

t  
639.2  
C22a

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA**



**ESTADO DE PRESERVACIÓN DE RESTOS DE  
ESCAMAS Y ESQUELETOS ÓSEOS DE  
PECES EN LOS SEDIMENTOS MARINOS  
FRENTE A PERÚ**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO PESQUERO**

**FÉLIX ARTURO CAMPUSANO BALTAZAR**

**Callao, Agosto, 2015**

**PERÚ**

**ESTADO DE PRESERVACIÓN DE  
RESTOS DE ESCAMAS Y  
ESQUELETOS ÓSEOS DE PECES EN  
LOS SEDIMENTOS MARINOS  
FRENTE A PERÚ**

**JURADO EVALUADOR DE LA TESIS**

**Mg. Walter Alvites Ruestas (Presidente)**

**Mg. Etelvina C. León Ch. (Secretaria)**

**Mg. Arnulfo A. Mariluz (Vocal)**

**ASESOR DE LA TESIS**

**Ing. Roberto Quesquén Fernández**

**Libro de sustentación N°: 02**

**Acta de sustentación N°: 98 y 99**

**Fecha de aprobación de la tesis: 12-08-2015**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Metodia 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 investigación fue posible gracias al financiamiento de los proyectos LMI-DISCOH y MIXPALEO. Estos proyectos contaron con el financiamiento y el asesoramiento internacional del Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD). Estos proyectos se realizaron en el marco de cooperación internacional IMARPE-IRD.

Agradecimiento a los doctores. Dimitri Gutiérrez (Dirección de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático, IMARPE, Perú), David Field (Hawaii Pacific University, College of Natural Sciences, United States), y Renato Salvatelli (Institute of Geoscience, Department of Geology, Kiel University, Germany) por su apoyo y guía en el desarrollo de esta investigación, y por las sugerencias y revisiones del manuscrito de este trabajo.

Al Ing. Federico Velazco (Laboratorio de Geología Marina, Dirección de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático, IMARPE, Perú) por facilitar el uso de los diferentes testigos de sedimentos. A Robert Marquina (Laboratorio de Bentos Marino, Dirección de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático, IMARPE, Perú) por el apoyo en la colección de los testigos de sedimentos D0701G-43, D0801G-7, D0701G-47, D0801G-4, D0801G-6, y D0701M-4.

Al Dr. Abdel Sifeddine, 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.

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, Iván, Cathy y Maricarmen, y a mis amigos de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos por su apoyo a lo largo de los cinco años de estudios.

Mi profundo agradecimiento a mis padres Metodía 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.**

