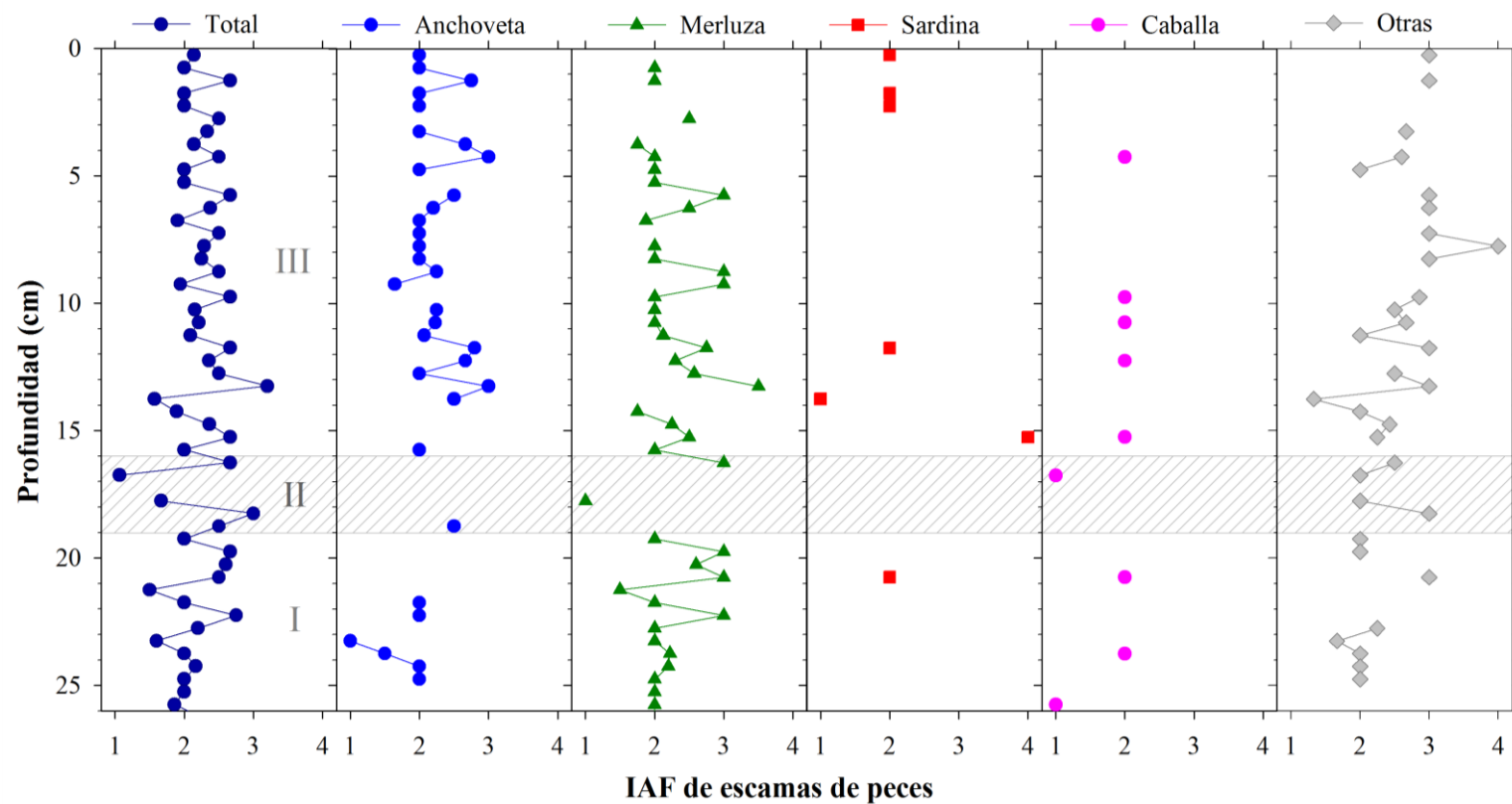


Figura 17. Índices IAF de escamas de peces en el testigo CD0701.

De izquierda a derecha: índices IAF de escamas totales (líneas y marcas en azul oscuro), anchoveta (azul), merluza (verde), sardina (rojo), caballa (rosado) y de otras escamas no identificadas (gris claro). El rango de valores del índice IAF es de 1 – 4, en 1 la preservación de escamas es la más alta, en 4 la preservación de escamas es la más baja. Las Unidades Sedimentarias son Unidad I (27-19 cm), Unidad II (19-16 cm), y Unidad III (16-0 cm). La sección achurada corresponde a una sección con sedimentos consolidados.

muestran mayor variabilidad en la Unidad III, seguida de las Unidades II y I (**Anexo 35**).

#### 4.3.3. *Índices de preservación de vértebras y otros restos óseos de peces por Unidad Sedimentaria*

##### 4.3.3.1. Índices de preservación de vértebras en el testigo M772-029

Los índices IAF de vértebras indicaron diferencias de preservación entre las unidades sedimentarias (**Figura 18, Anexo 36**). Los índices IAF de vértebras totales y vértebras de anchoveta exhibieron mayor preservación en las unidades sedimentarias II y III, seguido en sentido decreciente en las unidades IV y I. En cambio el índice IAF de vértebras de merluza indicó una mayor preservación en las unidades sedimentarias III y IV, seguido en sentido decreciente en las unidades I y II. El índice IAF de otras vértebras no identificadas exhibió una mayor preservación en la unidad sedimentaria III, seguido en sentido decreciente en las unidades IV, II y I (**Figura 18, Anexo 36**).

Los índices IAF de vértebras totales mostraron mayor variabilidad en la UNIDAD II, seguida de las UNIDADES I, IV y III. Los índices IAF de vértebras de anchoveta mostraron mayor variabilidad en la UNIDAD II, seguida de las UNIDADES III, IV y I. Los índices IAF de otras vértebras (no identificadas) presentaron mayor variabilidad en la UNIDAD II, seguida de las UNIDADES I, III y IV (**Figura 18, Anexo 36**).

Los índices IAF de vértebras totales y de otras vértebras (no identificadas) presentaron diferencias altamente significativas entre las unidades

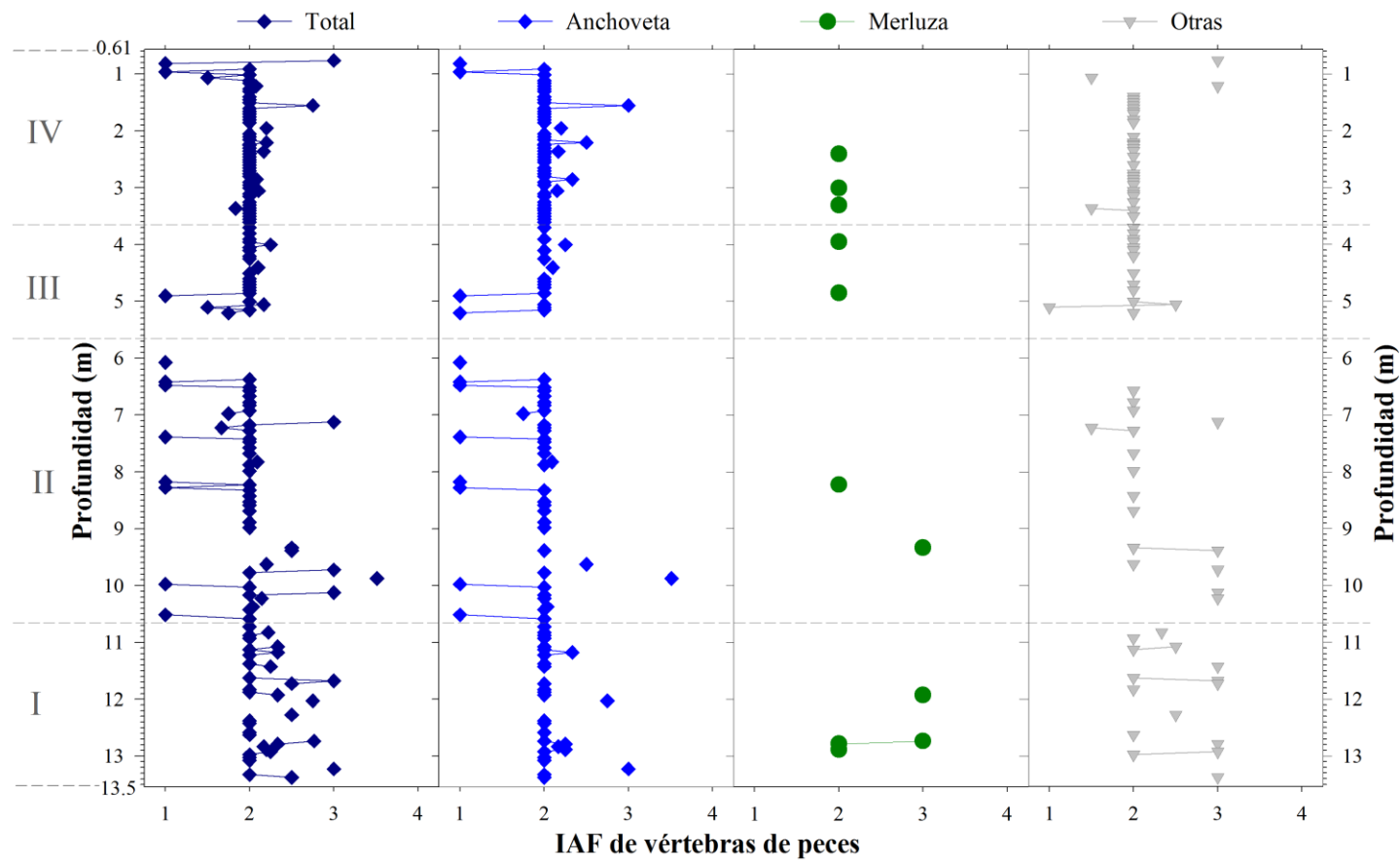


Figura 18. Índices IAF de vértebras de peces versus la profundidad en el testigo M772-029.

De izquierda a derecha: índice IAF de vértebras totales (azul oscuro), anchoveta (azul), merluza (verde), y en otras vértebras no identificadas (gris claro). El rango de valores del índice IAF es de 1 – 4; en 1 la preservación de escamas es la más alta; en 4 la preservación de escamas es la más baja. Las Unidades Sedimentarias son Unidad I (1354-1065.5cm) Unidad II (1065.5-566 cm), Unidad III (566-364 cm) Unidad IV (364-57 cm).

bioestratigráficas de diatomeas. (**Anexo 37**). Estos índices IAF de la Zona 3 fueron significativamente mayores que en la Zona 1 y la Zona 2. En el caso de los índices IAF de escamas, solamente los índices IAF de escamas totales presentaron diferencias significativas entre las Zonas bioestratigráficas de diatomeas; los índices IAF de escamas totales en la Zona 3 fueron significativamente mayores que en la Zona 2, y en la Zona 1 fueron significativamente mayores que en la Zona 2 (**Anexo 37**).

#### 4.3.3.2. Índices de preservación de vértebras en el testigo CD0701

Los índices IAF de vértebras presentan una alta variabilidad a lo largo y por Unidades Sedimentarias (I, II, y III) del testigo CD0701 (**Figura 19**). El índice IAF de vértebras de anchoveta presentan una tendencia a disminuir desde la base del testigo (IAF=3) hasta los ~17 cm (~1.5), seguido de un aumento hasta los ~13 cm, luego disminuyen hasta los ~8 cm, y nuevamente aumentan hasta el tope del testigo. Los índices IAF de vértebras de merluza exhiben un patrón con tendencia a aumentar desde la base del testigo (IAF=2) hasta los ~12.5 cm, seguida de una sección con ausencia de observaciones, luego los índices IAF oscilan entre 2 y e hasta el tope del testigo (**Figura 19**).

Los índices IAF de vértebras totales muestran mayor variabilidad en la Unidad III, seguida de las Unidades I y II (**Anexo 38**). Los índices IAF de vértebras de anchoveta muestran mayor variabilidad en la Unidad III, seguida de las Unidades II y I. Los índices IAF de vértebras de merluza muestran mayor variabilidad en la Unidad III, seguida de las Unidades I y II. Los índices IAF

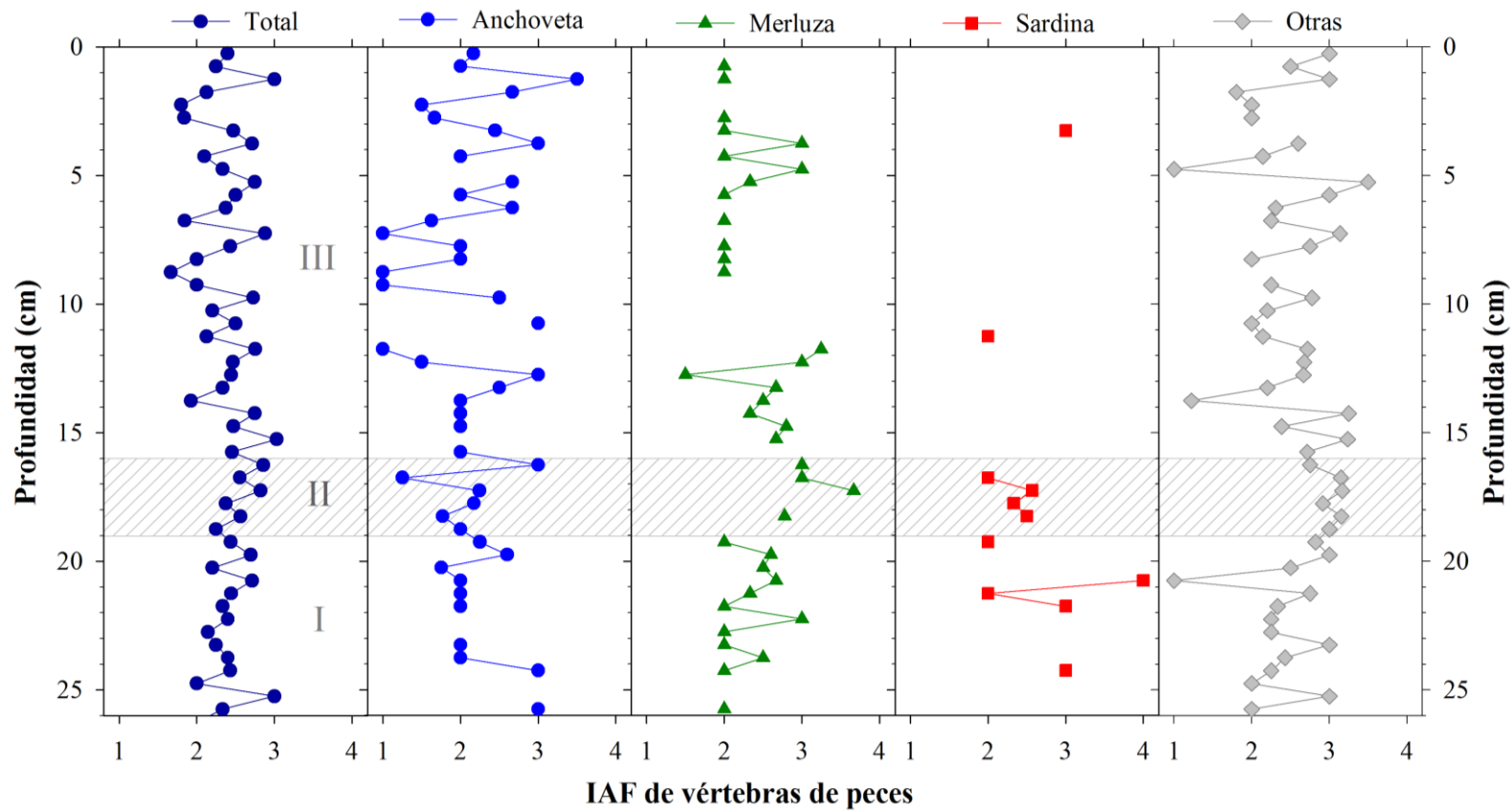


Figura 19. Índices IAF de vértebras de peces versus la profundidad en el testigo CD0701.

De izquierda a derecha: índice IAF de vértebras totales (azul oscuro), anchoveta (azul), merluza (verde), sardina (rojo), y en otras vértebras no identificadas (gris claro). El rango de valores del IAF es de 1 – 4, en 1 la preservación de escamas es la más alta, en 4 la preservación de escamas es la más baja. Las Unidades Sedimentarias son Unidad I (27-19 cm), Unidad II (19-16 cm), y Unidad III (16-0 cm). La sección achurada (19-16 cm) corresponde a una sección con sedimentos consolidados.

de otras vértebras muestran mayor variabilidad en la Unidad III, seguida de las Unidades I y II (**Anexo 38**).

#### 4.4. Flujos de escamas y restos óseos de peces asociados a períodos climáticos desde la última deglaciación

El rango de edad (18 – 10.3 ka BP) en el testigo M772-029 se asoció a los períodos climáticos de escala milenial y multiseccular (Shakun et al., 2012; Shakun & Karlson, 2010; Alley & Clark, 1999) que se indican a continuación: el *Early Last Deglaciation* (ELD, 18-17.5 cal. ka BP), el *Oldest Dryas* (OD, 17.5 - 14.5 cal. ka BP), el *Bølling-Allerød* (B-A, 14.5 - 12.9 cal. ka BP), el *Younger Dryas* (12.9 - 11.5 cal. ka BP), y el inicio del Holoceno (*Earliest Holocene*, EH, 11.5 - 10.3 cal. ka BP). El período climático que abarca el último ciento de años se definió como Último Siglo (*Last Century*, LC, años AD) en el testigo corto CD0701.

Adicionalmente, para el testigo corto CD0701 se estimaron los siguientes períodos climáticos: el *Late Younger Dryas* (LYD, 11.8 - 11.5 cal. ka BP), y posiblemente el Holoceno medio (*Middle Holocene*, MH, ~8 -5 ka BP) (ver 3.3.1).

Las escamas de anchoveta y merluza predominaron en los testigos M772-029 y CD0701 asociados a los diferentes períodos climáticos (**Figura 20**). En el ELD y OD asociado al testigo M772-029 predominaron las escamas de anchoveta con 62.1% y 57% respectivamente, seguida de las de merluza con 26.6% y 37.4% respectivamente. En contraste en el B-A, YD, y EH predominaron las escamas de



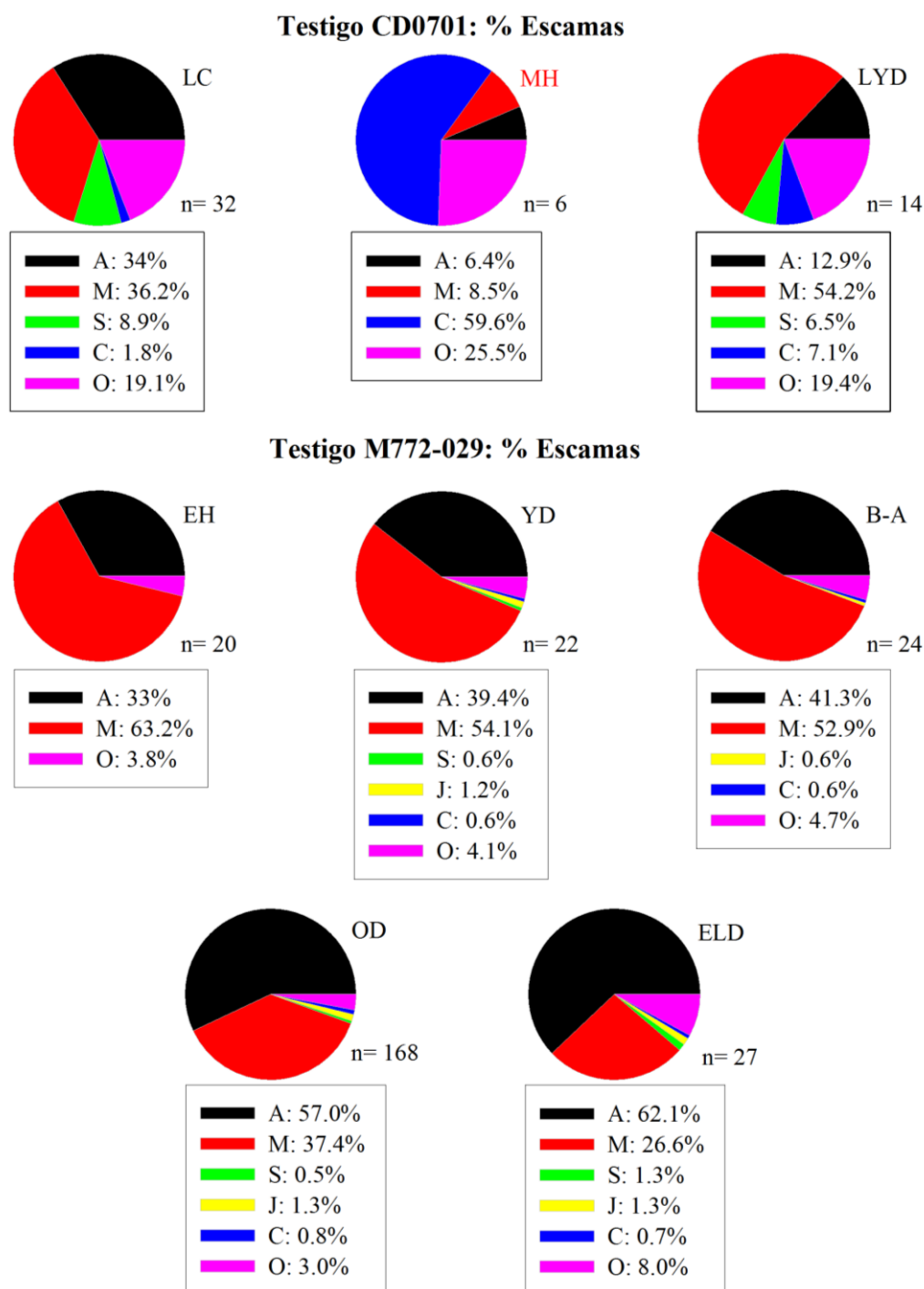


Figura 20. Porcentajes de escamas por especie y por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.

Escamas de anchoveta (A), merluza (M), sardina (S), jurel (J), caballa (C), y otras no identificadas (O). Períodos climáticos en testigo M772-029: ELD, *Early Last Deglaciación* (18.05 – 17.5 cal. ka BP); OD; *Oldest Dryas* (17.5 - 14.5 cal. ka BP); B-A, *Bølling-Allerød* (14.5 - 12.9 cal. ka BP); YD, *Younger Dryas* (12.9 - 11.5 cal. ka BP); EH, y *Earliest Holocene* (11.5 - 10.3 cal. ka BP). Períodos climáticos en testigo CD0701: *Late Younger Dryas* (LYD, 11.8 - 11.5 cal. ka BP); MH, *Middle Holocene* (supuesto); y LC, *Last Century* (1900 AD - Presente).

merluza con 52.9%, 54.1%, y 63.2% respectivamente, seguida de las de anchoveta con 41.3%, 39.4%, y 33% respectivamente.

En los períodos climáticos LYD y LC asociados al testigo CD0701, las escamas de merluza predominaron en número con 54.2% (n=14) y 36.2% (n=32) respectivamente, seguida por las de anchoveta con 12.9% (n=14) y 34% (n=32) respectivamente. (**Figura 20**).

En el período MH supuesto del testigo CD0701 se observaron los más bajos números de escamas en general, con predominancia de escamas de caballa (59.6%, n=6), seguida de merluza (8.5%, n=6), y anchoveta (6.4%, n=6), considerando que un 25% pertenecieron a otras escamas no identificadas (**Figura 20**).

#### *4.4.1. Flujos de escamas asociados a períodos climáticos desde la última deglaciación*

Los flujos de escamas ( $\text{NE} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ) de peces exhiben una alta variabilidad en los testigos compuestos M772-029 y CD0701 asociados a los períodos climáticos (**Figura 21**). Los flujos de escamas de anchoveta muestran una alta variabilidad y valores máximos desde el inicio del ELD hasta el final del OD. Los flujos de escamas de anchoveta fueron bajos durante el B-A, aumentando ligeramente durante el YD, luego disminuyendo durante el EH; estos flujos en el LC alcanzan hasta un orden de magnitud superior a los del inicio del EH (**Figura 21**). Los flujos de escamas de merluza exhiben un patrón con una tendencia similar al de los flujos de escamas de anchoveta, pero con

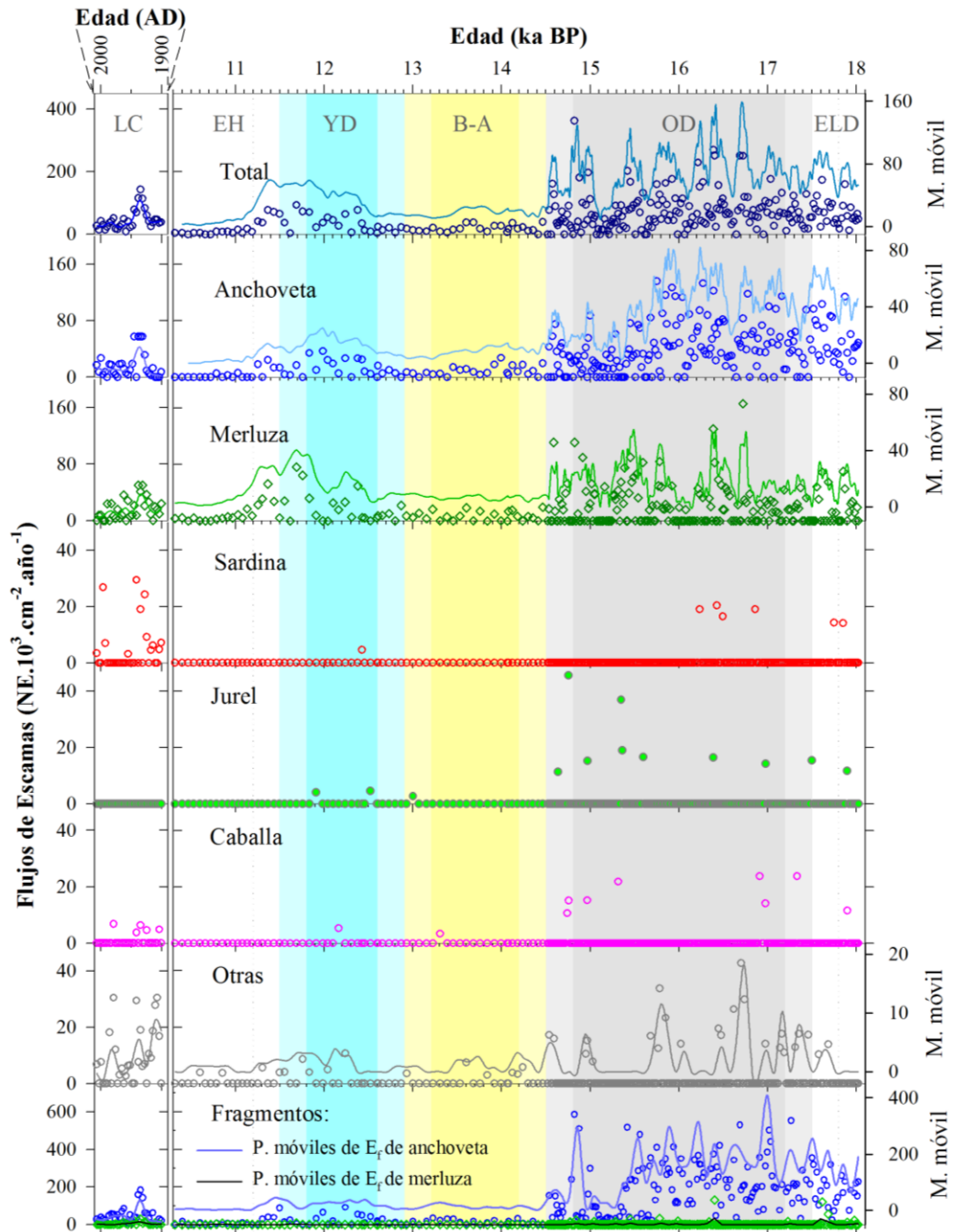


Figura 21. Flujos de escamas de peces versus la edad asociados con los períodos climáticos globales en los testigos M772-029 y CD0701.

De arriba hacia abajo: Flujos de escamas de peces totales (azul oscuro), de anchoveta (azul), merluza (verde), sardina (rojo), jurel (verde claro), caballa (rosado), de otras escamas no identificadas (gris claro), y de fragmentos de escamas de anchoveta y merluza. Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel superior (letras de color gris). Las líneas representan a los promedios móviles cada cinco pasos.

menor orden de magnitud durante el ELD y OD. Los flujos de escamas de sardina, jurel y de caballa siguen el mismo patrón descrito arriba, pero con menos observaciones y casi totalmente ausente durante el B-A. Los flujos de escamas fragmentadas de anchoveta muestran un patrón con tendencia similar a los de las escamas enteras de anchoveta durante el ELD, OD, y el LC, y con muy bajos valores durante el B-A, YD, y el EH (**Figura 21**).

Los flujos de escamas totales, de anchoveta, sardina, y de otras escamas no identificadas presentaron diferencias altamente significativas entre los diferentes períodos climáticos (**Tabla 5, Anexo 39**). Los flujos de escamas totales y de anchoveta en el OD y ELD fueron significativamente mayores que en los demás períodos climáticos; en el LC y YD fueron significativamente mayores que en el EH. Los flujos de escamas de sardinas en el OD fueron significativamente mayores que en el LC, y en el LC fueron significativamente mayores que en el ELD, YD, B-A y el EH. Los flujos de escamas de otras especies (no identificadas) en el OD fueron significativamente mayores que en el LC, y en el LC fueron significativamente mayores que en el B-A, ELD, YD y el EH (**Tabla 5, Anexo 39**).

Los promedios de los flujos de escamas enteras y fragmentadas de anchoveta tienden a disminuir desde el ELD hasta el LC. Los promedios de los flujos de escamas de merluza exhiben cambios sin un patrón definido entre los períodos climáticos. En cambio, los promedios de los flujos de otras escamas (no identificadas), muestran una tendencia a aumentar desde el ELD hasta el LC, siendo evidentemente muy alto en el LC respecto a los otros períodos (**Anexo 39**).

Tabla 5. Diferencias de los flujos de escamas de anchoveta, merluza y otras (no identificadas) entre períodos climáticos según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney. Los flujos de escamas son del total de escamas (FET), anchoveta (FEA), merluza (FEM), y de otras escamas no identificadas (FEO). Períodos climáticos: ELD, Early Last Deglaciation; OD, Oldest Dryas; B-A, *Bølling-Allerød*; YD, Younger Dryas; EH, Early Holocene; LC, Last Century. N=290.

| Flujos | Intervalos climáticos |      |       |      |       |      | Anova Kruskal Wallis |        | Grupos Homogéneos |           |            |            |            |           |
|--------|-----------------------|------|-------|------|-------|------|----------------------|--------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
|        | LC                    | EH   | YD    | BA   | OD    | ELD  | H(5)                 | p      | (α<0.05)          |           |            |            |            |           |
| FET    | 4234                  | 1284 | 2322  | 1506 | 28199 | 4650 | 62.61                | <0.001 | <u>EH</u>         | <u>BA</u> | <u>YD</u>  | <u>LC</u>  | <u>ELD</u> | <u>OD</u> |
| FEA    | 3441                  | 1126 | 2240  | 2047 | 28114 | 5227 | 69.99                | <0.001 | <u>EH</u>         | <u>BA</u> | <u>YD</u>  | <u>LC</u>  | <u>ELD</u> | <u>OD</u> |
| FEM    | 5196                  | 2784 | 3501  | 2794 | 24305 | 3615 | 4.32                 | 0.505  |                   |           |            |            |            |           |
| FES    | 6083                  | 2720 | 3130  | 3128 | 23307 | 3827 | 56.97                | <0.001 | <u>EH</u>         | <u>BA</u> | <u>YD</u>  | <u>ELD</u> | <u>LC</u>  | <u>OD</u> |
| FEJ    | 4448                  | 2780 | 3339  | 3336 | 24389 | 3903 | 4.06                 | 0.541  |                   |           |            |            |            |           |
| FEC    | 5123                  | 2760 | 31786 | 3312 | 24088 | 3734 | 8.08                 | 0.152  |                   |           |            |            |            |           |
| FEO    | 6753                  | 2805 | 3201  | 3397 | 22744 | 3295 | 45.87                | <0.001 | <u>EH</u>         | <u>YD</u> | <u>ELD</u> | <u>BA</u>  | <u>LC</u>  | <u>OD</u> |

Las relaciones entre las escamas de peces de diferentes especies son muy débiles pero significativas (**Tabla 6**). Las escamas de anchoveta no mostraron relación con las escamas de sardina, ni con ninguna especie oceánica (jurel y caballa). Las escamas de anchoveta mostraron relación ( $r=0.13$ ,  $p=0.022$ ) únicamente con las escamas de merluza. Las escamas de sardina exhiben relación ( $r=0.13$ ,  $p=0.026$ ) con otras escamas (no identificadas). La correlación más alta encontrada ( $r=0.31$ ,  $p<0.001$ ) fue entre las escamas de jurel y caballa (**Tabla 6**).

Los cocientes de escamas a escamas (NE/NE) de anchoveta al total muestran máximos durante el ELD y OD, y mucha variabilidad únicamente durante el ELD, luego estas disminuyen a través del B-A hasta el final del YD, y aumentan ligeramente durante el EH (**Figura 22**). Los cocientes NE/NE

Tabla 6. Coeficientes de Correlación (r) entre los flujos de escamas de las diferentes especies de peces en los testigos M772-029 y CD0701 compuestos.

En negrita se indican la variabilidad compartida significativa después de la corrección para comparaciones múltiples ( $p < 0.0083$ ). Se indica el nivel de probabilidad  $p < 0.05$  (\*).

|           | Totales                      | Anchoveta       | Merluza         | Sardina         | Jurel                        | Caballa        | Otras          |
|-----------|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|----------------|----------------|
| Totales   | 1<br>p= ---                  |                 |                 |                 |                              |                |                |
| Anchoveta | <b>0.68</b><br><b>p=0.00</b> | 1.00<br>p= ---  |                 |                 |                              |                |                |
| Merluza   | <b>0.61</b><br><b>0</b>      | 0.13<br>*       | 1.00<br>p= ---  |                 |                              |                |                |
| Sardina   | 0.07<br>p=.253               | 0.00<br>p=.939  | -0.01<br>p=.893 | 1.00<br>p= ---  |                              |                |                |
| Jurel     | 0.11<br>p=.065               | -0.02<br>p=.713 | 0.10<br>p=.086  | -0.04<br>p=.510 | 1.00<br>p= ---               |                |                |
| Caballa   | 0.04<br>p=.537               | -0.09<br>p=.113 | 0.03<br>p=.567  | 0.04<br>p=.467  | <b>0.31</b><br><b>p=.000</b> | 1.00<br>p= --- |                |
| Otras     | 0.13<br>*                    | -0.01<br>p=.863 | 0.08<br>p=.180  | 0.13<br>*       | -0.02<br>p=.759              | 0.08<br>p=.160 | 1.00<br>p= --- |

de anchoveta al total presentaron diferencias altamente significativas entre los períodos climáticos de interés; estos cocientes en el OD y el ELD fueron significativamente mayores que en el B-A, YD, LC y el EH (**Tabla 7**). Los cocientes NE/NE de anchoveta a merluza exhiben máximos durante el ELD, OD, YD, y el LC; los mínimos valores se observan durante el B-A y el EH (**Figura 22**). Los cocientes NE/NE de anchoveta a merluza presentan diferencias significativas entre los períodos climáticos de interés; estos cocientes en el OD fueron significativamente mayores que en el B-A (**Tabla 7**).

En el testigo CD0701, los flujos de escamas de anchoveta durante el último siglo presentan un patrón con una tendencia a aumentar desde los ~1900 AD (16 cm) hasta alcanzar un máximo hacia 1935 AD, seguido de una disminución hasta la actualidad (**Figura 23**). El flujo de escamas de merluza

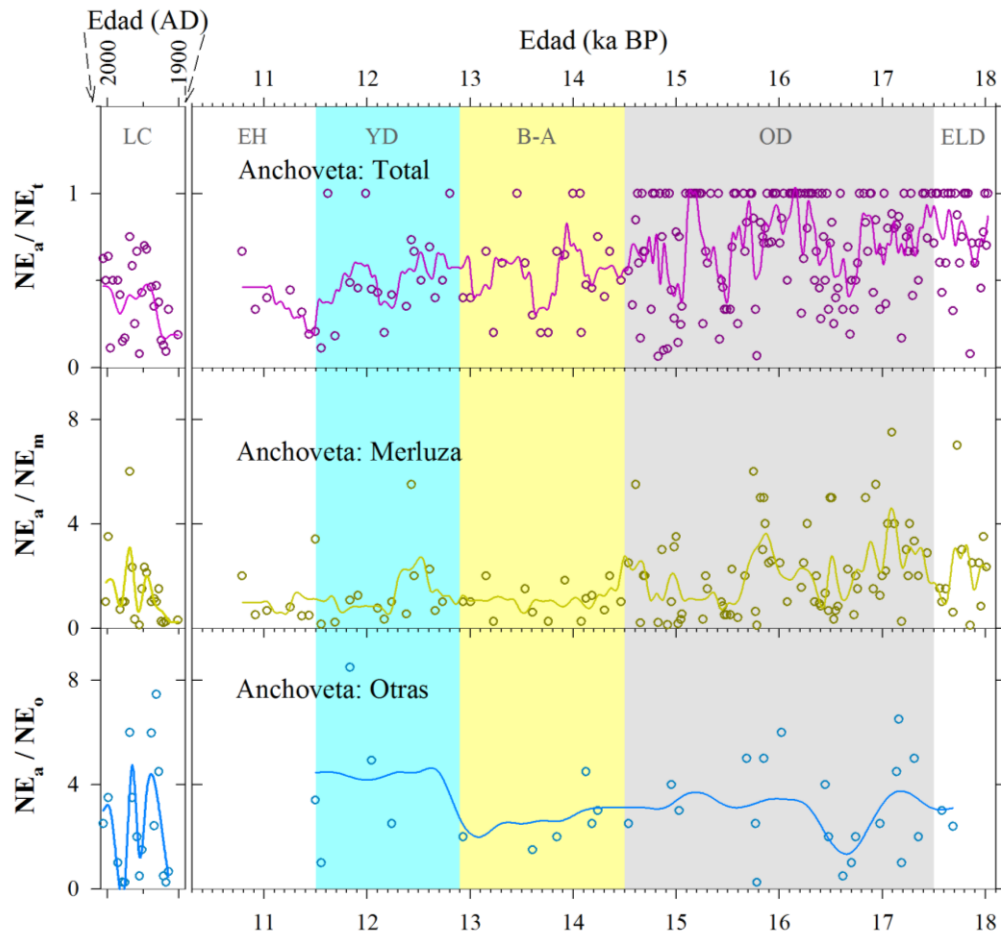


Figura 22. Cocientes de escamas: escamas ( $NE/NE$ ) versus la edad asociados con los períodos climáticos globales en los testigos M772-029 y CD0701.

De arriba hacia abajo:  $NE/NE$  de anchoveta al total,  $NE/NE$  de anchoveta a merluza,  $NE/NE$  de anchoveta a otras no identificadas. Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel superior (letras de color gris). Las líneas representan a los promedios móviles cada cinco pasos.

exhibe un patrón con una tendencia similar al de los flujos de escamas de anchoveta. El flujo de escamas de sardina muestra los valores máximos hacia 1920 – 1950 AD, aunque con niveles inferiores a los flujos de las escamas de anchoveta. El flujo de otras escamas no identificadas presenta un patrón con una tendencia a disminuir desde los 1900 AD hasta 1970 AD, seguido de un aumento hasta 1985 AD, y luego tiende a disminuir nuevamente hasta la actualidad (Figura 23).

Tabla 7. Diferencias de los cocientes escamas a ecamas NE/NE entre los períodos climáticos de interés en los testigos M772-029 y CD0701 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney, ordenados de menor a mayor los cocientes de la mediana. Los números entre paréntesis son los “n” válidos en cada grupo. Los períodos climáticos son como en la Tabla 5.

| Razones      | Intervalos climáticos |            |              |              |                |              | Anova Kruskal Wallis |                  | Grupos Homogéneos<br>( $\alpha < 0.05$ ) |
|--------------|-----------------------|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|----------------------|------------------|------------------------------------------|
|              | LC                    | EH         | YD           | BA           | OD             | ELD          | H(5)                 | p                |                                          |
| NE/NE<br>a:t | 1643<br>(26)          | 365<br>(7) | 1668<br>(18) | 1843<br>(20) | 17718<br>(135) | 3561<br>(25) | 39.19                | <b>&lt;0.001</b> | <u>EH LC YD BA</u> <u>ELD OD</u>         |
| NE/NE<br>a:m | 1158<br>(20)          | 358<br>(7) | 699<br>(13)  | 664<br>(13)  | 5352<br>(70)   | 950<br>(12)  | 11.06                | <b>0.05</b>      | <u>EH BA</u> <u>YD ELD LC</u> OD         |
| NE/NE<br>a:o | 363<br>(7)            | 32<br>(1)  | 125<br>(4)   | 142<br>(6)   | 513<br>(19)    | 51<br>(2)    | 2.57                 | 0.765            |                                          |



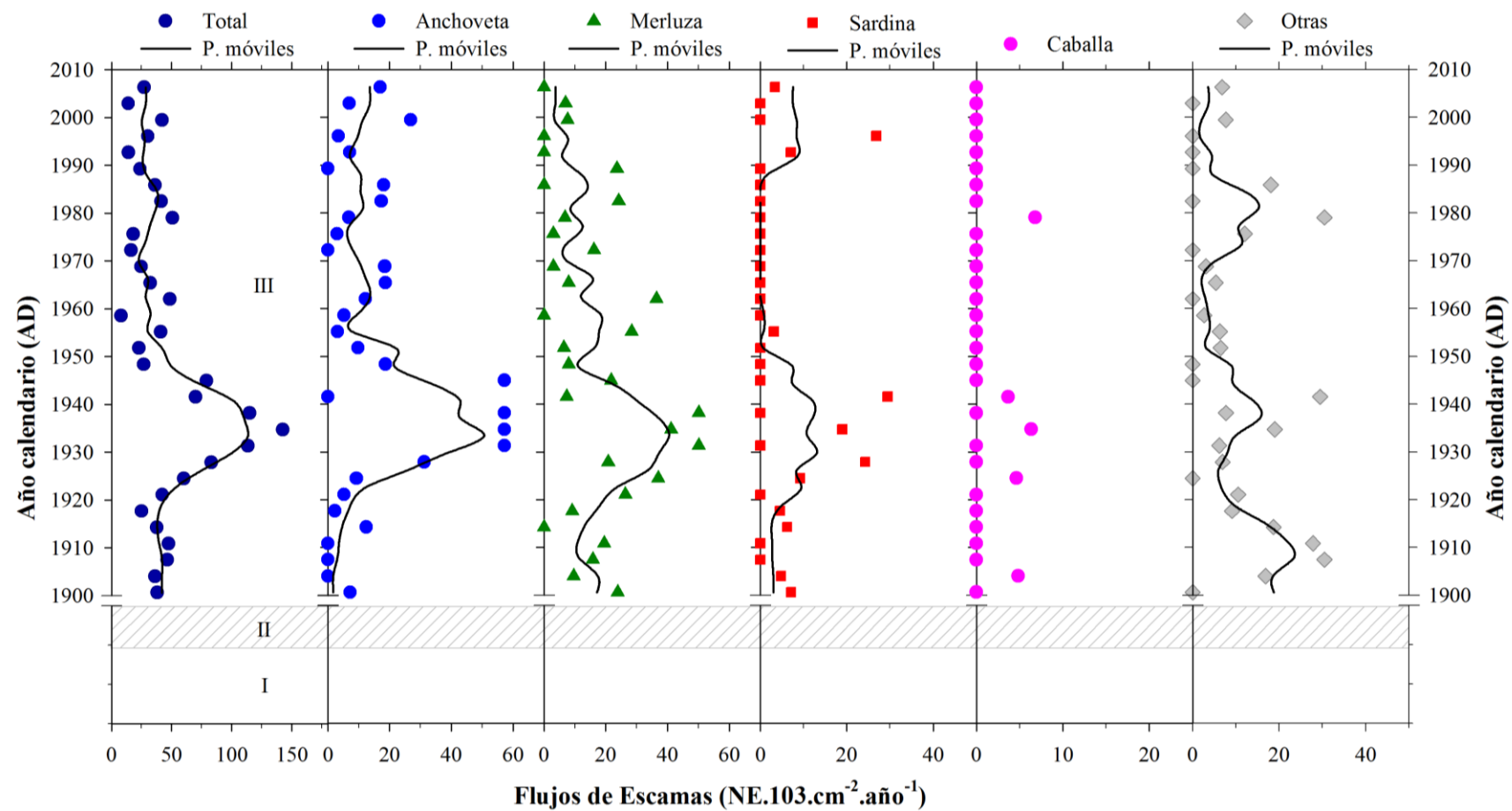


Figura 23. Flujos de escamas de peces durante el último siglo (años AD) en el testigo CD0701. Las líneas representan los promedios móviles en cinco pasos.

#### 4.4.2. *Flujos de vértebras asociados a períodos climáticos desde la última deglaciación*

El flujo de vértebras exhibe una alta variabilidad en los testigos M772-029 y CD0701 con la dominancia del flujo de vértebras de anchoveta sobre el de merluza en la mayoría de los períodos climáticos, excepto durante el LC, cuando la dominancia es del flujo de otras vértebras no identificadas (**Figura 24, Figura 25**). El flujo de vértebras de anchoveta en el testigo M772-029 muestra una mayor variabilidad y máximos durante el ELD y el OD, seguida de una disminución durante el B-A, y luego tienden a aumentar desde finales del B-A hasta inicios del EH, y nuevamente vuelven a disminuir. Durante el LC el flujo de vértebras de anchoveta exhibe mayores valores que en el B-A, YD, y EH (**Figura 25**). El flujo de vértebras de merluzas muestra un patrón similar al de las de anchovetas durante el ELD y OD, pero con muy pocas observaciones en dichos períodos, y ausente en el YD y el EH (**Figura 25**). El flujo de otras vértebras (no identificadas) muestra mayor similitud con el patrón del flujo de vértebras de anchoveta durante el B-A, YD, y EH que en el ELD y OD. Durante el LC el flujo de otras vértebras exhibe un orden de magnitud mayor que en el resto de los períodos climáticos (**Figura 25**).