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| ÍNDICE .....  | 1  |
| Lista de figuras .....  | 4  |
| Lista de gráficos .....   | 5  |
| Lista de tablas .....   | 6  |
| RESUMEN.....  | 7  |
| ABSTRACT .....  | 8  |
| INTRODUCCIÓN .....  | 9  |
| I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....                                      | 12 |
| 1.1. Identificación del problema.....   | 12 |
| 1.2. Formulación del problema .....   | 14 |
| 1.2.1. Pregunta general de investigación:.....                                  | 14 |
| 1.2.2. Preguntas específicas de investigación: .....                            | 14 |
| 1.3. Objetivos de la investigación.....   | 14 |
| 1.3.1. Objetivo General.....  | 14 |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....   | 15 |
| 1.4. Justificación .....  | 16 |
| 1.5. Importancia.....   | 16 |
| II. MARCO TEÓRICO.....  | 18 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación.....                                      | 18 |
| 2.2. Bases teóricas .....   | 21 |
| 2.2.1 Composición de escamas y restos óseos de peces .....                      | 21 |
| 2.2.2. Composición química y mineralógica de apatita biogénica .....            | 22 |
| 2.2.3. Preservación y geoquímica de la degradación de los restos de peces ..... | 25 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.3.   | Definiciones de términos básicos .....                                    | 28 |
| III.   | VARIABLES E HIPÓTESIS .....   | 34 |
| 3.1.   | Variables de la investigación .....                                       | 34 |
| 3.2.   | Operacionalización de las variables .....                                 | 34 |
| 3.3.   | Hipótesis general e hipótesis específicas .....                           | 36 |
| 3.3.1. | Hipótesis general: .....  | 36 |
| 3.3.2. | Hipótesis específicas: .....  | 36 |
| IV.    | METODOLOGÍA .....   | 37 |
| 4.1.   | Tipo de investigación .....   | 37 |
| 4.2.   | Diseño de investigación .....   | 37 |
| 4.3.   | Población y muestra .....   | 38 |
| 4.3.1. | Características de la población .....                                     | 38 |
| 4.3.2. | Delimitación de la población .....  | 38 |
| 4.3.3. | Ubicación espacio- temporal de la población .....                         | 38 |
| 4.3.4. | Tamaño de la muestra .....  | 38 |
| 4.4.   | Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....                     | 40 |
| 4.4.1. | Trabajo de campo .....  | 40 |
| 4.4.2. | Trabajo de laboratorio .....  | 44 |
| 4.4.3. | Equipos para la colección de muestras: .....                              | 57 |
| 4.4.4. | Equipos empleados en laboratorio: .....                                   | 58 |
| 4.4.5. | Materiales accesorios empleados en laboratorio .....                      | 58 |
| 4.4.6. | Insumos químicos empleados en procesamiento de muestras: ..<br>.....      | 59 |
| 4.4.7. | Equipos, materiales y software de escritorio para procesar<br>datos ..... | 60 |
| 4.5.   | Procedimientos de recolección de datos .....                              | 60 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.5.1. | Estimación de abundancias de escamas, y restos óseos .....   | 60  |
| 4.5.2. | Determinación de índices de alteración física en restos de peces .....   | 61  |
| 4.5.3. | Determinación de cocientes entre restos de peces .....   | 65  |
| 4.6.   | Procesamiento estadístico y análisis de datos .....  | 65  |
| V.     | RESULTADOS .....   | 68  |
| 5.1.   | Descripción de los testigos.....   | 68  |
| 5.2.   | Abundancia de escamas y restos óseos de peces.....   | 68  |
| 5.3.   | Índices de preservación de los restos de peces en los sedimentos marinos.....  | 74  |
| 5.4.   | Relaciones de los indicadores de preservación de los restos de peces en superficie de los testigos con factores ambientales .....          | 75  |
| 5.5.   | Efecto de la latitud y de la profundidad sobre las concentraciones de restos de peces en la superficie de los testigos de sedimentos ..... | 81  |
| 5.6.   | Efecto de los factores abióticos en la variabilidad de los indicadores de preservación.....  | 83  |
| VI.    | DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....   | 89  |
| 6.1.   | Contrastación de hipótesis con los resultados.....   | 89  |
| 6.1.1. | Características sedimentarias .....  | 89  |
| 6.1.2. | Tipos de indicadores de preservación.....  | 90  |
| 6.1.3. | Indicadores de preservación con factores abióticos .....   | 93  |
| 6.2.   | Contrastación de los resultados con otros estudios similares .   | 98  |
| VII.   | CONCLUSIONES.....  | 101 |
| VIII.  | RECOMENDACIONES .....  | 103 |
| IX.    | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 104 |
|        | ANEXOS.....  | 110 |

## Lista de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. (Imagen izquierda) Estructura interna de escama de pez brama ( <i>bream sea fish</i> ). .....       | 22 |
| Figura 2. Mapa de posición de todos los testigos de estudio. ....   | 41 |
| Figura 3. Diagrama de flujo de obtención y tratamiento de los testigos de sedimentos marinos. ....            | 45 |
| Figura 4. Ejemplo de plantillas usadas para el submuestreo de los testigos de sedimentos. ....                | 48 |
| Figura 5. Diagrama de flujo del tratamiento de las muestras de sedimentos. ....                               | 54 |
| Figura 6. Diagrama del procedimiento para coleccionar muestras de escamas de peces actuales. ....             | 55 |
| Figura 7. Ejemplo de la distribución del tipo de escamas en diferentes partes del cuerpo del pez. ....        | 56 |
| Figura 8. Restos de peces ordenados de acuerdo al nivel de preservación. ....                                 | 62 |
| Figura 9. Radiografías de algunos testigos exhibiendo los diferentes tipos de estructuras sedimentarias. .... | 69 |

## **Lista de gráficos**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Gráfico 1. Concentración de restos de peces en testigos organizados de menor a mayor profundidad. ....</b>   | <b>72</b> |
| <b>Gráfico 2. Concentraciones de restos de peces por especie de pez en los testigos de sedimentos. ....</b>   | <b>73</b> |
| <b>Gráfico 3. Variabilidad de los indicadores de preservación en los testigos de sedimentos frente a Perú. ....</b>   | <b>76</b> |
| <b>Gráfico 4. Indicadores del estado de preservación en escamas y restos óseos de peces y parámetros sedimentológicos (superficie de testigos, ~0-2 cm). ....</b> | <b>77</b> |

## Lista de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Operacionalización de las variables. ....   | 35 |
| Tabla 2. Relación de Testigos analizados, con características principales de las estructuras sedimentarias en cada testigo.....  | 42 |
| Tabla 3. Resumen del submuestro realizado y número de muestras examinadas en cada testigo de sedimentos marinos.....   | 49 |
| Tabla 4. Coeficientes de correlación (r) de Pearson entre las variables independientes. ....   | 79 |
| Tabla 5. Coeficientes de correlación (r) de Pearson entre los indicadores de preservación.....   | 80 |
| Tabla 6. Coeficientes de correlación (r) de Pearson de los indicadores de preservación de los restos de peces con los factores abióticos.....                                    | 82 |
| Tabla 7. Análisis de varianza de dos vías sobre la concentración total de escamas, vértebras, y vértebras + huesos, en los 0-2 cm de los testigos de sedimentos. ....            | 84 |
| Tabla 8. Modelos significativos de regresión múltiple sobre las concentraciones de escamas, vértebras, huesos, e índices de alteración física (IAF.) de los restos de peces..... | 86 |
| Tabla 9. Modelos significativos de regresión simple sobre el índice de alteración física (IAF) de vértebras de peces. ....   | 87 |

## **RESUMEN**

Los restos de peces (escamas, vértebras, huesos y espinas) en los sedimentos marinos, son usados como paleoarchivos biológicos que reflejan las fluctuaciones de las poblaciones de peces en el pasado (Soutar & Isaacs, 1969; Baumgartner et al., 1992). La finalidad del estudio es entender los cambios en la preservación de los restos de peces, entre las diferentes localidades, características sedimentológicas y concentración de oxígeno disuelto subsuperficial. Para ello, se analizaron 23 testigos de sedimentos superficiales de diferentes localidades en el norte, centro y sur del margen continental peruano. Los testigos abarcan aproximadamente un período de depositación de los últimos 200 años. Se evaluaron los indicadores de preservación de los restos de peces con los factores ambientales, textura de los sedimentos, y contenido de materia orgánica sedimentaria. Se encontró que los cambios en las concentraciones y preservación de los restos de peces se asociaron con los cambios en la variación de la latitud, diferentes tipos de la textura y variación del contenido de materia orgánica en los sedimentos. La oxigenación subsuperficial sería un factor principal que modula los cambios en la preservación de las escamas y restos óseos en los sedimentos. La textura de los sedimentos y el contenido de materia orgánica serían factores secundarios que influyen los cambios en la preservación.

## ABSTRACT

Fish remains in marine sediments are used as biologic paleo proxies that reflect past fish population variability (Soutar & Isaacs, 1969; Baumgartner et al., 1992). Twenty three sediment cores were analyzed, including a time window of the last 200 years. The goal of the study is to understand the fish preservation variation, between different sedimentary environments, with different sedimentological features and bottom oxygen concentration. For achieving it, sediment cores were analyzed from the north, centre, and south of the Peruvian continental margin. Proxies of fish remains preservation were evaluated, with environmental factors, sediment texture, and organic matter content. We find fish remains concentration and preservation were associated with the latitudinal variation, different kind of sediment textures, and variation of the organic matter content. The bottom oxygen would be a principal factor that would module the changes of fish scales and bones preservation in the sediments. The sediment texture and organic matter would be secondary factors, influencing the preservation changes.

**Palabras claves:** *Merluccius gayi peruanus*, *Engraulis ringens*, escamas, vértebras, Zona de Mínima de Oxígeno, sedimentos laminados, margen continental peruano.

## INTRODUCCIÓN

A nivel global los principales Ecosistemas de Surgencias de Borde Oriental (EBUE's, por sus siglas en inglés) se encuentran frente a Perú-Chile, California, Benguela, y Canarias. Estos EBUE's se caracterizan por presentar una alta productividad primaria asociada con aguas frías ricas en nutrientes (Chavez & Messié, 2009). Entre estos EBUE's destaca el ecosistema marino frente a Perú por presentar un nivel de productividad primaria similar al de los otros, sin embargo produce más peces por unidad de área que los otros. Además, a pesar de abarcar <0.1% de superficie del océano global, contribuye cerca al 10% de la pesquería global (Chavez et al., 2008).

En el ecosistema marino frente a Perú, entre los peces pelágicos, el más importante para la pesquería es la anchoveta (*Engraulis ringens*) (Alheit & Niquen, 2004), y entre las especies demersales la más importante es la merluza (*Merluccius gayi peruanus*) (Wosnitza-Mendo et al., 2009). La variabilidad de las abundancias en las poblaciones de peces frente a Perú, ha sido inferida a partir de datos históricos de desembarques desde los años 1960s para el caso de la anchoveta y 1970s para los casos de la sardina (*Sardinops sagax*)<sup>1</sup> y merluza. Se evidencia variabilidad de escala decadal tanto en el caso de anchoveta y sardina (Csirke et al., 1996; Schwartzlose et

---

<sup>1</sup> La pesquería de la sardina estaba dominada por la flota industrial después de 1974, con un máximo de capturas de 3.5 millones de tm en 1990, después del cual la pesquería disminuyó rápidamente, llegando a ser una pesquería completamente artesanal después de 1998. Luego, la sardina casi desapareció en la pesca artesanal después de 2002, indicando una severa reducción de esta especie (Estrella & Swartzman, 2010).

al., 1999; Chávez et al., 2003; Barange et al., 2009; Alheit & Ñiquen, 2004; Ñiquen & Bouchon, 2004; Alheit et al., 2009); como en el de merluza (Guevara-Carrasco & Leonart, 2008; Ballón et al., 2008; Wosnitza-Mendo et al., 2009).