Los promedios de los flujos de vértebras de anchoveta y de espinas totales exhiben un patrón con tendencia a aumentar desde el ELD hasta el LC. Los promedios de los flujos de vértebras totales, vértebras de merluza, y de huesos presentan una tendencia a disminuir desde el ELD hasta el EH, luego aumentan en el LC. El flujo de otras vértebras (no identificadas) aumenta ligeramente desde el

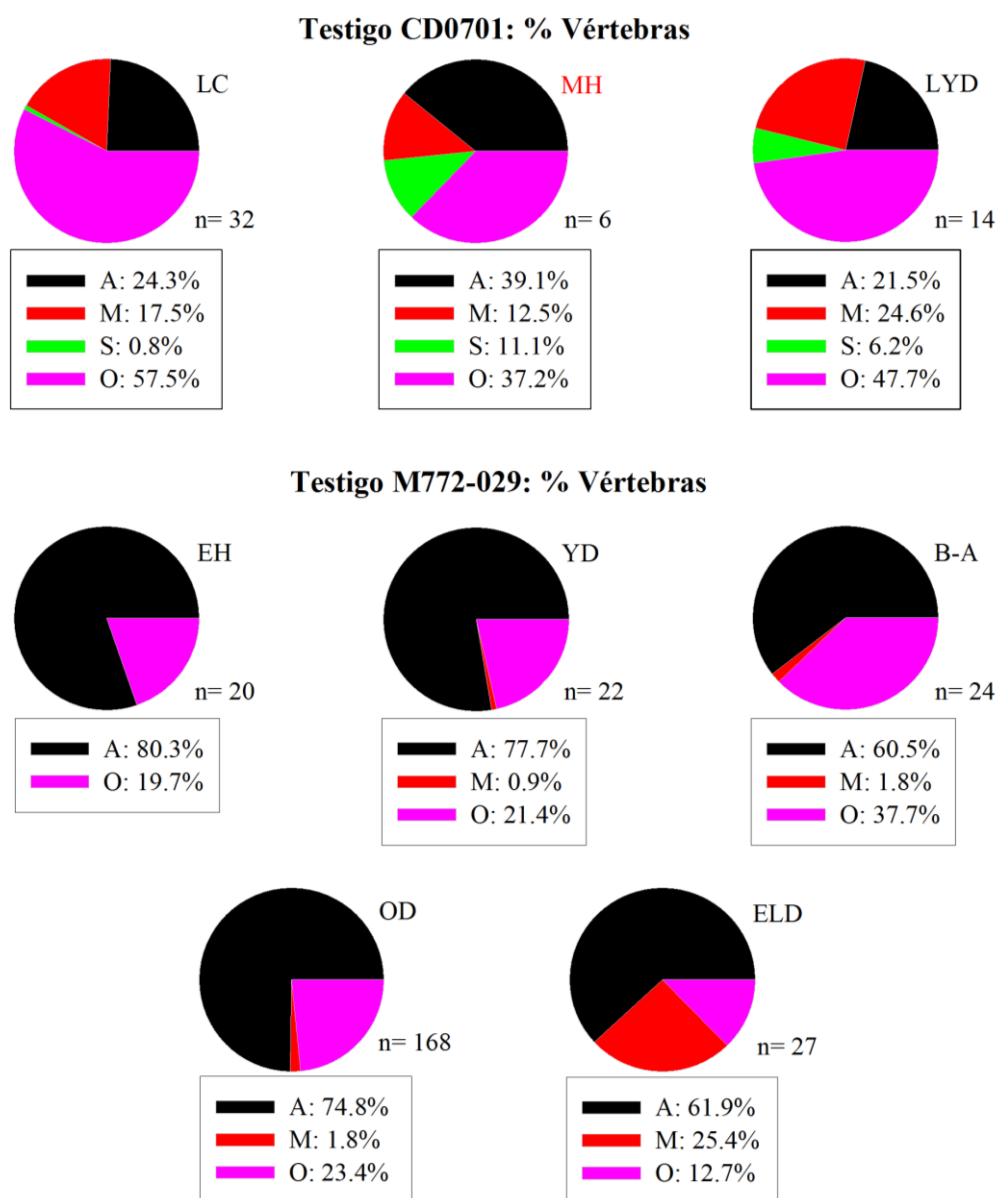


Figura 24. Porcentajes de vértebras por especie y por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.

Vérttebras de anchoveta (A), merluza (B), sardina (S) y otras vértebras no identificadas (O). Los períodos climáticos (ELD, OD, B-A, YD, EH, etc.) son definidos como en la figura 20.

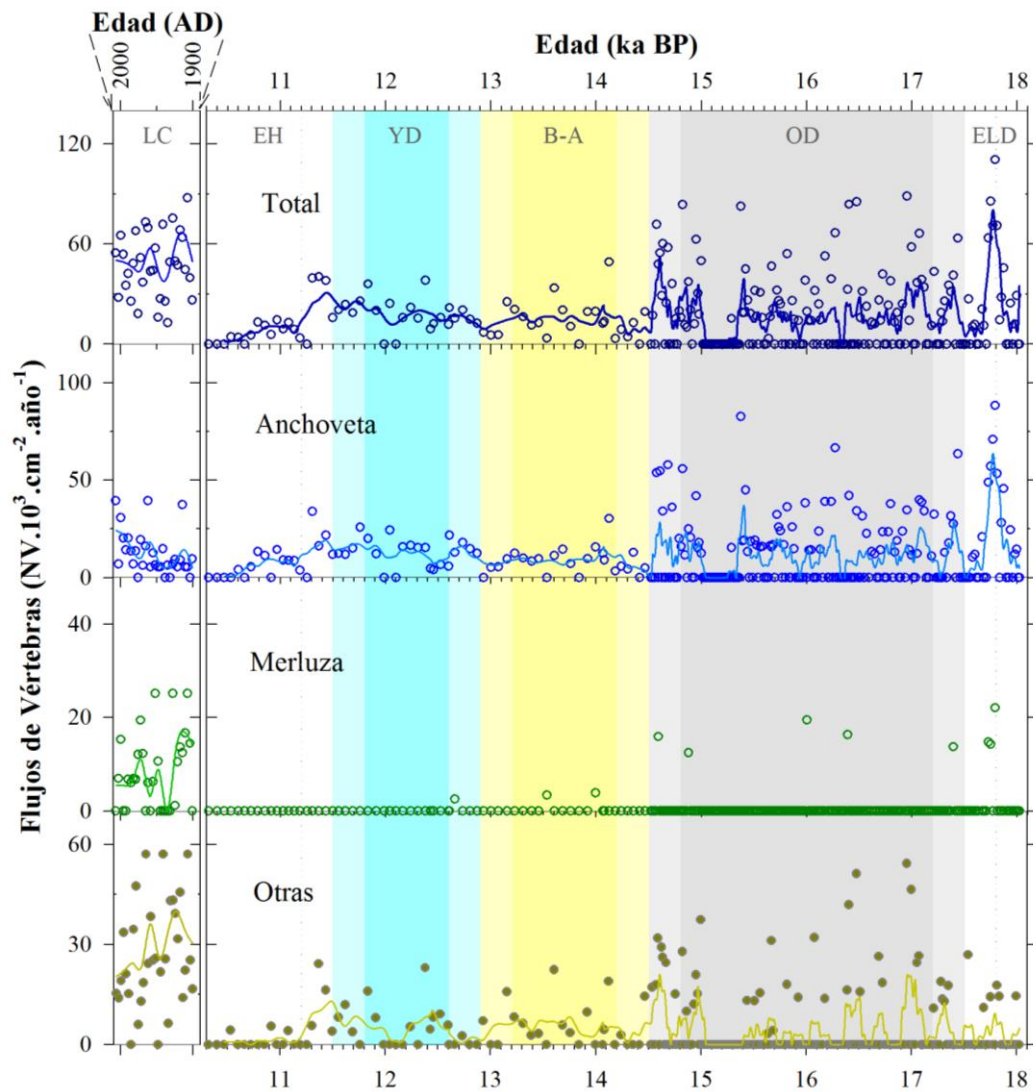


Figura 25. Flujos de vértebras de peces por especie versus la edad asociados con los períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.

De arriba hacia abajo: Flujos de vértebras totales (azul oscuro), de anchoveta (azul), merluza (verde), y de otras escamas no identificadas (gris claro). Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) se indican en la parte superior (ELD, OD, B-A, YD, etc.).

ELD al OD, seguido de una disminución hasta el EH, luego aumenta en el LC.

(Anexo 40).

Los flujos de vértebras totales y de otras vértebras (no identificadas) presentan diferencias altamente significativas entre los diferentes períodos climáticos (Tabla 8, Anexo 40). El flujo de vértebras totales en el OD es significativamente mayor que en el LC; este flujo en el LC es significativamente

mayor que en el ELD, YD, B-A y EH; y en el YD es significativamente mayor que en el EH. El flujo de vértebras de anchoveta no presenta diferencias significativas entre los diferentes períodos climáticos. El flujo de vértebras de otras vértebras (no identificadas) en el OD es significativamente mayor que en el LC y BA, este flujo en el LC es significativamente mayor que en el B-A, YD, ELD y el EH (**Tabla 8, Anexo 40**).

Tabla 8. Diferencias de los flujos de vértebras entre períodos climáticos de interés en los testigos M772-029 y CD0701 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. Los grapos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney. Los grupos se ordenaron de menor a mayor de la media. Los Flujos de vértebras son del total de vértebras (FAT), anchoveta (VA) y de otras vértebras no identificadas (EVO). Períodos climáticos como en Tabla 5.

| Flujos | Intervalos climáticos |      |      |      |       |      | Anova Kruskal Wallis |                  | Grupos Homogéneos<br>( $\alpha < 0.05$ ) |
|--------|-----------------------|------|------|------|-------|------|----------------------|------------------|------------------------------------------|
|        | LC                    | EH   | YD   | BA   | OD    | ELD  | H(5)                 | p                |                                          |
| FVT    | 7707                  | 2419 | 3512 | 3257 | 21494 | 3807 | 52.62                | <b>&lt;0.001</b> | EH BA YD ELD LC OD<br>=====              |
| FVA    | 5394                  | 2747 | 4018 | 3489 | 22576 | 3973 | 10.65                | 0.059            |                                          |
| FVO    | 7900                  | 2665 | 3427 | 3766 | 21190 | 3247 | 78.01                | <b>&lt;0.001</b> | EH ELD YD BA LC OD<br>=====              |

Las escasas observaciones de vértebras de merluza, imposibilitó determinar una relación consistente entre el flujo de vértebras de merluza y el flujo de vértebras de anchoveta. En cambio, sí fue posible determinar la relación entre el flujo de vértebras de anchoveta y el flujo de otras vértebras no identificadas; esta relación resulta débil pero significativa ( $r=0.12$ ,  $p<0.05$ ).

Los flujos de vértebras muestran una alta variabilidad en el testigo CD0701 asociado al período climático LC, 1.9 ka AD – presente (**Figura 26**). El flujo de vértebras de anchoveta exhibe un patrón con tendencia a aumentar desde los 1900 AD hasta la actualidad, con tres valores máximos hacia ~1910-1920 AD ( $15 \text{ NV} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ), ~1955-1965 AD ( $20 \text{ NV} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ), y 2000-20010 AD ( $25 \text{ NV} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ), y dos valles pronunciados entre ~1925-1950 AD, ~1970-198 AD (**Figura 26**). El flujo de vértebras de merluza exhibe un patrón con tendencia a disminuir desde 1900 AD hasta la actualidad, con tres máximos ~1910 ( $\sim 18 \text{ V} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ), ~1950 ( $\sim 10 \text{ V} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ), y 1975 AD ( $\sim 12 \text{ V} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ), y tres depresiones pronunciadas hacia 1940 AD, 1960, y entre ~1990 - ~2010 AD (**Figura 26**). El flujo de otras vértebras (no identificadas) exhibe mayor rango de valores (entre 0 y  $\sim 55 \text{ NV} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ) respecto al flujo de vértebras de anchoveta y merluza. Además exhibe un patrón con tendencia a disminuir desde los 1900 AD hasta la actualidad, con dos máximos hacia 1920 AD y 1960 AD respectivamente (**Figura 26**).

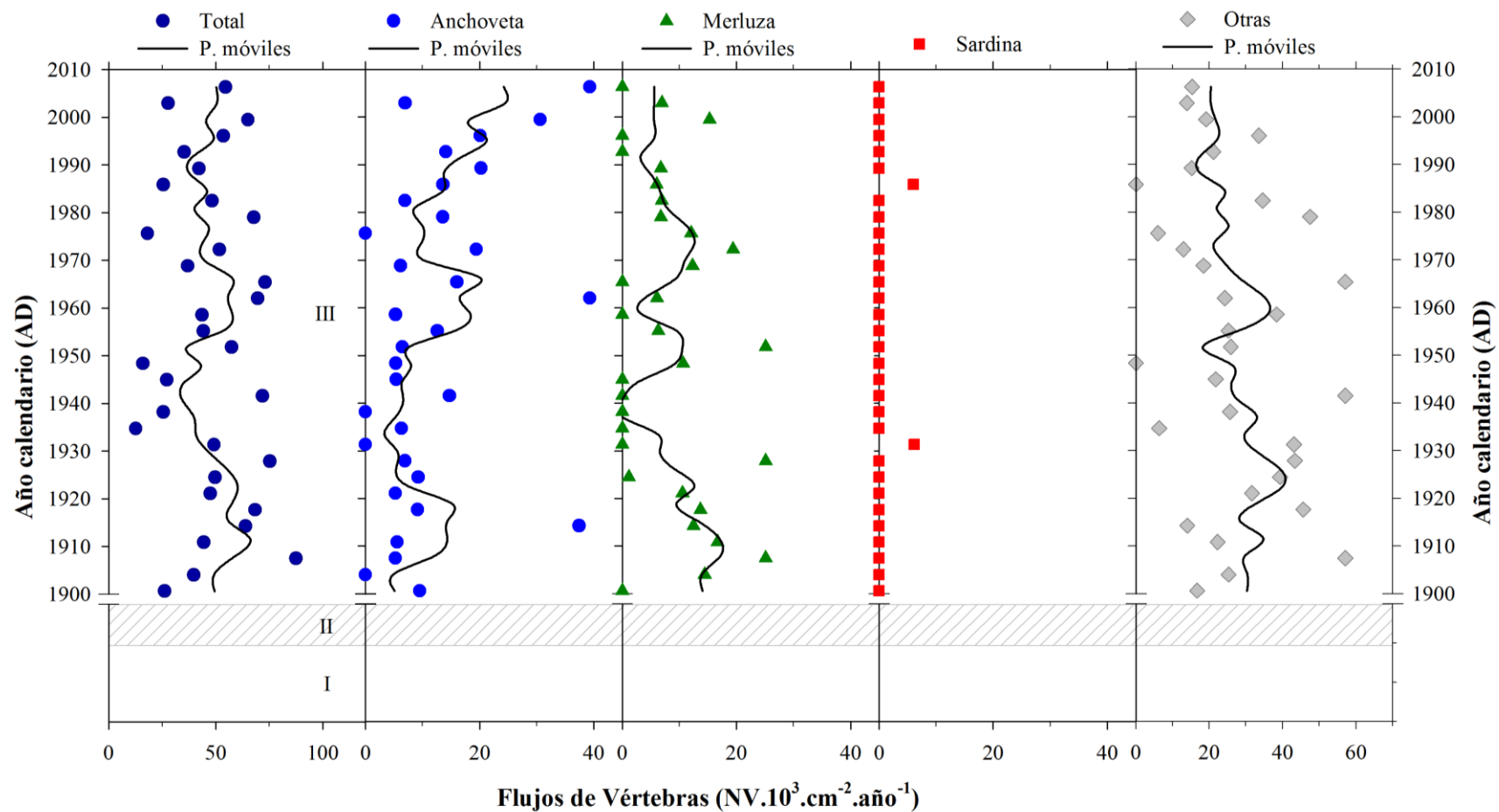


Figura 26. Flujos de vértebras de peces por especie versus la edad (años AD) en el testigo CD0701. Las líneas son los promedios móviles cada 5 pasos.

#### 4.5. Indicadores de preservación de escamas y restos óseos de peces asociados a períodos climáticos desde la última deglaciación

##### 4.5.1. *Cocientes de escamas: vértebras de peces asociados a los períodos climáticos*

Los cocientes NE/NV presentan una alta variabilidad en los testigos compuestos M772-029 y CD0701 asociados a los períodos climáticos de interés (**Figura 27**). Los cocientes NE/NV del total de especies de peces y de anchoveta exhiben máximos valores durante el OD, seguido del YD, ELD, B-A, y EH. Durante el LC los cocientes NE/NV totales y de anchoveta muestran máximos valores, alcanzando un orden de magnitud similar al de los máximos durante el EH y OD respectivamente (**Figura 27**). Los cocientes NE/NV del total de especies y de anchoveta presentan diferencias altamente significativas entre los diferentes períodos climáticos de interés en los testigos M772-029 y CD0701 (**Anexo 41**). Los cocientes NE/NV del total de especies en el OD son significativamente mayores que en los períodos climáticos B-A, LC, YD y en el EH; en el ELD y B-A son significativamente mayores que en el LC. Los cocientes NE/NV de anchoveta en el OD son significativamente mayores que en los períodos climáticos LC, B-A, YD y EH (**Anexo 41**).

Los cocientes de escamas enteras a escamas fragmentadas ( $NE_e/NE_f$ ) del total de especies y de anchoveta exhiben mínimos durante el ELD y OD, aumentando hasta alcanzar un máximo hacia ~14.2 cal. ka BP en el B-A, seguida de una disminución hasta el final del B-A, luego aumentan hasta los. ~11.6 cal. ka BP, y nuevamente disminuyen hacia el EH (**Figura 27**). En el LC los cocientes



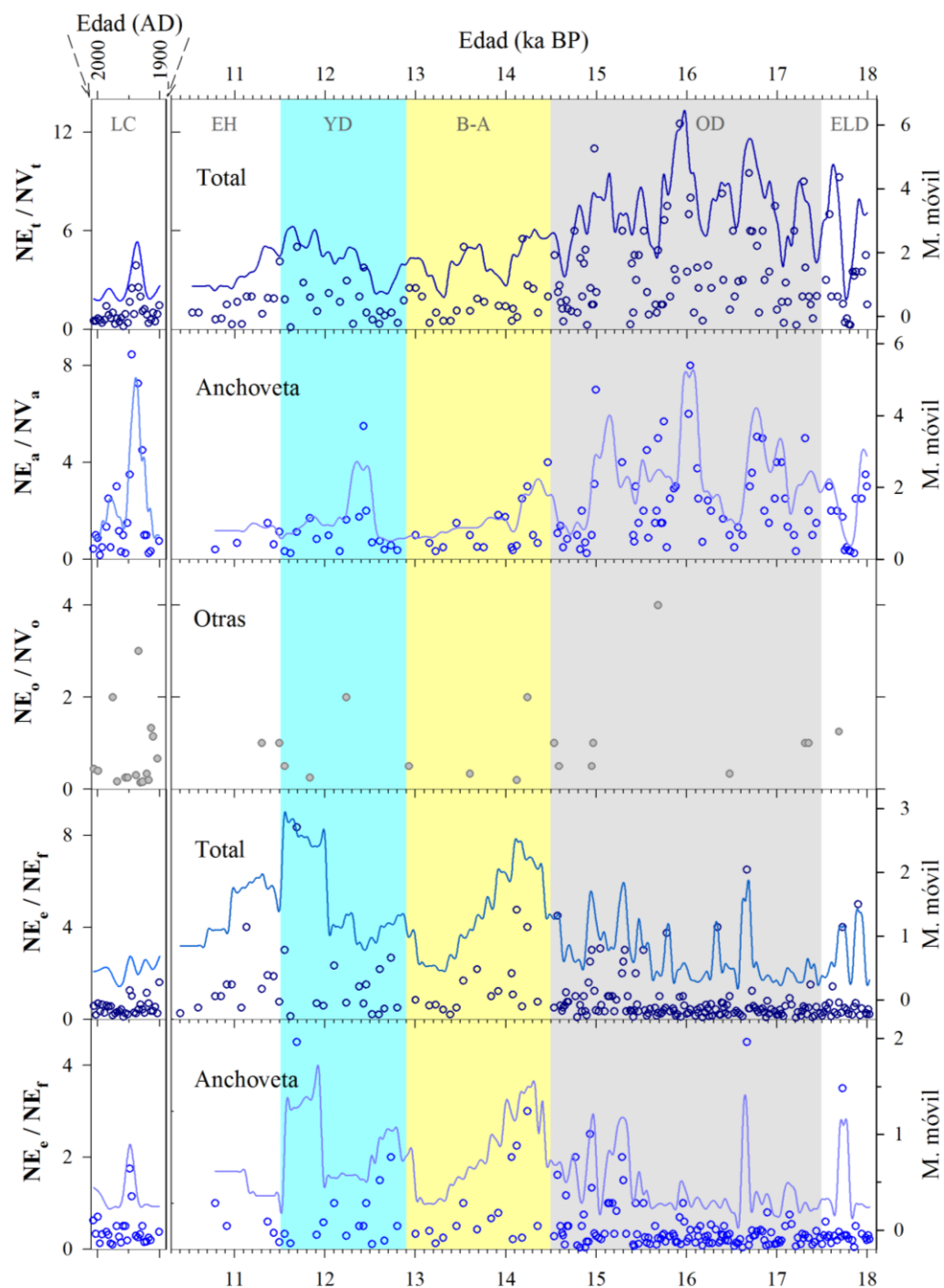


Figura 27. Cocientes de escamas: vértebras, escamas enteras: escamas fragmentadas de peces versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701.

De arriba hacia abajo se exhiben los cocientes de escamas a vértebras de todas las especies ( $NE_t/NV_t$ , marcas color azul oscuro), de anchoveta ( $NE_a/NV_a$ , azul), y de otros peces no identificados ( $NE_o/NV_o$ , gris); seguida de los cocientes de escamas enteras a escamas fragmentadas ( $NE_e / NE_f$ ) del total de especies (azul oscuro), y de anchoveta (azul). Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel superior (letras grises). Las líneas representan los promedios móviles cada 5 pasos.

$NE_e/NE_f$  del total de especies y de anchoveta muestran niveles similares a los del EH (**Figura 27**). Los cocientes  $NE_e/NE_f$  del total de especies presentaron diferencias altamente significativas entre los períodos climáticos de interés (**Anexo 42**). Esos cocientes en el OD y LC fueron significativamente mayores que en los períodos B-A, YD y EH; en el B-A y YD fueron significativamente mayores que en el ELD; y en el ELD fueron significativamente mayores que en el EH (**Anexo 42**). Los cocientes  $NE_e/NE_f$  de anchoveta presentaron diferencias significativas entre los períodos climáticos de interés; estos cocientes en el OD fueron significativamente mayores que en el YD y B-A; en el YD fueron significativamente mayores que en el ELD; y en el ELD fueron significativamente mayores que en el B-A (**Anexo 42**).

#### 4.5.2. *Índices de preservación de escamas de peces asociados a los períodos climáticos*

Los índices IAF de escamas presentan variabilidades notablemente diferenciadas entre el ELD y OD versus el B-A, YD y EH (**Figura 28**). El índice IAF de las escamas totales presenta un patrón con una tendencia a disminuir durante el OD desde los 17.2 cal. ka BP hacia 15.3 cal. ka BP, seguido de un aumento durante el B-A y YD hasta los 11.7 cal. ka BP, luego disminuye en el EH hasta los 10.6 cal. ka BP (**Figura 28**). Los índices IAF de escamas de anchoveta y de merluza exhibe un patrón con tendencia similar al del índice IAF de escamas totales (**Figura 28**). El índice IAF de escamas totales, escamas de anchoveta, merluza durante el LC disminuye desde los 1900 años AD hasta los 2000 años AD (**Figura 28**).

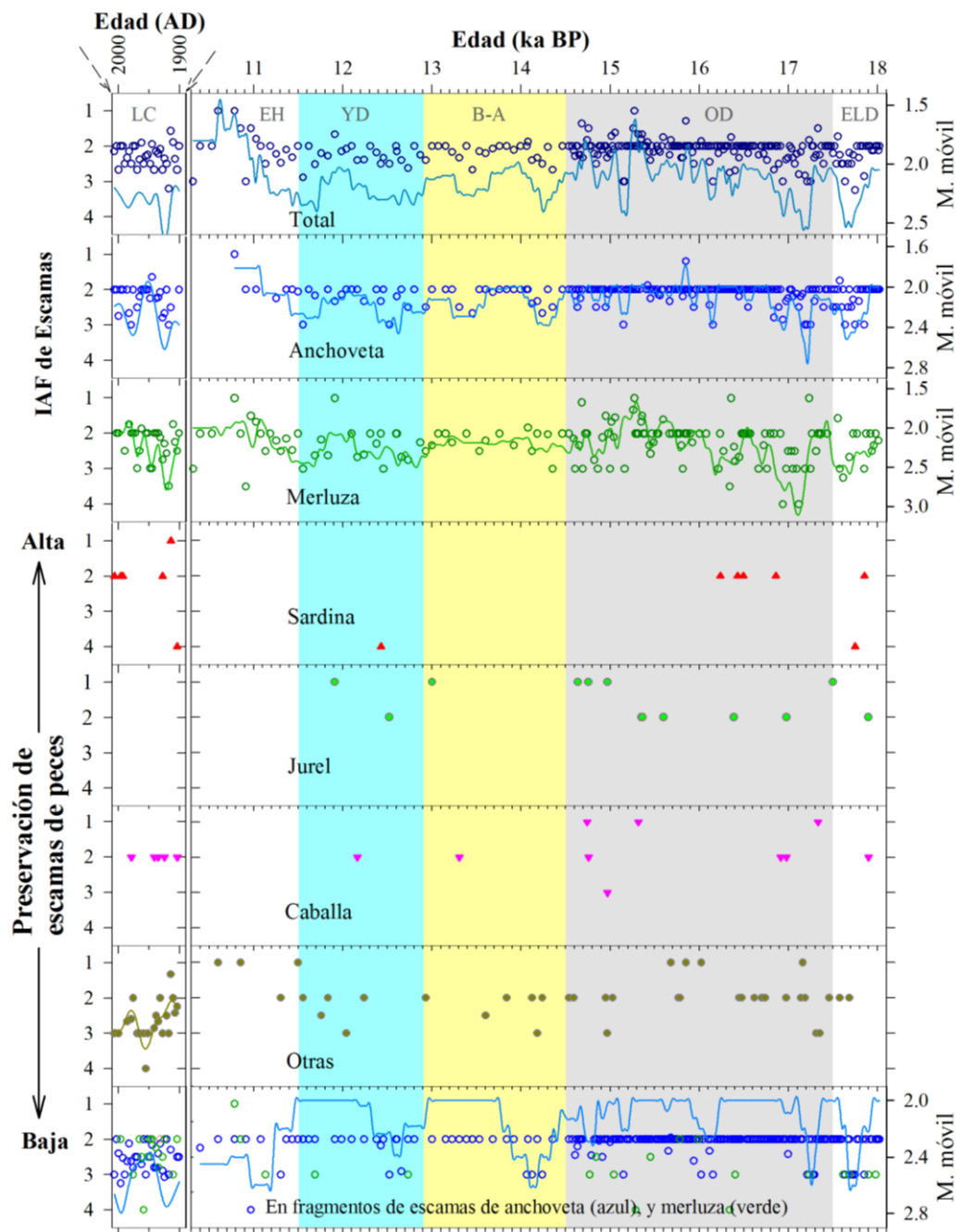


Figura 28. Índices IAF de escamas de peces versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701.

De arriba hacia abajo: índice IAF de escamas totales (cruces azul oscuro), anchoveta (azul), merluza (verde), sardina (rojo), jurel (verde claro), caballa (rosado) y en otras escamas no identificadas (gris). Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel superior (letras grises).

Los índices IAF de escamas presentan mayor variabilidad en ciertos períodos climáticos que en otros períodos climáticos (**Anexo 43**). El índice IAF de escamas totales presenta mayor variabilidad durante el EH, seguido en sentido decreciente durante el ELD, OD, LC, YD y B-A (**Anexo 43**). El índice IAF de escamas de anchoveta muestra mayor variabilidad durante EH, seguido en sentido decreciente durante el ELD, LC, YD, OD y B-A. El índice IAF de escamas de merluza presenta mayor variabilidad durante el EH, seguido en sentido decreciente el índice IAF durante el OD, ELD, YD, LC y B-A. El índice IAF de otras escamas (no identificadas) presenta mayor variabilidad durante el EH, seguido en sentido decreciente el índice IAF durante el OD, LC, YD, B-A y ELD (**Anexo 43**).

Los índices IAF de escamas totales presentan diferencias altamente significativas entre los diferentes períodos climáticos; estos índices IAF en el OD son significativamente mayores que en los períodos LC, ELD y YD (**Tabla 9, Anexo 44**). Los índices IAF de escamas de anchoveta en el OD son significativamente mayores que en el período LC (**Tabla 9, Anexo 44**). Los índices IAF de otras escamas (no identificadas) en el LC son significativamente mayores que en los períodos OD y EH; en el B-A y YD son significativamente mayores que en el EH (**Tabla 9, Anexo 44**).

Los índices IAF de escamas fragmentadas del total de especies y de anchoveta presentaron diferencias altamente significativas entre los períodos climáticos (**Tabla 9**). Los índices IAF de escamas fragmentadas del total de especies en el OD fueron significativamente mayores que en el resto de los períodos. Los índices IAF de escamas fragmentadas de anchoveta en el OD son

significativamente mayores que en el LC; en el LC son significativamente mayores que en los períodos ELD, YD, B-A y EH (**Tabla 9**).

Tabla 9. Diferencias de los índices IAF de escamas entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney, ordenados de menor a mayor de acuerdo a la mediana. Los índices IAF son en escamas totales (T), en escamas de anchoveta (A), en escamas de merluza (M), en otras escamas (O), en escamas fragmentadas totales ( $T_f$ ), en escamas fragmentadas de anchoveta ( $A_f$ ). Los números entre paréntesis son los “n” válidos en cada grupo. Los Períodos climáticos son como en Tabla 5.

| IAF<br>escamas | Intervalos climáticos |              |              |              |                |              | Anova Kruskal<br>Wallis |                  | Grupos Homogéneos<br>( $\alpha < 0.05$ ) |
|----------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|-------------------------|------------------|------------------------------------------|
|                | LC                    | EH           | YD           | BA           | OD             | ELD          | H(5)                    | p                |                                          |
| T              | 5425<br>(32)          | 2022<br>(17) | 3786<br>(22) | 3230<br>(22) | 18588<br>(153) | 4078<br>(26) | 20.26                   | <b>0.001</b>     | <u>EH BA YD ELD LC</u> <u>OD</u>         |
| A              | 3576<br>(26)          | 669<br>(7)   | 2466<br>(18) | 2563<br>(20) | 14429<br>(135) | 3095<br>(25) | 12.2                    | 0.032            | <u>EH YD BA ELD LC</u> <u>OD</u>         |
| M              | 2274<br>(26)          | 1259<br>(16) | 1734<br>(17) | 1289<br>(15) | 7244<br>(86)   | 1252<br>(13) | 2.9                     | 0.715            |                                          |
| O              | 894<br>(21)           | 35<br>(4)    | 161<br>(5)   | 184<br>(6)   | 513<br>(22)    | 45<br>(2)    | 23.1                    | <b>&lt;0.001</b> | <u>EH ELD YD BA OD</u> <u>LC</u>         |
| $T_f$          | 6197<br>(32)          | 1447<br>(12) | 1910<br>(16) | 1673<br>(15) | 14186<br>(139) | 3029<br>(24) | 66.8                    | <b>&lt;0.001</b> | <u>EH BA YD ELD LC</u> <u>OD</u>         |
| $A_f$          | 5622<br>(31)          | 1239<br>(10) | 1738<br>(16) | 1698<br>(15) | 13600<br>(135) | 2439<br>(22) | 65.64                   | <b>&lt;0.001</b> | <u>EH BA YD ELD LC</u> <u>OD</u>         |

Los índices IAF de escamas presentan diferencias significativas entre escamas de merluza y escamas de anchoveta a lo largo de los testigos compuestos M772-029 y CD0701 (**Tabla 10**). Los índices IAF de las escamas de anchoveta son significativamente mayores que en las escamas de merluza a lo largo de los testigos compuestos. Sin embargo, considerando a cada período climático como series de datos independientes, los índices IAF presentan diferencias no

significativas entre las escamas de merluza y escamas de anchoveta en cada uno de los períodos climáticos (**Tabla 10**).

Tabla 10. Diferencias de los índices IAF entre escamas de anchoveta y merluza en los testigo M772-029 y CD0701 de acuerdo a la prueba U de Mann-Whitney. Los números entre paréntesis son los “n” válidos en cada grupo. LC, EH, YD, BA, OD y ELD son los períodos climáticos como en la Tabla 5.

| IAF en escamas | Escamas        |               | U Mann-Whitney ( $\alpha < 0.05$ ) |       |       |
|----------------|----------------|---------------|------------------------------------|-------|-------|
|                | Anchoveta      | Merluza       | U                                  | Z     | p     |
| IAF-LC         | 698<br>(26)    | 681<br>(26)   | 329.5                              | 0.16  | 0.876 |
| IAF-EH         | 73<br>(7)      | 204<br>(16)   | 44.5                               | -0.77 | 0.442 |
| IAF-YD         | 290<br>(18)    | 340<br>(17)   | 119.0                              | -1.12 | 0.262 |
| IAF-BA         | 356<br>(20)    | 274<br>(15)   | 146.0                              | -0.13 | 0.894 |
| IAF-OD         | 14204<br>(135) | 10328<br>(86) | 5023.5                             | -1.69 | 0.092 |
| IAF-ELD        | 460<br>(205)   | 281<br>(147)  | 135.0                              | -0.85 | 0.397 |

#### 4.5.3. Índices de preservación de vértebras asociados a los períodos climáticos

Los índices IAF de vértebras presentan mayor variabilidad durante el ELD y OD que en los otros períodos climáticos en el testigo M772-029 y CD0701 (**Figura 29**). El índice IAF de vértebras totales y de vértebras de anchoveta presentó un patrón con una tendencia a disminuir durante el ELD y OD desde los  $18.05 \pm 3.78$  cal ka BP hasta los  $15.2 \pm 1.68$  cal. ka BP, seguido de un aumento hasta los  $14.8 \pm 1.42$  cal. ka BP, luego continúa con un horizonte constante durante el B-A, y el YD, y seguida nuevamente de una disminución hacia el EH. Los índices IAF de vértebras totales, vértebras de anchoveta, merluza y otras no identificadas en el

LC presentaron niveles asociados a menor preservación muy similar a los índices IAF en el ELD (**Figura 29**).

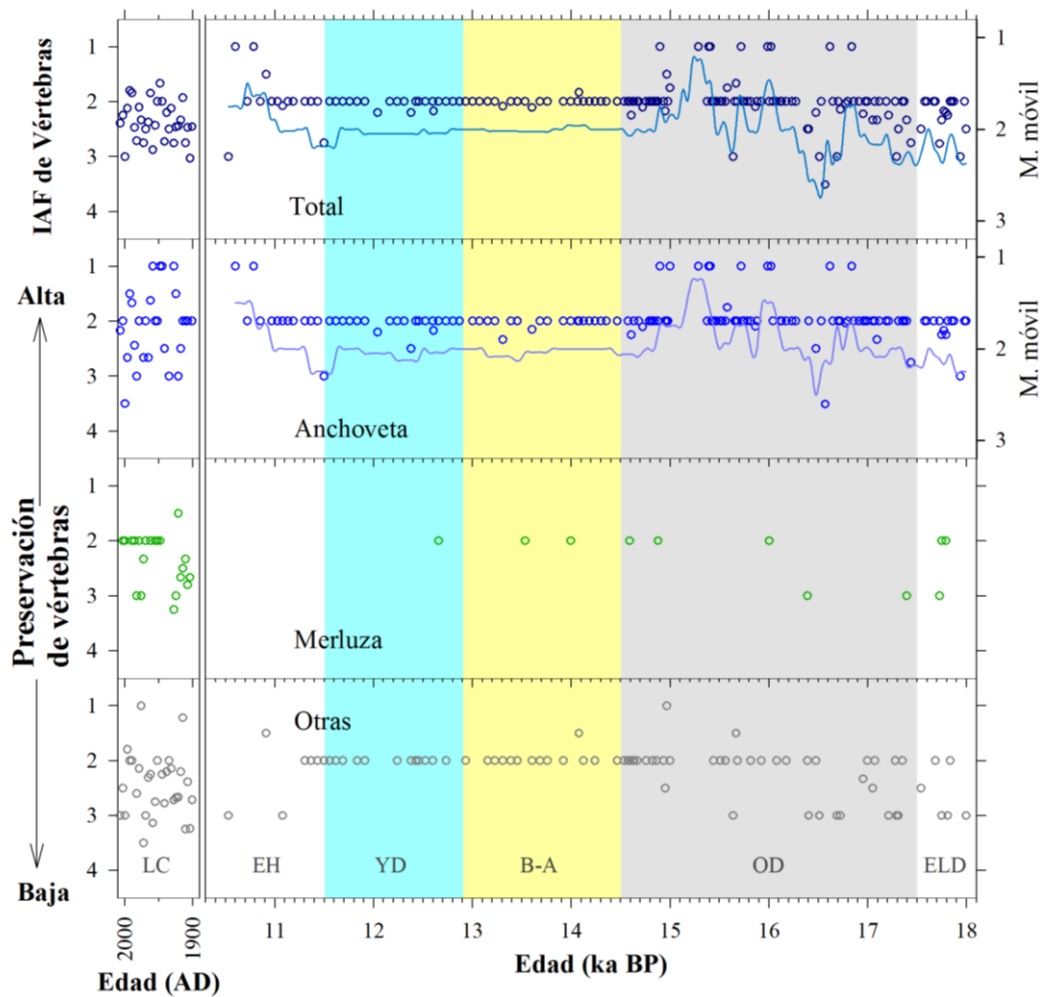


Figura 29. Índices de IAF de vértebras de peces versus la edad en los testigos CD0701 y M772-029.

De arriba hacia abajo: índice IAF de vértebras de todas las especies (azul oscuro), anchoqueta (azul), merluza (verde), y de otras vértebras no identificadas (gris). Los periodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel inferior (letras grises).

Solamente los índices IAF de vértebras totales, y de otras vértebras (no identificadas) presentaron diferencias altamente significativas entre los periodos climáticos de interés (**Tabla 11, Anexo 45**). Los índices IAF de vértebras totales

en el OD fueron significativamente mayores (indicando menor preservación) que en otros períodos climáticos, seguidos en sentido decreciente los índices IAF durante el LC y el ELD; y luego por los índices IAF de vértebras durante YD y BA (**Tabla 11, Anexo 45**). Los índices IAF de otras vértebras (no identificadas) en el LC fueron significativamente mayores que durante otros períodos climáticos, seguidos en sentido decreciente por los índices IAF durante el OD, BA, YD y ELD (**Tabla 11, Anexo 45**).

Tabla 11. Diferencias de los índices IAF de vértebras entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney, ordenados de menor a mayor índice IAF de la mediana. Los índices IAF son de vértebras totales (T), de vértebras de anchoveta (A), de otras vértebras (O). Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo. Los Períodos climáticos son como en la Tabla 5.

| IAF<br>vértebras | Intervalos climáticos |              |              |               |               |              | Anova Kruskal<br>Wallis |                  | Grupos Homogéneos<br>( $\alpha < 0.05$ )                     |
|------------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------|
|                  | LC                    | EH           | YD           | BA            | OD            | ELD          | H(5)                    | p                |                                                              |
| T                | 4327<br>(32)          | 1201<br>(12) | 1723<br>(16) | 1655<br>(15)  | 7337<br>(139) | 1903<br>(24) | 31.94                   | <b>&lt;0.001</b> | <u>EH</u> <u>BA</u> <u>YD</u> <u>ELD</u> <u>LC</u> <u>OD</u> |
| A                | 2516<br>(32)          | 962<br>(12)  | 1770<br>(16) | 1700<br>(15)  | 5286<br>(139) | 1298<br>(24) | 7.09                    | 0.214            |                                                              |
| O                | 2110<br>(32)          | 346<br>(12)  | 450<br>(16)  | 492.5<br>(15) | 1940<br>(139) | 440<br>(24)  | 23.97                   | <b>&lt;0.001</b> | <u>EH</u> <u>ELD</u> <u>YD</u> <u>BA</u> <u>OD</u> <u>LC</u> |

El índice IAF de vértebras totales presentó mayor variabilidad durante el EH, seguido en sentido decreciente los índices IAF durante el OD, LC, ELD, YD y el B-A (**Anexo 46**). El índice IAF de vértebras de anchoveta presentó mayor variabilidad durante el LC, seguido en sentido decreciente los índices IAF durante el EH, OD, ELD, YD y el B-A. El índice IAF de otras vértebras (no identificadas)



presentó mayor variabilidad durante el EH, seguido en sentido decreciente los índices IAF durante el LC, OD, ELD, B-A y YD (**Anexo 46**).

#### 4.5.4. *Cocientes de escamas de anchoveta a escamas de otras especies en muestras agrupadas*

Los cocientes de escamas a escamas (NE/NE) calculados en muestras agrupadas (ver metodología en sección 3.5), varían a escala milenial en los testigos M772-029 y CD0701 asociados a los períodos climáticos de interés (**Figura 30**). Los cocientes  $NE_a/NE_t$  exhiben un patrón con una tendencia a aumentar durante el ELD desde los  $18.05 \pm 3.77$  cal. ka BP hasta los  $16.1 \pm 2.31$  cal. ka BP en el OD, seguida de una disminución hasta el final del B-A ( $12.9 \pm 0.54$  cal. ka BP), luego aumentan hasta los 11.9 cal. ka BP en el YD, y nuevamente disminuyen hacia el EH. Esos cocientes durante el LC tienden a aumentar desde los 1900 AD hasta el presente (**Figura 30**). Los cocientes  $NE_a/NE_m$  y  $NE_a/NE_o$  muestran un patrón con tendencia similar al de los cocientes de escamas de anchoveta a escamas totales (**Figura 30**).

Los cocientes de escamas de anchoveta al total de escamas (NE/NE), escamas de anchoveta a escamas de merluza (NE/NE) en las muestras agrupadas presentan diferencias significativas entre los períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701 (**Anexo 47**). Los cocientes NE/NE de anchoveta al total durante el OD y ELD son significativamente mayores que durante el LC y EH. Los cocientes NE/NE de anchoveta a merluza durante el OD y ELD son significativamente mayores que durante el EH; esos cocientes durante el ELD fueron significativamente mayores que durante el LC (**Anexo 47**).

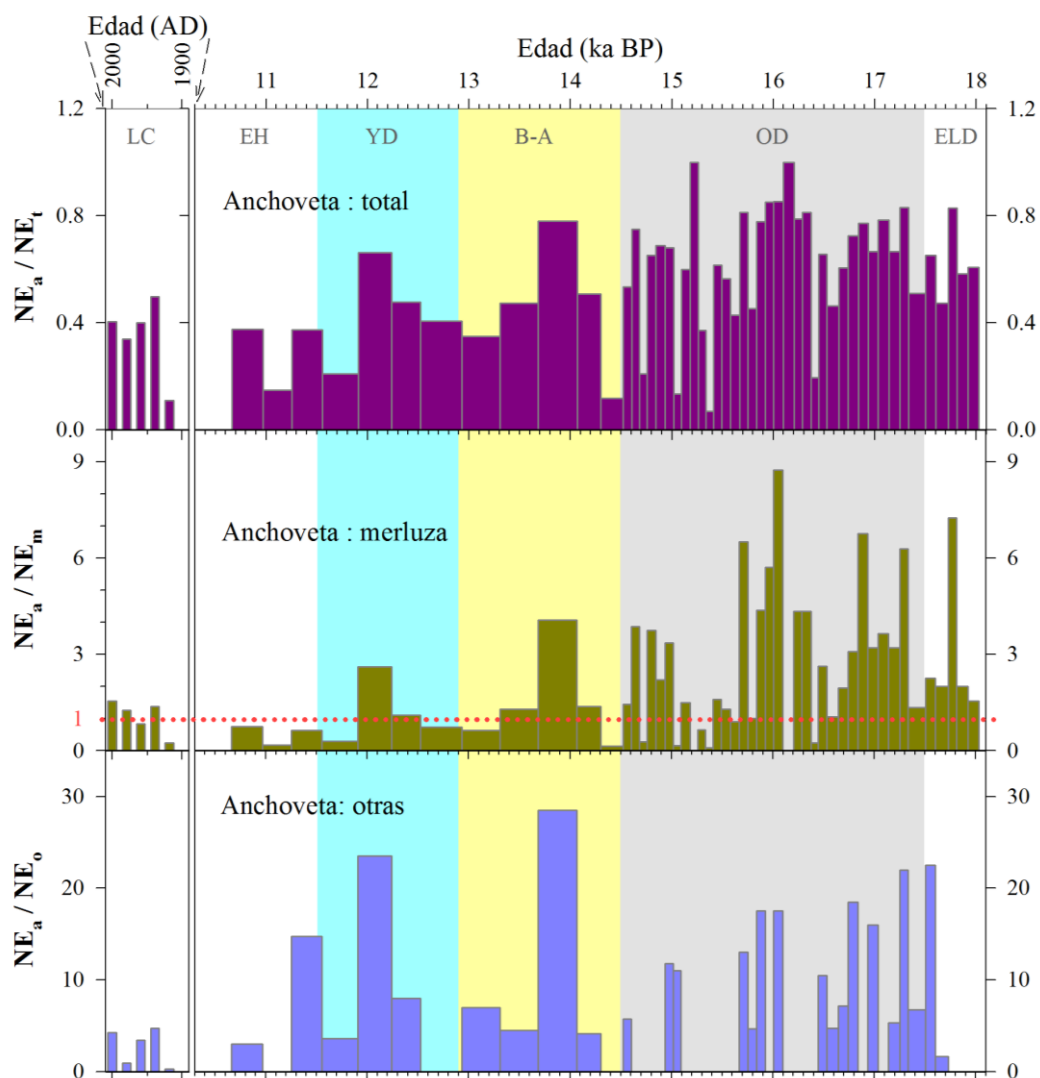


Figura 30. Cocientes de escamas de anchoveta a escamas de otras especies en muestras agrupadas versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701. Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel superior (letras grises).

#### 4.5.5. Indicadores de preservación de escamas y vértebras en muestras agrupadas

Los cocientes NE/NV muestran mayor variabilidad milenial respecto a los índices IAF de escamas y vértebras, calculados en muestras agrupadas (ver metodología en sección 3.5) en los testigos M772-029 y CD0701 asociados a los períodos

climáticos de interés (**Figura 31**). En el ELD desde los  $18.05 \pm 3.77$  ka BP hasta los  $17.5 \pm 3.35$  ka BP, los cocientes NE/NV del total y de anchoveta tienden a ser menores, los índices IAF de escamas de anchoveta, otras escamas no identificadas, vértebras totales, y de otras vértebras no identificadas tienden a ser relativamente mayores, que en el OD, indicando que las menores abundancias de escamas están explicadas por una menor preservación en el ELD respecto al OD (**Figura 31**).