Entender la variabilidad de las poblaciones de peces, modulada por la variabilidad ambiental, ayuda a prever buenas estrategias para el manejo pesquero de estos recursos. Sin embargo, los datos históricos de la pesquería al estar limitados a las últimas seis décadas, nos imposibilitan deducir otros modos de variabilidad de mayor escala temporal, asociados con la variabilidad ambiental como efecto de cambios climáticos globales y regionales en el pasado. Por ello, resulta importante obtener registros históricos con una ventana de tiempo más amplia.

El uso de restos de peces en los sedimentos marinos, es útil para inferir la variabilidad poblacional de peces en el pasado, antes del establecimiento de las pesquerías (Field et al., 2009). El número de escamas de peces en una muestra de sedimentos proveniente de un ambiente anaeróbico, refleja las abundancias de peces en la columna de agua (Field et al., 2009; Salvatteci et al., 2012). El uso de dichos restos de peces como indicadores de las abundancias de peces, hace posible reconstruir la variabilidad de las poblacionales de peces en el pasado, en especial de sardina y anchoveta (Shackleton, 1986; Baumgartner et al., 1992; entre otros).

En la zona de afloramiento frente a las costas de Callao y Pisco (Gutiérrez et al., 2005, 2009), y en la Bahía de Mejillones, al norte de Chile (Valdés et al., 2008), se reconstruyeron las fluctuaciones pasadas de las abundancias de anchoveta y otros peces, a partir de escamas provenientes de sedimentos laminados. Estos registros evidencian una variabilidad a escala de cientos de años, y una disminución de las abundancias de escamas antes de la segunda mitad del siglo XIX. Esta disminución puede ser un reflejo de la disminución en las abundancias locales de peces, un desplazamiento de las mismas a un hábitat diferente al patrón de distribución actual, la descomposición de las escamas durante y después de su depositación hacia el lecho marino (Salvatteci et al., 2012), o de la combinación de ellas.

Si la disminución en las abundancias de escamas y restos óseos de peces en los sedimentos, se debe a procesos de descomposición, esto produciría un sesgo, dificultando la interpretación de la variabilidad de los flujos de los restos de peces, en la reconstrucción histórica de la variabilidad poblacional. Es decir, esto aumentaría potencialmente el riesgo de atribuir, cambios en las abundancias de los restos de peces en los sedimentos, a cambios en las abundancias poblacionales de peces, cuando podrían deberse más bien a cambios en la preservación. De ahí, resulta importante diferenciar entre el efecto de los cambios en la preservación y los cambios en los flujos de las escamas y restos óseos de peces.

## **I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Identificación del problema**

Algunos estudios han evidenciado señales de descomposición de las escamas y restos óseos de peces (Devries & Pearcy, 1982; Salvatteci et al., 2012). Se ha evidenciado diferencias en la preservación de los restos de peces en los sedimentos, entre sitios (frente a Callao y Pisco) con diferentes profundidades bajo el nivel del mar, asociados con la Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO) (Salvatteci et al., 2012; Devries & Pearcy, 1982). Por ejemplo, Devries & Pearcy (1982) encontraron que la preservación de los restos de peces, parece ser menor en sedimentos con profundidades bajo el nivel del mar mayores a 600 m y en zonas más al norte frente a las costas de Perú. Salvattecci et al. (2012) encontraron que la preservación es menor en zonas someras que en zonas más profundas relativo al núcleo de la ZMO, explicando que las zonas más someras están expuestas a mayores eventos de oxigenación subsuperficial.

Los estudios mencionados, muestran evidencias importantes que sugieren el efecto negativo de la oxigenación subsuperficial en la preservación de las escamas y restos óseos de peces en los sedimentos. Sin embargo, estos estudios están limitados a ciertas localidades (Pisco y Callao principalmente) frente a la costa peruana, reduciendo la representatividad a escala regional e impidiendo la comparación entre

localidades por ausencia de registros estudiados en otras localidades del margen continental peruano.

En tal sentido, resulta relevante determinar a escala regional las zonas con registros sedimentarios que preserven bien los restos de escamas y esqueletos óseos de peces en el margen continental superior frente al litoral peruano. Para este propósito se desarrollaron indicadores que caractericen y permitan evaluar la preservación de las escamas y restos óseos de peces en los sedimentos. La identificación de sedimentos con registros bien preservados permitirá determinar sitios potenciales para la colección de testigos en estudios posteriores.

Los factores que consideramos en este estudio son: La ubicación geográfica (rango de latitudes entre los 5° S - 14° S, principal área de intensa surgencia y alta productividad frente a Perú [Pennington et al., 2006; Ehlert et al., 2012], y rango de profundidades) y las propiedades físicas y geoquímicas de los sedimentos, como la textura y el contenido de materia orgánica respectivamente. La identificación del (los) factor (es) principal (es) relacionado con la variación del estado de preservación facilitará la explicación de los mecanismos implicados en el proceso de descomposición de los restos de peces.

Por los motivos expuestos se plantean las siguientes preguntas de investigación:

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. *Pregunta general de investigación:***

**¿Cuál es el estado de preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos, en relación a la posición geográfica y propiedades de los sedimentos en el margen continental superior frente a Perú?**

### **1.2.2. *Preguntas específicas de investigación:***

- 1. ¿Es mayor la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces, en los sedimentos del norte, centro o sur del margen continental superior frente a Perú?**
- 2. ¿Es mayor la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos con texturas gruesas o finas, en el margen continental superior frente a Perú?**
- 3. ¿Es mayor la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos con mayor o menor contenido de materia orgánica, en el margen continental superior frente a Perú?**

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. *Objetivo General***

**Determinar el estado de preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos del margen continental superior frente a Perú.**

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Los objetivos específicos planteados en la investigación presente son los siguientes:

- 1. Cuantificar la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos de diferentes localidades sobre el margen continental superior frente a Perú.**
- 2. Evaluar la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos en relación con la textura y tamaño de grano de los sedimentos, en el margen continental superior frente a Perú.**
- 3. Evaluar la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos en relación con el contenido de materia orgánica sedimentaria, en el margen continental superior frente a Perú.**

Por otro lado, debe ser evaluada la confiabilidad entre el uso de escamas o el uso de restos óseos de peces en la reconstrucción histórica de las abundancias poblacionales. La preservación de escamas estaría siendo afectada durante el tránsito en la columna de agua hacia los sedimentos, y en forma diferente que la de los restos óseos (vértebras, huesos). Además, las escamas al ser más frágiles que las vértebras, la degradación de las primeras serían más rápidas, por lo cual debe evaluarse si el uso de vértebras en la reconstrucción de la variabilidad de las abundancias de peces, resulta ser más confiable que el uso de escamas.

#### **1.4. Justificación**

Como se indicó anteriormente, en el campo de la paleoecología de peces pelágicos y demersales, el uso de escamas y restos óseos de peces, procedentes de los sedimentos, es útil para reconstruir la historia de la variabilidad de las abundancias poblacionales de peces en el pasado (Shackleton, 1986; Baumgartner et al., 1992). En el presente estudio, determinar el estado de la preservación de los restos de peces en los sedimentos, es importante, pues ayuda a interpretar los resultados en el estudio de la paleoecología de peces. Posteriormente, reconstruir las fluctuaciones de las poblaciones de peces (especies arriba mencionadas) en el pasado (antes del establecimiento de la pesquería industrial) nos ayudará a entender cómo el componente biológico del ecosistema marino ha respondido a los pasados cambios climáticos globales. Esto facilitará la previsión de mejores estrategias para hacer más eficiente el manejo pesquero con perspectivas a largo plazo en escenarios de cambios climáticos globales y regionales futuros.

#### **1.5. Importancia**

En el océano no es muy común la presencia de fangos sedimentarios anaerobios con secuencias laminadas que guarden registros históricos de alta resolución temporal de la variabilidad del ecosistema marino; pero hay más sedimentos así en las áreas de afloramiento asociadas con la ZMO. Tal es el caso para la costa frente a Perú en el margen continental

superior. Determinar las zonas con este tipo de sedimentos que favorecen la preservación de los paleo-archivos biológicos (escamas y restos óseos de peces) nos permitirá obtener buenos registros de restos de peces, para inferir la variabilidad histórica de las abundancias poblacionales de peces.

Con este estudio, se contribuye en el conocimiento del patrón espacial (rango de latitud, y batimetría) de la preservación de restos de peces procedentes de los sedimentos marinos asociados a un sistema de surgencias costeras de borde oriental, caracterizado con una intensa ZMO. Además, el desarrollo de indicadores de preservación es útil para evaluar el estado de la preservación física de los restos de peces en los sedimentos. Esto facilitará la interpretación de la variabilidad de los restos de peces en la reconstrucción de las poblaciones de peces en el pasado. Por ello, con este estudio se pretende identificar las zonas más propicias para futuros estudios retrospectivos en la reconstrucción de la variabilidad poblacional de peces, y realizar comparaciones con zonas estudiadas frente a Huaral (DeVries & Pearcy, 1982), Callao (Gutiérrez et al., 2005; Salvattecí, et al., 2005) y Pisco (Salvattecí et al., 2012; Gutiérrez et al., 2005; DeVries & Pearcy, 1982).

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Es posible conocer cómo fue la variabilidad de las poblaciones de peces antes del desarrollo de la pesquería industrial a partir de la acumulación de restos ictiológicos en algunos sedimentos marinos (Shackleton, 1986). Estudios en la corriente de Benguela (Shackleton, 1986), en la corriente de California (Baumgartner, et al., 1992), entre otros, plantearon la tesis de que las fluctuaciones del número de escamas en una muestra proveniente de fangos anaerobios, reflejan las pasadas fluctuaciones naturales de las biomásas relativas de ciertas especies en especial de sardina y anchoveta. Esta relación se basa en que la abundancia de escamas depositadas en el fondo marino guarda una relación con el número de peces que desprendieron las escamas.