En el OD, desde 17.5 ka BP hasta 14.5 ka BP los cocientes NE/NV son significativamente mayores (**Anexo 48**) asociados a una mejor preservación de las escamas y vértebras (**Figura 31**). En este período de tiempo los cocientes NE/NV del total y de anchoveta son significativamente mayores que en el LC y que en el B-A, YD y EH respectivamente (**Anexo 48**). Al mismo tiempo durante el OD los índices IAF de escamas y vértebras tienden a ser menores respecto a los otros períodos climáticos. Estas observaciones indican que el aumento de las abundancias de escamas está explicado por una mejor preservación.

Durante el B-A desde 14.5 ka BP hasta 12.9 ka BP las disminuciones abruptas de los cocientes NE/NV están asociados a un aumento relativo del índice IAF de escamas y vértebras (**Figura 31**). En este período de tiempo los cocientes NE/NV del total y de anchoveta son mínimos en relación al resto de períodos climáticos, mientras que los índices IAF de escamas de anchoveta y de otras escamas no identificadas, índices IAF de vértebras totales tienden a aumentar en relación al OD. Estas observaciones indican que la disminución de las escamas es explicada por la disminución de la preservación.

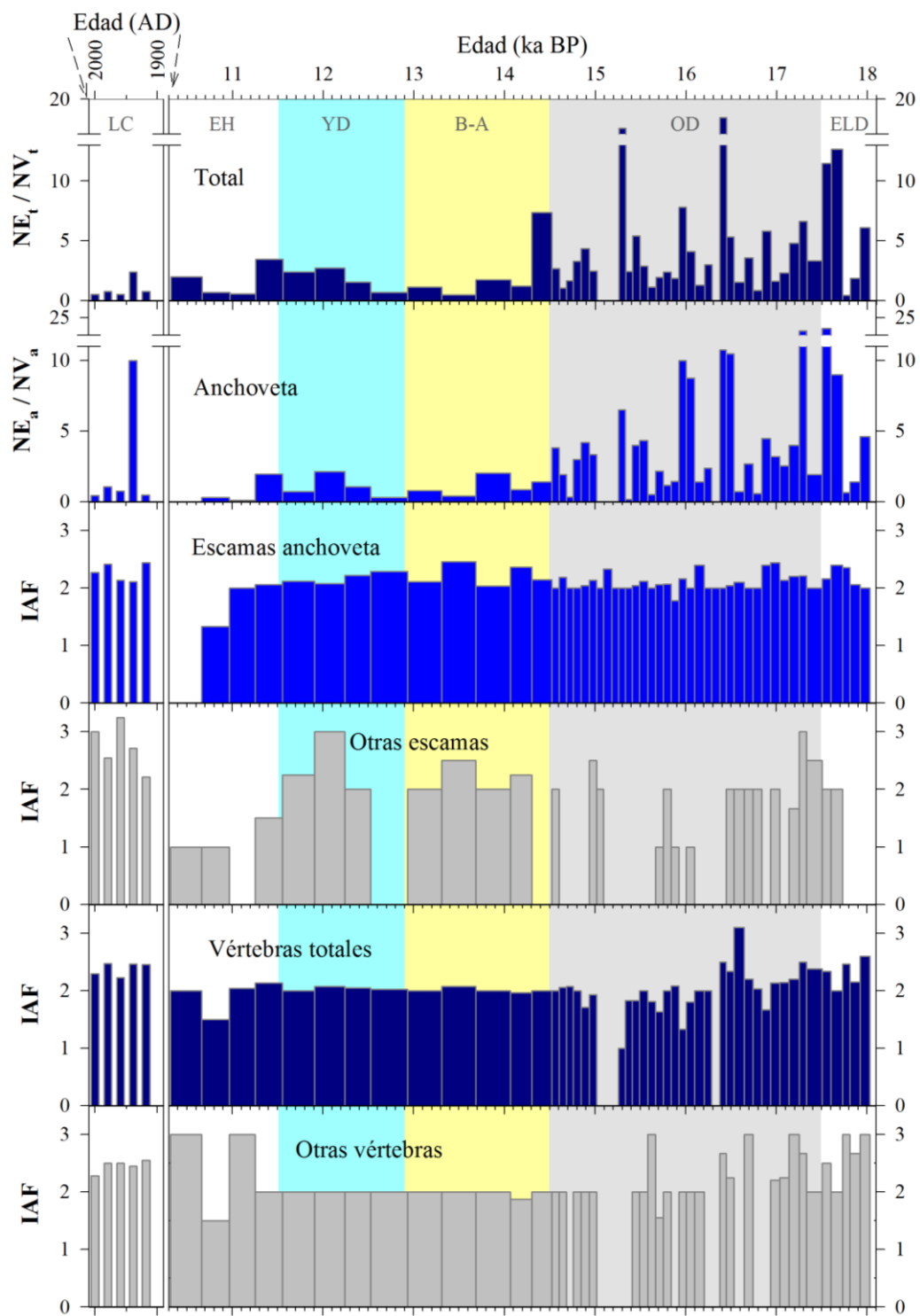


Figura 31. Indicadores de preservación en muestras agrupadas versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701. Los períodos climáticos (definidos en la Figura 20) son indicados en el panel superior (letras grises).

Durante el YD el aumento relativo del cociente NE/NV sucede a la vez con un aumento relativo de los índices IAF de escamas. Durante el EH la disminución de los cocientes NE/NV sucede con la disminución de los índices IAF de escamas (**Figura 31**). Estos resultados indican que los cambios en las abundancias de escamas no están explicados por los cambios en la preservación durante los períodos de tiempo mencionados. En cambio, durante el LC la disminución de los cocientes NE/NV que sucede a la vez con el aumento relativo de los índices IAF de escamas, indican que la disminución de las abundancias de escamas es explicada por la preservación.

#### 4.6. Índices de bioturbación de estructuras sedimentarias

Se obtuvieron 260 y 3 estratos sedimentarios en la determinación del índice de bioturbación en la superficie vertical del sedimento a lo largo de los testigos M772-029 y CD0701 respectivamente. De todos los estratos en el testigo M772-029, únicamente el estrato 328-323 cm (13.9 – 13.8 cal. ka BP aprox.) presentó ausencia total de bioturbación, el cual correspondió a la Unidad Sedimentaria IV.

El índice de bioturbación presentó en general un patrón con una tendencia a disminuir desde la base hasta la parte superior del testigo (**Figura 32**). Los valores del índice bioturbación en general están en el rango desde los 0 % hasta alrededor de los 60 %. Los mayores picos se observaron alrededor de 12.23 m (61.83 %), 9.92 m (53.10 %), 7.18 m (57.29 %), 5.63 m (45.23 %), 4.66 m (45.06 %) y 1.41 m (42.49 %) (**Figura 32**).

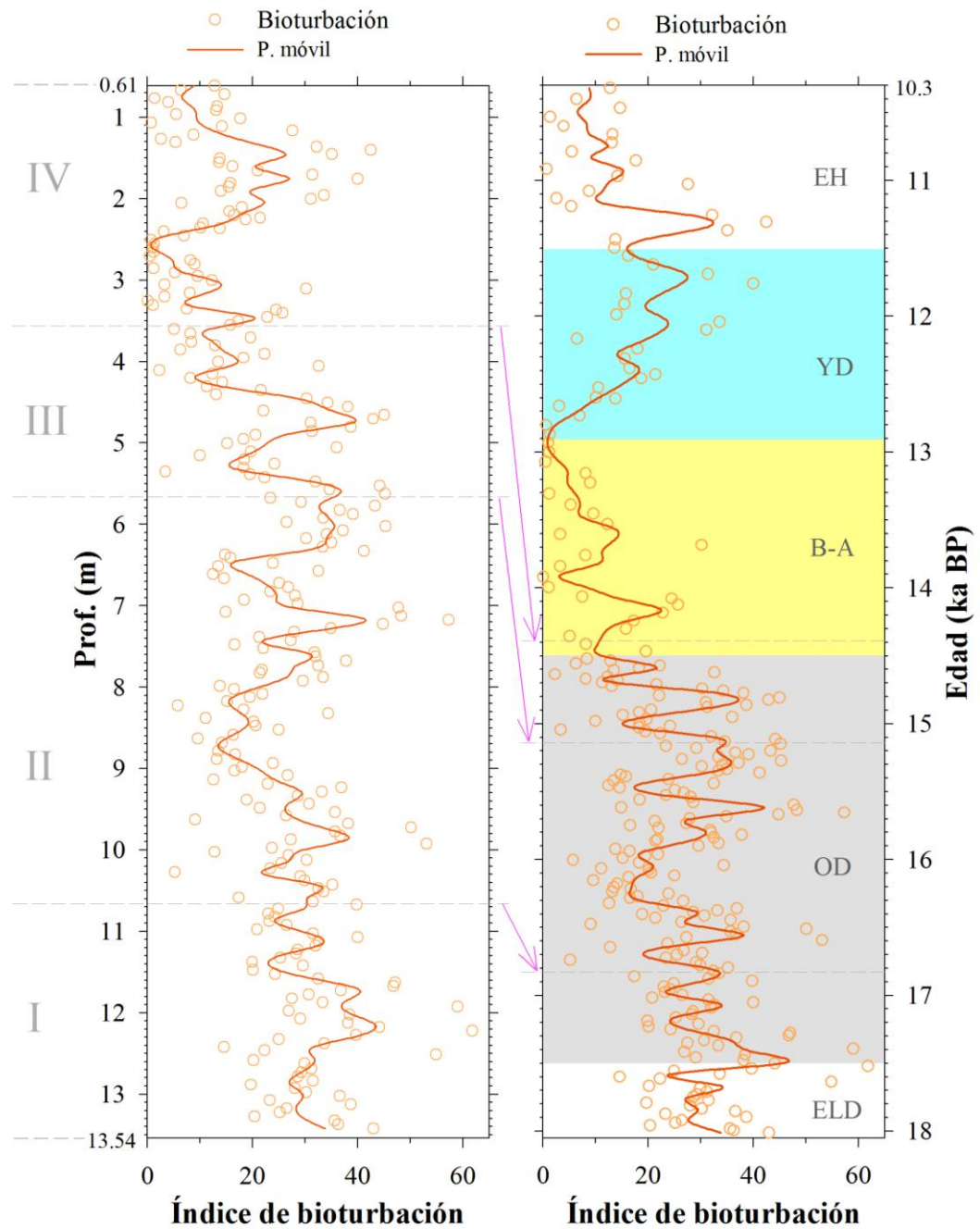


Figura 32. Índice de bioturbación en superficie de las estructuras sedimentarias versus la profundidad (m) (izquierda) y edad (ka BP) (derecha) en el testigo M772-029. Las unidades sedimentarias son indicadas en el panel de la izquierda (números en romanos). Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel de la derecha (letras grises). Las líneas (color naranja) son los promedios móviles cada 5 pasos. Se evidencia una tendencia de disminución de la bioturbación desde los ~18 ka BP hasta los ~12.9 ka BP, luego aumenta hasta los 11.2 ka BP, finalmente disminuye hacia la parte superior (~10.3 ka BP) del testigo.

El índice de bioturbación presentó una mayor variabilidad desde la base hasta los 4.5 m (~desde 18.05 hasta 14.76 cal. ka BP) del testigo, con un rango de valores de 10 a 60 % aproximadamente; se observa una disminución desde la base hasta los ~8.5 m (~16.11 cal. ka BP), seguido de un aumento hasta los ~5.5 m (~15.11 cal. ka BP), y luego disminuye hasta ~ 5 m (~14.93 cal. ka BP), y nuevamente vuelve a aumentar hasta los ~ 4.5 m (14.76 cal. ka BP) (**Figura 32**). Esta variabilidad comprende al período climático OD.

Los valores más bajos del índice de bioturbación se observaron desde los 4.3 m hasta los 2.6 m (14.7 - 12.9 cal. ka BP aprox.) abarcando la parte superior de la Unidad Sedimentaria III y la mitad inferior de la Unidad IV. En este período se observó una tendencia de disminución desde los 4.3 m hasta los 2.6 m. La duración de la variabilidad mencionada coincidió con el período del *Bølling-Allerød* (**Figura 32**). Seguidamente, los valores del índice de bioturbación continuaron aumentando alcanzando un pico de ~42 % alrededor de los 1.4 m (11.3 cal. ka BP), abarcando todo el período del YD hasta inicios del EH. Finalmente, el índice de bioturbación tiende a disminuir hacia la parte superior del testigo, coincidiendo aproximadamente con la etapa terminal del inicio del EH (**Figura 32**).

Las huellas de macro- y micro-bioturbación se encontraron en forma diferenciada, como también en forma mixta. La micro-bioturbación se observó generalmente a lo largo de todo el testigo (M772-029), presentándose como único componente de bioturbación en 214 estratos a lo largo de todo el testigo, mientras que la combinación de micro y macro-bioturbación se encontró en 45 estratos asociados a las Unidades Sedimentarias I, II, y IV (**Anexo 49**). La macro-

bioturbación se encontró como único componente en la muestra 300-301 cm asociada a la Unidad Sedimentaria IV, y en las muestras 1147-1148 cm, 1152-1153 cm y 1342-1343 cm asociadas a la Unidad I. La bioturbación de escala micro presenta un patrón con tendencia muy similar al de la bioturbación total. La proporción de macro-bioturbación fue mayor a la proporción de micro-bioturbación solo en veinte de los cuarenta y cinco estratos con bioturbación mixta (**Figura 33, Figura 34, Anexo 49**).

El índice de bioturbación a lo largo de los testigos compuestos M772-029 y CD0701 presentó una correlación débil pero significativa con el flujo de escamas totales, flujo de escamas de anchoveta, los cocientes NE/NV del total, y con los cocientes NE/NE anchoveta a total (**Anexo 50**). El índice de bioturbación en el período climático LC presentó una correlación relativamente más fuerte con el flujo de escamas totales ( $r = -0.50$ ,  $N = 32$ ,  $p = 0.003$ ). Durante el EH el índice de bioturbación se correlacionó con el flujo de escamas de merluza ( $r = 0.67$ ,  $N = 20$ ,  $p = 0.001$ ). Durante el YD la correlación fue con el flujo de escamas totales ( $r = 0.62$ ,  $N = 22$ ,  $p = 0.002$ ). El índice de bioturbación en el B-A, OD y el ELD no presentó correlación con ninguno de los *proxies* mencionados (**Anexo 50**).

Los índices de bioturbación presentan diferencias altamente significativas entre los períodos climáticos de interés en los testigos M772-029 y CD0701. Los índices de bioturbación durante el OD y ELD son significativamente mayores que en el resto de los períodos climáticos. Los índices de bioturbación en el LC y YD son significativamente mayores que en el B-A (**Anexo 51, Anexo 52**).



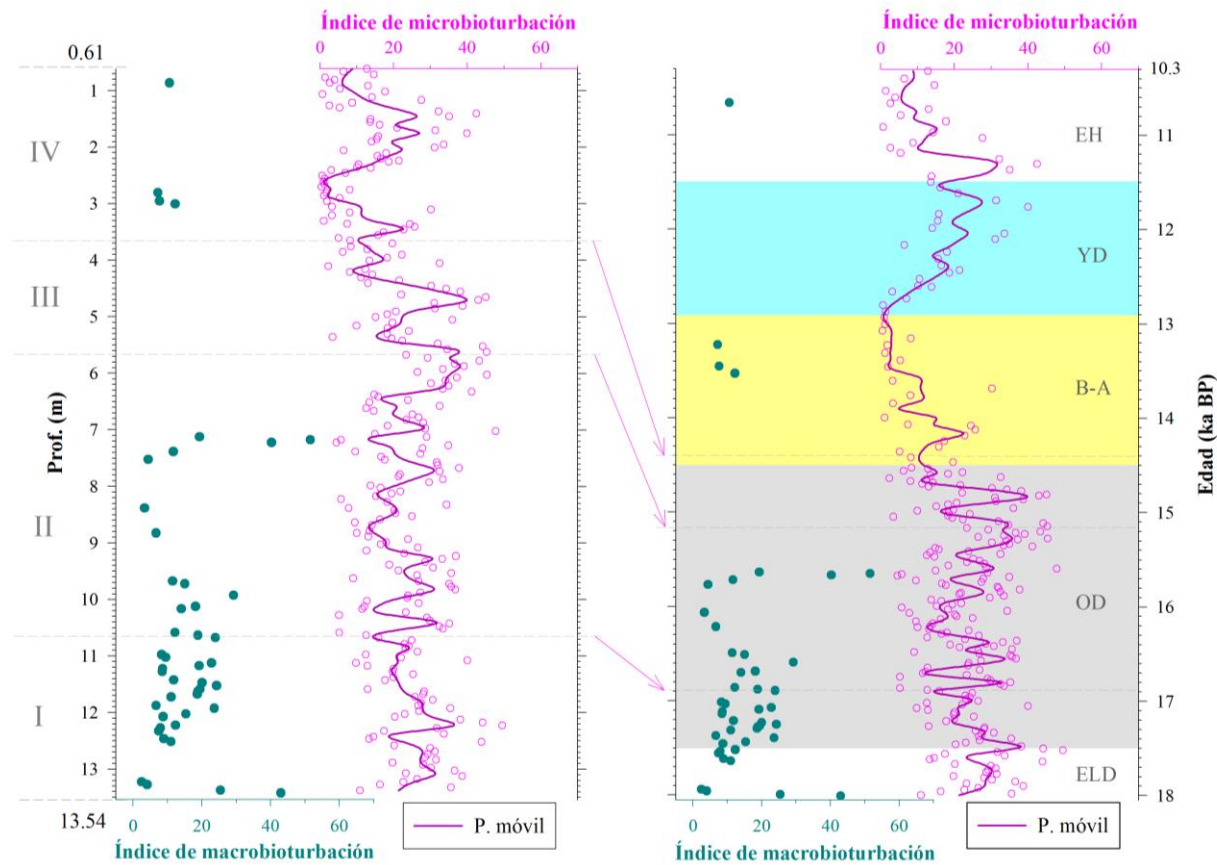


Figura 33. Índice de macro y micro-bioturbación en superficie de estructuras sedimentarias versus la profundidad (m) (izquierda) y edad (ka BP) (derecha) en el testigo M772-029.

Las unidades sedimentarias son indicadas en el panel de la izquierda (números en romanos). Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel de la derecha (letras grises).

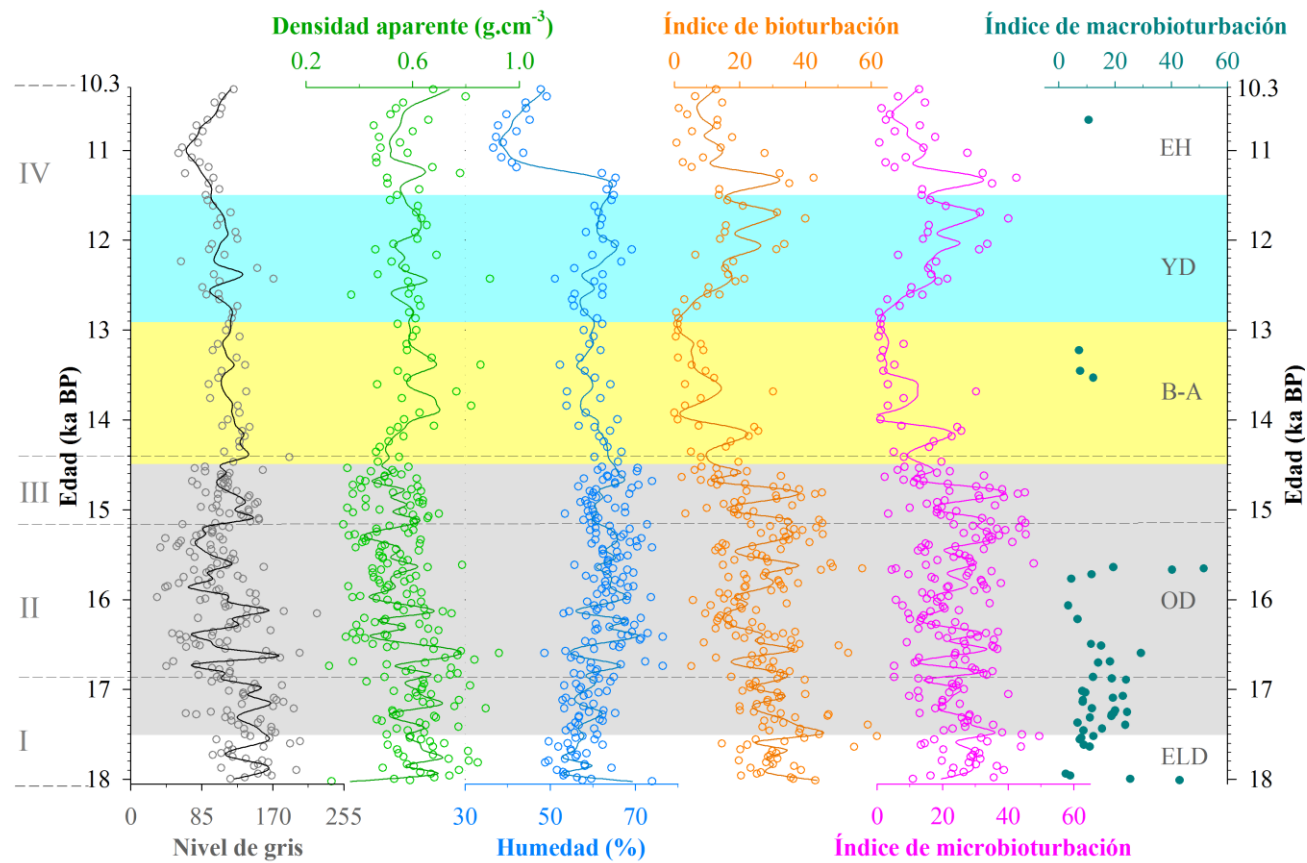


Figura 34. Comparación entre los parámetros sedimentológicos y los índices de macrobioturbación y microbioturbación versus la edad (cal. ka BP) en el testigo M772-029.

Las unidades sedimentarias (definidas como en la figura 20) son indicadas en el panel de la izquierda (letras grises). Los períodos climáticos (definidos como en la figura 47) son indicados en el panel de la derecha (letras grises).

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Problemas y limitaciones de las discontinuidades sedimentarias

Las escamas, vértebras y otros restos óseos de peces en este estudio han sido usados para caracterizar el ecosistema pelágico asociado con las surgencias costeras. En el mejor de los casos la distribución vertical de estos restos deberían proporcionar un registro cronológico de la productividad biológica en el núcleo de surgencias frente a Perú, e indirectamente los eventos oceánicos y atmosféricos en el Sureste del Pacífico. La interpretación de los registros sedimentarios no resulta sencilla. Los factores que complican la interpretación y limitan el estudio son la resolución de muestreo, la variabilidad espacial de sedimentación (transporte vertical y lateral), discordancias sedimentarias, erosión y re-suspensión de los sedimentos, bioturbación, disolución y degradación de los restos de peces, entre otros (Field et al., 2009; Salvatelli et al., 2012). Sin embargo, a partir de las abundancias de las escamas y restos óseos de peces en los sedimentos con secuencias laminadas bien preservadas y relativamente continuas (en el presente estudio desde la última deglaciación ~18.05 cal. ka BP hasta el *Holoceno temprano* ~10.3 cal. ka BP) se pueden hacer ciertas aproximaciones sobre la historia de la productividad secundaria de peces en el sistema de afloramiento frente a Perú.

Debido a la resolución de muestreo empleada en este estudio y a la ausencia de material sedimentario correspondiente a los últimos miles de años a partir de los ~10.3 ka BP hasta el presente, no fue posible resolver eventos de menos de 100 años de duración, ni obtener registros relacionados al *Holoceno*

*medio* y *tardío* respectivamente, salvo para el último siglo. La falta de registros correspondientes al *Holoceno medio* y *tardío* imposibilitaron conocer la variabilidad de las poblaciones de merluza y anchoveta asociada con el régimen climático durante esas ventanas de tiempo; en las cuales se sugiere cambios significantes en la intensidad de la surgencia, TSM, y la historia del ENSO (Ortlieb et al., 2011; Béarez et al., 2003; Andrus et al., 2002, 2003; Sandweiss et al., 2001. 1996; Tudhope et al., 2001).

El problema del registro incompleto para los períodos climáticos del *Holoceno medio* y *Holoceno tardío* se intentó resolver parcialmente adicionando un registro obtenido de un testigo corto (CD0701, 0-27 cm de longitud), el cual abarca aproximadamente los últimos  $109 \pm 8$  años (ver sección 3.3.1 y **Figura 23**). Este registro fue considerado como un período climático adicional (último siglo) a los del testigo M772-029.

## 5.2. Cambios en el patrón y en la tasa de sedimentación

Los cambios en la tasa de sedimentación y la tasa de acumulación de sedimentos influyen en las abundancias de microfósiles en diferentes maneras; un aumento en la tasa de sedimentación con mayor aporte orgánico terrestre propicia la sedimentación anóxica beneficiando la preservación de ciertos microfósiles (Leventer et al., 1983). Por otro lado, un aumento en la tasa de sedimentación con una productividad constante, ocasiona una disminución de las abundancias de microfósiles en una columna sedimentaria (Loubere P., 1989). Los cambios en la tasa de sedimentación también influyen en el cálculo de los flujos de los restos de peces en los sedimentos (Field et al., 2009; Salvattecchi, 2013).

Las dos tasas de sedimentación (TS) estimadas a partir de la relación entre la edad  $^{14}\text{C}$  calibrada y la profundidad podrían sugerir un cambio brusco en las condiciones sedimentarias a escala milenial alrededor de los  $14.52 \pm 1.26$  ka BP, que coincide con la edad estimada del cambio abrupto del nivel del mar asociado con el retroceso rápido de los glaciares (Meltwater Pulse 1A) (14.6-14.2 ka BP) (Fairbanks, 1989; Bard et al., 1990, 1996; Clark et al., 1996, 2002; Hanebuth et al., 2000; Kienast et al., 2003; Weaver et al., 2003; Liu & Milliman, 2004; Webster et al., 2004; Peltier, 2005; Deschamps et al., 2012).

El cambio en la TS es consistente con las estructuras sedimentarias observadas a ca. 365 cm de profundidad ( $14.4 \pm 0.7$  cal. ka BP) en el testigo, ya que las características sedimentológicas como la densidad, textura y color cambian. Estos cambios coinciden relativamente con el inicio del B-A (14.5 cal. ka BP). El tiempo coincidente de dichos eventos son más que un evento fortuito. Se sugiere que el enlace clave entre estos eventos fue el aumento acelerado del nivel del mar de 20 m aprox. en menos de 500 años (Liu & Milliman, 2004, Deschamps et al., 2012). Un aumento del nivel del mar repercute en un aumento en la distancia y tiempo de transporte de los sedimentos desde la capa superficial de la columna de agua hasta el lecho marino, lo cual explicaría la disminución en la TS observada. Otra manifestación del aumento del nivel del mar es una plataforma continental más extensa que favorecería el bombeo de nutrientes regenerados y la productividad biológica, propiciando una sedimentación predominantemente orgánica y la generación de condiciones anóxicas en el fondo. Esta explicación es coherente con la disminución observada del índice de bioturbación (ca a  $14.5 \pm 0.7$  cal ka BP) (ver **Figura 32**, **Figura 33**, **Figura 34**).

El período entre 14.6 cal. ka BP y 10.3 cal. ka BP (**Anexo12-F 1**) caracterizado por la asociación de diatomeas que indican intensificación de las surgencias costeras (C. López & P. Tapia, en preparación), tiene su límite basal a ca. 4 m que está próximo al inicio de los cambios rápidos sedimentarios mencionados arriba. Tanto el período entre 15.6 cal. ka BP y 14.6 cal ka BP, caracterizado por la dominancia de especies de diatomeas asociada con aguas oceánicas, como el período entre 18 cal ka BP y 15.6 cal. ka BP, caracterizado por la dominancia de especies mixtas de diatomeas asociada con aguas de surgencias costeras y de ambientes oceánicos corresponden al período sometido a una mayor tasa de sedimentación (ca.  $2.79 \pm 1.44$  mm.año<sup>-1</sup>, 18 ka BP - 14.5 ka BP). En un testigo colectado a una profundidad similar frente a Pisco (400 m), Salvattecí (2013) no detecta cambios en la tasa de sedimentación para el período entre 18 ka BP y 13 ka BP. Sin embargo, existe un cambio abrupto en el patrón de sedimentación hacia 14.5 – 15 ka BP, pasando de un régimen de sedimentación finamente laminado y rico en ópalo biogénico y alta preservación de Ca, a uno donde el componente litogénico se incrementa y la estructura sedimentaria pasa a ser bandeada o con intercalaciones entre bioturbación y laminaciones. El cambio rápido en la TS encontrado en el registro de Chimbote (este estudio) y no encontrado en el registro de Pisco, puede atribuirse a la diferente geomorfología del margen continental. Actualmente la plataforma frente a Pisco es angosta (10-15 millas) y la pendiente plataforma-talud cambia gradualmente, mientras que frente a Chimbote la plataforma es mucho más amplia (60 millas aproximadamente) y con una pendiente muy suave que cambia a abrupta en el talud (Krabbenhöft et al., 2004; Krissek et al., 1980). La explicación sobre la

diferencia en los patrones de sedimentación entre los testigos colectados frente a Pisco y Chimbote es que el rápido aumento del nivel del mar a ca. 14.5 ka BP (Deschamps et al., 2012; Clark et al., 2002) habría desplazado los núcleos de sedimentación hacia la costa con mayor influencia frente a Chimbote.

### 5.3. Cambios en la preservación y en la abundancia de escamas y restos óseos de peces

Los cambios de las abundancias de escamas, vértebras y restos óseos de peces encontrados en los sedimentos pueden producirse por cambios en los flujos de los restos de peces hacia el sedimento y/o por cambios en la preservación pre y post sedimentación de dichos restos (Field et al., 2009, Salvattecí et al., 2012). Altos flujos de escamas, vértebras y otros restos de peces pueden deberse a un aumento en la productividad de peces en el sistema o a un aumento en la preservación; pero también pueden deberse a un aumento en las tasas de acumulación de sedimento, o a una combinación de los procesos mencionados. Por ello, previa a la inferencia en la reconstrucción de los cambios en las abundancias de peces en el pasado, es necesario discriminar el efecto entre los cambios en los flujos y los cambios en la preservación (O'Connell & Tunnicliffe 2001; Field et al., 2009; Salvattecí et al., 2012).

La evaluación de los flujos, cocientes NE/NV y los índices IAF de escamas y vértebras revelaron cambios en la preservación relacionados con los cambios en la actividad bioturbadora en los sedimentos. A escala milenial el índice de bioturbación es un factor no lineal en relación al flujo de escamas y vértebras de peces. Por ejemplo, durante el EH y el YD la relación positiva entre

el índice de bioturbación y el flujo de escamas de merluza (**Anexo 50**) sugiere que un aumento en las abundancias de escamas de merluza serían el reflejo de un aumento en las abundancias de merluza debido a la expansión de su distribución asociada con la ventilación de fondo propiciada por la intensa surgencia costera. Mientras que durante el LC y el OD la relación negativa de las mismas variables (**Anexo 50**) sugiere que las abundancias de escamas de merluza serían el reflejo de una mayor preservación propiciada por condiciones anóxicas. Los índices IAF de escamas no se relacionaron con los índices de bioturbación. En cambio, la relación débil pero significativa entre el índice IAF de vértebras totales y el índice de bioturbación durante el OD (**Anexo 50**) sugiere que las vértebras reflejarían mejor que las escamas los cambios en la preservación. Esto es consistente con las observaciones de otros investigadores, quienes indican que las vértebras de peces resisten mejor que las escamas las condiciones desfavorables de preservación (Devries & Percy, 1982; Field et al., 2009; Salvattecí et al., 2012). Sin embargo, durante los períodos climáticos diferentes al OD no se encontró relación significativa entre los índices IAF de vértebras totales con los índices de bioturbación. Esto puede explicarse debido a que durante los períodos en cuestión el índice IAF de vértebras fue calculado a partir de pocas observaciones, reduciendo su confiabilidad.

El período de tiempo entre 18 – 14.5 cal. ka BP, con la más alta preservación de escamas y restos óseos de peces encontrado en nuestro testigo es consistente con lo encontrado por Salvattecí (2013). La explicación a estas observaciones está asociada con la disminución en el oxígeno disuelto del agua de fondo inferida a partir de la disminución del índice de bioturbación para dicho



período (ver **Figura 32**, **Figura 33**, **Figura 34**). Estos registros son coherentes con la evidencia de la aceleración en la desnitrificación durante el calentamiento deglacial a escala regional (De Pol-Holz et al., 2006; Hendy & Pedersen, 2006) y global (Galbraith et al., 2013).

Varios autores sostienen que las escamas de las distintas especies son alteradas en forma diferente (Field et al., 2009; Salvatteci, 2013). Las escamas de merluza son propensas a romperse en forma circular siguiendo la orientación de los *circuli*; en cambio las escamas de anchoveta al degradarse son más propensas a romperse de acuerdo a la orientación de los *radii*. Estas consideraciones podrían influir en las abundancias de las escamas de peces y en la estimación de los índices IAF de las escamas. Sin embargo, la prueba de homogeneidad de U-Mann Whitney entre los índices IAF de escamas de merluza versus los índices IAF de escamas de anchoveta reveló que existen diferencias insignificantes durante cada período climático (**Tabla 10**), sugiriendo que estas escamas sufrieron procesos de degradación de similar intensidad durante el transcurso del tiempo. Establecida la similitud de la intensidad de los procesos de alteración entre las escamas de merluza y escamas de anchoveta, es confiable comparar los cambios entre el flujo de escamas de merluza y el flujo de escamas de anchoveta.

Las pocas observaciones de vértebras de merluza no necesariamente significan una disminución en la producción de peces en el sistema. Por ejemplo el flujo reducido de vértebras de merluza también puede deberse a su remoción de los ambientes de sedimentación por sus depredadores. El calamar gigante (*Dosidiscus gigas*) es considerado un depredador importante de la merluza en el Pacífico norte (Field et al., 2007), y un depredador potencial de la merluza en el

Pacífico sur oriental (Tam et al., 2008; Argüelles et al., 2008). Ya que la asociación de diatomeas indica el predominio de masas de agua oceánicas o mixtas antes de ca. 14.5 ka BP, es posible que el calamar gigante se distribuyese más cerca de la costa, propiciando una mayor depredación sobre las merluzas. Debido a su naturaleza altamente migratoria (Nigmatullin et al., 2001), este depredador puede remover las vértebras de merluza de los ambientes de sedimentación local.

En adición, la relación débil pero significativa entre el flujo de vértebras de anchoveta y el flujo de otras vértebras no identificadas, sugiere que las vértebras no identificadas podrían ser de peces que estarían asociados a los mismos ambientes de la anchoveta, ambientes de surgencias costeras.

#### 5.4. Comparación de los registros *proxies* de estudio con otros *proxies* del testigo y con otros registros locales y regionales

Los resultados del índice de bioturbación evidencian un patrón similar al de la composición isotópica de nitrógeno (*proxy* de la desnitrificación en la columna de agua, determinado en el testigo M772-029 por Mollier-Vogel [2012]) desde ~17.5 hasta ~14 cal. ka BP (**Figura 35**). La correspondencia entre ambos *proxies* durante ese período en el que se reduce la bioturbación y aumenta el valor del  $\delta^{15}\text{N}$ , confirman la reducción del oxígeno en la capa subsuperficial de la columna de agua. Después de este período de tiempo las series de los valores del índice de bioturbación y de  $\delta^{15}\text{N}$  divergen, para luego exhibir una variabilidad paralela entre

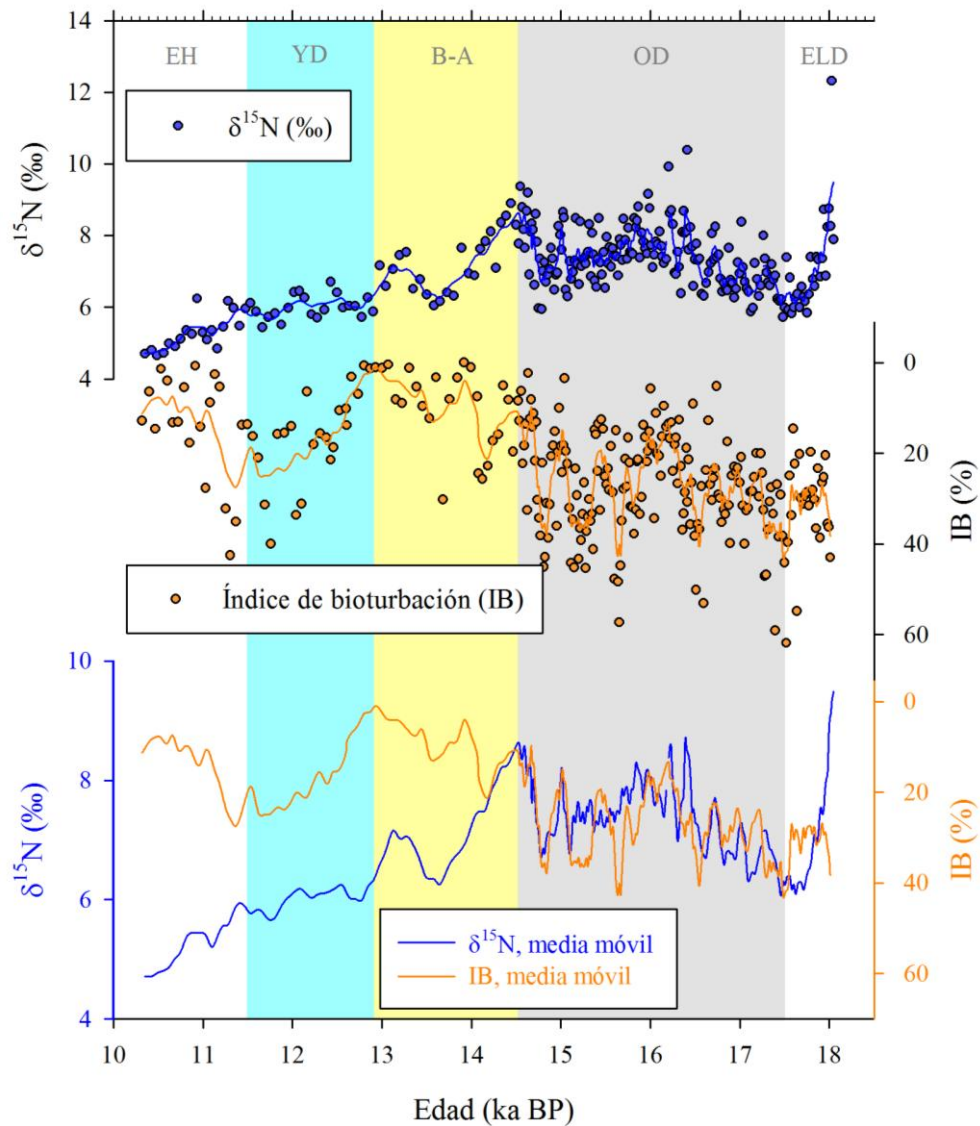


Figura 35. Comparación de la composición isotópica de nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) con el índice de bioturbación (IB) versus la edad (ka BP) en el testigo M772-029.

Panel superior: datos de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) y media móvil (puntos azules y línea azul respectivamente); panel intermedio: IB (%) y media móvil (puntos naranja y línea naranja respectivamente); panel inferior: superposición de las medias móviles de  $\delta^{15}\text{N}$  y del IB. Los datos de  $\delta^{15}\text{N}$  son tomados de Mollier-Vogel (2012). Las medias móviles son cada cinco pasos. Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) se indican (letras grises) en la parte superior.

13.5 ka BP y los 11.2 ka BP a escala multi-centenal. Sin embargo, mientras que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  después de 14 ka BP presentan una tendencia negativa, el índice de bioturbación se mantiene en promedio en valores muy reducidos (13

$\pm 11$  %). Cabe indicar que la evolución de  $\delta^{15}\text{N}$  revelada por Mollier-Vogel (2012) frente a Chimbote entre los ca. 17.5 ka BP y los 13.5 ka BP es relativamente similar a escala milenial a la registrada frente a Pisco (Salvatteci, 2013), San Juan (Mollier-Vogel, 2012) y Coquimbo (De Pol-Holz et al., 2006), lo que sugiere fuertemente que la señal de  $\delta^{15}\text{N}$  durante este período y escala de tiempo es de tipo regional, asociada con la circulación y/o ventilación en la columna de agua. En tal sentido, la divergencia entre ambos *proxies* puede explicarse por un aumento de la ventilación de la capa superficial de la columna de agua, que afecta la incorporación de  $^{15}\text{N}$  por el fitoplancton, pero sin ocasionar oxigenación del agua de fondo.

Los flujos e índices IAF de escamas y restos óseos de peces, y el índice de bioturbación revelan un aumento en la productividad secundaria de peces asociado con la intensificación de la zona mínima de oxígeno, desde 18 cal. ka BP coincidente con el inicio de la última terminación glacial hasta 16 cal. ka BP. El flujo de los restos de peces en general aumenta, con la predominancia de las escamas de anchoveta sobre las de merluza y de otras especies, al tiempo que la preservación de los restos de peces fue óptima (**Figura 36, Figura 37, Anexo 47**). La tendencia en la disminución de la bioturbación, y aumento en la preservación de los restos de peces (**Figura 36, Figura 37**), es consistente con el incremento en la desnitrificación en la columna de agua inferida de la composición isotópica de nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) encontrado por Mollier-Vogel (2012) en el mismo testigo del presente estudio (**Figura 35**). Mientras que la bioturbación está asociada con el régimen de oxígeno de fondo (Marenco & Bottjer, 2010, Savrda & Bottjer, 1986),

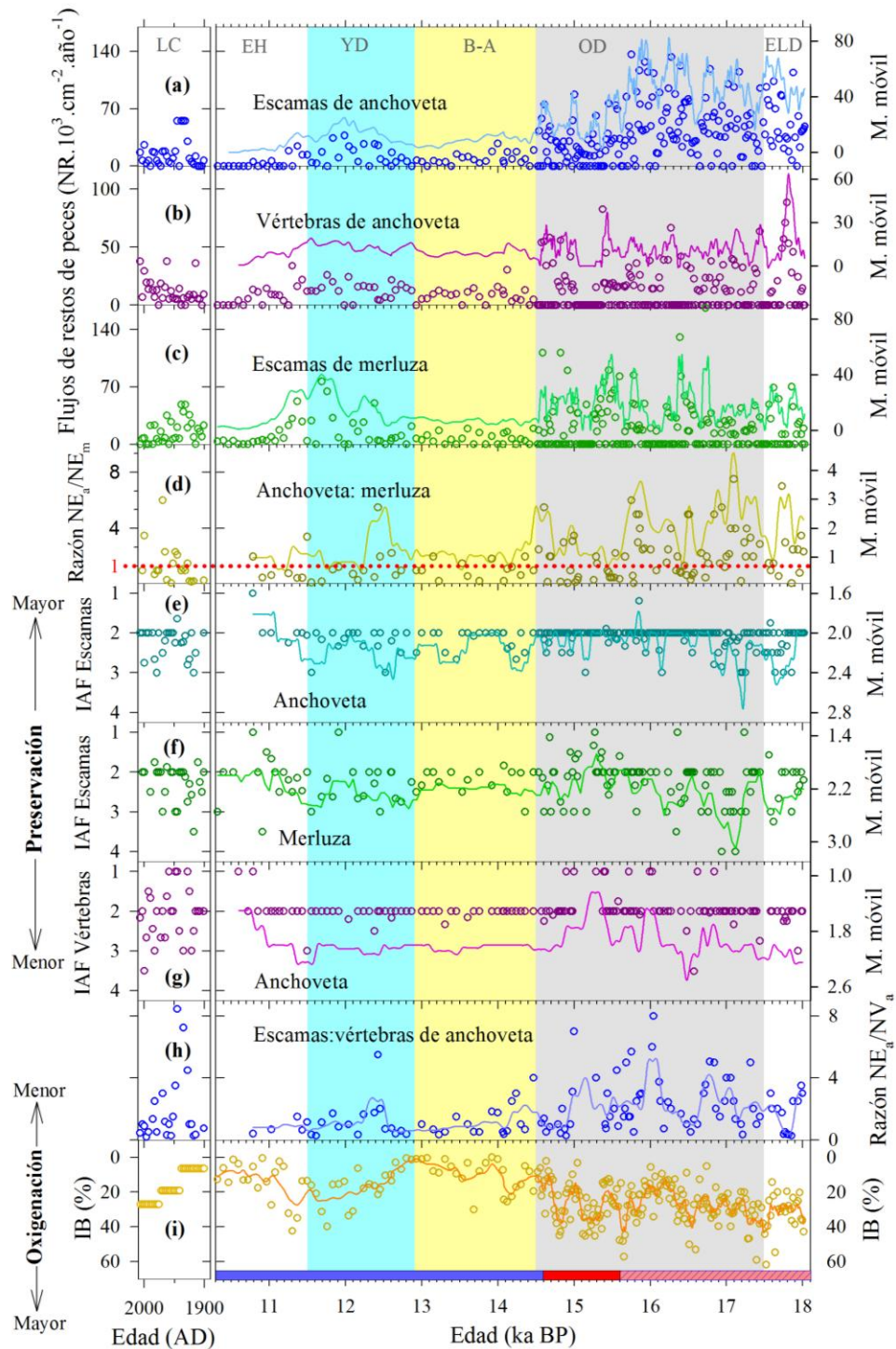


Figura 36. Flujos e índices de preservación de escamas y vértebras de peces, e índice de bioturbación (IB, %) versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701.

Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel superior (letras grises). En la parte inferior las barras representan a los intervalos de las tres zonas bioestratigráficas de diatomeas: La barra (color rojo claro) achurada representa el intervalo de tiempo de la asociación de especies mixtas de diatomeas de aguas de surgencias costeras y de ambiente oceánico (zona 3, 18-15.6 cal ka BP), la barra color rojo representa al intervalo de la asociación de diatomeas con dominancia de especies de ambiente oceánico (zona 2, 15.6 – 14.6 cal ka BP), y la barra azul representa al intervalo de la asociación de especies de diatomeas de surgencias costeras (zona 1, 14.6 – 10.3 cal ka BP).

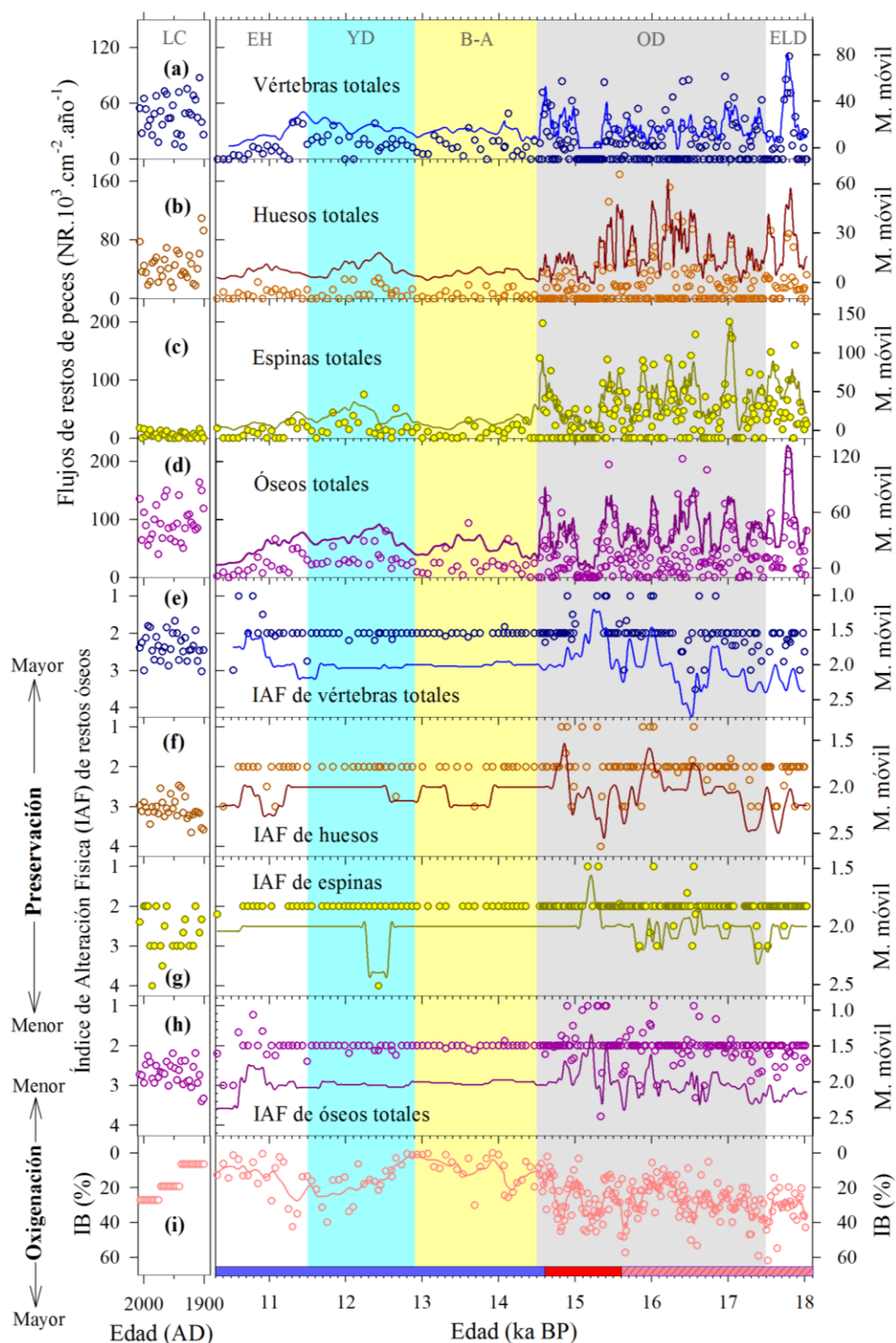


Figura 37. Comparación de los flujos e Índices IAF de vértebras, huesos, espinas y óseos totales de peces, y el índice de bioturbación (IB, %) versus la edad en los testigos M772-029 y CD0701.

Los periodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel superior (letras grises). En la parte inferior se indican los intervalos correspondientes a las tres zonas bio-estratigráficas de diatomeas (definidos en la figura 36).

suele asumirse que la composición isotópica del nitrógeno responde en todo caso a los procesos e historia de la capa subsuperficial en la columna de agua (Mollier-Vogel et al., 2012; Mollier-Vogel, 2012).

Este período desde 18 cal. ka BP hasta 16 cal. ka BP está caracterizado por una intensificación de la zona mínima de oxígeno a escala regional asociada con la etapa temprana de la última deglaciación (Higginson & Altabet, 2004; Jaccard & Galbraith, 2011; Salvattecí, 2013). Según Salvattecí (2013) en testigos frente a Pisco el inicio del incremento en la desnitrificación se inició al final del Último Máximo Glacial (~19 ka BP), alcanzando un máximo a 16.5 ka BP (Figura III-9B en Salvattecí, 2013). Estas observaciones son consistentes con el incremento en la desnitrificación de la columna de agua observado en sitios cercanos, en 11°S y 13°S (Higginson & Altabet, 2004). En adición, este período de tiempo coincide con un período de menor intensidad de la circulación termohalina (McManus et al., 2004), sugiriendo la influencia de un forzante remoto que modula las condiciones geoquímicas de la zona mínima de oxígeno en el Pacífico sur oriental.

Durante el período en cuestión (18 ka BP – 16 ka BP), la comparación de nuestro registro a escala regional guarda cierta consistencia con lo encontrado por Salvattecí (2013) en testigos frente a Pisco, donde observó altos flujos de escamas de anchoveta, pero este autor sostiene que es debido a una mayor preservación que a un aumento en las abundancias de anchoveta en el sistema. En contraste, en el presente estudio, el flujo de escamas es consistente con el flujo de vértebras en dichos períodos, sugiriendo un aumento real en las abundancias de peces en el sistema (**Tabla 5, Tabla 8**). Este período de tiempo coincide relativamente con el

período de tiempo (~18 cal. ka BP – 15.6 cal. ka BP) caracterizado por asociaciones mixtas de diatomeas de ambientes oceánicos y de surgencias costeras (**Figura 36, Figura 37**), sugiriendo una relativa intensificación de las surgencias costeras, la cual habría propiciado el aumento en el éxito del reclutamiento de la anchoveta (Bakun & Parrish, 1982; Cury & Roy, 1989) frente a las costas de Chimbote. Por tanto, los flujos de escamas y restos óseos durante esos períodos de tiempo sugieren un real aumento relativo en la productividad de peces en el sistema, en especial la anchoveta dominando sobre el resto de especies, con un aumento en la preservación de los restos de peces, asociados con la intensificación de la zona mínima de oxígeno (**Figura 36, Figura 37, Figura 38**).

El período de tiempo después de los 16 ka BP hasta los 14.5 ka BP que muestra un episodio abrupto de disminución del flujo de escamas, vértebras (**Figura 36**) y huesos (**Figura 37**) de peces, también presenta un aumento relativo en la bioturbación (16 ka BP hasta 14.8 ka BP), y la disminución relativa de la preservación de escamas, vértebras (**Figura 36**) y óseos totales (**Figura 37**). Además, este período de 16 ka BP – 14.5 ka BP coincide parcialmente con el dominio de especies de diatomeas oceánicas (15.6 cal. ka BP – 14.6 cal ka BP) (**Figura 36 y Figura 37**), y con la observación de máximos flujos de escamas de jurel, especie de comportamiento oceánico (**Figura 21**). Además este período de tiempo está caracterizado por una ligera disminución en la productividad primaria inferida del contenido sedimentario de opalo biogénico (SiO<sub>2</sub>) y de la concentración de alquenona sedimentaria, los cuales coinciden con la disminución en la desnitrificación de la columna de agua inferida de  $\delta^{15}\text{N}$  sedimentario, según lo encontrado por Mollier-Vogel (2012) en el mismo testigo de nuestro estudio



(Figura 38-f). A partir de las últimas observaciones indicadas, Mollier-Vogel (2012) plantea un modelo de la evolución de la Zona Mínima de Oxígeno durante los últimos 18 mil años, en el cual la contracción latitudinal y el debilitamiento del borde norte ocurren desde la etapa temprana de la última deglaciación. Por tanto, el decremento del flujo de escamas y vértebras en general de todas las especies es un efecto combinado de la disminución en la preservación de los restos de peces y de la disminución de la productividad primaria; este último habría afectado el sustento de las poblaciones de peces.

En este período de 16 ka BP y 14.5 ka BP, los cambios en el flujo y la preservación de restos de peces, y cambios en el índice de bioturbación (explicados en el párrafo anterior) se asocian con forzamientos remotos relacionados con los cambios en la intensidad de la circulación termohalina (McManus et al., 2004). Salvattecí (2013) en testigos frente a Pisco encontró que la ZMO se debilita, las condiciones redox del sedimento tienden a ser subóxicas, y la producción exportada y la preservación de la materia orgánica disminuyen (Figura III-9 en Salvattecí, 2013). Este período de tiempo coincide con la etapa final del debilitamiento mayor de la circulación termohalina inferida a partir del aumento del cociente  $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ , que provocaron un enfriamiento en el Atlántico Norte (McManus et al., 2004) y con ello, posiblemente un desplazamiento del ZCIT hacia el sur. Otros estudios han sugerido que el desplazamiento del ZCIT hacia el sur se traduce en un debilitamiento del campo de vientos, de la surgencia a nivel regional y de la intensidad de la ZMO (Gutiérrez et al., 2009; Mollier-Vogel, 2012). Nuestros resultados soportan la idea de que la rapidez y magnitud

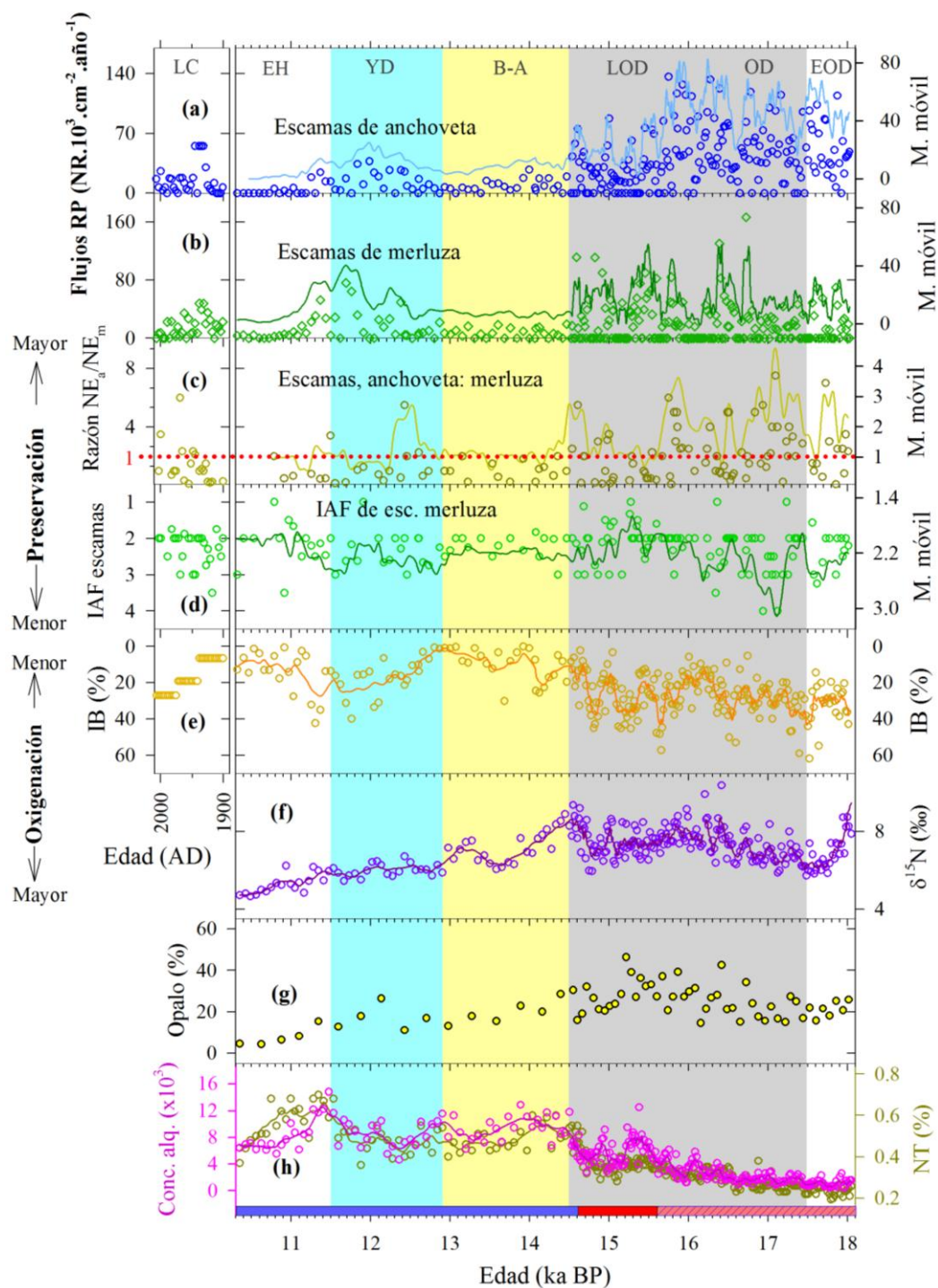


Figura 38. Comparación de los flujos e índices IAF de escamas con los *proxies* geoquímicos versus la edad (ka BP) en el testigo M772-029 y CD0701.

Flujos de escamas de anchoveta (a) y merluza (b); cocientes escamas de anchoveta: merluza (c), IAF de escamas de merluza (d); índice de bioturbación (IB, %) (e);  $\delta^{15}\text{N}$  (f); contenido de ópalo biogénico (g); Nitrógeno total (NT [%]) y concentración de alquenona sedimentarios (h) (datos tomados de Mollier-Vogel, 2012); Los períodos climáticos (definidos en la figura 20) son indicados en el panel superior (letras grises). En la parte inferior se indican los intervalos correspondientes a las tres zonas bio-estratigráficas de diatomeas (definidos en la figura 36).

de la disminución del flujo de restos de peces, reducción en la preservación, y aumento en la bioturbación desde 16 ka BP hasta 14.5 ka BP resultó posiblemente por un cambio de régimen en la productividad e intensidad de la ZMO, ocasionado por un forzamiento remoto asociado con el debilitamiento de la circulación termohalina.

Entre 14.5 cal ka BP y 13 cal ka BP el bajo flujo ( $18.2 \pm 11.2 \text{ NE} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ) de todos los restos de peces en general, relativo al del período precedente 16 cal. ka BP – 14.5 cal. ka BP ( $64.7 \pm 59.3 \text{ NE} \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ), y el similar orden de magnitud entre el flujo de escamas de merluza y el flujo de escamas de anchoveta (**Figura 36-d**) están asociados con una abrupta disminución de la tasa de sedimentación ca. 14.5 cal ka BP, y a una disminución del  $\delta^{15}\text{N}$  sedimentario. Según Mollier-Vogel (2012) la reducción del  $\delta^{15}\text{N}$  sedimentario desde los ca. 14 ka BP, sería a causa de una mayor ventilación en la capa superficial que impide la expansión somera de la ZMO y evita que el nitrato enriquecido en  $^{15}\text{N}$  alcance las aguas superficiales siendo incorporado por el fitoplancton. Este período de tiempo es relativamente coincidente con el valor mínimo (0.065) alcanzado del cociente  $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$  que permaneció casi constante por 1500 años (14.2 – 12.5 ka BP), a partir del cual se infiere un evento de fuerte intensificación de la circulación termohalina (MacManus et al., 2004) y por consiguiente un clima promedio más cálido en el Hemisferio Norte, que caracterizó al Bolling-Allerod, así como posiblemente una ZCIT desplazada hacia el norte y condiciones tipo ‘La Niña’ en América del Sur (Mollier-Vogel, 2012).

El desfase entre las edades del período de nuestro estudio con el último mencionado es posiblemente debido a las incertidumbres del método de datación,

calibración, y del modelo de edad desarrollado (Telford et al., 2004). Los datos del testigo estudiado aquí muestran que después de 14.6 cal ka BP la asociación de diatomeas sugiere una intensificación de las surgencias costeras, al tiempo que la bioturbación disminuye nuevamente; aunque la preservación de los restos tendió a ser menor (**Figura 36**), posiblemente debido a la reducción en la tasa de sedimentación. La intensificación de las surgencias costeras propiciaría una mayor mezcla por el viento, lo que pudo ser desfavorable para el reclutamiento de peces (Bakun & Parrish, 1982; Cury & Roy, 1989). Los bajos flujos de restos de peces entre 14.5 cal ka BP y 13 cal ka BP pueden explicarse por una combinación de condiciones desfavorables para la biomasa de peces, y también por la menor preservación de los restos, debido a la menor tasa de sedimentación asociada con la elevación del nivel del mar en ca. 14.5 ka BP (Clark et al., 1996, 2002; Peltier, 2005; Deschamps et al., 2012).

Después de 13 cal ka BP los resultados de los flujos de los restos de peces, el índice de bioturbación y la composición de diatomeas revelaron efectos de posibles forzantes locales asociados con la intensificación de las surgencias costeras. Los flujos de restos de peces incrementaron y las escamas de merluza exhibieron un aumento significativo e incluso dominaron el registro (**Figura 36**). En este período, el índice de bioturbación y la asociación de diatomeas sugieren una mayor oxigenación bajo condiciones dominantes de surgencia costera. Durante este período de edad según lo encontrado por Mollier-Vogel (2012) en el mismo testigo de este estudio, se observa el aumento del porcentaje del nitrógeno total sedimentario y una continua disminución de  $\delta^{15}\text{N}$ , que explicaría un aumento en la producción de materia orgánica marina producto del incremento en la

productividad primaria con la intensificación de los eventos de surgencia costera y mayor ventilación de la zona mínima de oxígeno. El aumento relativo de las abundancias de merluza respecto a las de anchoveta, inferida a partir de los registros de restos de peces en este estudio, sería explicado tanto por la intensificación de las surgencias costeras alejando fuera de la costa sus potenciales depredadores (de ambientes oceánicos) como por la ventilación subsuperficial permitiendo a los cardúmenes de merluza expandirse latitudinalmente hacia el sur.

Finalmente, los registros locales encontrados por DeVries & Percy (1982) en un testigo en los 11°S y otro en 13°S frente a Perú muestran flujos de escamas de anchoveta, merluza y sardina principalmente. En el testigo en 11°S, la secuencia que contiene una parte del final del *Pleistoceno*, fechada por DeVries & Percy (1982) en 11.6 -11.4 ka BP, exhibe bajos flujos de escamas de anchoveta y merluza, relativo a períodos de tiempo de los últimos tres milenios y últimos cuatro siglos. En contraste en el presente estudio encontramos que durante el YD el flujo de escamas de anchoveta (merluza) fue relativamente menor (mayor) que en el período climático del último siglo (*Last Century*) (**Figura 36**). Además, DeVries & Percy (1982) encontraron en el testigo en 13°S que el flujo de escamas de anchoveta aumenta desde 16.2 ka BP hacia los 12.5 ka BP, y el flujo de escamas de merluza sigue el mismo patrón pero con menor magnitud que el flujo de escamas de anchoveta. En el presente estudio el flujo de escamas de merluza aumenta desde 14.5 cal. ka BP hacia 12 cal. ka BP, pero el flujo de escamas de anchoveta disminuye desde los 16.2 cal ka BP hasta los 13 cal ka BP, para luego aumentar relativamente hasta los 12 cal ka BP. A partir de estas observaciones en conjunto se infiere que las mayores concentraciones de cardúmenes de anchovetas

se habrían desplazado más hacia el sur durante el YD, mientras que los cardúmenes de merluzas se habrían expandido hacia el sur ( $\sim 11^\circ\text{S}$ ). Una posible explicación es el desplazamiento hacia el sur de la celda de alta presión (Anticiclón del Pacífico Sur), asociada con la migración latitudinal de la ZCIT en este período (Peterson et al., 2000; Koutavas and Lynch-Stieglitz, 2004; Wang X. et al., 2004; Placzek et al., 2006). Cabe anotar que en el mismo período en el Pacífico noreste, los núcleos de surgencia costera se desplazaron hacia el norte (Sabin & Pisias, 1996).

Las relaciones determinadas entre las abundancias de peces y las variables ambientales inferidas son expresadas en forma resumida (**Tabla 12**) para facilitar la explicación de la contrastación de las hipótesis de investigación. En esta síntesis se considera las relaciones entre las condiciones de las surgencias costeras y la oxigenación subsuperficial versus las abundancias de merluza y anchoveta de acuerdo a los períodos climáticos asociados al rango de edad de los registros.

Tabla 12. Síntesis de los cambios mileniales inferidos.

| Edad (ka BP)                 | Surgencia costera       | Oxigenación subsuperficial | Abundancia de merluza | Abundancia de anchoveta |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>18-15.7 (ELD/OD)</b>      | Aumenta relativamente   | Se reduce                  | Alta aumentando       | Muy alta aumentando     |
| <b>15.7-14.6 (OD tardío)</b> | Se reduce relativamente | Aumenta                    | Estable               | Disminuye               |
| <b>14.6-12.7 (B-A)</b>       | Alta, fluctúa           | Se reduce                  | Muy baja              | Muy baja                |
| <b>12.7-11.5 (YD)</b>        | Alta, aumenta           | Aumenta                    | Aumenta más           | Aumenta menos           |
| <b>11.5-10.3 (YD/EH)</b>     | Se reduce               | Se reduce                  | Disminuye menos       | Disminuye más           |

La variabilidad a escala milenial encontrada en nuestros registros de estudio se evidencia también en otros estudios realizados en un contexto global, por ejemplo en un estudio del registro de restos de peces durante el Holoceno, revela una variabilidad sustancial sobre escalas de tiempo milenial (incluso a escalas seculares) asociados a menudo pero no siempre con cambios de clima regional y/o global (Finney et al., 2010).

## VI. CONCLUSIONES

Nuestros resultados sugieren que tanto las surgencias costeras como la oxigenación de la columna de agua modulan también a escala milenial la variabilidad de las poblaciones de anchoveta y merluza frente a la costa norte-centro de Perú.

Sin embargo, los resultados no soportan la primera hipótesis de investigación que “El aumento de las abundancias de la merluza con respecto a las de anchoveta está asociado con una mayor oxigenación subsuperficial, a escala de miles de años”. Entre los diferentes escenarios climáticos, la hipótesis en cuestión se cumpliría solo entre ~12.2 ka BP y ~11.8 ka BP asociado al Younger Dryas.

Los resultados tampoco respaldan completamente la segunda hipótesis de investigación que “El aumento general de la producción secundaria de peces está asociado con una mayor intensidad de las surgencias costeras, a escala de miles de años”. Por ejemplo, los diferentes *proxies* como la asociación de diatomeas y el  $\delta^{15}\text{N}$  indican una reducida intensidad de las surgencias costeras desde 18 ka BP hasta 14.5 ka BP, y una intensificación de las surgencias costeras después de ca. 14.6 ka BP, los cuales están asociados con el aumento y disminución en las abundancias de peces, principalmente las de anchoveta, respectivamente.

Alternativamente, planteamos que a escala milenial la intensidad de la surgencia costera es un factor no lineal de primer orden en relación a ambas especies en los diferentes períodos climáticos; mientras que la oxigenación subsuperficial sería un factor de segundo orden que posiblemente favorece a la expansión de la merluza de norte a sur, dada las condiciones favorables de productividad. Para ello nos basamos en la teoría de la ‘ventana óptima ambiental’



(Cury & Roy, 1989) que predice que existe un nivel umbral a partir del cual la intensidad de los vientos costeros, si bien provocan mayor surgencia, es desfavorable para los peces pelágicos. Este escenario habría predominado después de 14.6 ka BP, al tiempo que la insolación se reducía en el verano del hemisferio sur, lo cual pudo haber propiciado una mezcla vertical más intensa y una mayor dilución del alimento para los peces forrajeros. Así, mismo, debe considerarse que el desplazamiento hacia la costa de los núcleos de surgencias, propiciado por el aumento abrupto del nivel del mar, pudo haber influido en la reducción de los flujos de restos de anchoveta. Futuros estudios con una mayor cobertura espacial en latitud y en profundidad permitirían examinar estas hipótesis.

## VII. CONSIDERACIONES

### 7.1. Recomendaciones

Trabajos futuros necesitan enfocarse en la comprobación más consistente de la idea de la expansión de norte a sur en la distribución de la merluza, y determinar las condiciones y mecanismos que podrían producir esa variación a escalas de mayor resolución temporal. En ese sentido, un estudio comparativo a escala geográfica regional con mayores sitios de muestreo latitudinal y longitudinal es necesario para facilitar la evaluación consistente de los cambios en la distribución de la merluza y anchoveta durante la última deglaciación.

Por otra parte, la colección de testigos en un transecto perpendicular a la costa y con profundidades menores de la columna de agua respecto al sitio de interés, facilitaría la identificación de eventos de deslizamiento y/o erosión además de cambios provocados por la variación de la zona de mínima de oxígeno, mientras que la colección en un transecto paralelo a la costa a la misma profundidad facilitaría la identificación de procesos de escala regional, así como cambios en la intensidad de la corriente subsuperficial Perú-Chile (Reinhardt et al., 2002). Además es esencial complementar puntos de muestreo en la misma zona local de interés para completar las discontinuidades presentadas en algún testigo, luego esto permitirá una comparación cruzada con otros testigos colectados en otras zonas comprendidas en la misma región del sistema de surgencias costeras.

En estudios futuros para obtener registros recientes o de los últimos cientos de años, del *Holoceno medio y tardío* se debe coleccionar testigos de sedimentos en sitios protegidos de la influencia de la intensidad de la corriente subsuperficial Perú-Chile. Estos sitios de muestreo podrían ser bahías alrededores de la costa de Chimbote, donde se espera encontrar registros de escamas de peces que reflejen los cambios en las

abundancias de individuos juveniles de merluza. Esto contribuiría en la solución del problema de ausencia de registro correspondiente al período del *Holoceno medio y tardío* para la zona frente a Chimbote y la zona norte en general frente a Perú.

Por otro lado, en la evaluación de los cambios en la oxigenación de las aguas subsuperficiales y/o aguas de fondo a partir de la determinación de los índices de bioturbación, la reducción de las incertidumbres debe ser considerada en futuros trabajos. Los índices de bioturbación deberán ser determinados incluyendo más observadores para reducir la subjetividad. En estudios posteriores la aplicación de esta técnica perfeccionada resolverá la incertidumbre de la asociación de los cambios en las abundancias de una especie demersal como la merluza con los cambios en la oxigenación bentónica en el pasado a escala de décadas, siglos y milenios.

## 7.2. Limitaciones

Una de las dificultades generales de este estudio es lograr obtener una máxima aproximación verosímil de los cambios en la productividad secundaria de peces en el pasado a escala geográfica regional. La limitación de la aproximación de estos cambios se debe a que la extrapolación es realizada a partir de registros sedimentarios procedentes de muestras puntuales colectadas en transectas latitudinales y longitudinales, los cuales reducirían la representatividad poblacional del estudio. Otro factor importante que afecta la aproximación son las condiciones sedimentarias. La premisa supuesta de considerar una sedimentación vertical de las escamas y restos óseos de peces, puede ser vulnerada por efectos del transporte lateral causados por los cambios en la intensidad de las corrientes.

Esta energía de transporte afecta también los procesos post-deposicionales de los restos de peces ocasionando erosión, mezcla y/o re-suspensión de los sedimentos, produciendo discontinuidades, discordancias y/o estructuras homogéneas/masivas en el registro sedimentario (Field et al., 2009; Salvattecí, 2013).

La incertidumbre de las edades presenta ciertas limitaciones producto del método empleado para la datación de la muestra, el tipo de calibración (curvas de calibración) de las edades, y el modelo de edad desarrollado. Las limitaciones se presentan cuando se correlacionan los registros paleoclimáticos de un estudio específico con otros registros locales, regionales y/o globales. Los registros a menudo se correlacionan muy bien, pero no siempre sucede esto, surgiendo desfases entre los eventos inferidos a partir de los registros *proxies*. Esto dificulta potencialmente la interpretación de la variabilidad de los registros en estudio, aumentando el riesgo de atribuir supuestos forzantes o moduladores causantes de la variabilidad de algún mecanismo o variable climática.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alheit J., & Bakun A. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical–biological linkage mechanisms. *Journal of Marine Systems* 2010; 79: 267–285.
- Alheit, J. and A. Bakun. Population synchronies within and between ocean basins: apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms. *Journal of Marine Systems* 2010; 79: 267–285.
- Alheit, J. Egg cannibalism versus egg predation: their significance in anchovies. *South African Journal of Marine Science* 1987; 5: 467–470.
- Alheit, J., Ñiquen, M. Regime shifts in the Humboldt Current Ecosystem. *Progress in Oceanography* 2004; 60: 201–222.
- Alheit, J., Roy, C., Kifani, S. Decadal-scale variability in populations. In: Checkley Jr., D.M., Alheit, J., Oozeki, Y., Roy, C. (Eds.), *Climate Change and Small Pelagic Fish*. Cambridge University Press, Cambridge 2009: pp. 64–87.
- Altabet, M.A. Constraints on oceanic N balance/imbalance from sedimentary  $^{15}\text{N}$  records. *Biogeosciences Discussions* 2006; 3: 1121–1155.
- Argüelles J, Tafur R, Taípe A, Villegas P, Keyl F, Domínguez N, et al. Size increment of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* mature females in Peruvian waters, 1989–2004 [Internet]. *Progress in Oceanography*. 2008. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.003>
- Arntz, W. & Fahrbach, E. *El Niño — Klimaexperiment der Natur. Physikalische Ursachen und biologische Folgen*. Basel: Birkhäuser Verlag, 1991.
- Bakun A. Linking climate to population variability in marine ecosystems characterized by non-simple dynamics: Conceptual templates and schematic constructs. *Journal of Marine Systems* 2010; 79: 361–373.
- Bakun A., and Parrish R. Turbulence, transport and pelagic fish in the California and Peru Current Systems. *CalCOFI Rep.* 1982; XXIII: 99–112.
- Bakun, A. Global Climate Change and Intensification of Coastal Ocean Upwelling, *Science* 1990; 247: 198–200.
- Bakun, A. Patterns in the ocean. Ocean processes and marine population dynamics: University of California Sea Grant, California, USA, in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico, 1996.
- Ballón M, Bertrand A, Lebourges-Dhaussy A, Gutiérrez M, Ayón P, et al. Is there enough zooplankton to feed forage fish population off Peru? An acoustic (positive) answer. *Prog Oceanogr* 2011; 91: 360–381.
- Ballón M., Wosnitza-Mendo C., Guevara-Carrasco R., Bertrand A. The impact of overfishing and El Niño on the condition factor and reproductive success of Peruvian hake, *Merluccius gayi peruanus*. *Progress in Oceanography* 2008; 79: 300–307.
- Balsam, W. L., Deaton, B. C., and Damuth, J. E. (1999). Evaluating optical lightness as a proxy for carbonate content in marine sediment cores. *Marine Geology*, (1999), **161**, 141–153.
- Barange, M., Bernal, M., Cercole, M.C., Cubillos, L., Cunningham, C.L., Daskalov, G.M., de Oliveira, J.A.A., Dickey-Collas, M., Hill, K., Jacobson, L., Køster, F.W., Masse, J., Nishida, H., Ñiquen, M., Oozeki, Y., Palomera, I., Saccardo, S.A., Santojanni, A., Serra, R., Somarakis, S., Stratoudakis, Y., van der Lingen, C.D., Uriarte, A. & Yatsu, A. Current trends in the assessment and management of stocks. In: Checkley, D., Roy, C., Oozeki, Y., Alheit, J. (Eds.), *Climate Change and Small Pelagic Fish Stocks*. Cambridge University Press 2009: 191–255.
- Barange, M., Cheung, W., Merino, G., Perry, R. Modelling the potential impacts of climate change and human activities on the sustainability of marine resources. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2010; 2: 326–333.

- Barange, M., J. Coetzee, A. Takasuka, K. Hill, M. Gutierrez, Y. Oozeki, C. van der Lingen, and V. Agostini. Habitat expansion and contraction in anchovy and sardine populations. *Progress in Oceanography* 2009; 83:251–260.
- Bard, E., Hamelin, B., Arnold, M., Montaggioni, L., Cabioch, G., Faure, G., Rougerie, F. Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global melt-water discharge. *Nature* 1996; 382 (6588): 241–244.
- Bard, E., Hamelin, B., Fairbanks, R.G., Zindler, A. Calibration of the  $^{14}\text{C}$  timescale over the past 30,000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals. *Nature* 1990a; 345: 405–410.
- Baumgartner TR, Soutar A, Ferreira-Bartrina V. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. Report of the California Cooperative Oceanographic Fishery Investigations 1992; 33: 24–40.
- Bentley, S.J., A. Sheremet, and J.M. Jaeger. Event sedimentation, bioturbation, and preserved sedimentary fabric: Field and model comparisons in three contrasting marine settings. *Continental Shelf Research* 2006; 26: 2108–2124.
- Bertrand A, Ballo'n M, Chaigneau A. Acoustic Observation of Living Organisms Reveals the Upper Limit of the Oxygen Minimum Zone. *PLoS ONE* 2010; 5(4): e10330.
- Bertrand A., Gerlotto F., Bertrand S., Gutiérrez M., Alza L., Chipollini A., Díaz E., Espinoza P., Ledesma J., Quesquén R., Peraltila S., Chavez F. Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: An analysis across multiple spatial scales. *Progress in Oceanography* 2008; 79: 264–277.
- Bertrand A., Segura M., Gutiérrez M. & Vásquez L. From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish and Fisheries* 2004; 5: 296–316.
- Bertrand, A., Chaigneau, A., Peraltila, S., Ledesma, J., Graco, M., Monetti, F., and Chavez, F.P. 2011. Oxygen: a fundamental property regulating pelagic ecosystem structure in the coastal southeastern tropical Pacific. *PLoS ONE* 2011; 6(12).
- Boyce, D. G., Lewis, M. L., & Worm, B. Global phytoplankton decline over the past century. *Nature* 2010; 466: 591–596.
- Brochier T., Echevin V., Tam J., Chaigneau A., Goubanova K., and Bertrand A. Climate change scenarios experiments predict a future reduction in small pelagic fish recruitment in the Humboldt Current system. *Global Change Biology* 2013, doi: 10.1111/gcb.12184.
- Brochier T., Lett C., Fréon P. Investigating the ‘northern Humboldt paradox’ from model comparisons of small pelagic fish reproductive strategies in eastern boundary upwelling ecosystems. *Fish and Fisheries* 2010; 16 p.
- Brochier, T., Colas, F., Lett, C. et al. Small pelagic fish reproductive strategies in upwelling systems: A natal homing evolutionary model to study environmental constraints. *Progress in Oceanography* 2009, 83: 261–269.
- Brown, E.T., Johnson, T.C., Scholz, C.A., Cohen, A.S. and King, J. Abrupt Change in Tropical African Climate Linked to the Bipolar Seesaw Over the Past 55,000 Years, *Geophysical Research Letters*, *Geophysical Research Letters* 2007; 34, doi:10.1029/2007GL031240, 2007.
- Cahuin, S., L. Cubillos, M. Ñiquen & R. Escribano. Climatic regimes and the recruitment rate of anchoveta, *Engraulis ringens*, off Peru. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2009; 84: 591–597.
- Carr M-E. Estimation of potential productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 2002; 49 (1–3): 59–80.
- Carr M-E., & Kearns E. J. Production regimes in four Eastern Boundary Current systems. *Deep-Sea Research II* 2003; 50: 3199–3221.

- Carré, M., Azzoug M., Bentale I., Chase B. M., Fontugne M., Jackson D., Ledru M.-P., Maldonado A., Sachs J. P., Schauer A. J. Mid-Holocene mean climate in the south eastern Pacific and its influence on South America, *Quaternary International* 2012; 253: 55-66.
- Charles, C. D., P.N. Froelich, M.A. Zibello, A. Mortlock, and J.J. Morley, Biogenic opal in southern ocean sediments over the last 450,000 years: implications for surface water chemistry and circulation, *Paleoceanography* 1991; 6: 697-728.
- Chavez F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E., and Ñiquen, M. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 2003; 299: 217–221.
- Chazen, C. R., M. A. Altabet, and T. D. Herbert. Abrupt mid-Holocene onset of centennial-scale climate variability on the Peru-Chile Margin, *Geophys. Res. Lett.* 2009; 36, L18704, doi:10.1029/2009GL039749.
- Chazen, C., Dejong, H., Altabet, M., Herbert, T. Insights into Deglacial through Holocene climate variability at the Peru–Chile Margin from very high sedimentation rate marine cores. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, Abstract #GC54B-02.*
- Checkley D., Bakun A., Barange M., Castro L., Freón P., Guevara-Carrasco R., Herrick S., MacCall A.D., Ommer R., Oozeki Y., Roy C., Shannon L., and van der Lingen C.D. Section 10: Synthesis and perspective in D. Checkley, J. Alheit, Y. Oczeki, and C. Roy, eds. *Climate Change and Small Pelagic Fish*; Published by Cambridge University 2009; 344-351.
- Checkley D., et al. Section 3: Habitats in D. Checkley, J. Alheit, Y. Oczeki, and C. Roy, eds. *Climate Change and Small Pelagic Fish*; Published by Cambridge University 2009; 12-44.
- Chirichigno, N. Catálogo comentado de los peces marinos del Perú. Publicación especial del Instituto del Mar del Perú 2001, 314p.
- Clark P.U., Mitrovica J.X., Milne G.A., Tamisiea M.E. Sea-Level Fingerprinting as a Direct Test for the Source of Global Meltwater Pulse 1A. *Science* 2002; 295: 2438-2441.
- Clark, P.U., Alley, R.B., Keigwin, L.D., Licciardi, J.M., Johnsen, S.J., Wang, H. Origin of the first global meltwater pulse following the last glacial maximum. *Paleoceanography* 1996; 11: 563-577.
- Csirke, J., Guevara-Carrasco, R., Cárdenas, G., Ñiquen, M., Chipolini, A. Situación de los recursos anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina (*Sardinops sagax*) a principios de 1994 y perspectivas para la pesca en el Perú, con particular referencia a las regiones norte y centro de la costa peruana. *Boletín del Instituto del Mar del Perú* 1996; 15 (1): 1–23.
- Cubillos, L.A., Serra, R., Freón, P. Synchronous pattern of fluctuation in three anchovy fisheries in the Humboldt Current System. *Aquatic Living Resources* 2007; 20: 69–76.
- Cury P. and Roy C. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1989; 46: 670-680.
- Cury, P., Bakun, A., Crawford, R.J.M., Jarre-Teichmann, A., Quinones, R.A., Shannon, L.J., Verheye, H.M. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. *ICES Journal of Marine Science* 2000; 210: 603–618.
- De Pol-Holz, R., Ulloa, O., Dezileau, L., Kaiser, J., Lamy, F., Hebbeln, D. Melting of the Patagonian Ice Sheet and deglacial perturbations of the nitrogen cycle in the eastern South Pacific. *Geophysical Research Letters* 2006; 33, L04704, doi:10.1029/2005GL024477.
- Denton, G.H., Broecker, W.S., and Alley, R. B. The Mystery Interval 17.5 to 14.5 kyrs ago. *Pages News* 2006; 14: 14-16.
- Deschamps, P., Durand, N., Bard, E., Hamelin, B., Camoin, G., Thomas, A.L., Henderson, G.M., Okuno, J., Yokoyama, Y. Ice-sheet collapse and sea-level rise at the Bølling warming 14,600 years ago. *Nature* 2012; 483 (7391): 559–564.
- DeVries, T. J., L. Ortlieb, A. Diaz, L. Wells, and C. Hillaire-Marcel. Determining the early history of El Niño, *Science* 1997; 276: 965– 966.
- DeVries, T.J., & W.G. Pearcy. Fish debris in sediments of the upwelling zone off central Peru: a late Quaternary record. *Deep Sea Res* 1982; 28: 87-109.

- Díaz-Ochoa J.A., Lange C.B., Pantoja S., De Lange G.J, Gutiérrez D., Muños P., Salamanca M. Fish scales in sediments from off Callao, central Peru. *Deep-Sea Research II* 2009; 56: 1124–1135.
- Doi T., Tozuka T., Yamagata T. Equivalent forcing depth in tropical oceans. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 2010; 50: 415–423.
- Droser, M.L. & Bottjer, D.J. A semiquantitative field classification of ichnofabric. *Journal of Sedimentary Research* 1986; 56: 558-559.
- Espino, M. El Niño su impacto sobre los peces demersales del Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 1990; 14 (2): 3–10.
- Fairbanks, R.G. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature* 1989; 342: 637-642.
- Field JC, Baltz K, Phillips AJ, Walker WA. Range expansion and trophic interactions of the jumbo squid, *Dosidicus gigas*, in the California Current [Internet]. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report. CALIFORNIA COOPERATIVE OCEANIC FISHERIES INVESTIGATIONS; 2007. p. 131.  
Available from: <http://calcofi.org/~calcofi/publications/calcofireports/v48/>
- Field, D. B.; Baumgartner; T. R., Ferreira, V.; Gutierrez, D.; Lozano-Montes, H.; Salvattecí, R. and Soutar, A. Variability from scales in marine sediments and other historical records. En: David M. Checkley, Jr., Jurgen Alheit, Yoshioki Oozeki, Claude Roy, Editores. "Climate Change and Small Pelagic Fish". Cambridge University Press 2009. ISBN: 978-0-521-88482-2. Publicado (PA: 98748).
- Finney, B.P., Alheit, J., Emeis, K.C., Field, D.B., Gutiérrez, D., Struck, U. Paleoecological studies on variability in marine fish populations: A long-term perspective on the impacts of climatic change on marine ecosystems. *Journal of Marine Systems* 2010; 79: 316-326.
- Fontugne M, Carré M, Bentaleb I, Julien M, Lavallée D. Radiocarbon reservoir age variations in the south Peruvian upwelling during the Holocene. *Radiocarbon* 2004; 46(2):531–7.
- Fréon, P., Cury, P., Shannon, L., Roy, C. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of Marine Science* 2005; 76: 385–462.
- Galbraith E. D., Kienast M., and the NICOPP working group members. The acceleration of oceanic denitrification during deglacial warming. *Nature geosciences* 2013; advance online publication; doi:10.1038/ngeo1832.
- Godwin LD, Leech NL. Understanding Correlation: Factors That Affect the Size of r. *The Journal of Experimental Education* 2006; 74.
- Guevara-Carrasco R., and Lleonart J. Dynamics and fishery of the Peruvian hake: Between nature and man. *Journal of Marine Systems* 2008; 71: 249-259.
- Gutiérrez M., SWARTZMAN G., Bertrand A., Bertrand S. Anchovy (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*) spatial dynamics and aggregation patterns in the Humboldt Current ecosystem, Peru, from 1983–2003. *Fisheries. Oceanography* 2007; 16:2: 155–168.
- Gutiérrez, D., Sifeddine, A., Field, D., Ortlieb, L., Vargas, G., Chávez, F., Velazco, F., Ferreira, V., Tapia, P., Salvattecí, R., Boucher, H., Morales, M., Valdés, J., Reyss, J., Campusano, A., Boussafir, M., Mandeng-Yogo, M., García, M., and Baumgartner, T. Rapid reorganization in ocean biogeochemistry off Peru towards the end of the Little Ice Age. *Biogeosciences* 2009; 6: 835-848.
- Gutiérrez, D., Sifeddine, A., Reyss, J.L., Vargas, G., Velazco, F., Salvattecí, R., Ferreira, V., Ortlieb, L., Field, D., Baumgartner, T., Boussafir, M., Boucher, H., Valdés, J., Marinovic, L., Soler, P., Tapia, P. Anoxic sediments off Central Peru record interannual to multidecadal changes of climate and upwelling ecosystem during the last two centuries. *Advances in Geosciences* 2006; 6: 119–125.
- Gutiérrez, D., T. Baumgartner, J. Valdés, F. Velazco, V. Ferreira, R. Guevara, M. Ñiquen, G. Vargas & D. Field. Paleo-reconstruction of population dynamics of anchovy and sardine off the



- Peruvian/Northern Chilean coast related to climate shifts during the last 200 years. IAI Small Grant Program Round 2, Final Report 2005; 42.
- Hanebuth T, Statteger K, Grootes PM. Rapid flooding of the Sunda Shelf: a late glacial sea level record. *Science* 2000; 288:1033–35.
- Hebbeln, D., Marchant, M., Wefer, G. Paleoproductivity in the southern Peru-Chile Current through the last 33,000 yr. *Marine Geology* 2002; 186: 487– 504.
- Helly J. J., Levin L. A. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Research I* 2004; 51: 1159–1168.
- Hendy, I. L., and T. F. Pedersen, Oxygen minimum zone expansion in the eastern tropical North Pacific during deglaciation, *Geophys. Res. Lett.* 2006; 33, L20602, doi:10.1029/2006GL025975.
- Higginson, M.J., Altabet, M.A. Initial test of the silicic acid leakage hypothesis using sedimentary biomarkers. *Geophysical Research Letters* 2004; 31, L18303. doi:10.1029/2004GL020511.
- Huyer, A., Knoll, M., Paluszkiewicz, T., Smith, R.L. The Peru Undercurrent: a study in variability. *Deep-Sea Res.* 1991; 38 (Supl.): S247–S272.
- Huyer, A., R. L. Smith, and T. Paluszkiewicz. Coastal upwelling off Peru during normal and El Niño times, *J. Geophys. Res.* 1987; 92: 14,297–14,307.
- Icochea, L., Rojas, E. La Corriente de Cromwell y sus variaciones en los 0°N y 110°W. In: Espino, M., Samamé, M., Castillo, R. (Eds.), *La merluza peruana (Merluccius gayi peruanus)*. Biología y Pesquería. 2001. IMARPE. Documento de Trabajo 2001; 20–28.
- Kienast, M., Hanebuth, T. J. J., Pelejero, C., and Steinke, S.: Synchronicity of meltwater pulse 1a and the Bølling warming: New evidence from the South China Sea, *Geology* 2003; 31: 67–70.
- Kim, J.-H., Schneider, R.R., Hebbeln, D., Mueller, P.J., Wefer, G. Last deglacial sea-surface temperature evolution in the Southeast Pacific compared to climate changes on the South American continent. *Quaternary Science Reviews* 2002; 21: 2085–2097.
- Koutavas, A., and J. Lynch-Stieglitz, Variability of the marine ITCZ over the eastern Pacific during the past 30,000 years, in *The Hadley Circulation: Present, Past and Future*, edited by H. F. Diaz and R. S. Bradley, Springer, New York 2005; 347–369.
- Koutavas, A., J. Lynch-Stieglitz, T. M. Marchitto, and J. P. Sachs. El Niño – like pattern in ice age tropical Pacific sea surface temperature, *Science* 2002; 297: 226 –2307.
- Krabbenhöft A, Bialas J, Kopp H, Kukowski N, Hübscher C. Crustal structure of the Peruvian continental margin from wideangle seismic studies. *Geophys J Int* 2004; 159:749–964.
- Krissek L. A., Scheidegger K. F., and Kulm L. D. Surface sediments of the Peru-Chile continental-margin and the Nazca Plate. *Geol. Soc. Am. Bull* 1980; 91 (6): 321–331.
- Lachkar Z., and Gruber N. A comparative study of biological production in eastern boundary upwelling systems using an artificial neural network. *Biogeosciences* 2012; 9: 293–308.
- Leventer, A., D. F. Williams and J. P. Kennett: Relationships between Anoxia, Glacial meltwater and microfossil preservation in the Orca Basin, Gulf of Mexico. *Marine Geology* 1983; 53: 23–40.
- Lin C-Y., Ho C-R., Zheng Q., Kuo N-J., Chang P. Warm pool variability and heat flux change in the global oceans. *Global and Planetary Change* 2011; 77: 26–33.
- Liu, J.P., Milliman, J.D. Reconsidering melt-water pulses 1A and 1B: global impacts of rapid sea-level rise. *Journal of Ocean University of China* 2004; 3 (3): 183–190.
- Lloris, D.; Matallanas, J.; Oliver P. Hakes of the world (Family Merlucciidae). An annotated and illustrated catalogue of hake species known to date. *FAO Species Catalogue for Fishery Purposes*. No. 2. Rome, FAO. 2005; 57p. 12 colour plates.
- LOUBERE, P. 1989. Bioturbation and sedimentation rate control of benthic microfossil taxon abundances in surface sediments: A theoretical approach to the analysis of species microhabitats. *Mar. Micropaleontol* 1989; 14: 317-325.

- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace and R. C. Francis: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1997; 78: 1069–1079.
- Mantua, N.J., Hare, S.R. The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography* 2002; 58: 35–44.
- Marenco K.N., Bottjer d.J. The intersection grid technique for quantifying the extent of bioturbation on bedding planes. *PALAIOS* 2010; 25: 457–462.
- Martin A. J. Semiquantitative and statistical analysis of bioturbate textures, Sequatchie Formation (Upper Ordovician), Georgia and Tennessee, USA. *Ichnos* 1993; 2: 117–136.
- Masina S., Di Pietro P., Storto AS., Navarra A. Global ocean re-analyses for climate applications. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 2011; 52: 341– 366.
- Masina, S., P. Di Pietro, A. Storto and A. Navarra: Global Ocean re-analyses for climate applications, *Dyn. Atm. Oceans* 2011; 52: 341– 366.
- Mazzullo, J., and Graham, A.G. (Eds.). *Handbook for shipboard sedimentologists*. ODP Tech. 1988, Note, 8.
- McManus J, Francois R, Gherardi J-M, Keigwin L, Brown-Leger S. Collapse and rapid resumption of Atlantic meridional circulation linked to deglacial climate changes. *Nature* 2004; 428: 834–837.
- Miller M., Smail S. A Semiquantitative Field Method for Evaluating Bioturbation on Bedding Planes. *PALAIOS* 1997; 12: 391–396.
- Mohtadi, M., and D. Hebbeln. Mechanisms and variations of the paleoproductivity off northern Chile (24 S–33 S) during the last 40,000 years, *Paleoceanography* 2004; 19, PA2023, doi:10.1029/2004PA001003.
- Mohtadi, M., Oppo, D. W., Steinke, S., Stuut J.-B., de Pol-Holz R., Hebbeln D., Lückge A. Glacial to Holocene swings of the Australian-Indonesian monsoon. *Nature Geoscience* 2011; 4(8): 540–544.
- Mohtadi, M., Rossel, P., Lange, C.B., Pantoja, S., Böning, P., Repeta, D.J., Grunwald, M., Lamy, F., Hebbeln, D., Brumsack, H.J. Deglacial pattern of circulation and marine productivity in the upwelling region off central-south Chile. *Earth and Planetary Science Letters* 2008; 272 (1–2): 221–230.
- Mollier-Vogel E. Peruvian Oxygen Minimum Zone dynamics during the last 18 000 years. PhD Thesis; *Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*, Germany, 2012; 182 p.
- Mollier-Vogel E., Ryabenko E., Martinez P., Wallace D., Altabet M. A., Schneider R. Nitrogen isotope gradients off Peru and Ecuador related to upwelling, productivity, nutrient uptake and oxygen deficiency. *Deep-Sea Research* 2012; 170: 14–25.
- Montecino V & Lange CB. The Humboldt Current System: ecosystem components and processes, fisheries, and sediment studies. *Progress in Oceanography* 2009; 83: 65–79.
- Muñoz, P., Lange, C. B., Gutiérrez, D., Hebbeln, D., Salamanca, M. A., Dezileau, L., Reyss, J. L., and Benninger, L. K.: Recent sedimentation and mass accumulation rates based on <sup>210</sup>Pb along the Peru-Chile continental margin, *Deep-Sea Res. II* 2004; 51: 2523–2541.
- Nielsen, E. E., Grønkvist, P., Meldrup, D., Paulsen, H. Retention of juveniles within a hybrid zone between North Sea and Baltic Sea Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2005; 62: 2219–2225.
- Nigmatullin Ch.M., Nesis K.N., Arkhipkin A.I. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fisheries Research* 2001; 54: 9–19.
- Ñiquen, M., Bouchon, M. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep Sea Research II* 2004; 51: 563–574.

- Ñiquen, M., Bouchón, M., Cahuín, S., Díaz, E., 2000. Pesquería de anchoveta del mar Peruano 1950–1999. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 2000; 19: 117–123.
- O’Connell, J., Tunnicliffe, V. The use of sedimentary fish remains for interpretation of long-term fish population fluctuations. *Marine Geology* 2001; 174: 177–195.
- Ortlieb L., Vargas G., Saliège J.-F. Marine radiocarbon reservoir effect along the northern Chile–southern Peru coast (14–24°S) throughout the Holocene. *Quaternary Research* 2011; 75: 91–103.
- Pauly D. & Tsukayama I. On the implementation of management – oriented fishery research: the case of the Peruvian anchoveta, p.1 – 13. In D. Pauly and I. Tsukayama (eds.) *The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change*. ICLARM Studies and Reviews 15, 351 p, Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GMBH, Eschborn, Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines, 1987.
- Pauly, D. and V. Christensen. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 1995; 374: 255–257. [Erratum in *Nature* 376: 279]
- Peltier W. R. On the hemispheric origins of meltwater pulse 1A. *Quaternary Science Reviews* 2005; 24: 1655–1671.
- Peterson LC, Haug GH, Hughen KA, Röhl U. Rapid changes in the hydrologic cycle of the tropical Atlantic during the last glacial. *Science* 2000; 290 (5498):1947–51.
- Pizarro, O., Montecinos, A. Interdecadal variability of the thermocline along the west coast of South America. *Geophysical Research Letters* 2004; 31, L20307. doi:10.1029/2004GL020998.
- Placzek, Christa, Quade, Jay, Patchett, P. Jonathan. Geochronology and stratigraphy of late Pleistocene lake cycles on the southern Bolivian Altiplano: Implications for causes of tropical climate change *Geological Society of America Bulletin* 2006; 118: 515–532.
- Reimer P J et al. INTCAL09 AND MARINE09 RADIOCARBON AGE CALIBRATION CURVES, 0–50,000 YEARS CAL BP. *RADIOCARBON* 2009; 51, Nr 4: 1111–1150.
- Rein, R., Lückge, A., Reinhardt, L., Sirocko, F., Wolf, A., Dullo, W.C. El Niño variability off Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography* 2005; 20, PA4003. doi:10.1029/2004PA001099.
- Reinhardt, L., Kudrass, H.-R., Lückge, A., Wiedicke, M., Wunderlich, J., and Wendt, G.: High-resolution sediment echosounding off Peru: Late Quaternary depositional sequences and sedimentary structures of a current-dominated shelf, *Mar. Geophys. Res.* 2002; 23: 335–351.
- Robinson, R.S., Mix, A., Martinez, P. Southern Ocean control on the extent of denitrification in the southeast Pacific over the last 70 ka quaternary. *Science Reviews* 2007; 26: 201–212.
- Rodgers J. L., and W. A. Nicewander. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician* 1988; 42(1): 59–66.
- Romero, O. E., J.-H. Kim, and D. Hebbeln. Paleoproductivity evolution off central Chile from the Last Glacial Maximum to the Early Holocene, *Quat. Res.* 2006; 65, 519– 525.
- Rovine MJ, Eye A von. A 14th Way to Look at a Correlation Coefficient: Correlation as the Proportion of Matches. *The American Statistician* 1997; 51: 42–46.
- Rykaczewski R., Checkley D. M. Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2008; 105(6): 1965–1970.
- Salvatteci R, Field DB, Baumgartner T, Ferreira V, Gutierrez D. Evaluating fish scale preservation in sediment records from the oxygen minimum zone off Peru. *Paleobiology* 2012; 38(1): 766–792.
- Salvatteci R. Variabilité multi-décennale et millénaire de l’intensité de la Zone de Minimum d’Oxygène, de la production exportée et des populations de poissons pélagiques à partir de sédiments marins laminés à Pisco, Pérou au cours des derniers 25 000 ans. Thèse de Doctorat De L’université Pierre Et Marie Curie, 2013.

- Salvatteci, R. Flujos y preservación de escamas y restos óseos de peces en la zona de mínimo de oxígeno frente a Pisco, Perú en los últimos 400 años. Tesis Maestría. Ensenada, Baja California, México 2008, 102 p.
- Salvatteci, R., D. Gutierrez, D. Field, V. Ferreira, F. Velazco, A. Sifeddine, T. Baumgartner, L. Ortlieb, & P. Soler. Flujos de escamas y de otros restos óseos de peces en sedimentos marinos frente a Callao, Perú en los últimos 550 años. XIII Congreso de Geología, Lima, Perú, 2006.
- Salvatteci, R.; Field, D.; Gutierrez, D.; Baumgartner, T.; Ferreira, V.; Velazco, F.; Ñiquen, M.; Guevara, R.; Sifeddine, A. & L. Ortlieb. Decadal- to Centennial-Scale Variations in Anchovy Biomass in the Last 250 Years Inferred From Scales Preserved in Laminated Sediments off the Coast of Pisco, Peru. *Eos Trans. AGU*, 86 (52), Fall Meet. Suppl. 2005; Abstract PP51D-0628.
- Samamé, M., Castillo, J., Mendieta, A. Situación de las pesquerías Demersales y los Cambios durante El Niño. In: Arntz, W., Landa y, A., Tarazona, J. (Eds.), *El Niño su impacto en la fauna marina*. Boletín Instituto del Mar del Perú. Extraordinario 1985, 153–158.
- Sandoval de Castillo, O., Wosnitza-Mendo, C., Muck, P., Carrasco, S. Abundance of hake larvae and its relationship to hake and anchoveta biomasses off Perú. In: Pauly, D., Muck, P., Mendo, J., Tsukayama, I. (Eds.), *The Peruvian Upwelling Ecosystem: Dynamics and Interactions*. ICLARM Conference Proceedings 1989; 18: 280–296.
- Sandweiss, D. H., J. B. Richardson III, E. J. Reitz, H. B. Rollins, and K. A. Maasch. Response: Determining the early history of El Niño, *Science* 1997; 276: 966–967.
- Sandweiss, D. H., J. B. Richardson, E. J. Reitz, H. B. Rollins, and K. A. Maasch. Geoarchaeological evidence from Peru for a 5000 years B. P. onset of El Niño, *Science* 1996; 273: 1531–1533.
- Sandweiss, D. H., K. A. Maasch, R. L. Burger, J. B. Richardson III, H. B. Rollins, and A. Clement. Variation in Holocene El Niño frequencies: Climate records and cultural consequences in ancient Peru, *Geology* 2001; 29: 603–606.
- Santander, H., Alheit, J., MacCall, A. D., & Alamo, A. Egg mortality of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) caused by cannibalism and predation by sardines (*Sardinops sagax*). *FAO Fisheries Reports* 1983; 291: 1012–1025.
- Savrdá Ch.E., Bottjer D.J. Trace-fossil model for reconstruction of paleo-oxygenation in bottom waters, *Geology* 1986; 14: 3-6.
- Schwartzlose, R., Alheit, J., Bakun, A., Baumgartner, T., Cloete, R., Crawford, R., Fletcher, W., Green-ruiz, Y., Hagen, E., Kawasaki, T., Lluch-Belda, D., Lluch-cota, S., MacCall, A., Matsuura, Y., Nevarez-Martinez, M., Parrish, R., Roy, C., Serra, R., Shust, K., Ward, N., and Zuzunaga, J.: Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations, *S. Afr. J. Mar. Sci.* 1999; 21: 289–347.
- Serra, R., Akester, M., Bouchón, M., Gutiérrez, M. Sustainability of the Humboldt Current large marine ecosystem. In: Sherman, Kenneth, McGovern, Galen (Eds.), *Frontline Observations on Climate Change and Sustainability of Large Marine Ecosystems* (Eds.) United Nations Development Programme 2012; Chapter 7: 112–134.
- Shackleton, L.Y. An assessment of the reliability of fossil pilchard and anchovy scales as fish population indicators off Namibia. M. Sc. thesis, Univ. Cape Town, South Africa 1986; 141 pp.
- Skilbeck, C. G. and Fink, D.: Data report: Radiocarbon dating and sedimentation rates for Holocene – upper Pleistocene sediments, eastern equatorial Pacific and Peru continental margin, in: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, edited by: Jørgensen, B. B., D'Hondt, S. L., and Miller, D. J., 2006; 201: 1–15.
- Soutar, A. & J.D. Issacs. Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the Californias. *Fish. Bull.* 1974; 72: 257-273.
- Soutar, A. The accumulation of fish debris in certain California coastal sediments, *CalCOFI Reports* 1966; 11: 136-139.

- Soutar, A., & J.D. Isaacs. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 1969; 13: 63-70.
- Stigler, Stephen M.. "Francis Galton's Account of the Invention of Correlation". *Statistical Science* 1989; 4 (2): 73–79. doi:10.1214/ss/1177012580.
- Struck, U., A. V. Altenbach, K. C. Emeis, J. Alheit, C. Eichner, and R. Schneider. Changes of the upwelling rates of nitrate preserved in the  $\delta^{15}\text{N}$ -signature of sediments and fish scales from the diatomaceous mud belt of Namibia. *Geobios* 2002; 35: 3-11.
- Suess, E., L. D. Kulm, and J. S. Killingley. Coastal upwelling and a history of organic rich mudstone deposition off Peru, in *Marine Petroleum Source Rocks*, edited by J. Brooks and A. J. Fleet, Geol. Soc. Spec. Publ. London; 1987; 26: 181–197.
- Swartzman G., Bertrand A., Gutiérrez M., Bertrand S., Vasquez L. The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. *Progress in Oceanography* 2008; 79: 228–237.
- Tam J, Taylor MH, Blaskovic V, Espinoza P, Ballón RM, Díaz E, et al. Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part I: Comparing trophic linkages under La Niña and El Niño conditions [Internet]. *Progress in Oceanography* 2008; 79. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.007>
- Tam, J., Purca, S., Duarte, L.O., Blaskovic, V., Espinoza, P. Changes in the diet of hake associated with El Niño 1997–1998 in the northern Humboldt Current ecosystem. *Advances in Geosciences* 2006; 6: 63–67.
- Telford R.J., Heegaard E., Birks H.J.B. All age–depth models are wrong: but how badly? *Quaternary Science Reviews* 2004; 23: 1-5.
- Tierney, J. E., and J. M. Russell. Abrupt climate change in southeast tropical Africa influenced by Indian monsoon variability and ITCZ migration, *Geophys. Res. Lett.* 2007; 34: L15709. 6 pp.
- Trenkler G., Stahlecker P. Dropping variables vs. use of proxy variables in linear regression. *Journal of Statistical Planning and Inference (NORTH-HOLLAND)*; 1996; 50 (1): 65–75.
- Tudhope, A.W., C. P. Chilcott, M. T. McCulloch, E. R. Cook, J. Chappell, R. M. Ellam, D.W. Lea, J. M. Lough, and G. B. Shimmield. Variability in El Niño –Southern Oscillation through a glacial-interglacial cycle, *Science* 2001; 291: 1511–1517.
- Tuncliffe, V., O'Connell, J. M. & M. R. McQuoid. A Holocene record of marine fish remains from the Northeastern Pacific. *Mar. Geol.* 2001; 174: 197–210.
- Valdés, J., Ortlieb, L., Gutiérrez, D., Marinovic, L., Vargas, G., Sifeddine, A. A 250 years – sedimentary record of sardine and anchovy scale deposition in Mejillones Bay, 23°S, Northern Chile. *Progress in Oceanography* 2008; 79: 198–207.
- van Geen, A., Y. Zheng, J. M. Bernhard, K. G. Cannariato, J. Carriquiry, W. E. Dean, B. W. Eakins, J. D. Ortiz, and J. Pike, On the preservation of laminated sediments along the western margin of North America, *Paleoceanography* 2003; 18(4): 1098, doi:10.1029/2003PA000911, 2003.
- Vichi M., Masina S., Navarra A. A generalized model of pelagic biogeochemistry for the global ocean ecosystem. Part II: Numerical simulations. *Journal of Marine Systems* 2007; 64: 110–134.
- Vichi M., Pinardi N., Masina S. A generalized model of pelagic biogeochemistry for the global ocean ecosystem. Part I: Theory. *Journal of Marine Systems* 2007; 64: 89–109.
- Wang Y. J., Cheng H., Edwards R. L., An Z. S., Wu J. Y., Shen C.-C., Dorale J. A. A High-Resolution Absolute-Dated Late Pleistocene Monsoon Record from Hulu Cave, China 2001; 294 (5550): 2345-2348.
- Wang, X., Auler, A., Edwards, R. L., Cheng, H., Cristalli, P. S., Smart, P. L., Richards, D. A. & Shen, C.-C. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. *Nature* 2004; 432: 740 - 743.

Weaver, A. J., O. A. Saenko, P. U. Clark, and J. X. Mitrovica, Meltwater pulse 1A from Antarctica as a trigger of the Bølling-Allerød warm interval, *Science* 2003; 299: 1709–1713.

Webster, J.M., Paull, Ch., Winterer, E., Braga, J., Moore, J., Clague, D., Riker-Coleman, K., Gallup, Ch., Potts, D. Drowning of the 150 m reef off Hawaii: a casualty of global meltwater pulse 1A? *Geology* 2004; 32: 249–252.

Wells, L., and J. S. Noller. Response: Determining the early history of El Niño, *Science* 1997; 276: 966.

Wolff, M., C. Wosnitza-Mendo and J. Mendo. The Humboldt Current- Trends in exploitation, protection and research. In: Hempel, G. and K. Sherman (Eds.), *Large Marine Ecosystems of the World* 2003; 279-309.

Wosnitza-Mendo C, Ballón M, Benites C, Guevara-Carrasco R. Changes in the Peruvian hake distribution area: effect of fishery and El Niño event. *Bol Inst Mar Perú* 2009; 24(1-2): 29-38.

Wosnitza-Mendo, C., Guevara-Carrasco, R. Adaptive response of Peruvian hake to overfishing. *NAGA. The ICLARM Quarterly* 2000; 23 (1): 24–28.

Wosnitza-Mendo, C., Guevara-Carrasco, R., Ballón, M. Possible causes of the drastic decline in mean length of Peruvian hake in 1992. *Boletín del Instituto del Mar del Perú* 2004; 21 (1–2): 1–26.

## Bibliografía

Bakun, A. *Ocean Processes and Marine Population Dynamics*, California Sea Grant and Centro de Investigaciones Biológicas, La Paz, Mexico; 1996.

Bevington P. & Robinson D. *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*. Published by McGraw-Hill; 2002, 3rd Ed., 338 p.

Bradley, R.S. *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. Academic Press, San Diego; 1999, 610pp.

Glantz SA. *Primer of Biostatistics*: McGraw-Hill; 2002.

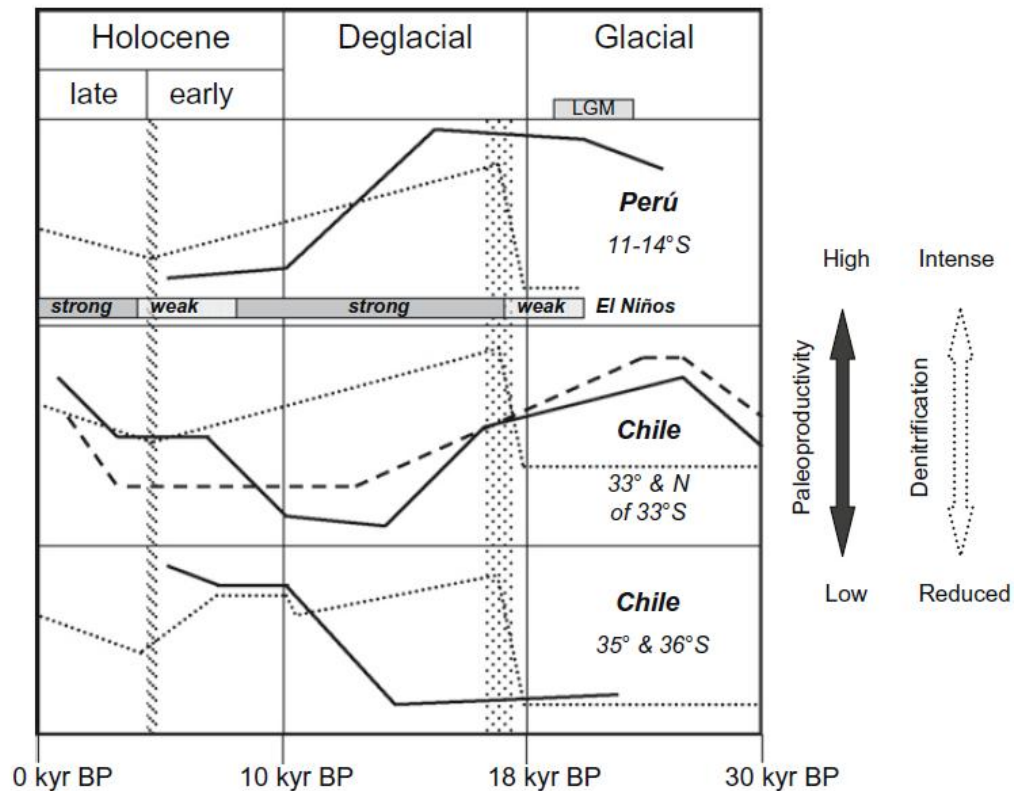
Hill T., Lewicki P. *Statistics: Methods and applications*; 2007.

Neter, J., Wasserman, W., & Kutner, M. H. *Applied linear statistical models: Regression, analysis of variance, and experimental designs*. Homewood, IL: Irwin; 1985.

## Referencias de internet

1. Environmental Knowledge for Change [Internet]. Chicago: Climate Change 2001: 2.3.2.1 Palaeoclimate proxy indicators." IPCC. 2003. [updated 2003; cited 2011 Set 15] Available from: [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/?src=/climate/ipcc\\_tar/wg1/068.htm](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/068.htm).
2. IMARPE. Proyección de pesca, Mayo-Julio, 2013, Disponible de: [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/inf\\_proy\\_pesc\\_ajul13.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/inf_proy_pesc_ajul13.pdf)

## IX. ANEXOS



Anexo 1. Una vista simplificada latitudinal de los cambios pasados en la productividad (basado en cocientes de  $\text{CaCO}_3$  para núcleos frente a Chile, y las tasas de acumulación de  $\text{CaCO}_3$  para Perú), y desnitrificación en la columna de agua (inferido de registros de  $\delta^{15}\text{N}$ ) en el Sistema de Corriente Perú-Chile para el período entre 30 ka BP y el presente.

El rectángulo vertical en rayas indica el establecimiento de las manifestaciones modernas de El Niño cerca a 5500 cal. ka BP; el rectángulo vertical punteado denota el tiempo (~17 ka) cuando las condiciones paleo-oceanográficas cambiaron abruptamente en el SCH. La barra horizontal oscura y gris clara se refiere a la variabilidad frente a Perú. LGM, El Último Máximo Glacial. Las líneas negras: sólida y en guiones, paleo-productividad; las líneas punteadas grises, desnitrificación (Tomado de Montecino & Lange, 2009).

Anexo 2. Dataciones convencionales del el testigo M772-029.

Estas dataciones fueron obtenidas de acuerdo al método de determinación de  $^{14}\text{C}$  en la fracción húmica de la materia orgánica sedimentaria.

Las dataciones fueron desarrolladas en la Universidad de Kiel (R. Schneider y E. Mollier-Vogel, Universidad de Kiel).

| <b>Código</b> | <b>Edad <math>^{14}\text{C}</math></b> | <b>Error (<math>\pm</math>)</b> | <b>Efecto<br/>reservorio<br/>regional (<math>\Delta\text{R}</math>)</b> | <b>Error (<math>\pm</math>)</b> | <b>Prof. (cm)</b> | <b>Espesor de la<br/>muestra (cm)</b> |
|---------------|----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| GR0001        | 4250                                   | 40                              | 511                                                                     | 278                             | 38                | 1                                     |
| Gr0002        | 7605                                   | 40                              | 511                                                                     | 278                             | 48                | 1                                     |
| GR0003        | 10325                                  | 40                              | 511                                                                     | 278                             | 113               | 1                                     |
| GR0004        | 11715                                  | 45                              | 511                                                                     | 278                             | 203               | 1                                     |
| GR0005        | 12775                                  | 50                              | 511                                                                     | 278                             | 333               | 1                                     |
| GR0006        | 13095                                  | 55                              | 511                                                                     | 278                             | 423               | 1                                     |
| GR0007        | 13805                                  | 50                              | 511                                                                     | 278                             | 583               | 1                                     |
| GR0009        | 14005                                  | 50                              | 511                                                                     | 278                             | 743               | 1                                     |
| GR0010        | 14245                                  | 50                              | 511                                                                     | 278                             | 823               | 1                                     |
| GR0012        | 14642.5                                | 55                              | 511                                                                     | 278                             | 943               | 1                                     |
| GR0014        | 14870                                  | 50                              | 511                                                                     | 278                             | 1108              | 1                                     |
| GR0015        | 15335                                  | 55                              | 511                                                                     | 278                             | 1263              | 1                                     |



Anexo 3. Dataciones calibradas empleadas para el desarrollo del modelo de edad del el testigo M772-029.

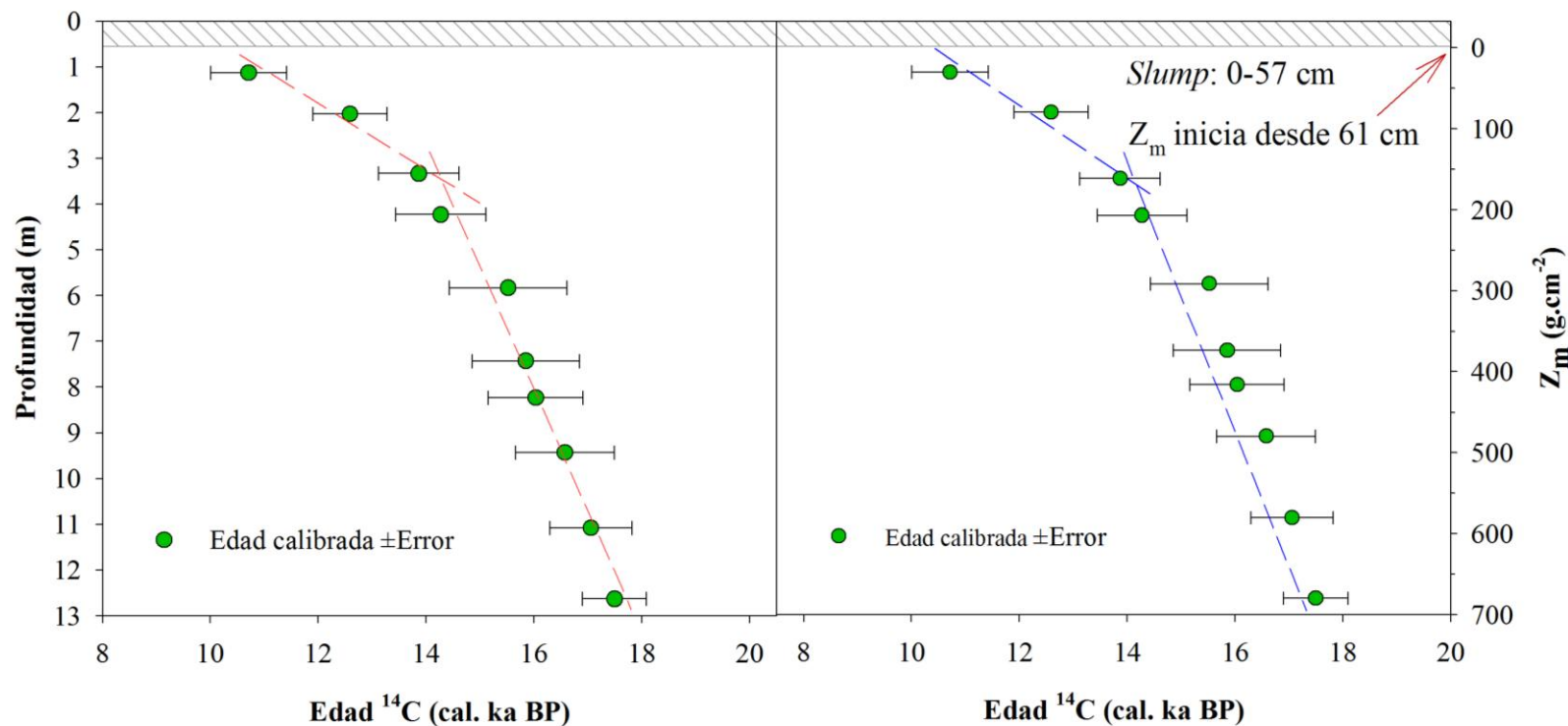
La calibración fue realizada usando un valor de efecto reservorio regional de  $511 \pm 278$  años (R. Schneider y E. Mollier-Vogel, Universidad de Kiel). El cálculo de la masa acumulada ( $Z_m$ ) de sedimento se realizó desde los 61 cm de profundidad hasta la base del testigo, excluyendo la sección 0-57 cm, la cual contenía el *slump*.

| Prof. (cm) | Edad $^{14}\text{C}$<br>(cal. año BP) | Incertidumbre<br>( $\pm 2\sigma$ ) | $Z_m$ (g.cm $^{-2}$ ) | Estructura<br>sedimentaria |
|------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 38         | 4062                                  | 296                                | -----                 | slump                      |
| 48         | 7581                                  | 565                                | -----                 | slump                      |
| 113        | 10711                                 | 708                                | 29.894                | Banda y laminas            |
| 203        | 12589                                 | 688                                | 79.231                | Banda y laminas            |
| 333        | 13865                                 | 746                                | 161.566               | Banda y laminas            |
| 423        | 14272.5                               | 831.5                              | 206.706               | Banda y laminas            |
| 583        | 15518.8                               | 1089.3                             | 291.318               | Banda y laminas            |
| 743        | 15850.5                               | 993.5                              | 373.494               | Banda y laminas            |
| 823        | 16033                                 | 878                                | 415.693               | Banda y laminas            |
| 943        | 16575.5                               | 919                                | 479.67                | Banda y laminas            |
| 1108       | 17054.3                               | 764.3                              | 580.207               | Banda y laminas            |
| 1263       | 17494                                 | 596                                | 679.53                | Banda y laminas            |



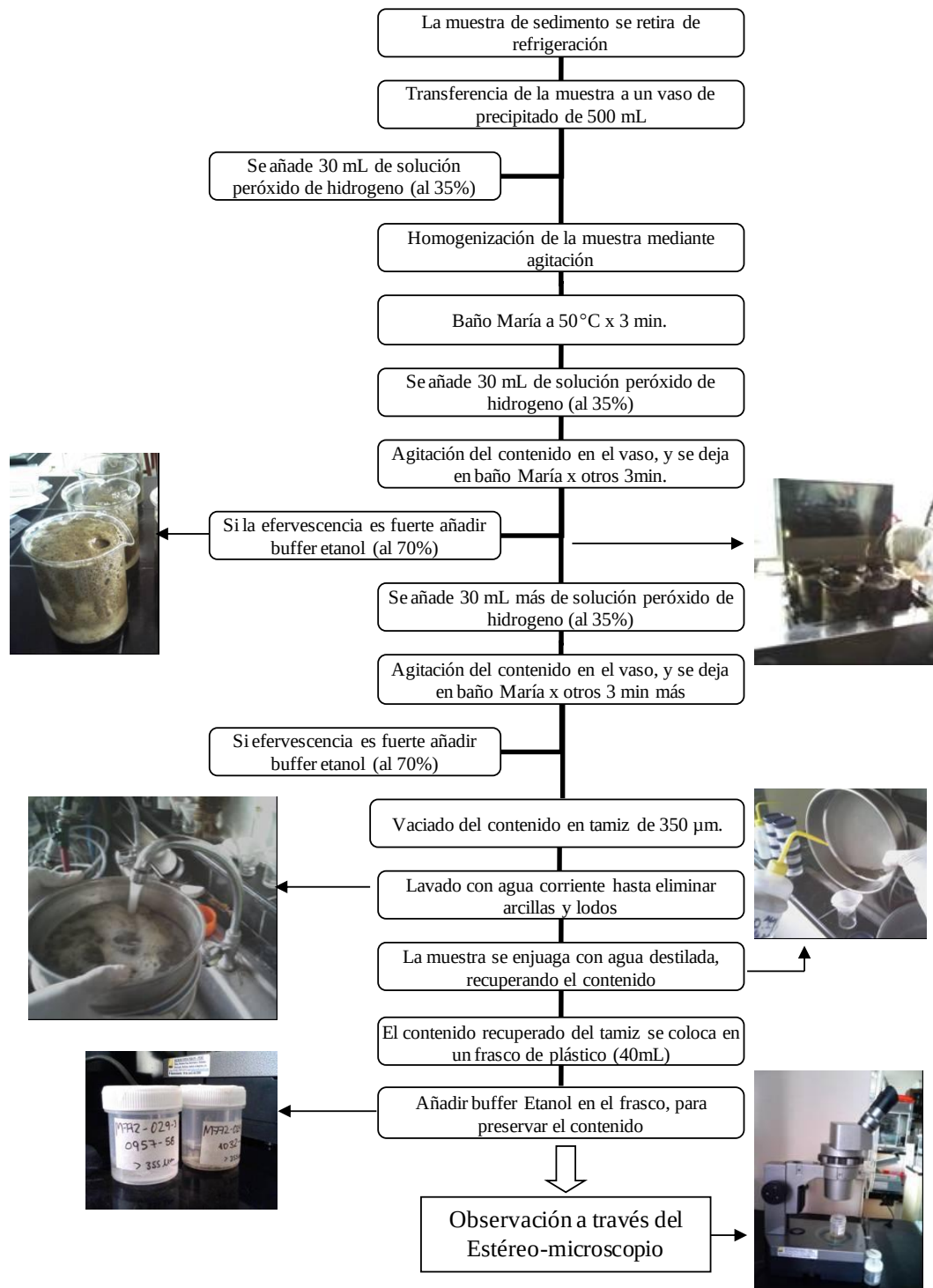
Anexo 4. Submuestreo del testigo M772-029.

La resolución del muestreo fue de 1cm de espesor a lo largo del testigo completo.



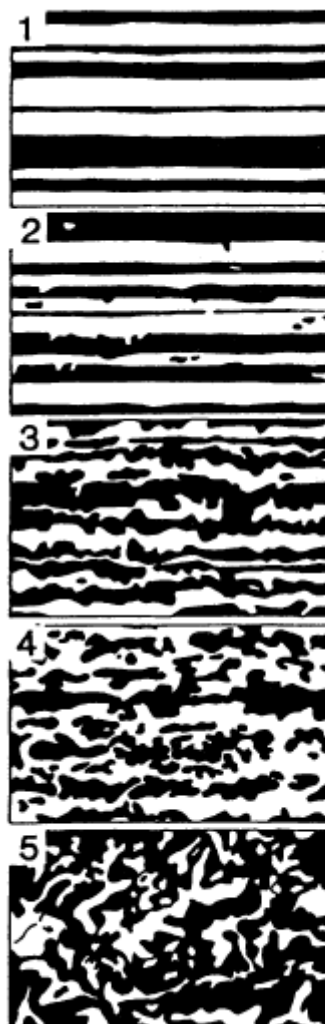
Anexo 5. Relaciones entre las dataciones  $^{14}\text{C}$  calibradas (cal. ka BP) y la profundidad (izquierda), y entre las dataciones  $^{14}\text{C}$  calibradas y la masa acumulada del sedimento ( $Z_m$ ) (derecha) en el testigo M772-029.

En estas gráficas se muestran diez horizontes con dataciones calibradas (Mollier-Vogel, 2012), a partir de las cuales se desarrolló el modelo de edad. Las barras horizontales son los errores de las dataciones. Los valores de  $Z_m$  se calcularon desde los 61 cm (excluyendo al slump) hasta la base del testigo. La franja rectangular achurada de color gris claro representa la sección (0-57 cm) del *slump*. Las dos líneas rectas en guiones de color rojo y azul simulan a priori dos ajustes de regresión lineal, interceptándose entre 300 – 400 cm y entre 100 – 200  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  para la relación entre las variables Edad - Prof, y Edad -  $Z_m$ , respectivamente.



## Anexo 6. Representación de la secuencia del tratamiento de las muestras de sedimentos.

Las muestras fueron tratadas en baño María con solución de peróxido de hidrógeno (al 35 %). Luego el material fue tamizado en húmedo, recuperando el material retenido en un frasco plástico con etanol (al 70%) para preservar las escamas, vértebras, y otros restos óseos de peces (para mayor detalle ver 3.4.4).



No bioturbation recorded; all original sedimentary structures preserved.

Discrete, isolated trace fossils; up to 10% of original bedding disturbed.

Approximately 10 to 40% of original bedding disturbed. Burrows are generally isolated, but locally overlap.

Last vestiges of bedding discernible; approximately 40 to 60% disturbed. Burrows overlap and are not always well defined.

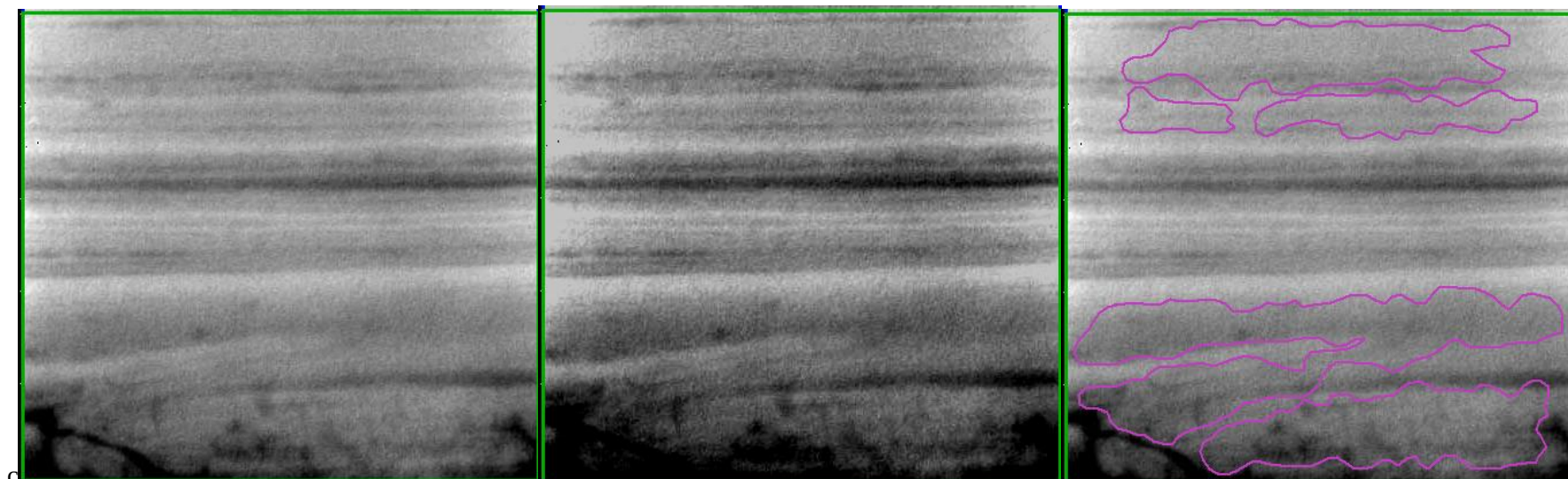
Bedding completely disturbed, but burrows are still discrete in places and the fabric is not mixed.

(6)

Bedding is nearly or totally homogenized.

Anexo 7. Diagramas esquemáticos de la clasificación semicuantitativa para la determinación de los índices de bioturbación.

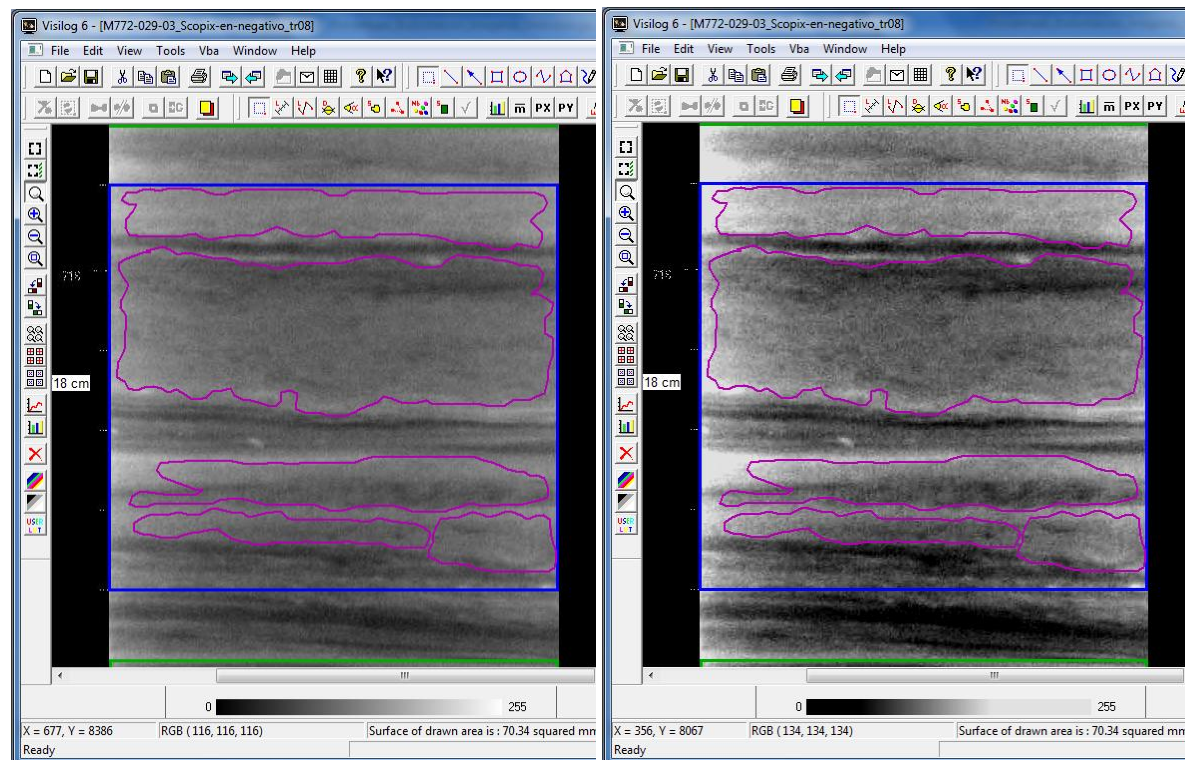
El diagrama muestra ejemplos representativos de cinco categorías de clasificación para la determinación de los índices de bioturbación en superficies verticales sedimentarias (Tomado de Droser & Bottjer en Miller & Smail, 1997).



Anexo 8. Imágenes, y diagramas esquemáticos como ejemplo representativo del método de cuantificación de la bioturbación sobre las estructuras sedimentarias del testigo M772-029.

Se seleccionaron estratos sedimentarios asociados a la posición en el testigo de las muestras elegidas para el análisis de escamas y restos óseos de peces. Cada estrato mide 5 cm de espesor a lo largo del testigo, excluyendo la sección (0-57 cm) del *slump*. En este ejemplo se muestran los trazos de un polígono regular (líneas color verde), polígonos irregulares (líneas color lila) realizados sobre la imagen Scopix del testigo M772-029, usando el software Visilog 6.4. El polígono regular representa la superficie de un estrato sedimentario. Los polígonos irregulares representan los parches (áreas) de bioturbación, trazados sobre las superficies bioturbadas contenidas en el área del polígono regular. A partir de los parches de bioturbación se calculó el porcentaje de área bioturbada relativo al área del estrato (polígono regular) sedimentario correspondiente. Esta imagen corresponde al “Estrato 255”, asociado con la muestra 1251-1252 cm, en la sección tr15 (Figura 2) del testigo M772-029. Las tres imágenes corresponden al mismo estrato, con diferentes contrastes aplicados sobre la imagen Scopix.





Anexo 9. Imágenes, y diagramas esquemáticos como ejemplo representativo del método de cuantificación de la macro-bioturbación sobre las estructuras sedimentarias del testigo M772-029.

Este ejemplo es similar al de la figura anterior. El estrato sedimentario está representado por el polígono regular rectangular color azul, conteniendo parches de macro-bioturbación representados por los polígonos irregulares de color lila. En este ejemplo las dos figuras (con contrastes diferentes) muestran el estrato 149, asociado con la muestra 717-718 cm, en la sección tr08 (ver Figura 2) del testigo. El 90 % de la bioturbación total correspondió a la macro-bioturbación. Con la intención de resaltar la macro-bioturbación, se retiró los polígonos correspondientes a las áreas cubiertas por la bioturbación de menor escala.

## Anexo 10. Descripción de los testigos

### *A.10.1. Descripción general*

#### *A.10.1.1. Descripción visual general del testigo largo*

El testigo M772-029 de aproximadamente 13.54 m de longitud, presentó secuencias de capas finamente laminadas de arcillas y limos intercalados, desde los 57 cm hasta la base del testigo. La sección superior del testigo entre 0 - 35 cm presentó sedimentos bandeados bioturbados de arcilla-limos de color gris olivo oscuro (5Y 3/2, 5Y 2.5/2); y la sección entre los 35 – 57 cm presentó sedimentos perturbados de limo y arena. El testigo presentó dos intervalos vacíos de sedimento, uno en 854-857 cm, y otro en 869-874 cm.

#### *A.10.1.2. Descripción visual general del testigo corto*

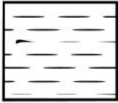
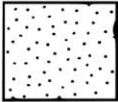
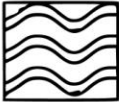
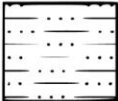
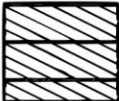
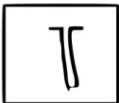
El testigo CD0701 de aproximadamente 27 cm de longitud, presentó secuencias laminadas de arcillas-limos color negro (5Y 2.5/2) desde la superficie hasta los 16 cm de profundidad, seguido de una capa de sedimento consolidado color amarillo olivo (2.5Y 6/6) y gris (2.5Y 6/1) de 3 cm de espesor, y finalmente secuencias laminadas de arcillas-limos color oliva (5Y 4/3) desde los 19 cm hasta la base del testigo.

### *A.10.2. Descripción de las Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029*

Las unidades sedimentarias determinadas en el testigo M772-029 fueron cinco, numeradas en romanos del I al V (I, II, III, IV, y V), iniciando desde la base hacia la parte superior del testigo (**Anexo10-F 1**).