Por ejemplo, la existencia muy particular de sedimentos marinos en el fondo de la cuenca Santa Bárbara (Frente a California, Estados Unidos) caracterizada por un bajo o nulo contenido de oxígeno disuelto, permite una excelente preservación de restos óseos y escamas de peces (Soutar, 1967). Estos restos forman un registro natural y cronológico de la historia de poblaciones de algunos peces pelágicos (Soutar, 1967), permitiendo reconstruir los cambios en las poblaciones de clupeidos en los períodos previos al registro de las pesquerías, en escala de decenas a centenas de

años (Soutar & Isaacs, 1969; Soutar & Isaacs, 1974 y Baumgartner et al., 1992).

La variabilidad natural de las poblaciones de anchoveta y de otros peces pelágicos y demersales puede ser utilizada como un indicador de la variabilidad paleo-oceanográfica y paleo-climática. No obstante, es importante conocer la preservación de la escamas para evitar un sesgo cuando se estima la variabilidad de población de peces en el pasado, basada en la variabilidad de abundancia de escamas en los sedimentos (Field et al., 2009; Salvattecchi et al., 2012). Las escamas con alteración física son afectadas en su estructura con posibles pérdidas por remineralización hacia los sedimentos (Schenau & De Lange, 2000), alterando las cantidades originalmente depositadas en los sedimentos.

Shackleton (1986) utilizó las escamas de anchovetas y sardinas provenientes de una secuencia laminada de un testigo obtenido en los fangos diatomáceos frente a la Bahía de Walvis, Namibia como indicadores de poblaciones de estas especies en los últimos 100 años. Baumgartner et al. (1992) reconstruyeron la historia de las poblaciones de la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) y de la anchoveta del norte (*Engraulis mordax*) durante los últimos 2000 años a partir de sedimentos laminados provenientes de la Cuenca de Santa Bárbara, California. La conclusión a la que llegan es que tanto las sardinas como las anchovetas tienden a variar en períodos de 100 años. El registro de depositación de

escamas muestra nueve recuperaciones significativas y posteriores colapsos de la población de sardina en más de 1700 años. El tiempo promedio de recuperación de la sardina es de 30 años, entendida la recuperación como un incremento en la biomasa desde menos de uno a más de cuatro millones de toneladas.

En cuanto a la preservación de las escamas, Shackleton (1986) menciona que existe muy poca duda de que las escamas de las sardinas se preservan muy bien en los sedimentos anaeróbicos. Este autor encontró que el 70 % de las escamas estaban en buenas condiciones luego de la preparación de la muestra. No se puede decir lo mismo de las escamas de anchoveta ya que sólo el 5% se encontraba en buen estado después de la preparación.

Uno de los estudios pioneros sobre restos de peces en sedimentos de la zona de afloramiento del centro de Perú fue realizado por De Vries, & Pearcy (1982), en el cual, se encontró que las escamas y vértebras de anchoveta eran las más abundantes constituyentes de restos de peces en los sedimentos del talud continental superior. Juntos con las escamas y vértebras de merluza, los restos óseos de anchoveta comprendieron más de 90% de todo los restos de peces en los testigos estudiados. La abundancia de restos de peces fue mayor en aguas con profundidades < 600 m. En aguas profundas (> 600 m) los restos de peces parecen estar sujeto a mayor disolución y abrasión (De Vries & Pearcy, 1982).



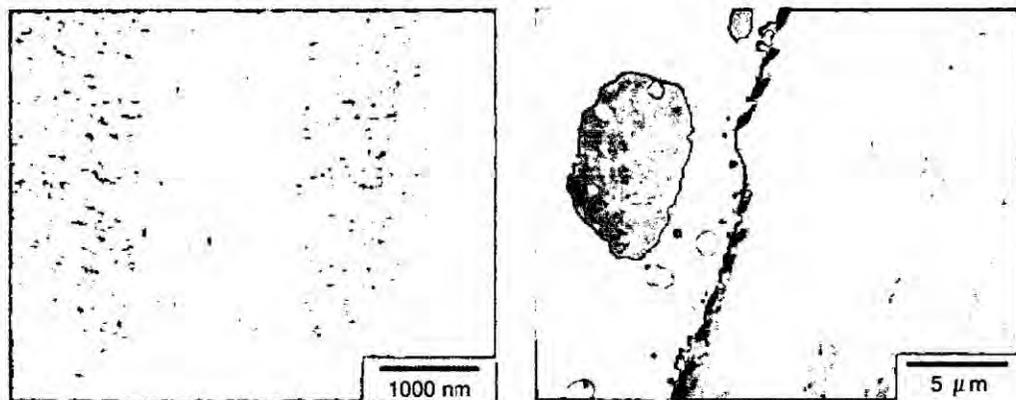
En un estudio reciente, Salvattecí et al. (2012) encontró evidencia de mayor degradación en un testigo somero que en un testigo profundo asociada con la Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO). Esta evidencia fue basada en la diferencia de los índices de preservación, más no por los cambios temporales. Es decir la degradación estaría afectando más a las escamas que a las vértebras en ambos testigos, siendo la degradación mayor en el testigo somero, el cual se ubica cerca del límite superior de la ZMO, expuesto a mayores eventos de oxigenación (Salvattecí et al., 2012). Cabe indicar que el aumento en la oxigenación de las aguas de fondo propiciarían la degradación bacteriana de la matriz orgánica de los restos de peces (Field et al., 2009; Salvattecí et al., 2012). De ahí, que son necesarios obtener más registros en otras localidades del margen continental peruano, para corroborar consistentemente la existencia de diferencias de preservación entre sitios someros y profundos de la ZMO, que presentan diferentes niveles de oxigenación en las aguas de fondo.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1 *Composición de escamas y restos óseos de peces*