[illegible]

| LEYENDA DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL TESTIGO M772-029                           |                  |                                                                                     |                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Litología                                                                           |                  | Símbolos                                                                            |                             |
|    | Arcilla laminada |    | Laminación horizontal plana |
|    | Arena            |    | Laminación deformada        |
|    | Limo laminado    |    | Estratificación cruzada     |
|                                                                                     |                  |    | Galería biogénica vertical  |
| <b>Limite basal de contacto</b>                                                     |                  |   | Laminación convoluta        |
|  | Marcado          |  | Bioturbación ligera         |
|  | Gradacional      |  | Bioturbación moderada       |
|  | Erosionado       |  | Bioturbación intensa        |

Anexo10-F 1. Columna estratigráfica (página anterior) de la litología y de las estructuras sedimentarias en el testigo M772-029.

En esta página se muestra la leyenda de los símbolos empleados en la descripción las características sedimentarias del testigo.

#### Unidad I:

Esta unidad abarcó desde la base (1354 cm) del testigo hasta el horizonte de 1065.5 cm. La litología consistió de arcillas limosas laminadas con tendencia a arcillas laminadas desde la parte superior (1065.5 cm) hasta los ~1200 cm con contacto basal marcado, seguido de secuencias de arcillas laminadas hasta la base (1354 cm) con límite basal muy marcado. El color varió de olivo (5Y 4/3), amarillo (5Y 8/6, 2.5Y 7/8), al gris verdoso claro (Gley1 7/10GY, Gley1 7/10Y). Esta unidad presentó una discordancia angular entre 1184-1187 cm, y capas laminadas deformadas entre 1266-1273 cm, y 1311-1312 cm; además presentó dos laminas aisladas y deformadas alrededor de ~1340 cm y ~1344 cm (lámina de 1 cm, color amarillo 2.5Y 7/8) respectivamente (**Anexo10-F 1**).

#### Unidad II:

Esta unidad abarcó desde la profundidad de 1065.5 cm hasta el horizonte de 566 cm. La litología consistió de secuencias de arcillas limosas laminadas con tendencia a arcillas laminadas desde la parte superior (566 cm) hasta los 750 cm con borde basal gradacional, seguida de secuencias de arcillas laminadas con tendencia a arcillas limosas laminadas hasta los 840 cm con borde basal gradacional, continuando con sucesiones de arcillas limosas laminadas con tendencia a arcillas laminadas hasta los 874 cm, y finalmente con una secuencia de arcillas limosas laminadas hasta la base (1065.5 cm) de esta unidad con límite basal muy marcado. El color varió de olivo (5Y 4/3) y amarillo (5Y 7/6), a amarillo pálido (5Y 8/3). Las estructuras sedimentarias observadas en esta unidad fueron dos galerías biogénicas verticales entre 751-753 cm y 836-839 cm respectivamente (**Anexo10-F 1**).

### Unidad III:

Esta unidad abarcó desde la profundidad de 566 cm hasta el horizonte de 364 cm. La litología consistió de una sección de secuencias de arcillas laminadas desde la parte superior (364 cm) hasta ~450 cm con borde basal gradacional, seguido de otra sección de arcillas laminadas con tendencia a arcillas limosas laminadas hasta 486 cm con borde basal gradacional, continuando con secuencias de arcillas limosas laminadas con tendencia a arcillas laminadas hasta 556 cm con borde basal muy marcado, finalmente una pequeña sección de arcillas laminadas con tendencia a arcillas limosas laminadas hasta la base (566 cm) de esta unidad con límite basal muy marcado. El color varió de amarillo (5Y 7/6) a olivo (5Y 4/3). Las estructuras presentes en esta unidad consistieron de una galería biogénica vertical entre 446-451 cm, una laminación convoluta entre 483.5-486 cm, y una discordancia angular entre 543-556 cm. En la parte superior de esta unidad los sedimentos presentaron arcillas endurecidas (consolidada) entre 364-366, 368-370, 376-377, y 383-387 cm (**Anexo10-F 1**).

### Unidad IV:

Esta unidad abarcó desde la profundidad de 364 cm hasta el horizonte de 57 cm. La litología consistió de una sección de arcillas limosas laminadas desde la parte superior hasta 269 cm con borde basal muy marcado, seguido de otra sección de arcillas laminadas con tendencia a arcillas limosas hasta 336 cm con borde basal gradacional, finalmente una sección de arcillas laminadas hasta la base (364 cm) de esta unidad con límite basal muy marcado. El color varió de gris olivo oscuro (5Y 3/2), y olivo (5Y 4/3), a amarillo (5Y 7/6). Las estructuras sedimentarias presentes en esta unidad son: una discordancia angular entre 264.5-268.5 cm y

laminaciones deformadas entre 296-302 cm. Esta unidad presentó estructuras de bioturbación entre 117-119 cm (bioturbación moderada), 173-175 cm (bioturbación intensa), 175-177 cm (bioturbación moderada), 184-186 cm (bioturbación menor), 277-281 cm (bioturbación menor) (**Anexo10-F 1**).

#### Unidad V:

Esta unidad abarcó desde la profundidad de 57 cm hasta 0 cm, dividiéndose en dos subunidades (Va y Vb) litológicamente diferentes. La subunidad Va abarcó desde 57 cm hasta 30 cm, la subunidad Vb abarcó desde 30 cm hasta 0 cm, con litologías de arenas bioturbadas y de limos bioturbados respectivamente. Esta unidad presentó un límite basal (57 cm) de erosión. Los bordes basales de las subunidades coincidieron con los hiatos presentes en 30 y 57 cm. El color varió de negro (5Y 2.5/2) a gris olivo oscuro (5Y 3/2). A lo largo de esta unidad sedimentaria se evidenció intensa bioturbación (**Anexo10-F 1**).

La presencia de capas de sedimentos de colores claros (posiblemente capas ricas en diatomeas y/o capas ricas en carbonatos, Balsam et al., 1999) se evidenciaron en varios horizontes a lo largo de todo el testigo. Los niveles en los cuales se observaron estas capas están indicados y descritos en la columna estratigráfica de la litológica y de las estructuras sedimentarias (**Anexo10-F 1**).

#### *A.10.3. Descripción de las Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701*

En el testigo corto (CD0701) se determinó tres Unidades Sedimentarias (US) diferenciables por su litología, estructuras sedimentarias, y color (**Anexo10-F 2**).

Las US fueron etiquetadas con números romanos I, II, y III.

#### Unidad I:

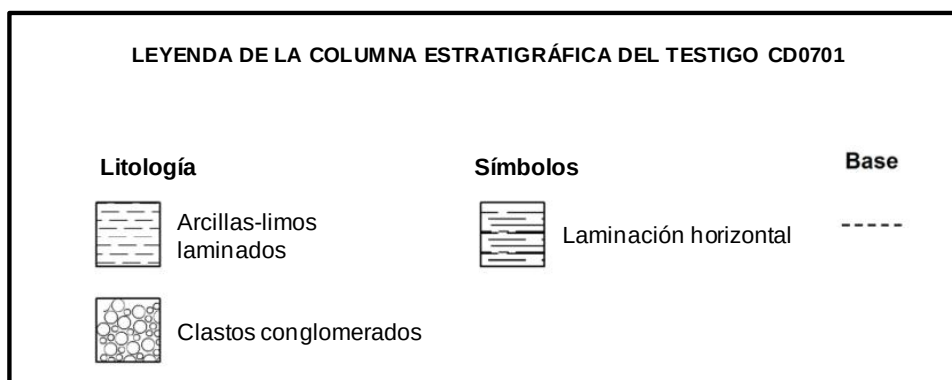
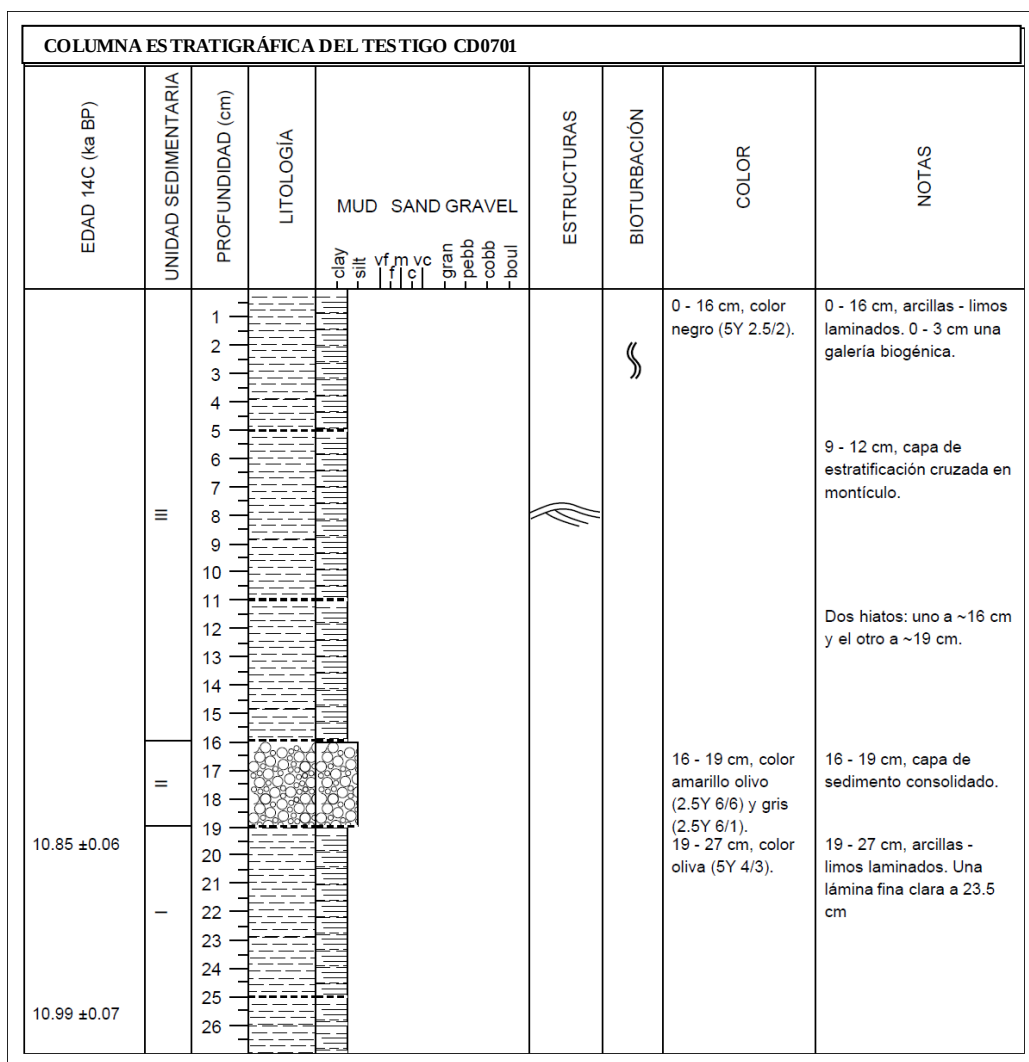
Esta unidad abarco desde la base del testigo (27 cm) hasta los 19 cm. La litología consistió de limos-arcillas laminados de color oliva (5Y 4/3). Esta unidad presentó una lámina fina (~2 mm) clara a 23.5 cm (**Anexo10-F 2**).

#### Unidad II:

Esta unidad abarco desde los 19 cm hasta los 16 cm de profundidad. La litología consistió de sedimentos consolidados (posiblemente fosforita) de color amarillo olivo (2.5Y 6/6) y gris (2.5Y 6/1) (**Anexo10-F 2**).

#### Unidad III:

Esta unidad abarco desde los 16 cm hasta el tope del testigo. La litología consistió de limos-arcillas laminados de color negro (5Y 2.5/2). Esta unidad presentó una estratificación cruzada en montículo entre 12 – 9cm, una galería biogénica entre 3 – 0 cm. La bioturbación se consideró de intensidad ligera (**Anexo10-F 2**).



Anexo10-F 2. Columna estratigráfica de la litología y de las estructuras sedimentarias del testigo CD0701.

Se muestran las dataciones <sup>14</sup>C convencionales de 10.85 ±0.06 ka BP y de 10.99 ±0.07 ka BP en las profundidades 19-20 cm y 25-26 cm respectivamente.

## Anexo 11. Características Sedimentológicas

### *A.11.1. Densidad aparente y Análisis de las imágenes radiográficas digitales en el testigo M772-029*

Los niveles de gris presentaron un patrón con una tendencia muy similar al de las densidades aparentes. La humedad presentó una alta variabilidad desde la base (1354 cm) de la Unidad I hasta los ~130 cm en la Unidad IV, seguida de una disminución abrupta hasta los ~100 cm, luego presentó una tendencia de aumento hasta el límite superior de la Unidad V (**Anexo11-F 1**).

La generación de los niveles de gris (NG) a partir de las imágenes Scopix de radiografía de rayos X presentó un rango de valores de 0 a 255 con el nivel de gris más oscuro y más claro respectivamente. De acuerdo a los histogramas en la unidad I de la figura del **Anexo11-F 1**, los valores del NG presenta una tendencia hacia niveles de gris claro; la unidad II presenta NG con tendencia a niveles de gris oscuro; la unidad III y IV presentan NG con valores intermedios. La unidad sedimentaria V que comprende el *slump* de acuerdo a los histogramas del NG, aparentemente presenta dos modas, las cuales estarían reflejando dos secciones dentro del *slump* con características litológicas diferentes (**Anexo11-F 1**). La parte superior (0-30 cm) del slump según la descripción del testigo (ver 4.1.2) presentó una textura más fina (limosa) que en la sección (30-57 cm) inferior del *slump*, el cual presentó una textura arenosa.

Las densidades aparentes promedio del sedimento (**Anexo11-F 2**) y los niveles de gris promedio por unidades sedimentarias en el testigo M772-029 se describen a continuación:

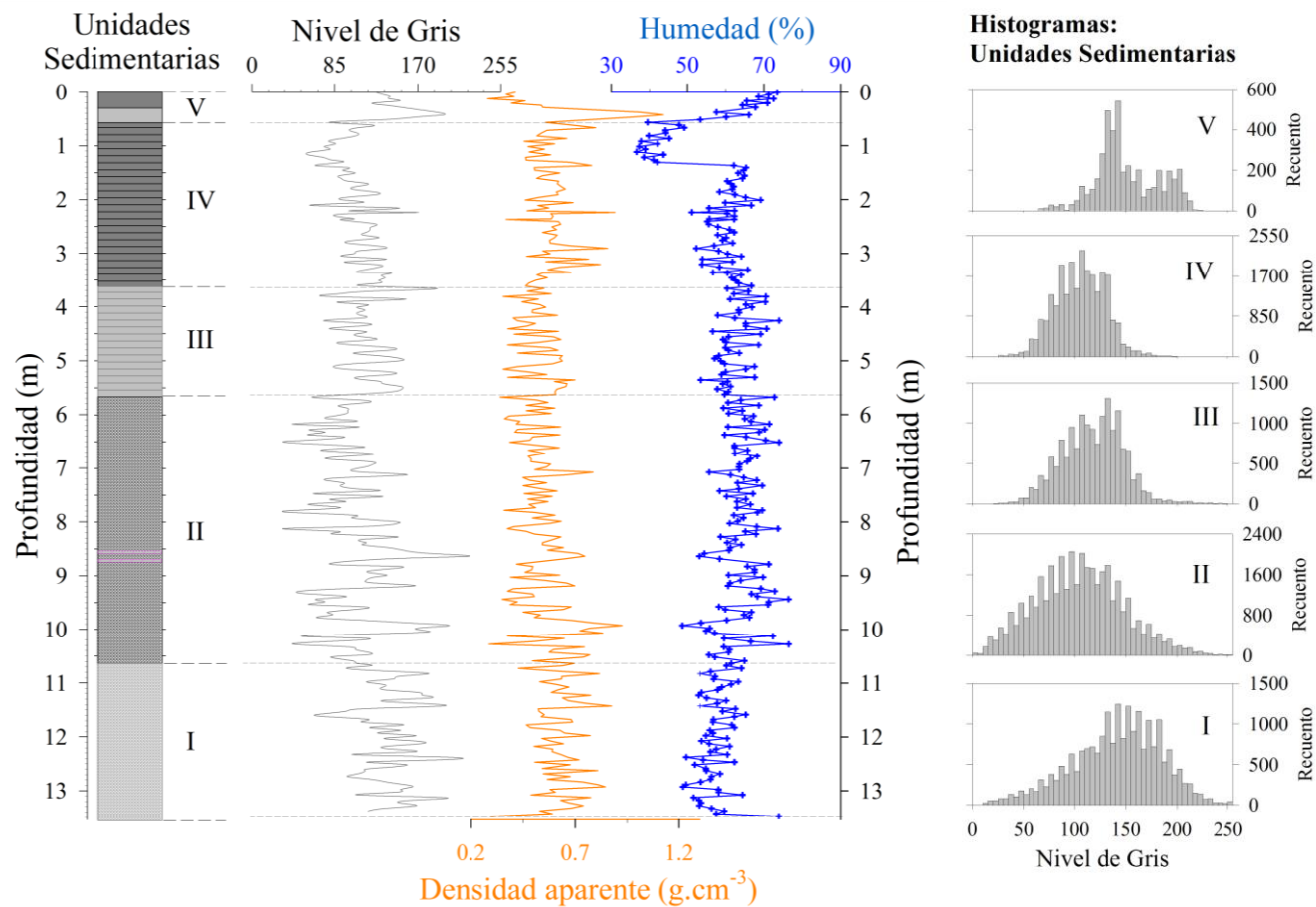


Unidad I - (1354 - 1065.5 cm): Los sedimentos en esta unidad sedimentaria presentaron densidades (DBD) con un valor máximo de  $0.87 \text{ g.cm}^{-3}$ , un valor mínimo de  $0.30 \text{ g.cm}^{-3}$ , y un valor promedio de  $0.63 \pm 0.11 \text{ g.cm}^{-3}$  (**Anexo11-F 2**). La humedad del sedimento presentó un valor promedio de  $57.4 \pm 4.5 \%$ . El análisis Scopix de Rx produjo niveles de gris con un valor máximo de 202.4, un valor mínimo de 66.0, y en un valor promedio de  $141.3 \pm 30.4$  (**Anexo11-F 2**).

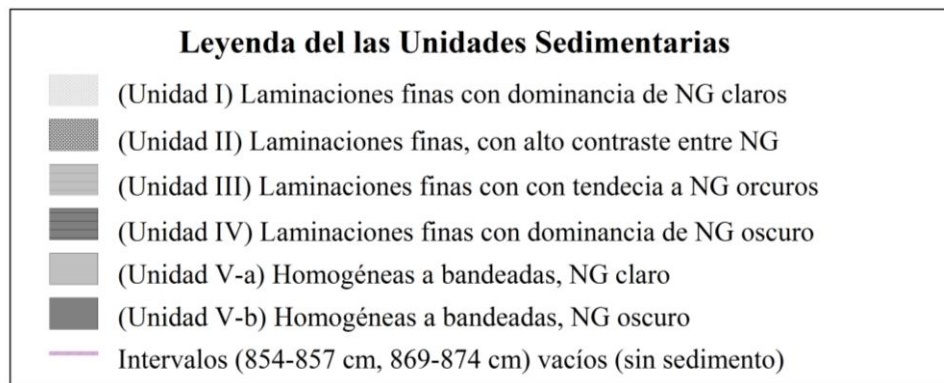
Unidad II - (1065.5 - 566 cm): Los sedimentos en esta unidad sedimentaria presentaron densidades con un valor máximo de  $0.92 \text{ g.cm}^{-3}$ , un valor mínimo de  $0.29 \text{ g.cm}^{-3}$ , y un valor promedio de  $0.54 \pm 0.12 \text{ g.cm}^{-3}$  (**Anexo11-F 2**). La humedad del sedimento presentó un valor promedio de  $64.1 \pm 5.3 \%$ . Los niveles de gris resultaron con un valor máximo de 222.7, un valor mínimo de 31.6, y un valor promedio de  $103.6 \pm 37.0$  (**Anexo11-F 2**).

Unidad III - (566 - 364 cm): Los sedimentos en esta unidad sedimentaria presentaron densidades con un valor máximo de  $0.70 \text{ g.cm}^{-3}$ , valor mínimo de  $0.36 \text{ g.cm}^{-3}$ , y un valor promedio de  $0.53 \pm 0.10 \text{ g.cm}^{-3}$ . La humedad del sedimento presentó un valor promedio de  $62.7 \pm 4.5 \%$ . Los niveles de gris resultaron con un valor máximo de 189.9, un valor mínimo de 73.5, y un valor promedio de  $118.7 \pm 25.3$  (**Anexo11-F 2**).

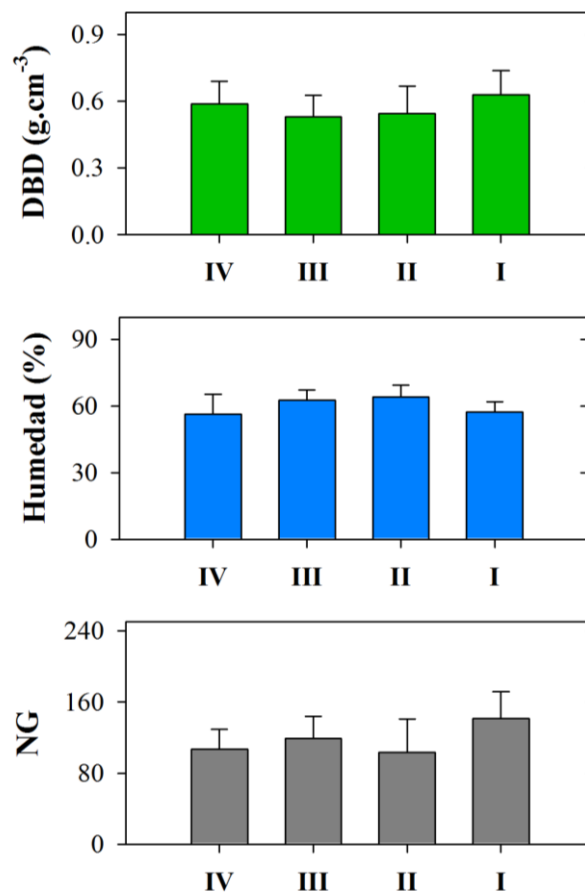
Unidad IV - (364 - 57 cm): Los sedimentos en esta unidad sedimentaria presentaron densidades con un valor máximo de  $0.89 \text{ g.cm}^{-3}$ , un valor mínimo de  $0.37 \text{ g.cm}^{-3}$ , y un valor promedio de  $0.59 \pm 0.10 \text{ g.cm}^{-3}$ . La humedad del sedimento presentó un valor promedio de  $56.3 \pm 8.9 \%$ . Los niveles de gris presentaron un



Anexo11-F 1. Litología de las Unidades Sedimentarias determinadas (I, II, II, IV y V), nivel de gris (NG), densidad aparente, humedad e histogramas del nivel de gris (NG) en cada unidad sedimentaria del testigo M772-029.



Anexo 11-F 1. (Continuación) Leyenda de las unidades sedimentarias del testigo M772-029.



Anexo11-F 2. Promedios y desviaciones estándares de la densidad (DBD), humedad (%), Nivel de gris (NG) respecto a cada Unidad Sedimentaria en el testigo M772-029. En esta gráfica no se considera la unidad V que corresponde al *slump* del testigo.

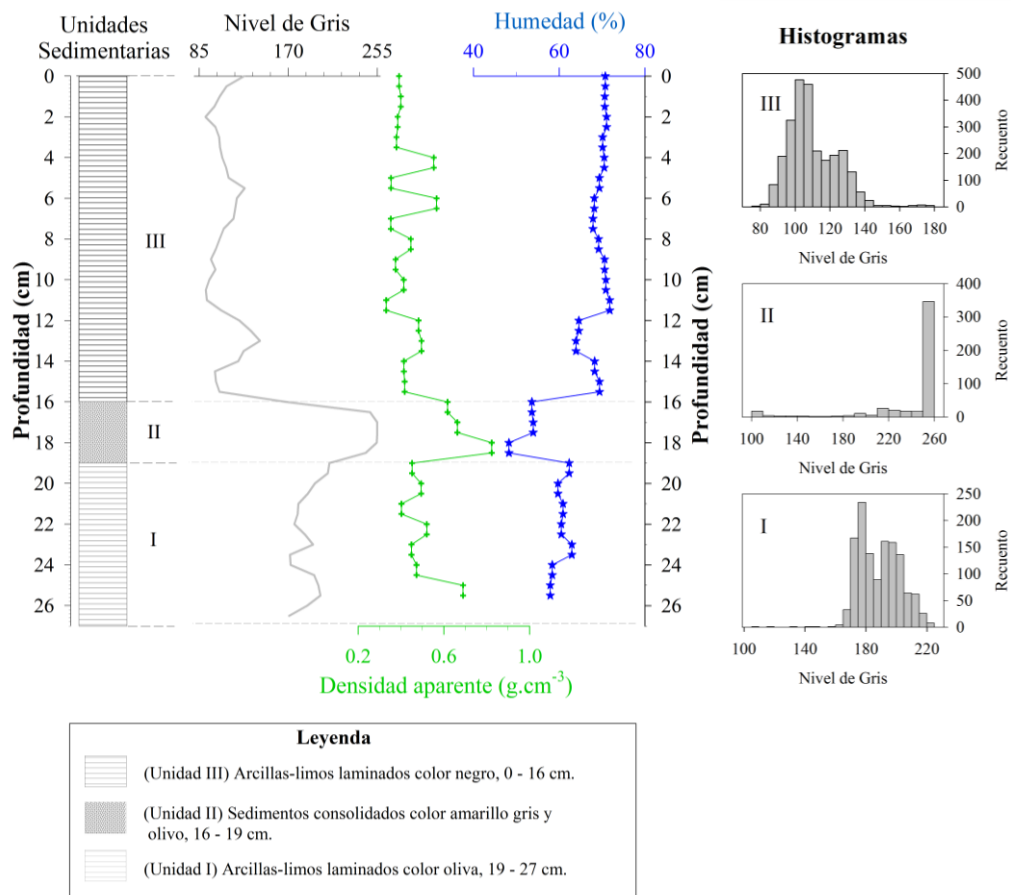
valor máximo de 170.6, un valor mínimo de 57.4, y un valor promedio de 106.8  $\pm 22.5$  (**Anexo11-F 2**).

Unidad V - (57 - 36 cm, 36 – 0 cm): Los sedimentos en esta unidad sedimentaria presentaron densidades con un valor máximo de 1.12 g.cm<sup>-3</sup>, un valor mínimo de 0.28 g.cm<sup>-3</sup>, y un valor promedio de 0.60  $\pm$  0.28 g.cm<sup>-3</sup>. La humedad del sedimento presentó un valor promedio de 63.9  $\pm$  9.5 %. Los niveles de gris presentaron un valor máximo de 196.2, un valor mínimo de 79.3, y un valor promedio de 144.4  $\pm$  29.7 (**Anexo11-F 2**).

#### *A.11.2. Densidad aparente y Análisis radiográficos digitales en el testigo CD0701*

La densidad aparente presenta un patrón con una tendencia a disminuir desde la base (27 cm) del testigo hasta el tope del testigo, con unos máximos entre 19 – 16 cm. Los niveles de gris presentan un patrón muy similar al de las densidades aparentes. En cambio, la humedad del sedimento muestra un patrón con una tendencia inversa a la tendencia del patrón de la densidad aparente, con mínimos valores (~40%) entre 19- 16 cm (**Anexo11-F 3**). De acuerdo a los histogramas de la figura del **Anexo11-F 3**, la Unidad Sedimentaria I presenta NGs con una tendencia hacia nivel de gris intermedio-claro; la unidad II presenta NGs con una mayor tendencia a nivel de gris claro; y la Unidad Sedimentaria III presenta NGs con una tendencia del nivel de gris intermedio a gris oscuro.

Las densidades aparentes, la humedad del sedimento y los niveles de gris por unidades sedimentarias (I, II, y III) en el testigo CD0701 se describen a continuación:



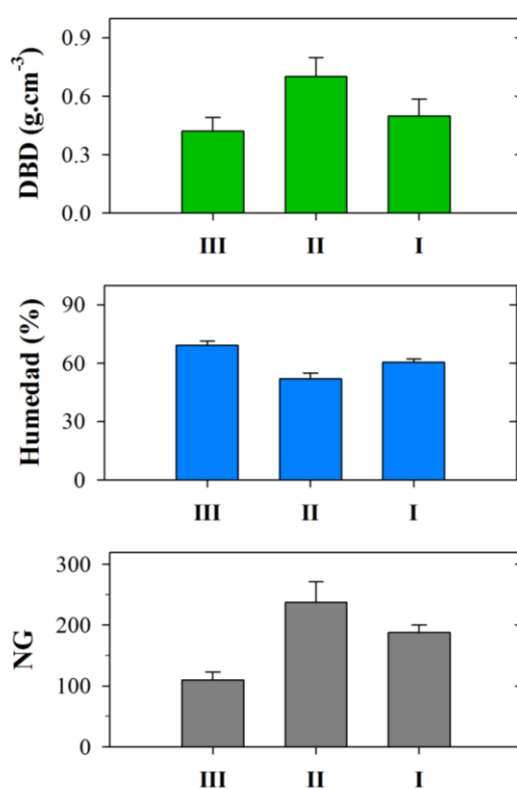
Anexo11-F 3. Litología de las Unidades Sedimentarias (I, II, y II), nivel de gris, densidad aparente, humedad del sedimento e histogramas del nivel de gris (NG) en cada unidad sedimentaria del testigo CD0701.

Unidad I - (27 - 19 cm): Los sedimentos en esta unidad sedimentaria presentan densidades (DBD) con un valor máximo de  $0.69 \text{ g.cm}^{-3}$ , un valor mínimo de  $0.40 \text{ g.cm}^{-3}$ , y un valor promedio de  $0.50 \pm 0.09 \text{ g.cm}^{-3}$  (**Anexo11-F 4**). La humedad del sedimento presentó un valor máximo de 63 %, un mínimo de 57.9% y un promedio de  $60.4 \pm 1.8 \%$ . El análisis Scopix de Rx produjo niveles de gris con un valor máximo de 209.2, un valor mínimo de 170.8, y en un valor promedio de  $188.2 \pm 12.6$  (**Anexo11-F 4**).

Unidad II - (19 – 16 cm): Los sedimentos en esta unidad sedimentaria presentaron densidades con un valor máximo de  $0.82 \text{ g.cm}^{-3}$ , un valor mínimo de  $0.62 \text{ g.cm}^{-3}$ ,

y un valor promedio de  $0.70 \pm 0.10 \text{ g.cm}^{-3}$  (**Anexo11-F 4**). La humedad del sedimento presentó un valor máximo de 54%, un valor mínimo de 48.3% y un promedio de  $52.0 \pm 2.8 \%$ . Los niveles de gris resultaron con un valor máximo de 255, un valor mínimo de 168.3, y un valor promedio de  $237.5 \pm 34.2$  (**Anexo11-F 4**).

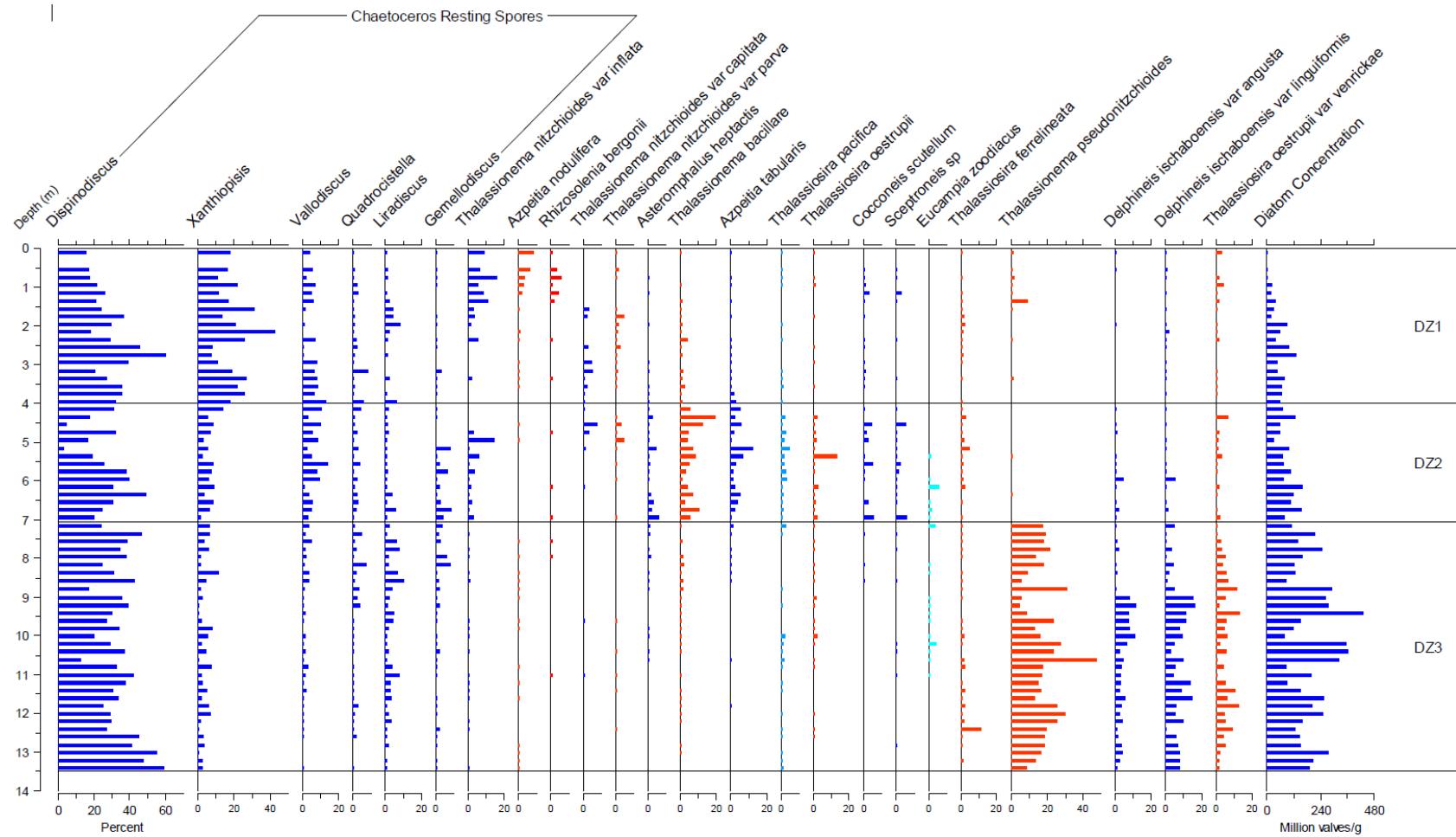
Unidad III - (16 – 0 cm): Los sedimentos en esta unidad sedimentaria presentaron densidades con un valor máximo de  $0.57 \text{ g.cm}^{-3}$ , valor mínimo de  $0.33 \text{ g.cm}^{-3}$ , y un valor promedio de  $0.42 \pm 0.07 \text{ g.cm}^{-3}$  (**Anexo11-F 4**). La humedad del sedimento presentó un valor máximo de 71.8%, un valor mínimo de 63.9% y un promedio de  $69.2 \pm 2.2 \%$ . Los niveles de gris resultaron con un valor máximo de 143, un valor mínimo de 91, y un valor promedio de  $109.7 \pm 13.2$  (**Anexo11-F 4**).



Anexo11-F 4. Promedios y desviaciones estándares de la densidad (DBD), humedad (%), Nivel de gris (NG) respecto a cada Unidad Sedimentaria en el testigo CD0701. Los números en romanos I, II, y III representan a las Unidades Sedimentarias.

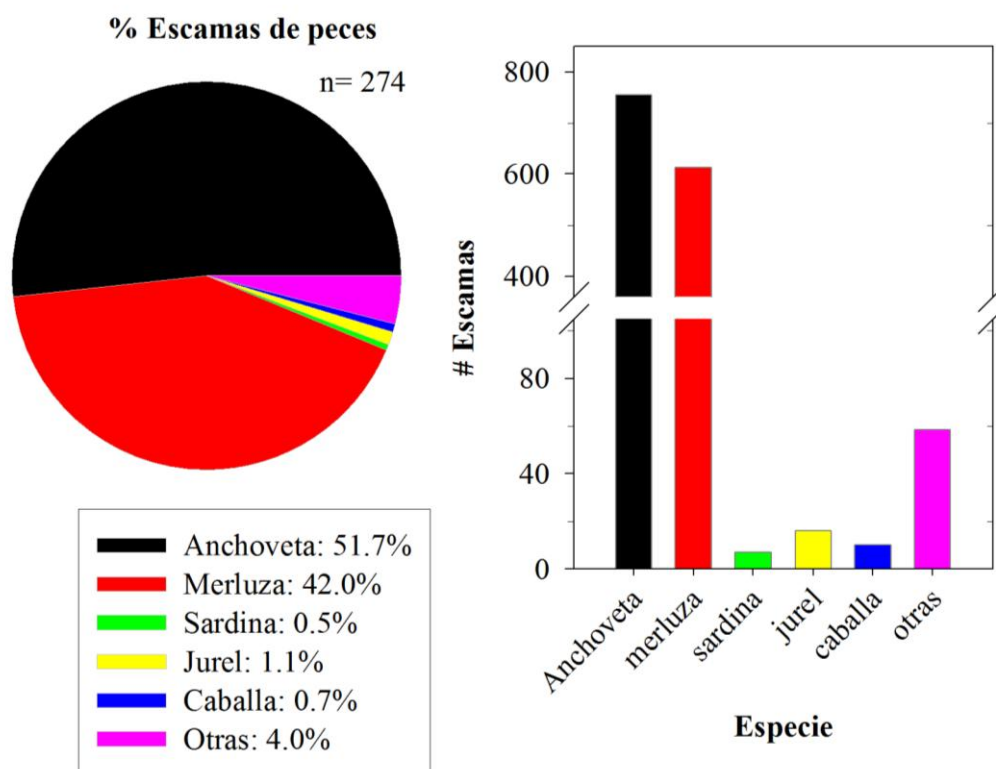
## Anexo 12. Bioestratigrafía de diatomeas

La bioestratigrafía de diatomeas en el testigo M772-029 presentó tres zonas con asociaciones de especies diferenciables (C. López & P. Tapia, en preparación). Estas zonas fueron consideradas como Zona 1 entre 13.5 – ~7 m, Zona 2 entre ~7 - ~4 m, y Zona 3 entre ~4 - 0 m (**Anexo12-F 1**). *Chaetoceros resting spores* *Dispinodiscus* estaban presentes a lo largo de todo el testigo. En la Zona 1 las especies dominantes encontradas fueron *Xanthiopsis*, *Thalassionema nitzchioides* var *inflata*. En la Zona 2 las especies encontradas fueron *Thalassionema bacillare*, *Azpeitia tabularis* las cuales estaban ausentes en la Zona 1 y Zona 3. En la Zona 3 la especie de mayor abundancia fue *Thalassionema pseudonitzchioides*, *Thalassiosira oestrupii* var *venrickae*, *Delphineis ischaboensis* var *angusta*, y *Delphineis ischaboensis* var *linguiformis* (**Anexo12-F 1**). *Chaetoceros resting spores* *Xanthiopsis* fueron más abundantes en la Zona 1 seguida en sentido decreciente en la Zona 2 y Zona 3. *Chaetoceros resting spores* *Vallodiscus* fueron más abundantes en la Zona 2, seguida en sentido decreciente en la Zona 1 y Zona 3. *Thalassionema nitzchioides* var *inflata* estaban presentes en la Zona 1 y Zona 2, y casi ausente en la Zona 3 (**Anexo12-F 1**).

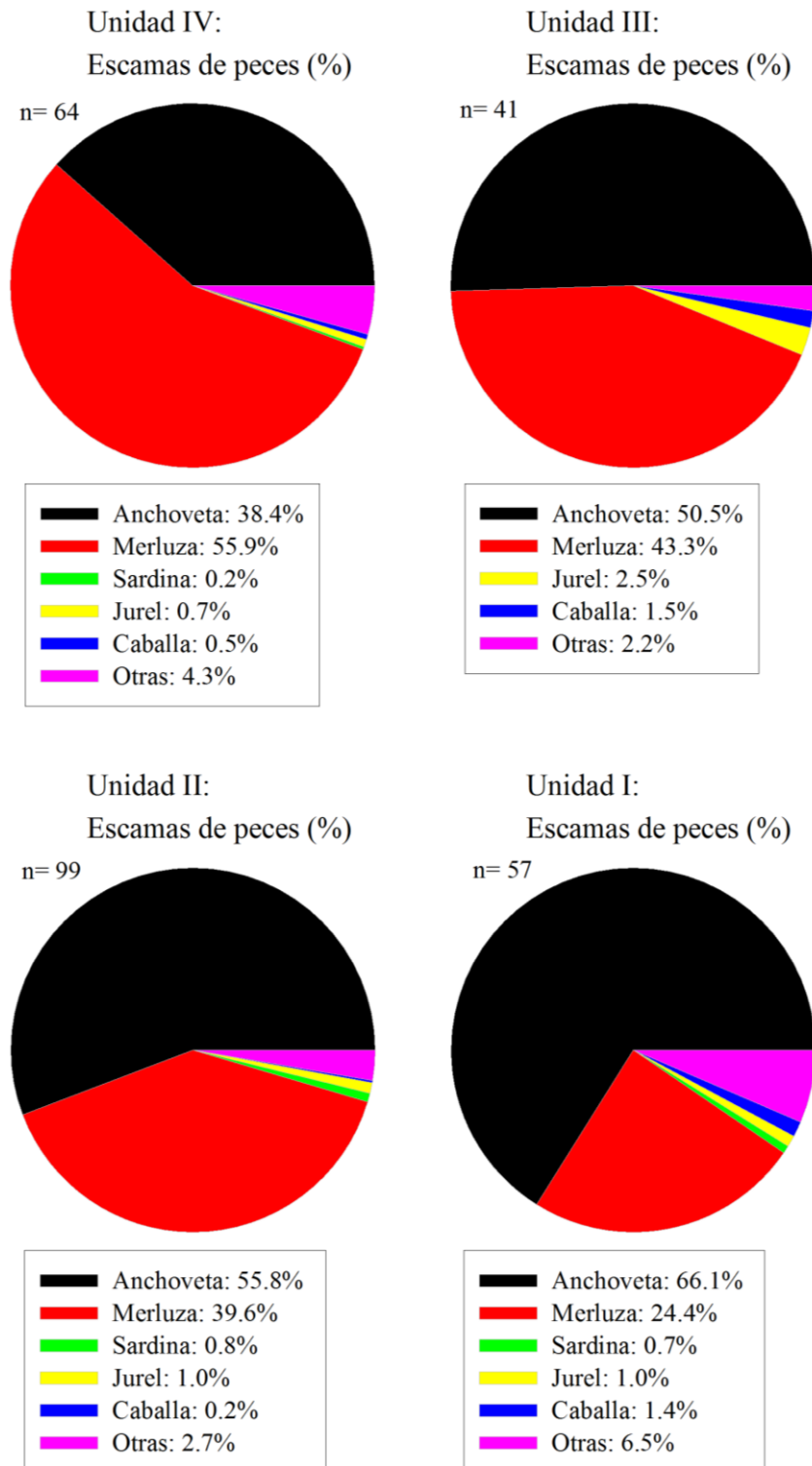


Anexo12-F 1. Bioestratigrafía de diatomeas en el testigo M772-029 (C. López & P. Tapia, en preparación).



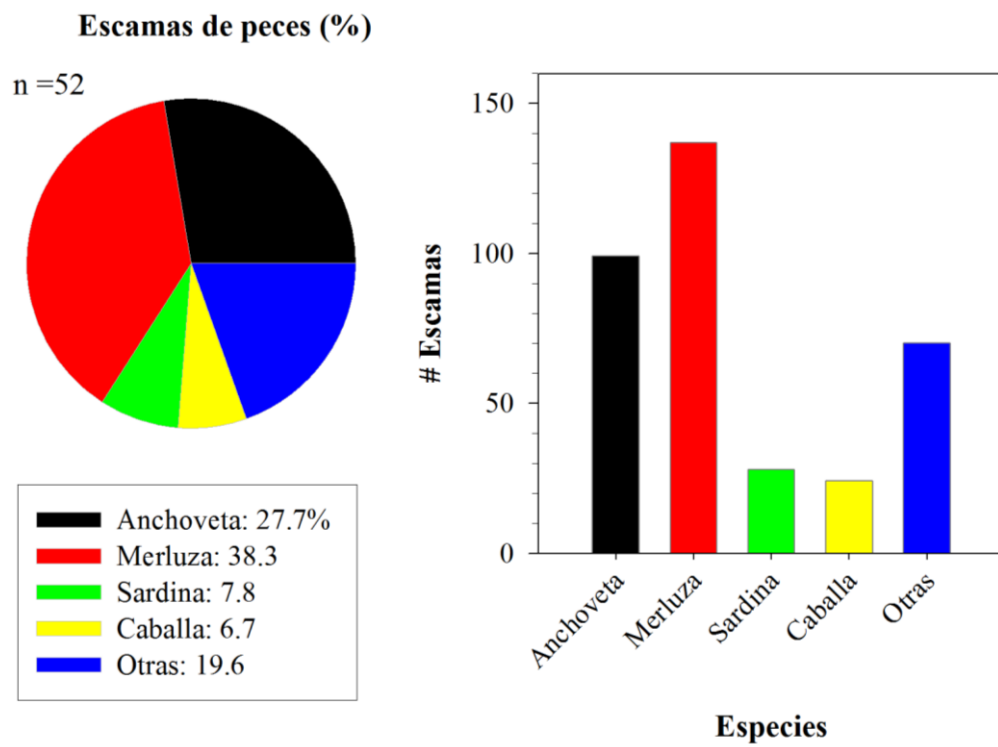


Anexo 13. Porcentajes (izquierda) y números (derecha) de escamas de peces identificadas por especie en el testigo M772-029.

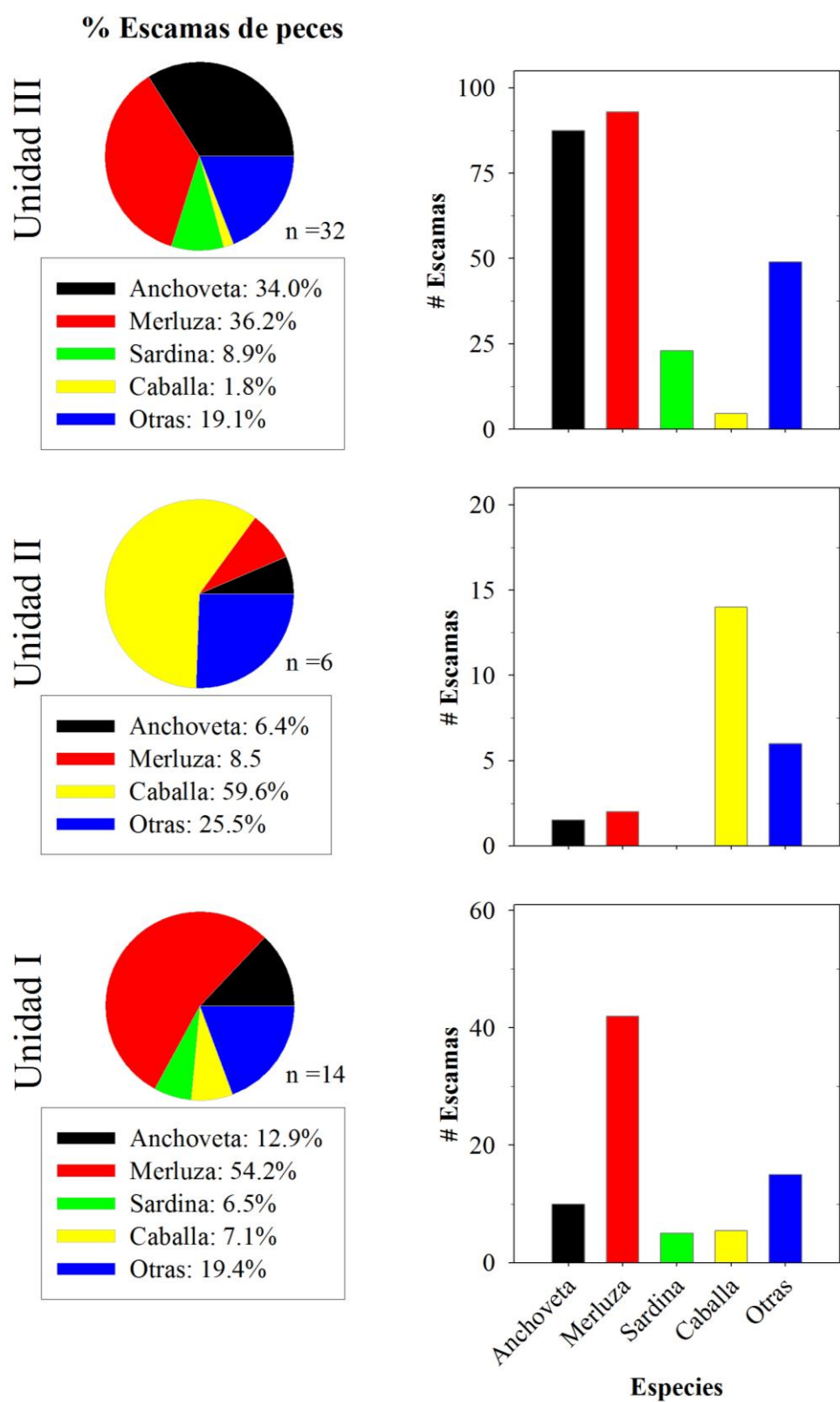


Anexo 14. Porcentajes de escamas por Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029.

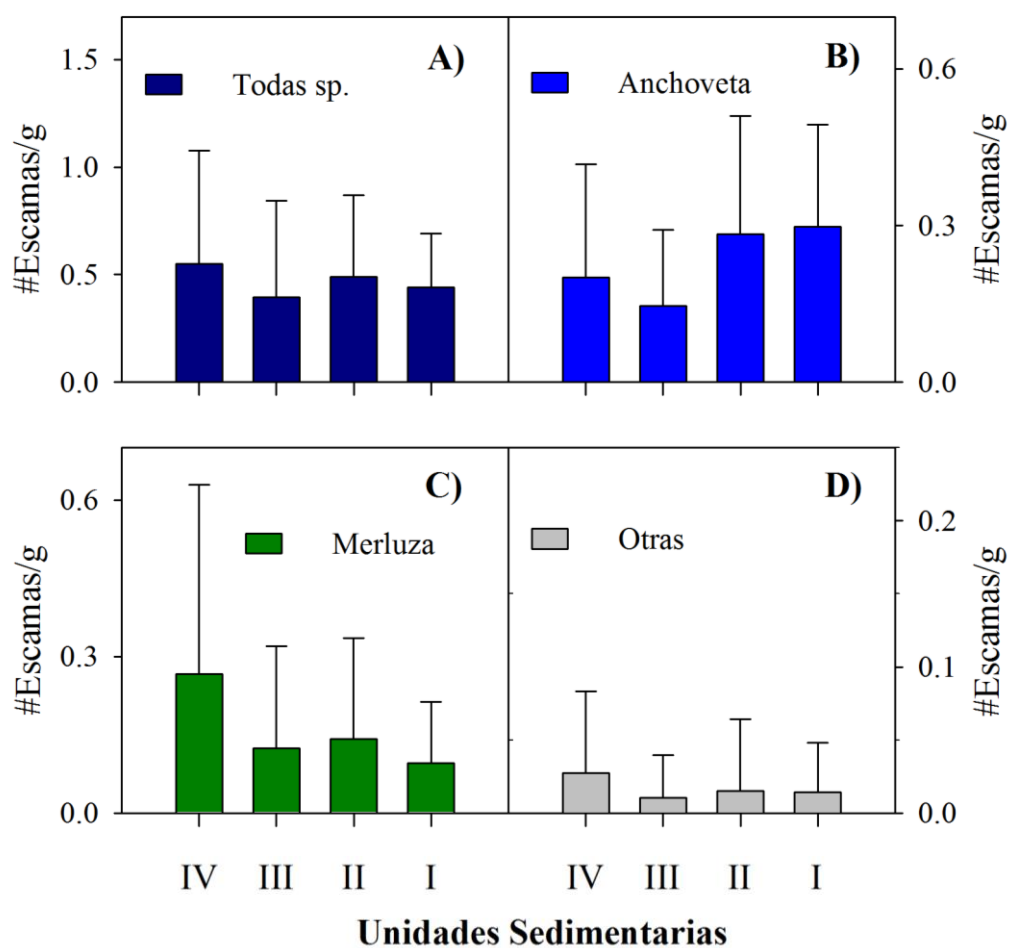
Unidades Sedimentarias: Unidad IV (57-364 cm), Unidad III (364-566 cm), Unidad II (566-1065.5 cm), Unidad I (1065.5-1354 cm).



Anexo 15. Porcentajes (izquierda) y números (derecha) de escamas de peces identificadas por especie en el testigo completo CD0701.



Anexo 16. Porcentajes de escamas de peces identificadas por especie por Unidades Sedimentarias en testigo CD0701.



Anexo 17. Promedios y desviaciones estándares de las escamas de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029.

En **A**, **B**, **C**, y **D** se muestran los promedios de las concentraciones de escamas totales, de anchoqueta, merluza y de otras no identificadas respectivamente.

Anexo 18. Diferencias de las concentraciones de escamas entre las Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

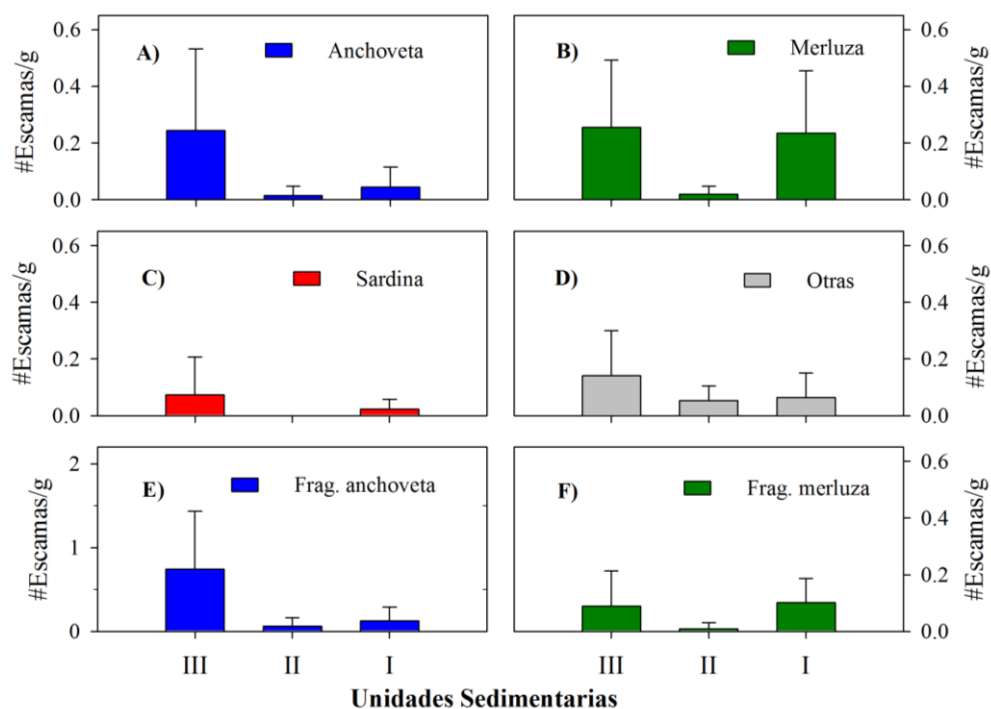
Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney. Los grupos homogéneos están ordenados de menor a mayor concentración de la mediana. Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo.

| Concentración de escamas | Unidades Sedimentarias |              |               |              | Anova Kruskal Wallis |                  | Grupos Homogéneos ( $\alpha < 0.05$ )   |
|--------------------------|------------------------|--------------|---------------|--------------|----------------------|------------------|-----------------------------------------|
|                          | IV                     | III          | II            | I            | H(3, N=258)          | p                |                                         |
| T                        | 8261<br>(63)           | 4328<br>(41) | 13366<br>(99) | 7458<br>(55) | 5.16                 | 0.160            |                                         |
| A                        | 6930<br>(63)           | 3938<br>(41) | 14120<br>(99) | 8423<br>(55) | 21.31                | <b>&lt;0.001</b> | <u>III</u> <u>IV</u> <u>I</u> <u>II</u> |
| M                        | 9746<br>(63)           | 4718<br>(41) | 12481<br>(99) | 6466<br>(55) | 11.23                | 0.012            | <u>III</u> <u>I</u> <u>IV</u> <u>II</u> |
| O                        | 8872<br>(63)           | 5124<br>(41) | 12251<br>(99) | 7164<br>(55) | 5.65                 | 0.130            |                                         |

Anexo 19. Diferencias de las concentraciones de escamas entre las Zonas Bioestratigráficas de diatomeas en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney. Los grupos homogéneos están ordenados de menor a mayor concentración de la mediana. Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo.

| Concentración de escamas | Unidades Bioestratigráficas |              |                | Anova Kruskal Wallis |                  | Grupos Homogéneos ( $\alpha < 0.05$ ) |
|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------------|----------------------|------------------|---------------------------------------|
|                          | Zona 1                      | Zona 2       | Zona 3         | H(2)                 | p                |                                       |
| T                        | 9129<br>(70)                | 6576<br>(61) | 17706<br>(127) | 7.41                 | 0.025            | <u>2</u> <u>1</u> <u>3</u>            |
| A                        | 7608<br>(70)                | 5868<br>(61) | 19935<br>(127) | 35.11                | <b>&lt;0.001</b> | <u>2</u> <u>1</u> <u>3</u>            |
| M                        | 10602<br>(70)               | 7758<br>(61) | 15051<br>(127) | 9.64                 | <b>&lt;0.01</b>  | <u>2</u> <u>1</u> <u>3</u>            |
| O                        | 9905<br>(70)                | 7061<br>(61) | 16445<br>(127) | 9.99                 | <b>&lt;0.01</b>  | <u>2</u> <u>1</u> <u>3</u>            |



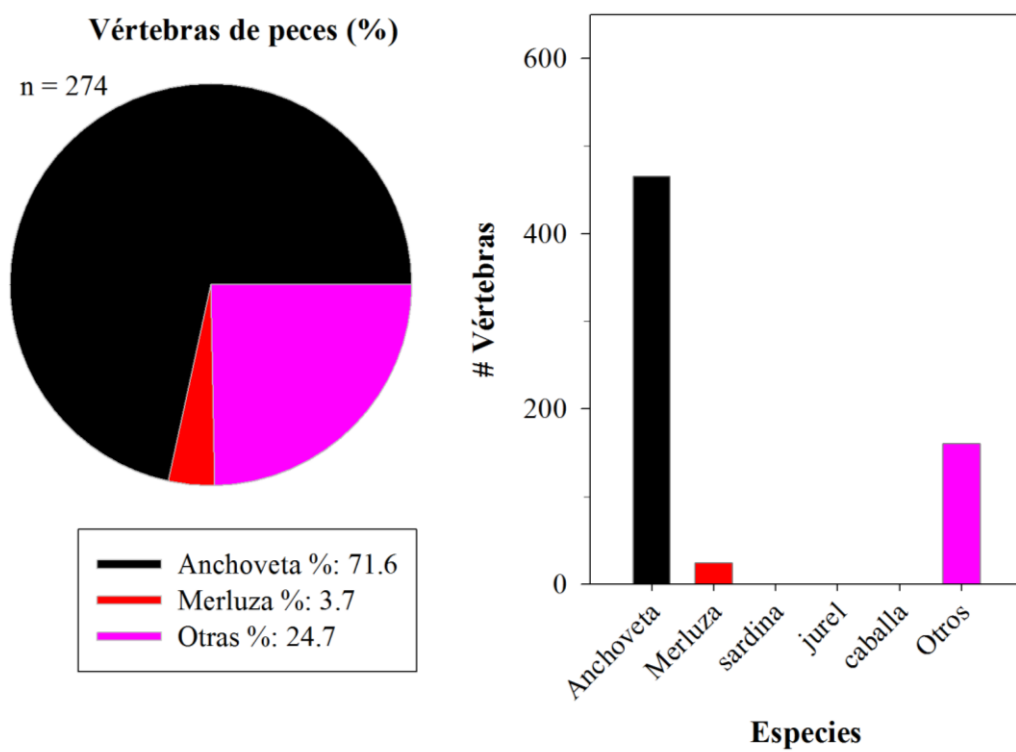
Anexo 20. Promedios y desviaciones estándares de las concentraciones de escamas de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701.

Desde arriba siguiendo en orden alfabético se muestran a las concentraciones de escamas de anchoveta (A), merluza (C), sardina (D), escamas fragmentadas de anchoveta (E), y escamas fragmentadas de merluza (F).

Anexo 21. Diferencias de las concentraciones de escamas entre las Unidades sedimentarias en el testigo CD0701 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

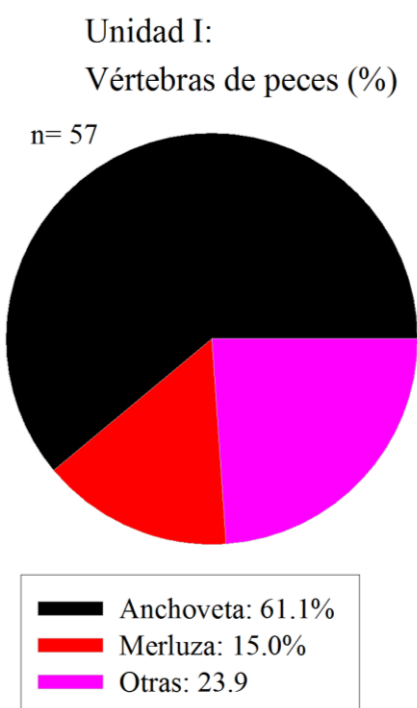
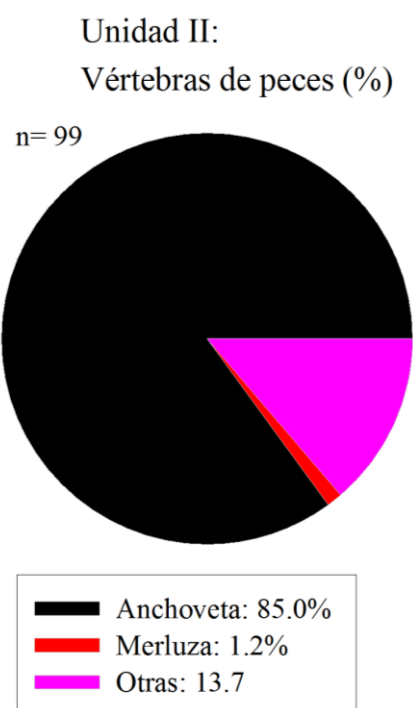
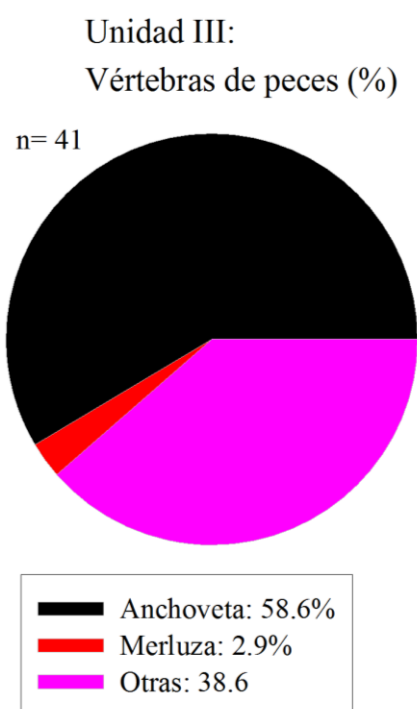
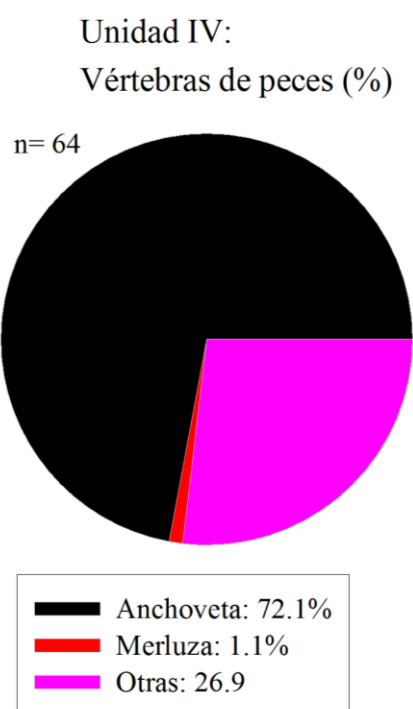
Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney. Los grupos homogéneos están ordenados de menor a mayor concentración de la mediana. Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo.

| Concentración de escamas | Unidades Sedimentarias |            |             | Anova Kruskal Wallis |        | Grupos Homogéneos ( $\alpha < 0.05$ ) |
|--------------------------|------------------------|------------|-------------|----------------------|--------|---------------------------------------|
|                          | III                    | II         | I           | H(2, N=52)           | p      |                                       |
| T                        | 1034<br>(32)           | 66<br>(6)  | 278<br>(14) | 13.67                | <0.01  | <u>II</u> <u>I</u> <u>III</u>         |
| A                        | 1045<br>(32)           | 78<br>(6)  | 255<br>(14) | 14.96                | <0.001 | <u>II</u> <u>I</u> <u>III</u>         |
| M                        | 927<br>(32)            | 52<br>(6)  | 399<br>(14) | 9.47                 | <0.01  | <u>II</u> <u>I</u> <u>III</u>         |
| S                        | 907<br>(32)            | 108<br>(6) | 363<br>(14) | 3.42                 | 0.180  |                                       |
| O                        | 932<br>(32)            | 136<br>(6) | 310<br>(14) | 2.69                 | 0.269  |                                       |

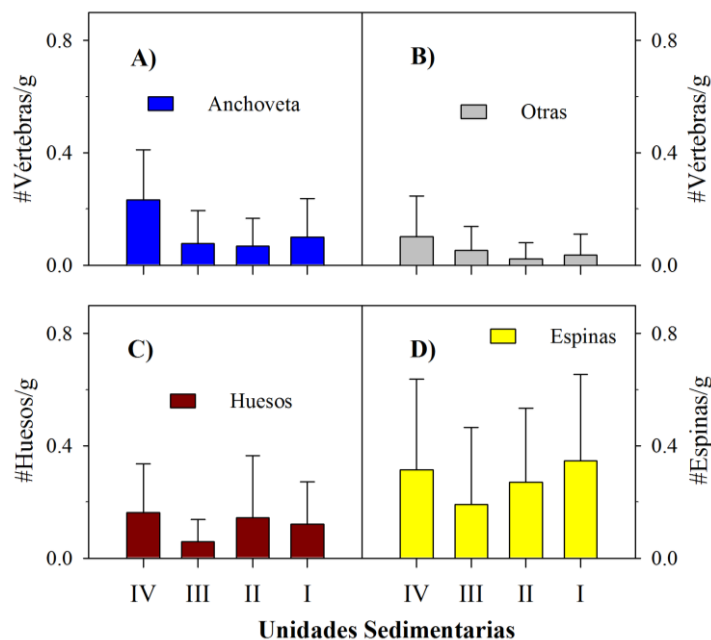


Anexo 22. Porcentajes (izquierda) y abundancias (derecha) de vértebras de peces por especies en el testigo completo M7720-029.





Anexo 23. Porcentajes de vértebras de peces por especie en cada Unidad Sedimentaria del testigo M772-029.  
Unidad IV (57-364 cm), Unidad III (364-566 cm), Unidad II (566-1065.5 cm), Unidad I (1065.5-1354 cm).



Anexo 24. Promedio y desviación estándar de las concentraciones de vértebras, huesos y espinas por Unidades Sedimentarias del testigo M772-029.

A y B son los promedios de las concentraciones de vértebras de anchoveta y otras vértebras no identificadas; C y D son las concentraciones de huesos y espinas totales. Las Unidades Sedimentarias son Unidad I (1354-1065.5cm) Unidad II (1065.5-566 cm), Unidad III (566-364 cm) Unidad IV (364-57 cm).

Anexo 25. Diferencias de las concentraciones de vértebras entre las Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

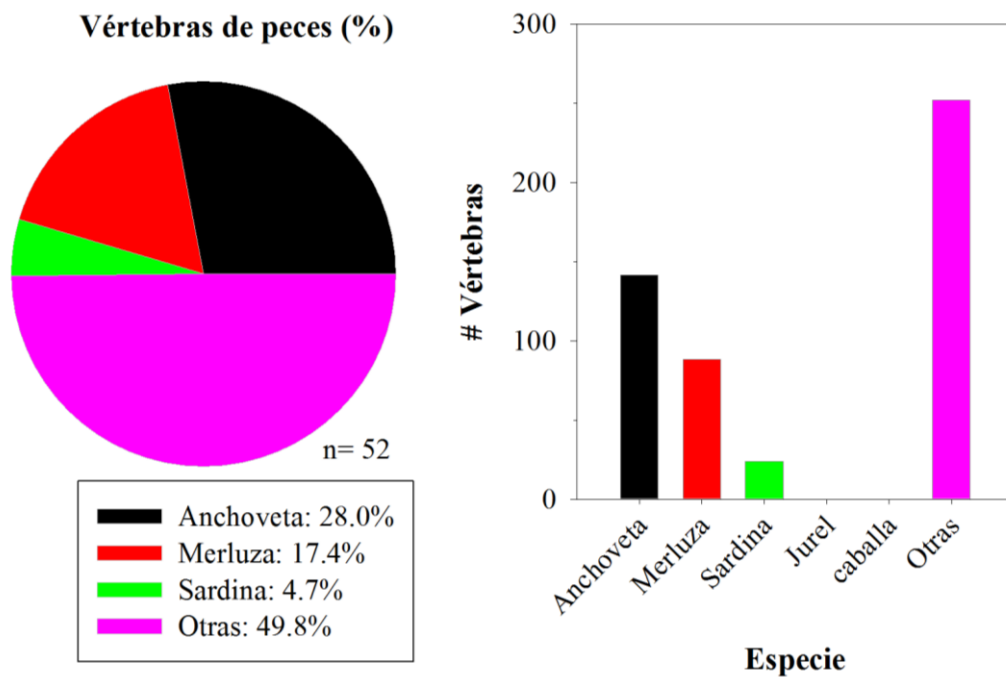
Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney. Los grupos homogéneos están ordenados de menor a mayor concentración de la mediana. Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo.

| Concentración de vértebras | Unidades Sedimentarias |              |               |              | Anova Kruskal Wallis |        | Grupos Homogéneos ( $\alpha < 0.05$ )   |
|----------------------------|------------------------|--------------|---------------|--------------|----------------------|--------|-----------------------------------------|
|                            | IV                     | III          | II            | I            | H(3, N=258)          | p      |                                         |
| T                          | 11626<br>(63)          | 4896<br>(41) | 10198<br>(99) | 6692<br>(55) | 51.08                | <0.001 | <u>III</u> <u>I</u> <u>II</u> <u>IV</u> |
| A                          | 11563<br>(63)          | 4506<br>(41) | 10680<br>(99) | 6663<br>(55) | 50.17                | <0.001 | <u>III</u> <u>I</u> <u>II</u> <u>IV</u> |
| O                          | 10027<br>(63)          | 5559<br>(41) | 10974<br>(99) | 6851<br>(55) | 25.43                | <0.001 | <u>III</u> <u>I</u> <u>IV</u> <u>II</u> |

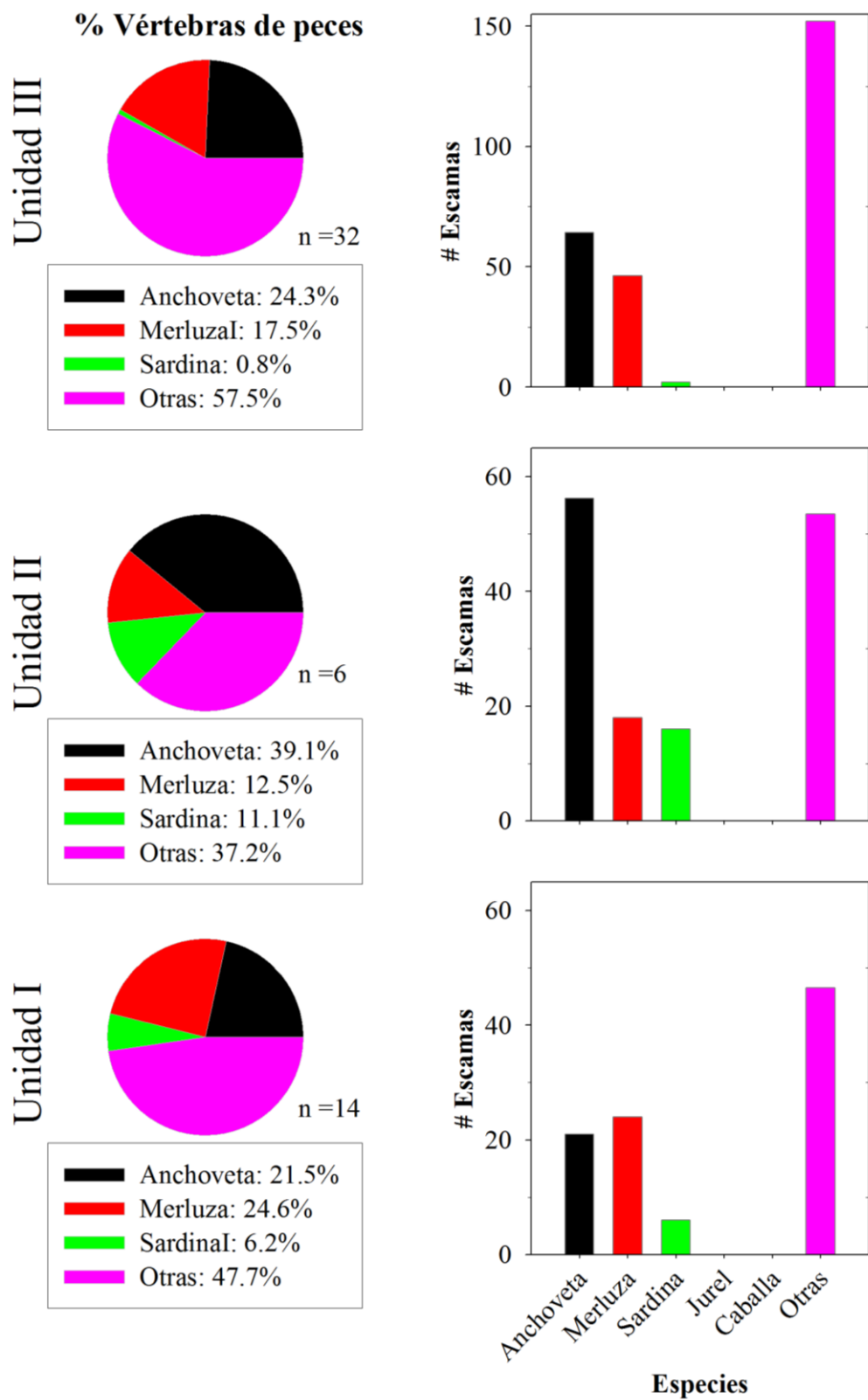
Anexo 26. Diferencias de las concentraciones de vértebras entre las Zonas Bioestratigráficas de diatomeas en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney. Los grupos homogéneos están ordenados de menor a mayor concentración de la mediana. Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo.

| Concentración de vértebras | Unidades Bioestratigráficas |              |                | Anova Kruskal Wallis |        | Grupos Homogéneos<br>( $\alpha < 0.05$ ) |
|----------------------------|-----------------------------|--------------|----------------|----------------------|--------|------------------------------------------|
|                            | Zona 1                      | Zona 2       | Zona 3         | H(2)                 | p      |                                          |
| T                          | 12579<br>(70)               | 6503<br>(61) | 14330<br>(127) | 46.45                | <0.001 | <u>2</u> <u>1</u> <u>3</u>               |
| A                          | 12263<br>(70)               | 6664<br>(61) | 14484<br>(127) | 40.45                | <0.001 | <u>2</u> <u>1</u> <u>3</u>               |
| O                          | 11220<br>(70)               | 7146<br>(61) | 15045<br>(127) | 24.99                | <0.001 | <u>2</u> <u>1</u> <u>3</u>               |



Anexo 27. Porcentajes (izquierda) y números (derecha) de vértebras de peces por especie en el testigo completo CD0701.

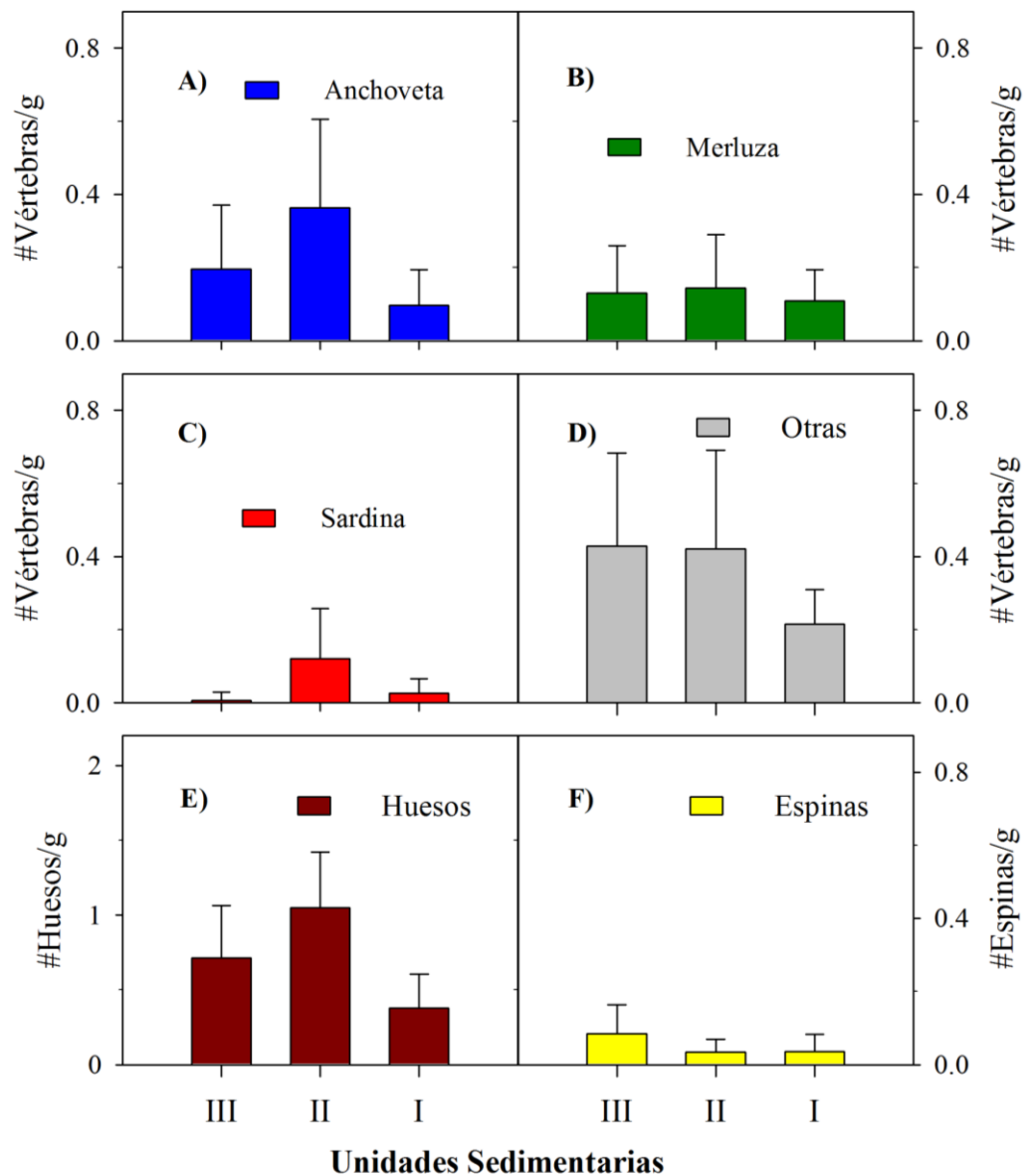


Anexo 28. Porcentajes y números de vértebras de peces por Unidad Sedimentaria (I, II, y III) del testigo CD0701.

Anexo 29. Diferencias de las concentraciones de vértebras entre las Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney. Los grupos homogéneos están ordenados de menor a mayor concentración de la mediana. Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo.

| Concentración de vértebras | Unidades Sedimentarias |            |             | Anova Kruskal Wallis |                 | Grupos Homogéneos             |
|----------------------------|------------------------|------------|-------------|----------------------|-----------------|-------------------------------|
|                            | III                    | II         | I           | H(2, N=52)           | p               | ( $\alpha<0.05$ )             |
| T                          | 952<br>(32)            | 208<br>(6) | 218<br>(14) | 10.49                | <b>&lt;0.01</b> | <u>II</u> <u>I</u> <u>III</u> |
| A                          | 907<br>(32)            | 227<br>(6) | 244<br>(14) | 8.88                 | 0.012           | <u>II</u> <u>I</u> <u>III</u> |
| S                          | 727<br>(32)            | 235<br>(6) | 416<br>(14) | 13.36                | <b>&lt;0.01</b> | <u>II</u> <u>I</u> <u>III</u> |
| O                          | 978<br>(32)            | 180<br>(6) | 220<br>(14) | 9.71                 | <b>&lt;0.01</b> | <u>II</u> <u>I</u> <u>III</u> |



Anexo 30. Promedios y desviaciones estándares de las concentraciones de restos de peces por Unidades Sedimentarias (I, II, III) en el testigo CD0701. En A, B, C, y D, se muestran las concentraciones promedios de vértebras (NV/g) de anchoveta, merluza, sardina, y otras vértebras (no identificadas) respectivamente; en E y F, se exhiben las concentraciones promedios de huesos y espinas respectivamente. Las Unidades Sedimentarias son Unidad I (27-19 cm), Unidad II (19-16 cm), y Unidad III (16-0 cm).

Anexo 31. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación de los cocientes escamas de peces a vértebras de peces (NE/NV) por Unidades Sedimentarias en el Testigo M772-029.

| Razones  | NE/NV de totales |        |        |       | NE/NV de anchoveta |       |       |       | NE/NV de otros peces |       |       |       |
|----------|------------------|--------|--------|-------|--------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| UNIDADES | IV               | III    | II     | I     | IV                 | III   | II    | I     | IV                   | III   | II    | I     |
| N        | 54               | 22     | 44     | 31    | 38                 | 13    | 35    | 24    | 9                    | 4     | 2     | 3     |
| Media    | 1.567            | 2.728  | 3.944  | 2.950 | 1.099              | 1.789 | 2.663 | 1.990 | 0.865                | 0.750 | 2.167 | 1.083 |
| Mediana  | 1.325            | 2.000  | 3.250  | 2.000 | 0.722              | 1.000 | 2.000 | 2.000 | 0.500                | 0.750 | 2.167 | 1.000 |
| Mínimo   | 0.125            | 0.250  | 0.300  | 0.250 | 0.250              | 0.250 | 0.500 | 0.250 | 0.200                | 0.500 | 0.333 | 1.000 |
| Máximo   | 5.500            | 11.000 | 12.500 | 9.250 | 5.500              | 7.000 | 8.000 | 5.000 | 2.000                | 1.000 | 4.000 | 1.250 |
| $\sigma$ | 1.144            | 2.380  | 2.690  | 2.475 | 0.983              | 1.910 | 1.811 | 1.325 | 0.706                | 0.289 | 2.593 | 0.144 |
| Cv       | 0.730            | 0.872  | 0.682  | 0.839 | 0.895              | 1.068 | 0.680 | 0.666 | 0.816                | 0.385 | 1.197 | 0.133 |

Anexo 32. Diferencias de los cocientes escamas: vértebras (NE/NV) entre las Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney, ordenados de menor a mayor razón de la mediana.  $NE_t/NV_t$ , cocientes de escamas a vértebras totales;  $NE_a/NV_a$ , cocientes de escamas a vértebras de anchoveta;  $NE_o/NV_o$ , cocientes de escamas a vértebras de otras especies (no identificadas). Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo.

| Razones     | Unidades Sedimentarias |              |              |              | Anova Kruskal Wallis |        | Grupos Homogéneos   |   |    |    |
|-------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------|---------------------|---|----|----|
|             | IV                     | III          | II           | I            | H(3)                 | p      | ( $\alpha < 0.05$ ) |   |    |    |
| $NE_t/NV_t$ | 2882<br>(54)           | 1721<br>(22) | 4358<br>(44) | 2515<br>(31) | 27.18                | <0.001 | III                 | I | IV | II |
| $NE_a/NV_a$ | 1471<br>(38)           | 662<br>(13)  | 2530<br>(35) | 1443<br>(24) | 21.04                | <0.001 | III                 | I | IV | II |
| $NE_o/NV_o$ | 76<br>(9)              | 36<br>(4)    | 21<br>(2)    | 38<br>(3)    | 1.59                 | 0.662  |                     |   |    |    |

Anexo 33. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación de los cocientes de escamas: vértebras (NE/NV) por Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701.

| Razones  | NE/NV de totales |       |       | NE/NV de anchoveta |       |       | NE/NV de merluza |       |       | NE/NV de otros peces |       |       |
|----------|------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
| UNIDADES | III              | II    | I     | III                | II    | I     | III              | II    | I     | III                  | II    | I     |
| N        | 32               | 5     | 14    | 23                 | 1     | 4     | 19               | 1     | 12    | 20                   | 4     | 8     |
| Media    | 1.01             | 0.38  | 1.07  | 1.81               | 0.50  | 1.38  | 1.59             | 0.50  | 2.38  | 0.62                 | 0.23  | 0.81  |
| Mediana  | 0.78             | 0.38  | 0.67  | 1.00               | 0.50  | 0.75  | 0.83             | 0.50  | 1.63  | 0.37                 | 0.19  | 0.61  |
| Mínimo   | 0.18             | 0.03  | 0.15  | 0.17               | 0.50  | 0.50  | 0.25             | 0.50  | 0.30  | 0.07                 | 0.07  | 0.13  |
| Máximo   | 3.88             | 0.95  | 2.75  | 8.45               | 0.50  | 3.50  | 6.00             | 0.50  | 9.00  | 3.00                 | 0.50  | 2.50  |
| $\sigma$ | 0.787            | 0.365 | 0.832 | 2.220              | 0.000 | 1.436 | 1.633            | 0.000 | 2.586 | 0.738                | 0.188 | 0.817 |
| Cv       | 0.781            | 0.968 | 0.776 | 1.228              | 0.000 | 1.044 | 1.025            | 0.000 | 1.087 | 1.193                | 0.799 | 1.009 |



Anexo 34. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación (Cv) de los índices IAF de escamas de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029.

| IAF      | En ecamas totales |       |       |       | En escamas de anchoveta |       |       |       | En escamas de merluza |       |       |       | En otras escamas |       |       |       |
|----------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| UNIDADES | IV                | III   | II    | I     | IV                      | III   | II    | I     | IV                    | III   | II    | I     | IV               | III   | II    | I     |
| N        | 60                | 34    | 92    | 54    | 44                      | 30    | 82    | 49    | 47                    | 18    | 51    | 31    | 15               | 5     | 10    | 9     |
| Media    | 2.161             | 2.062 | 2.054 | 2.254 | 2.158                   | 2.102 | 2.046 | 2.241 | 2.236                 | 2.182 | 2.137 | 2.468 | 2.000            | 2.200 | 1.700 | 2.111 |
| Mediana  | 2.127             | 2.000 | 2.000 | 2.146 | 2.000                   | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.167                 | 2.053 | 2.000 | 2.500 | 2.000            | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| Mínimo   | 1.000             | 1.364 | 1.000 | 1.500 | 1.000                   | 2.000 | 1.200 | 1.750 | 1.000                 | 1.125 | 1.000 | 1.000 | 1.000            | 2.000 | 1.000 | 1.000 |
| Máximo   | 3.000             | 3.000 | 3.000 | 3.250 | 3.000                   | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.500                 | 3.000 | 3.500 | 4.000 | 3.000            | 3.000 | 2.000 | 3.000 |
| $\sigma$ | 0.375             | 0.284 | 0.276 | 0.364 | 0.325                   | 0.231 | 0.197 | 0.355 | 0.475                 | 0.566 | 0.479 | 0.653 | 0.627            | 0.447 | 0.483 | 0.601 |
| Cv       | 0.174             | 0.138 | 0.134 | 0.162 | 0.151                   | 0.110 | 0.096 | 0.158 | 0.213                 | 0.260 | 0.224 | 0.265 | 0.313            | 0.203 | 0.284 | 0.285 |

Anexo 35. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación (Cv) de los índices IAF de escamas de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701.

| IAF      | En ecamas totales |       |       | En escamas de anchoveta |       |       | En escamas de merluza |       |       | En otras escamas |       |       |
|----------|-------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
| UNIDADES | III               | II    | I     | III                     | II    | I     | III                   | II    | I     | III              | II    | I     |
| N        | 32                | 5     | 15    | 26                      | 1     | 7     | 26                    | 2     | 15    | 21               | 4     | 9     |
| Media    | 2.28              | 2.18  | 2.14  | 2.25                    | 2.50  | 1.79  | 2.28                  | 2.00  | 2.23  | 2.66             | 2.38  | 2.16  |
| Mediana  | 2.27              | 2.50  | 2.00  | 2.04                    | 2.50  | 2.00  | 2.00                  | 2.00  | 2.00  | 2.67             | 2.25  | 2.00  |
| Mínimo   | 1.57              | 1.07  | 1.50  | 1.64                    | 2.50  | 1.00  | 1.75                  | 1.00  | 1.50  | 1.33             | 2.00  | 1.67  |
| Máximo   | 3.20              | 3.00  | 2.75  | 3.00                    | 2.50  | 2.00  | 3.50                  | 3.00  | 3.00  | 4.00             | 3.00  | 3.00  |
| $\sigma$ | 0.328             | 0.793 | 0.367 | 0.363                   | 0.000 | 0.393 | 0.452                 | 1.414 | 0.453 | 0.552            | 0.479 | 0.387 |
| Cv       | 0.144             | 0.364 | 0.172 | 0.161                   | 0.000 | 0.220 | 0.198                 | 0.707 | 0.203 | 0.208            | 0.202 | 0.180 |

Anexo 36. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación (Cv) de los índices IAF de vértebras de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo M772-029.

| IAF      | En vértebras totales |       |       |       | En vértebras de anchoveta |       |       |       | En vértebras de merluza |       |       |       | En otras vértebras |       |       |       |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|
| UNIDADES | IV                   | III   | II    | I     | IV                        | III   | II    | I     | IV                      | III   | II    | I     | IV                 | III   | II    | I     |
| N        | 55                   | 23    | 48    | 32    | 52                        | 16    | 41    | 27    | 2                       | 2     | 2     | 3     | 32                 | 14    | 16    | 15    |
| Media    | 1.998                | 1.946 | 1.946 | 2.222 | 2.007                     | 1.897 | 1.851 | 2.102 | 2.000                   | 2.000 | 2.500 | 2.333 | 2.031              | 1.964 | 2.281 | 2.489 |
| Mediana  | 2.000                | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000                     | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000                   | 2.000 | 2.500 | 2.000 | 2.000              | 2.000 | 2.000 | 2.500 |
| Mínimo   | 1.000                | 1.000 | 1.000 | 2.000 | 1.000                     | 1.000 | 1.000 | 2.000 | 2.000                   | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 1.500              | 1.000 | 1.500 | 2.000 |
| Máximo   | 3.000                | 2.250 | 3.512 | 3.000 | 3.000                     | 2.250 | 3.512 | 3.000 | 2.000                   | 2.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000              | 2.500 | 3.000 | 3.000 |
| $\sigma$ | 0.271                | 0.247 | 0.544 | 0.306 | 0.260                     | 0.356 | 0.492 | 0.244 | 0.000                   | 0.000 | 0.707 | 0.577 | 0.282              | 0.308 | 0.515 | 0.465 |
| Cv       | 0.136                | 0.127 | 0.279 | 0.138 | 0.130                     | 0.188 | 0.266 | 0.116 | 0.000                   | 0.000 | 0.283 | 0.247 | 0.139              | 0.157 | 0.226 | 0.187 |