La composición química de las escamas de peces consiste de fosfato de calcio (hidroxiapatita) y proteína (colágeno tipo I) (Schenau y De Lange, 2000; Ikoma et al., 2003). La estructura consiste de capas de fibra de colágeno ordenadas en una dirección, con cada capa rotada en 90° (Figura 1). En aplicación médica, se considera a las escamas de peces

tener alta resistencia debido a esta estructura en capas; y estando libres de luz dispersa, también tienen alta transparencia (Ikoma et al., 2004). Sin embargo en el ambiente marino las escamas parecen ser afectadas por la degradación bacteriana de su capa orgánica, propiciada por el aumento en los niveles de oxigenación en las aguas de fondo y/o en la interfase agua-sedimento (Field et al., 2009; Salvattecchi et al., 2012).



**Figura 1. (Imagen izquierda) Estructura interna de escama de pez brama (*bream sea fish*).**

La imagen es observada a través del Microscopio Electrónico de Transmisión (MET), (imagen tomada de Ikoma et al., 2004). (Imagen derecha) Estructura de fibra de colágeno en escama de pez brama (*bream sea fish*). Las fibras de colágeno toman orden aleatorio en la capa más externa (lado izquierdo de la imagen), y estructura ordenada internamente (imagen tomada de Ikoma et al., 2004).

## 2.2.2. Composición química y mineralógica de apatita biogénica

### Composición química

La composición química de apatitas biogénicas está usualmente en el rango de carbonato-hidroxiapatita  $[Ca_{10-x}(PO_4)_{6-n}(CO_3)_nOH_y]$  a flúor-apatita carbonatada  $[Ca_{10-x}(PO_4)_{6-n}(CO_3)_nF_y]$  (Slansky, 1986; Carter, 1990). Estos

miembros ideales terminales de unas series isomórficas de apatitas carbonatadas han sido también referidos como *dalita* y *francolita*, respectivamente. En el caso de apatitas reales, la parcial sustitución de OH por F, y PO<sub>4</sub> por CO<sub>3</sub> crea un amplio rango de modificaciones de apatita-carbonatada que puede ser distinguido por análisis de Difracción de Rayos-X (DRX). En las apatitas de origen ígneo, el OH y/o el F son en parte a menudo sustituidas por Cl, y raramente por Br y I (Nathan, 1984; Hughes et al., 1989), pero estas sustituciones son usualmente insignificantes en el caso de apatitas biogénicas. Entre los cationes de apatita, el Ca puede ser parcialmente sustituido por Sr, Na, K, Ba, Pb, y otros metales, y el P por As, V, Cr, Si, y algunos otros elementos (Nriagu, 1984; Nathan, 1984).

#### Flúorapatita pura

La flúorapatita es usualmente considerada como el prototipo de la familia de apatita (e.g., Nathan, 1984). Cristalográficamente, la F-apatita pura pertenece a un sistema de estructura hexagonal. La rejilla de F-apatita puede ser descrita por una célula unitaria, teniendo una forma de prisma con base romboidal. Esta unidad celular puede ser caracterizada por dos parámetros de rejilla, *a* (margen de la base) y *c* (altura). En caso de F-apatita, los valores aproximados son  $a=9.37\text{Å}$  y  $c=6.88\text{Å}$  (McConnell, 1973). La F-apatita pura puede ser obtenida sintéticamente, pero ello ocurre raramente in la naturaleza, y no ha sido reportada que se forme

biogénicamente (Carter, 1990).