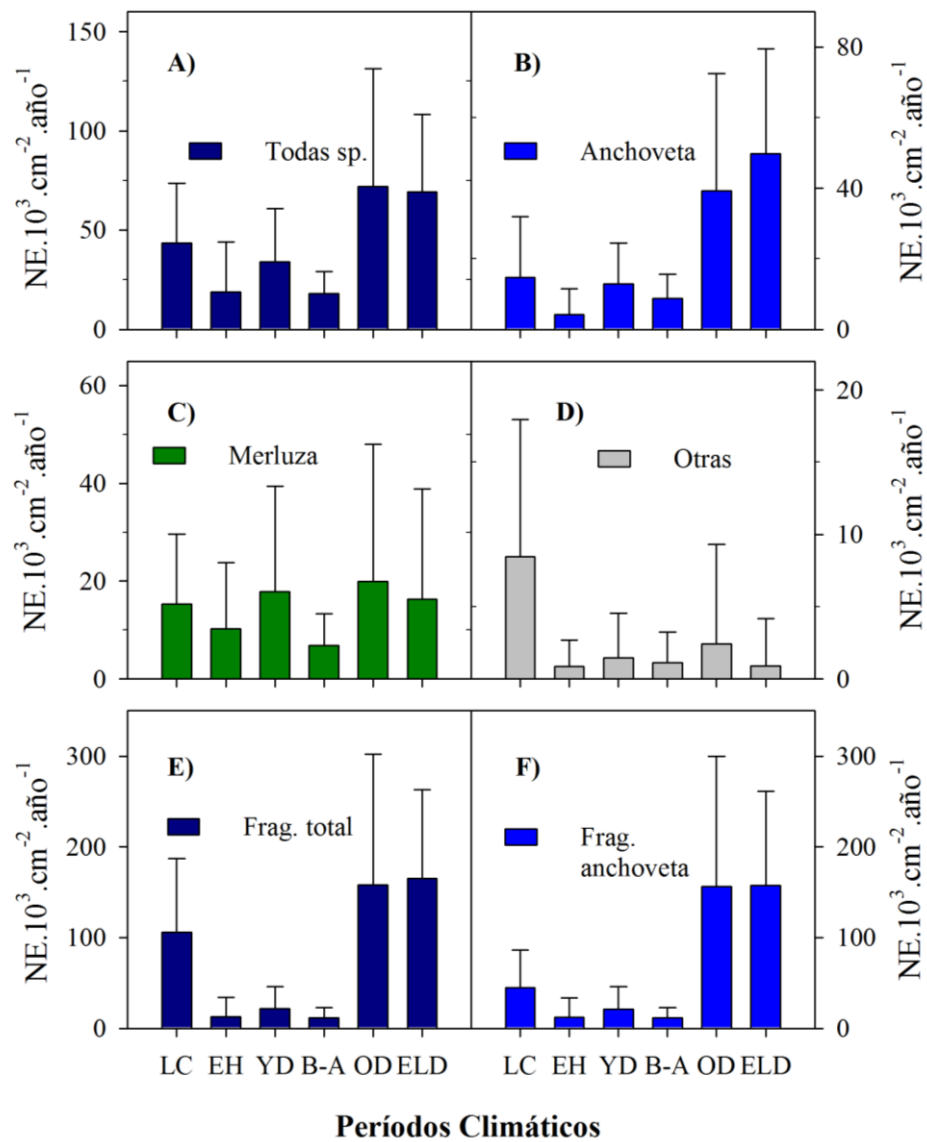
Anexo 37. Diferencias de los índices IAF de escamas totales y vértebras de peces entre las Unidades Bioestratigráficas de diatomeas en el testigo M772-029 según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney, ordenados de menor a mayor índice IAF de la mediana. ET, escamas totales; VT, vértebras totales; VA, vértebras de anchoveta; VO, otras vértebras (no identificadas). Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo.

| IAF | Unidades Bioestratigráficas |              |                | Anova Kruskal Wallis |                  | Grupos Homogéneos |          |          |
|-----|-----------------------------|--------------|----------------|----------------------|------------------|-------------------|----------|----------|
|     | Zona 1                      | Zona 2       | Zona 3         | H(2)                 | p                | (α<0.05)          |          |          |
| ET  | 8544<br>(64)                | 5555<br>(55) | 14822<br>(121) | 7.40                 | <b>0.025</b>     | <u>2</u>          | <u>1</u> | <u>3</u> |
| VT  | 4413<br>(59)                | 1865<br>(30) | 6284<br>(69)   | 13.25                | <b>&lt;0.01</b>  | <u>2</u>          | <u>1</u> | <u>3</u> |
| VA  | 3815<br>(54)                | 1416<br>(25) | 4086<br>(57)   | 5.20                 | 0.074            |                   |          |          |
| VO  | 1188<br>(36)                | 422<br>(13)  | 1394<br>(28)   | 16.71                | <b>&lt;0.001</b> | <u>2</u>          | <u>1</u> | <u>3</u> |

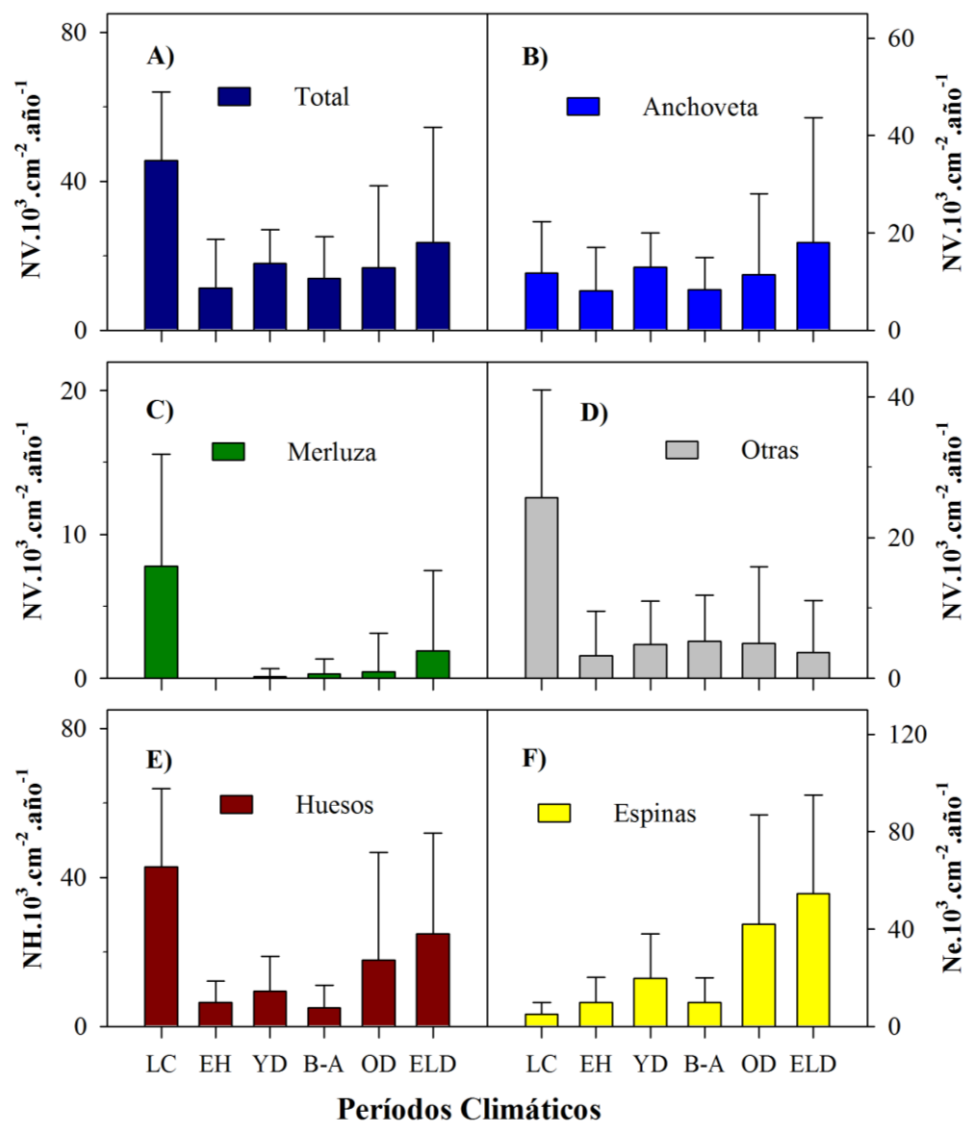
Anexo 38. Promedios, desviaciones estándares y coeficientes de variación de los índices IAF de vértebras de peces por Unidades Sedimentarias en el testigo CD0701.

| IAF      | En vértebras totales |       |       | En vértebras de anchoveta |       |       | En vértebras de merluza |       |       | En otras vértebras |       |       |
|----------|----------------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
| UNIDADES | III                  | II    | I     | III                       | II    | I     | III                     | II    | I     | III                | II    | I     |
| N        | 32                   | 6     | 15    | 28                        | 6     | 10    | 21                      | 4     | 12    | 30                 | 6     | 15    |
| Media    | 2.36                 | 2.57  | 2.39  | 2.09                      | 2.07  | 2.26  | 2.34                    | 3.11  | 2.30  | 2.45               | 3.02  | 2.37  |
| Mediana  | 2.41                 | 2.56  | 2.40  | 2.00                      | 2.09  | 2.00  | 2.00                    | 3.00  | 2.17  | 2.44               | 3.07  | 2.33  |
| Mínimo   | 1.67                 | 2.25  | 2.00  | 1.00                      | 1.25  | 1.75  | 1.50                    | 2.78  | 2.00  | 1.00               | 2.75  | 1.00  |
| Máximo   | 3.03                 | 2.86  | 3.00  | 3.50                      | 3.00  | 3.00  | 3.25                    | 3.67  | 3.00  | 3.50               | 3.16  | 3.00  |
| $\sigma$ | 0.356                | 0.239 | 0.268 | 0.663                     | 0.579 | 0.448 | 0.472                   | 0.385 | 0.348 | 0.571              | 0.167 | 0.527 |
| Cv       | 0.151                | 0.093 | 0.112 | 0.318                     | 0.279 | 0.198 | 0.202                   | 0.124 | 0.151 | 0.233              | 0.055 | 0.222 |



Anexo 39. Promedios y desviaciones estándar de los flujos de escamas por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.

En A, B, C, y D se muestran los flujos de escamas totales, de anchoqueta, merluza, y de otras escamas (no identificadas) respectivamente; en E y F exhiben los flujos de escamas fragmentadas totales y de anchoqueta respectivamente. La definición de los períodos climáticos (rótulos de los ejes horizontales) es como en la Figura 20. Los promedios de los flujos de escamas de anchoqueta, merluza y de otras no identificadas en el ELD son  $49.69 \pm 29.83$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹,  $16.25 \pm 22.61$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹ y  $0.89 \pm 3.26$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹ respectivamente; en el OD son  $39.21 \pm 33.33$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹,  $19.92 \pm 28.10$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹,  $2.41 \pm 6.89$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹ respectivamente; en el B-A son  $8.74 \pm 6.92$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹,  $6.77 \pm 6.51$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹,  $1.11 \pm 2.14$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹ respectivamente; en el YD son  $12.81 \pm 11.69$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹,  $17.81 \pm 21.57$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹,  $1.47 \pm 3.07$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹ respectivamente; en el EH son  $4.17 \pm 7.28$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹,  $10.21 \pm 13.61$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹,  $0.86 \pm 1.81$  NE.10³.cm⁻².año⁻¹ respectivamente.



Anexo 40. Promedios y desviaciones estándar de los flujos de vértebras, huesos y espinas de peces por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701. En A, B, C, y D se muestran los promedios de los flujos de vértebras totales, de anchoqueta, merluza y de otras vértebras (no identificadas) respectivamente; en E y F se muestran los promedios de los flujos de huesos y espinas respectivamente. Los períodos climáticos (rótulos de los ejes horizontales) son como en la Figura 20.

Anexo 41. Diferencias de los cocientes de escamas: vértebras de peces (NE/NV) entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney, ordenados de menor a mayor razón de la mediana. NEt/NVt, cocientes NE/NV totales; NEa/NVa, cocientes NE/NV de anchoveta; NEo/NVo, cocientes NE/NV de otros peces (no identificados). Los números entre paréntesis son los “n” válidos en cada grupo. Los Períodos climáticos son como en la Figura 20.

| Razones                          | Períodos climáticos |             |              |              |              |              | Anova Kruskal Wallis |                  | Grupos Homogéneos<br>( $\alpha < 0.05$ )                     |
|----------------------------------|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                  | LC                  | EH          | YD           | BA           | OD           | ELD          | H(5)                 | p                |                                                              |
| NE <sub>t</sub> /NV <sub>t</sub> | 1599<br>(32)        | 977<br>(14) | 1512<br>(20) | 1660<br>(21) | 9428<br>(80) | 1661<br>(16) | 45.66                | <b>&lt;0.001</b> | <u>EH</u> <u>YD</u> <u>LC</u> <u>BA</u> <u>ELD</u> <u>OD</u> |
| NE <sub>a</sub> /NV <sub>a</sub> | 1318<br>(23)        | 226<br>(5)  | 790<br>(16)  | 981<br>(18)  | 4743<br>(58) | 855<br>(13)  | 16.9                 | <b>0.005</b>     | <u>EH</u> <u>YD</u> <u>ELD</u> <u>BA</u> <u>LC</u> <u>OD</u> |
| NE <sub>o</sub> /NV <sub>o</sub> | 312<br>(20)         | 55<br>(2)   | 65<br>(3)    | 76<br>(4)    | 202<br>(8)   | 32<br>(1)    | 7.01                 | 0.220            |                                                              |

Anexo 42. Diferencias de los cocientes de escamas enteras: escamas fragmentadas (NE<sub>e</sub>/NE<sub>f</sub>) entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney, ordenados de menor a mayor según la mediana. En la primera fila se muestra las diferencias de los cocientes de escamas totales (NE<sub>e</sub>/NE<sub>f</sub> t), y en la segunda fila se muestran las diferencias de los cocientes de escamas de anchoveta (NE<sub>e</sub>/NE<sub>f</sub> a). Los números entre paréntesis son los “n” válidos en cada grupo. Los Períodos climáticos son como en la Figura 20.

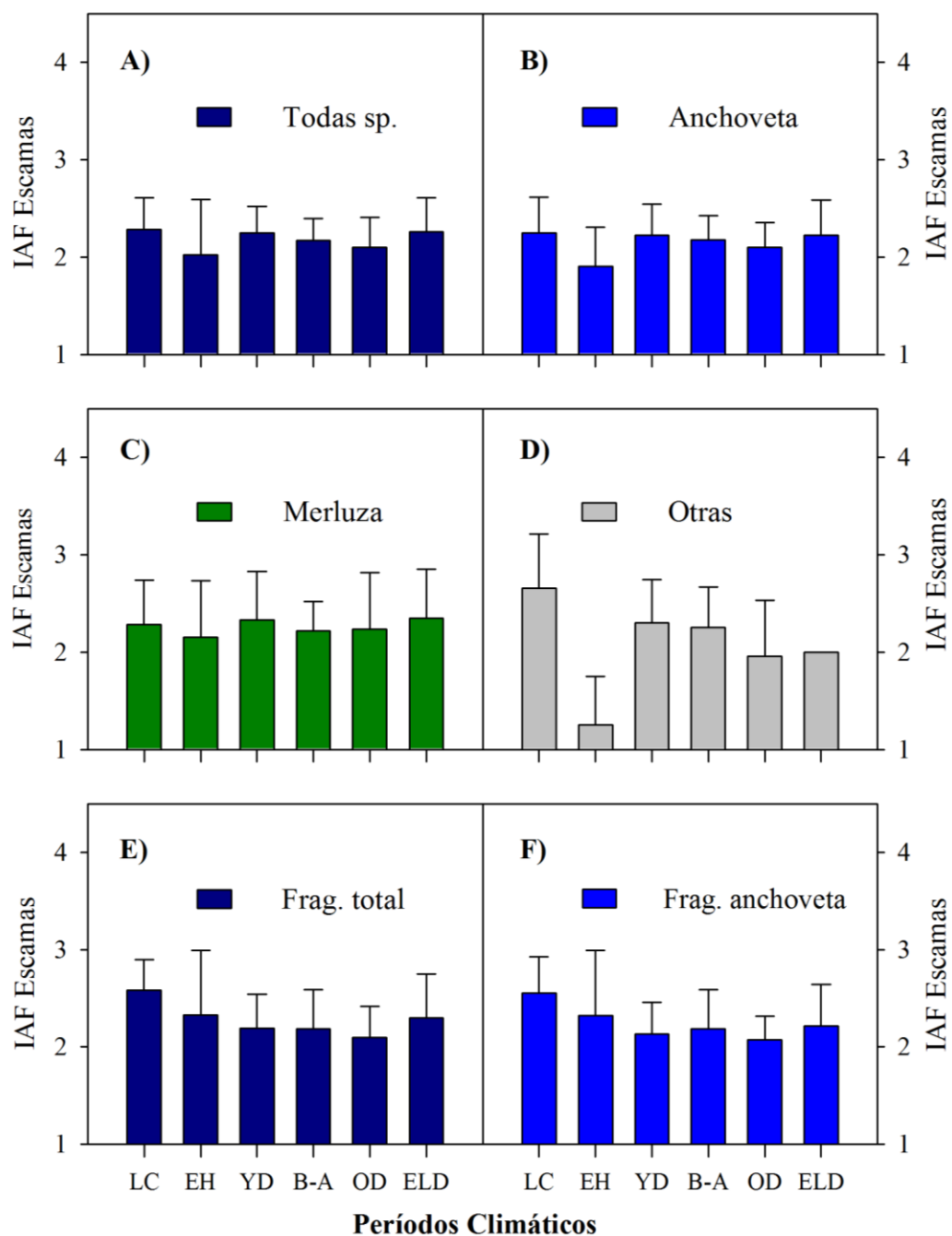
| Razones                               | Períodos climáticos |              |              |              |                |              | Anova Kruskal Wallis |                  | Grupos Homogéneos<br>( $\alpha < 0.05$ )                     |
|---------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|----------------------|------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                       | LC                  | EH           | YD           | BA           | OD             | ELD          | H(5)                 | p                |                                                              |
| NE <sub>e</sub> /NE <sub>f</sub><br>t | 3258<br>(32)        | 2057<br>(12) | 2414<br>(16) | 2455<br>(15) | 14015<br>(131) | 2367<br>(24) | 25.9                 | <b>&lt;0.001</b> | <u>EH</u> <u>ELD</u> <u>YD</u> <u>BA</u> <u>LC</u> <u>OD</u> |
| NE <sub>e</sub> /NE <sub>f</sub><br>a | 2646<br>(26)        | 660<br>(5)   | 1966<br>(15) | 1856<br>(14) | 11104<br>(119) | 1870<br>(21) | 12.63                | <b>0.027</b>     | <u>EH</u> <u>BA</u> <u>ELD</u> <u>YD</u> <u>LC</u> <u>OD</u> |



Anexo 43. Promedios, desviaciones estándares y coeficiente de variación de los índices IAF de escamas por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.

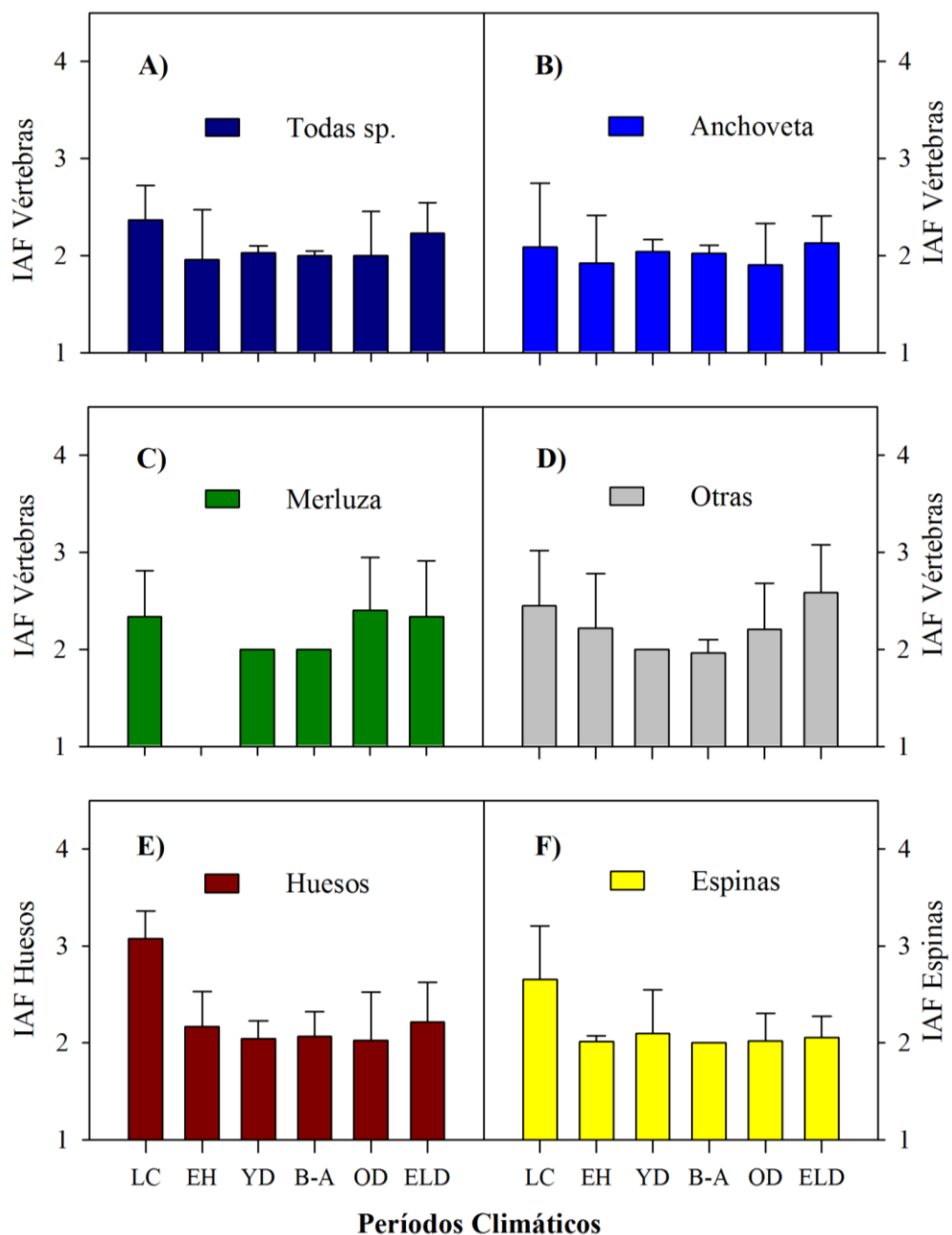
Los períodos climáticos (LC, EH, YD, BA, OD y ELD) son como en la Figura 20.

| Momentos estadísticos | IAF de ecamas totales |       |       |       |       |       | IAF de escamas de anchoveta |       |       |       |       |       | IAF de escamas de merluza |       |       |       |       |       | IAF de otras escamas |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | LC                    | EH    | YD    | BA    | OD    | ELD   | LC                          | EH    | YD    | BA    | OD    | ELD   | LC                        | EH    | YD    | BA    | OD    | ELD   | LC                   | EH    | YD    | BA    | OD    | ELD   |
| N                     | 32                    | 17    | 22    | 22    | 153   | 26    | 26                          | 7     | 18    | 20    | 135   | 25    | 26                        | 16    | 17    | 15    | 86    | 13    | 21                   | 4     | 5     | 6     | 22    | 2     |
| Media                 | 2.28                  | 2.02  | 2.25  | 2.17  | 2.09  | 2.25  | 2.25                        | 1.90  | 2.22  | 2.18  | 2.10  | 2.21  | 2.28                      | 2.16  | 2.33  | 2.20  | 2.24  | 2.35  | 2.66                 | 1.25  | 2.30  | 2.25  | 1.95  | 2.00  |
| Mediana               | 2.27                  | 2.00  | 2.23  | 2.05  | 2.00  | 2.13  | 2.04                        | 2.00  | 2.07  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00                      | 2.00  | 2.29  | 2.02  | 2.00  | 2.20  | 2.67                 | 1.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  |
| Mínimo                | 1.57                  | 1.00  | 1.67  | 1.88  | 1.00  | 1.73  | 1.64                        | 1.00  | 2.00  | 2.00  | 1.20  | 1.75  | 1.75                      | 1.00  | 1.00  | 1.83  | 1.00  | 1.57  | 1.33                 | 1.00  | 2.00  | 2.00  | 1.00  | 2.00  |
| Máximo                | 3.20                  | 3.00  | 2.89  | 2.67  | 3.00  | 3.25  | 3.00                        | 2.25  | 3.00  | 2.67  | 3.00  | 3.00  | 3.50                      | 3.50  | 3.00  | 3.00  | 4.00  | 3.25  | 4.00                 | 2.00  | 3.00  | 3.00  | 3.00  | 2.00  |
| $\sigma$              | 0.328                 | 0.568 | 0.270 | 0.233 | 0.308 | 0.354 | 0.363                       | 0.408 | 0.323 | 0.257 | 0.252 | 0.360 | 0.452                     | 0.578 | 0.493 | 0.301 | 0.581 | 0.502 | 0.552                | 0.500 | 0.447 | 0.418 | 0.575 | 0.000 |
| Cv                    | 0.144                 | 0.281 | 0.120 | 0.108 | 0.147 | 0.158 | 0.161                       | 0.214 | 0.146 | 0.118 | 0.120 | 0.162 | 0.198                     | 0.268 | 0.212 | 0.137 | 0.260 | 0.214 | 0.208                | 0.400 | 0.194 | 0.186 | 0.294 | 0.000 |



Anexo 44. Promedios y desviaciones estándar de los Índices IAF de escamas de peces por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.

A, B, C y D, índices IAF de escamas totales, escamas de anchoqueta, merluza y de otras especies (no identificadas) respectivamente; E y F, índices IAF de escamas fragmentadas del total de especies y de anchoqueta respectivamente. La definición de los períodos climáticos es como en la Figura 20.



Anexo 45. Promedios y desviaciones estándar de los Índices IAF de vértebras, huesos y espinas de peces por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.

A, B, C y D, índices IAF de vértebras totales, vértebras de anchoveta, merluza y de otras especies (no identificadas) respectivamente; E y F, índices IAF de huesos y espinas respectivamente. Los períodos climáticos son como en la Figura 20.

Anexo 46. Promedios, desviaciones estándares y coeficiente de variación de los índices IAF de vértebras de peces por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701. Los períodos climáticos (LC, EH, YD, BA, OD y ELD) son como en la Figura 20.

| Momentos estadísticos | IAF de vértebras totales |       |       |       |       |       | IAF de vértebras de anchoveta |       |       |       |       |       | IAF de otras vértebras |       |       |       |       |       |
|-----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | LC                       | EH    | YD    | BA    | OD    | ELD   | LC                            | EH    | YD    | BA    | OD    | ELD   | LC                     | EH    | YD    | BA    | OD    | ELD   |
| N                     | 32                       | 15    | 20    | 21    | 86    | 16    | 28                            | 13    | 20    | 20    | 70    | 13    | 30                     | 7     | 12    | 14    | 38    | 6     |
| Media                 | 2.36                     | 1.96  | 2.03  | 2.00  | 1.99  | 2.23  | 2.09                          | 1.92  | 2.04  | 2.02  | 1.90  | 2.13  | 2.45                   | 2.21  | 2.00  | 1.96  | 2.21  | 2.58  |
| Mediana               | 2.41                     | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.08  | 2.00                          | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.44                   | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.75  |
| Mínimo                | 1.67                     | 1.00  | 2.00  | 1.83  | 1.00  | 2.00  | 1.00                          | 1.00  | 2.00  | 2.00  | 1.00  | 2.00  | 1.00                   | 1.50  | 2.00  | 1.50  | 1.00  | 2.00  |
| Máximo                | 3.03                     | 3.00  | 2.20  | 2.11  | 3.51  | 3.00  | 3.50                          | 3.00  | 2.50  | 2.33  | 3.51  | 3.00  | 3.50                   | 3.00  | 2.00  | 2.00  | 3.00  | 3.00  |
| $\sigma$              | 0.356                    | 0.520 | 0.069 | 0.048 | 0.455 | 0.312 | 0.663                         | 0.494 | 0.121 | 0.080 | 0.429 | 0.280 | 0.571                  | 0.567 | 0.000 | 0.134 | 0.472 | 0.492 |
| Cv                    | 0.151                    | 0.266 | 0.034 | 0.024 | 0.228 | 0.140 | 0.318                         | 0.257 | 0.059 | 0.040 | 0.225 | 0.131 | 0.233                  | 0.256 | 0.000 | 0.068 | 0.214 | 0.190 |

**Anexo 47. Diferencias de los cocientes NE/NE en muestras agrupadas entre los períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.**

La prueba es según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis. Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney, ordenados de menor a mayor NE/NE de la mediana. Los cocientes son de escamas de anchoveta a escamas totales (NEa/NEt), de escamas de anchoveta a escamas de merluza (NEa/NEm). Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo. Los períodos climáticos son como en la Figura 20.

| Cocientes | Períodos climáticos |           |           |              |                |            | Anova Kruskal Wallis |                 | Grupos Homogéneos<br>( $\alpha < 0.05$ ) |
|-----------|---------------------|-----------|-----------|--------------|----------------|------------|----------------------|-----------------|------------------------------------------|
|           | LC                  | EH        | YD        | BA           | OD             | ELD        | H(5)                 | p               |                                          |
| NEa/NEt   | 68<br>(5)           | 34<br>(4) | 86<br>(4) | 107.5<br>(5) | 1132.5<br>(33) | 168<br>(5) | 16.54                | <b>&lt;0.01</b> | <u>EH LC YD BA ELD OD</u>                |
| NEa/NEm   | 94<br>(5)           | 30<br>(4) | 77<br>(4) | 105<br>(5)   | 998<br>(31)    | 181<br>(5) | 14.24                | <b>0.014</b>    | <u>EH YD LC BA ELD OD</u>                |

**Anexo 48. Diferencias de los Indicadores de Preservación (IP) en muestras agrupadas entre los períodos climáticos en los testigos M772-029 & CD0701.**

La prueba de análisis de varianza es como en la Tabla anterior. Los IP son cocientes de escamas a vértebras totales (NEt/NVt), cocientes de escamas a vértebras de anchoveta (NEa/NVa), índices IAF de escamas de anchoveta (IAF Ea), índices IAF de otras escamas (IAF Eo), índices IAF de vértebras totales (IAF Vt), índices IAF de otras vértebras (IAF Vo). Los números en paréntesis son los “n” válidos en cada grupo. Los períodos climáticos son como en la Figura 20.

| IP      | Períodos climáticos |           |            |            |             |            | Anova Kruskal Wallis |                 | Grupos Homogéneos<br>( $\alpha < 0.05$ ) |
|---------|---------------------|-----------|------------|------------|-------------|------------|----------------------|-----------------|------------------------------------------|
|         | LC                  | EH        | YD         | BA         | OD          | ELD        | H(5)                 | p               |                                          |
| NEt/NVt | 50<br>(5)           | 73<br>(4) | 82<br>(4)  | 95<br>(5)  | 913<br>(29) | 166<br>(5) | 13.14                | <b>0.022</b>    | <u>LC EH YD BA ELD OD</u>                |
| NEa/NVa | 99<br>(5)           | 34<br>(4) | 66<br>(4)  | 90<br>(5)  | 916<br>(29) | 175<br>(5) | 14.78                | <b>0.011</b>    | <u>EH YD BA LC ELD OD</u>                |
| IAF Ea  | 215<br>(5)          | 37<br>(3) | 149<br>(4) | 190<br>(5) | 778<br>(33) | 172<br>(5) | 14.21                | <b>0.014</b>    | <u>EH YD ELD BA LC OD</u>                |
| IAF Eo  | 138<br>(5)          | 12<br>(3) | 67<br>(3)  | 76<br>(4)  | 208<br>(15) | 28<br>(2)  | 16.17                | <b>&lt;0.01</b> | <u>EH ELD YD BA LC OD</u>                |
| IAF Vt  | 221<br>(5)          | 83<br>(4) | 103<br>(4) | 99<br>(5)  | 679<br>(29) | 196<br>(5) | 13.2                 | <b>0.022</b>    | <u>EH BA YD ELD LC OD</u>                |
| IAF Vo  | 158<br>(5)          | 98<br>(4) | 58<br>(4)  | 61<br>(5)  | 452<br>(21) | 164<br>(5) | 12.22                | <b>0.032</b>    | <u>YD BA EH LC ELD OD</u>                |

Anexo 49. Horizontes donde los sedimentos presentaron macro-bioturbación (MB) a lo largo del testigo M772-029.

En los casos donde los %s de MB fue mayor a los %s de micro-bioturbación (mB) se muestran los valores en negrita. La columna de edades corresponde al modelo Edad ( $Z_m$ ) calculado a partir de la relación entre las dataciones  $^{14}\text{C}$  calibradas (Cal. ka BP) y la masa acumulada del sedimento. Los períodos climáticos: EH, Early Holocene; B-A, *Bølling-Allerød*; OD, Oldest Dryas; ELD, Early Last Deglaciation.

| Prof.<br>(cm) | Unidad<br>Sedimentaria | Períodos<br>Climáticos | Modelo de<br>Edad | %<br>Bioturbación | % MB         | % mB  |
|---------------|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------|-------|
| 86            | IV                     | EH                     | 10661.6           | 13.21             | <b>10.57</b> | 2.64  |
| 280           | IV                     | B-A                    | 13225.8           | 8.96              | <b>7.17</b>  | 1.79  |
| 295           | IV                     | B-A                    | 13455.8           | 9.57              | <b>7.65</b>  | 1.91  |
| 300           | IV                     | B-A                    | 13531.3           | 12.23             | <b>12.23</b> | 0     |
| 712           | II                     | OD                     | 15637.8           | 48.33             | 19.33        | 29    |
| 717           | II                     | OD                     | 15653.7           | 57.29             | <b>51.56</b> | 5.73  |
| 722           | II                     | OD                     | 15668.1           | 44.78             | <b>40.3</b>  | 4.48  |
| 738           | II                     | OD                     | 15718.8           | 21.26             | <b>11.7</b>  | 9.57  |
| 752           | II                     | OD                     | 15768.9           | 22.02             | 4.4          | 17.61 |
| 838           | II                     | OD                     | 16064.8           | 11.11             | 3.33         | 7.77  |
| 882           | II                     | OD                     | 16215.8           | 16.66             | 6.66         | 10    |
| 967           | II                     | OD                     | 16494.4           | 38.2              | 11.46        | 26.74 |
| 972           | II                     | OD                     | 16511.3           | 50.16             | 15.05        | 35.12 |
| 992           | II                     | OD                     | 16593.7           | 53.1              | <b>29.21</b> | 23.9  |
| 1012          | II                     | OD                     | 16688.5           | 30.29             | <b>18.18</b> | 12.12 |
| 1016          | II                     | OD                     | 16701.3           | 25.44             | <b>13.99</b> | 11.45 |
| 1058          | II                     | OD                     | 16861.3           | 17.4              | <b>12.18</b> | 5.22  |
| 1063          | II                     | OD                     | 16879.8           | 31.44             | <b>18.87</b> | 12.58 |
| 1067          | I                      | OD                     | 16893.3           | 39.83             | <b>23.9</b>  | 15.93 |
| 1097          | I                      | OD                     | 17016.8           | 20.83             | 8.33         | 12.5  |
| 1102          | I                      | OD                     | 17033.9           | 31.52             | 9.45         | 22.06 |
| 1112          | I                      | OD                     | 17072.2           | 32.6              | <b>22.82</b> | 9.78  |
| 1117          | I                      | OD                     | 17093.2           | 32.02             | <b>19.21</b> | 12.81 |
| 1122          | I                      | OD                     | 17117.7           | 28.54             | 8.56         | 19.98 |

...Continuación de tabla anterior.

| Prof.<br>(cm) | Unidad<br>Sedimentaria | Períodos<br>Climáticos | Modelo de<br>Edad | %<br>Bioturbación | % MB         | % mB  |
|---------------|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------|-------|
| 1127          | I                      | OD                     | 17139.2           | 28.31             | 8.49         | 19.81 |
| 1142          | I                      | OD                     | 17211.5           | 29.55             | 11.82        | 17.73 |
| 1147          | I                      | OD                     | 17232.7           | 20.03             | <b>20.03</b> | 0     |
| 1152          | I                      | OD                     | 17250.9           | 24.31             | <b>24.31</b> | 0     |
| 1158          | I                      | OD                     | 17265             | 32.47             | <b>19.48</b> | 12.99 |
| 1162          | I                      | OD                     | 17279.2           | 47.05             | 18.82        | 28.23 |
| 1167          | I                      | OD                     | 17294.7           | 46.77             | 18.71        | 28.06 |
| 1172          | I                      | OD                     | 17311.9           | 36.83             | 11.05        | 25.78 |
| 1187          | I                      | OD                     | 17370.8           | 33.35             | 6.67         | 26.68 |
| 1192          | I                      | OD                     | 17393.2           | 59.05             | 23.62        | 35.43 |
| 1202          | I                      | OD                     | 17436.5           | 38.44             | 15.38        | 23.07 |
| 1207          | I                      | OD                     | 17457.6           | 29.08             | 8.72         | 20.36 |
| 1222          | I                      | ELD                    | 17519.8           | 61.83             | 12.37        | 49.46 |
| 1227          | I                      | ELD                    | 17538.2           | 39.67             | 7.93         | 31.73 |
| 1232          | I                      | ELD                    | 17556.8           | 24.92             | 7.48         | 17.45 |
| 1246          | I                      | ELD                    | 17615.9           | 22.28             | 8.91         | 13.37 |
| 1251          | I                      | ELD                    | 17637.2           | 54.86             | 10.97        | 43.89 |
| 1322          | I                      | ELD                    | 17938.9           | 25.21             | 2.52         | 22.69 |
| 1327          | I                      | ELD                    | 17958             | 20.39             | 4.08         | 16.31 |
| 1337          | I                      | ELD                    | 17995.2           | 36.3              | <b>25.41</b> | 10.89 |
| 1342          | I                      | ELD                    | 18010.6           | 43                | <b>43</b>    | 0     |

Anexo 50. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre el índice de bioturbación y los diferentes proxies en los testigos M772-029 y CD0701 compuestos.

LC, EH, YD, BA, OD y ELD son los períodos climáticos definidos como en la Figura 20. En negrita se indica la variabilidad compartida significativa después de la corrección para comparaciones múltiples ( $p < 0.0038$ ). Los niveles de probabilidades significantes son como sigue:  $p < 0.05$  (\*),  $p < 0.01$  (\*),  $p < 0.0038$  (\*\*\*)).

|           | A                              | B                              | C                             | D                        | E                        | F                        | G                              | H                       | I                       | J                              | K                       | L                       | M                       |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| IB        | <b>0.18</b><br>N=289<br>p=.002 | <b>0.22</b><br>N=289<br>p=.000 | 0.06<br>N=289<br>p=.302       | -0.09<br>N=289<br>p=.123 | -0.09<br>N=289<br>p=.109 | -0.01<br>N=289<br>p=.860 | <b>0.27</b><br>N=183<br>p=.000 | 0.18<br>N=133<br>*      | 0.23<br>N=38<br>p=.162  | <b>0.23</b><br>N=230<br>p=.000 | 0.23<br>N=135<br>**     | 0.10<br>N=190<br>p=.184 | 0.11<br>N=107<br>p=.280 |
| IB en LC  | <b>-0.50</b><br>N=32<br>p=.003 | -0.22<br>N=32<br>p=.227        | -0.52<br>N=32<br>**           | -0.26<br>N=32<br>p=.148  | -0.10<br>N=32<br>p=.569  | 0.33<br>N=32<br>p=.061   | -0.37<br>N=32<br>*             | -0.21<br>N=23<br>p=.336 | -0.10<br>N=20<br>p=.669 | 0.28<br>N=26<br>p=.167         | 0.31<br>N=20<br>p=.183  | -0.19<br>N=32<br>p=.292 | -0.11<br>N=30<br>p=.560 |
| IB en EH  | 0.53<br>N=20<br>*              | 0.50<br>N=20<br>*              | <b>0.67</b><br>N=20<br>p=.001 | 0.32<br>N=20<br>p=.166   | 0.55<br>N=20<br>*        | 0.55<br>N=20<br>*        | 0.03<br>N=14<br>p=.916         | 0.69<br>N=5<br>p=.200   | --<br>N=2<br>p=---      | -0.09<br>N=7<br>p=.847         | -0.31<br>N=7<br>p=.498  | 0.13<br>N=15<br>p=.647  | -0.27<br>N=7<br>p=.554  |
| IB en YD  | <b>0.62</b><br>N=22<br>p=.002  | 0.25<br>N=22<br>p=.256         | 0.50<br>N=22<br>*             | 0.45<br>N=22<br>*        | 0.13<br>N=22<br>p=.570   | 0.17<br>N=22<br>p=.445   | 0.58<br>N=20<br>**             | 0.33<br>N=16<br>p=.208  | 1.00<br>N=3<br>*        | -0.19<br>N=18<br>p=.446        | 0.12<br>N=13<br>p=.701  | 0.24<br>N=20<br>p=.299  | --<br>N=12<br>p=---     |
| IB en BA  | 0.43<br>N=23<br>*              | 0.10<br>N=23<br>p=.638         | 0.16<br>N=23<br>p=.459        | 0.10<br>N=23<br>p=.652   | 0.25<br>N=23<br>p=.242   | 0.30<br>N=23<br>p=.170   | 0.29<br>N=21<br>p=.202         | 0.14<br>N=18<br>p=.568  | 0.19<br>N=4<br>p=.815   | -0.36<br>N=20<br>p=.122        | -0.25<br>N=13<br>p=.402 | -0.42<br>N=21<br>p=.056 | -0.37<br>N=14<br>p=.195 |
| IB en OD  | -0.06<br>N=167<br>p=.479       | -0.07<br>N=167<br>p=.370       | -0.04<br>N=167<br>p=.607      | -0.09<br>N=167<br>p=.232 | -0.11<br>N=167<br>p=.146 | -0.12<br>N=167<br>p=.111 | 0.04<br>N=80<br>p=.741         | 0.10<br>N=58<br>p=.448  | 0.43<br>N=8<br>p=.285   | 0.14<br>N=135<br>p=.097        | 0.13<br>N=70<br>p=.296  | 0.25<br>N=86<br>*       | 0.32<br>N=38<br>*       |
| IB en ELD | 0.06<br>N=25<br>p=.792         | 0.22<br>N=25<br>p=.302         | -0.24<br>N=25<br>p=.246       | -0.01<br>N=25<br>p=.957  | -0.32<br>N=25<br>p=.119  | -0.35<br>N=25<br>p=.088  | 0.26<br>N=16<br>p=.330         | 0.13<br>N=13<br>p=.672  | --<br>N=1<br>p=---      | 0.10<br>N=24<br>p=.652         | 0.05<br>N=12<br>p=.871  | 0.12<br>N=16<br>p=.648  | 0.03<br>N=6<br>p=.953   |

IB: Índice de bioturbación

A: Flujo de escamas totales

B: Flujo de escamas de anchoveta

C: Flujo de escamas de merluza

D: Flujo de otras escamas

E: Flujo de vértebras totales

F: Flujo de vértebras de anchoveta

G: #Escamas/#vértebras Totales

H: #Escamas/#vértebras de anchoveta

I: #Escamas/#vértebras de peces no identificados

J: #Escamas de anchoveta/#escamas totales

K: #Escamas de anchoveta/#escamas de merluza

L: IAF en vértebras totales

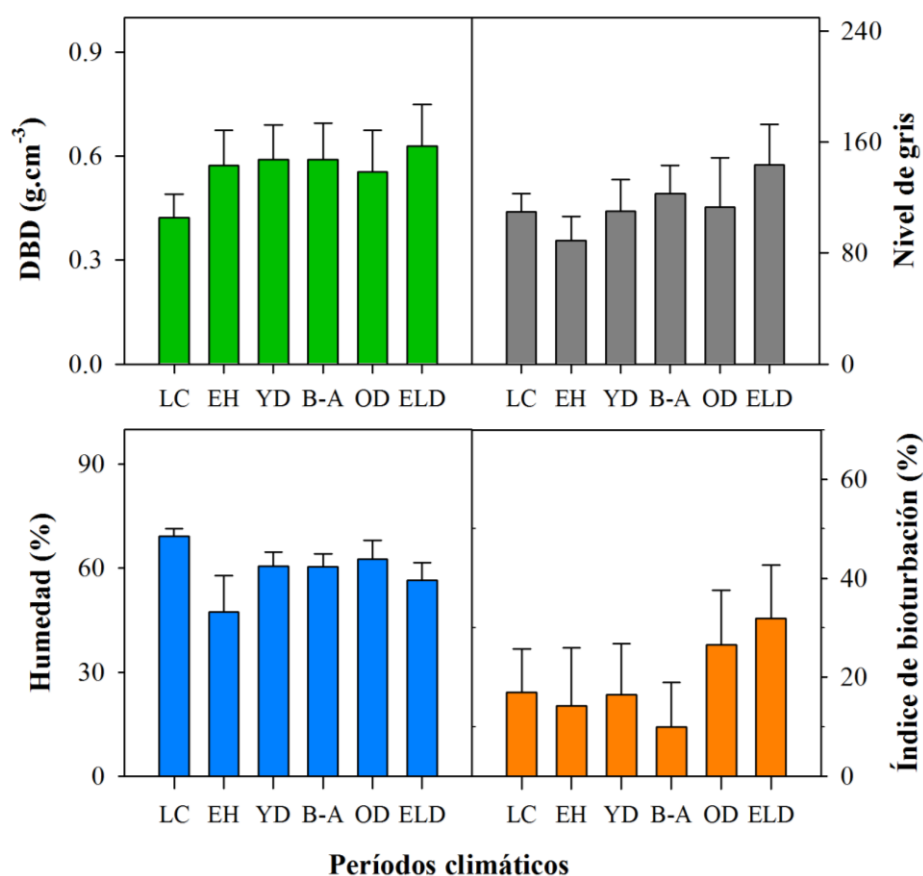
M: IAF en otras vértebras



Anexo 51. Diferencia de los Índices de bioturbación en las estructuras sedimentarias entre los períodos climáticos de interés según el análisis de varianza de una vía de Kruskal Wallis.

Los grupos homogéneos fueron determinados mediante la prueba U de Mann-Whitney, ordenados de menor a mayor los índices de Bioturbación de la mediana. Los períodos climáticos son como en la Figura 20.

| Variable | Períodos climáticos |      |      |      |       |      | Anova Kruskal Wallis |                  | Grupos Homogéneos |    |    |    |     |    |
|----------|---------------------|------|------|------|-------|------|----------------------|------------------|-------------------|----|----|----|-----|----|
|          | LC                  | EH   | YD   | BA   | OD    | ELD  | H(5)                 | p                | (α<0.05)          |    |    |    |     |    |
| % Biot.  | 3330                | 1666 | 2186 | 1345 | 28280 | 5098 | 45.66                | <b>&lt;0.001</b> | BA                | EH | YD | LC | ELD | OD |
| N valido | 32                  | 20   | 22   | 23   | 167   | 25   |                      |                  |                   |    |    |    |     |    |



Anexo 52. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros sedimentológicos y del índice de bioturbación por períodos climáticos en los testigos M772-029 y CD0701.

La definición de los períodos climáticos es como en la Figura 20.



UNIVERSIDAD PERUANA  
CAYETANO HEREDIA

---

Escuela de Postgrado Víctor Alzamora Castro

## Declaración del Autor

La presente tesis es un trabajo original y no es el resultado de trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.

Título del trabajo de Investigación: **VARIABILIDAD MILENIAL DE LAS POBLACIONES DE PECES INFERIDA A PARTIR DE ESCAMAS Y RESTOS ÓSEOS EN SEDIMENTOS LAMINADOS FRENTE A CHIMBOTE, DESDE LA ÚLTIMA DEGLACIACIÓN AL INICIO DEL HOLOCENO.**

Nombre del Autor: Felix Arturo Campusano Baltazar

Programa: Maestría en Ciencias del Mar

---

---

Firma del autor

DNI: 40496784

Fecha: ....09/2013