### Flúorapatita-carbonatada

Las flúorapatitas naturales usualmente contienen ciertas cantidades de carbonato. Bornemann-Starynkevitch & Belov (1940, 1953) han sugerido que en la estructura de apatita un anión tetrahedral  $(PO_4)_3$  puede ser sustituido por una asociación de tetraedro torcido (distorsionado) de  $(CO_3F)_3$ . La presencia de esta asociación en la estructura de apatita ha sido corroborada mediante Resonancia Spin Electrónica (RSE) (Bacquet et al., 1980) y experimentos de incineración (Nathan, 1984).

Usualmente, el termino *francolita* ha sido usado para flúorapatitas-carbonatadas, sin tomar en cuenta el contenido de carbonato. Para distinguir entre variedades de flúorapatita carbonatada, se necesita al menos un cálculo semi-cuantitativo del contenido de carbonato. McClellan & Lehr (1969), Gulbrandsen (1970), McConnell, (1973), y Schuffert et al. (1990) han desarrollado metodologías para estimar el contenido de carbonatos en las flúorapatitas carbonatadas.

### Hidroxiapatitas

Esta variedad de apatita ocurre en vertebrados e invertebrados recientes. Por ejemplo, los esqueletos de braquiópodos lingulata presentan apatitas en el rango de hidroxiapatitas-carbonatadas. En estas hidroxiapatitas parte de las posiciones del anión  $F^-$  son ocupados por el anión  $OH^-$ , y el

parámetro de celdas  $a$  usualmente está en rangos de 9.40 a 9.45 Å (Brophy & Nash, 1968). La variación de los parámetros de celdas es una función del contenido variable de OH<sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>-</sup> en apatitas esqueléticas (Puura & Nemliher, 1993 y 1999).

### *2.2.3. Preservación y geoquímica de la degradación de los restos de peces*

Muchos organismos marinos tales como cestodos invertebrados, braquiópodos inarticulados, bivalvos, gasterópodos, y peces incorporan fosfato en sus caparzones y huesos (Lowenstam 1972). Como habíamos descrito anteriormente, las escamas de peces están constituidas por una mezcla de fósforo mineral (hidroxiapatita, Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH) y una matriz orgánica de colágeno (Schenau & De Lange, 2000). Después que muere el pez este colágeno se descompone, incrementando la posibilidad de reaccionar el fósforo mineral con otras sustancias (Petchey & Higham, 2000; O'Connell & Tunnicliffe, 2001).

La exposición de la apatita al agua de mar, la cual esta insaturada en fosfato biogénico, propiciaría su disolución y remineralización hacia el lecho marino (Schenau & De Lange, 2000). La solubilidad de apatitas naturales y huesos de peces y mamíferos en aguas marinas son dominadas por reacciones superficiales, contenido de fluoruro y carbonatos, tamaño del cristal, pH., la razón sólido-a-solución y eventos recientes del pasado (Suess, 1981, y referencias citadas allí). La

preservación de la hidroxiapatita (apatita biogénica) es variable y depende de la disolución durante la diagénesis temprana, en función del pH, concentración de fosfato, concentración de calcio, así como destrucción por microorganismos, y bio-perturbación (Schenau & De Lange, 2000).

Dependiendo de la química del agua, la apatita biogénica puede eventualmente ser transformada en flúorapatita más estable por sustitución de iones hidroxilo (OH) por iones fluoruro (F) (Schenau & De Lange, 2000). En condiciones oxigenadas, la acidez producida durante la respiración aeróbica de la materia orgánica puede inducir la disolución de carbonatos y de la apatita biogénica. En condiciones subóxicas y anóxicas, la acidez puede reducirse significativamente debido a procesos tales como la formación de pirita, que consume el sulfuro ( $H_2S$ ) resultante de la reducción del sulfato (Schoonen, 2004).

Schenau & De Lange (2000) sugirió que la fracción sedimentaria de fósforo extraíble con  $NH_4Cl$  está principalmente asociada con la apatita biogénica contenida en restos de peces ( $P_{fish}$ ). Estos investigadores mostraron que las concentraciones de  $P_{fish}$  eran muy altas en la materia orgánica, en sedimentos pobres en oxígeno localizados a profundidades menores a 1200 m en sedimentos frente a Pakistán. Estos autores sostuvieron que existe un potencial de  $P_{fish}$  para estudios de paleo-reconstrucción en sedimentos superficiales, al relacionar su tasa de acumulación con la producción de peces en la columna de agua estimada

de un modelo de dinámica trófica.

A pesar de las incertidumbres involucradas en tales cálculos, Schenau & De Lange (2000) plantearon que la disolución de  $P_{\text{fish}}$  es variable en norte del Mar de Arabia y que esta variabilidad fue más grande que lo esperado por la variabilidad espacial de la producción de peces en la columna de agua. Por lo tanto, el mayor potencial de preservación en aguas poco profundas podría ser atribuido al corto tiempo de transporte hacia el fondo, la relativa alta tasa de sedimentación, y la baja oxigenación de la columna y de la superficie de los sedimentos (Babu & Nath, 2005).

La existencia de condiciones anaeróbicas en los sedimentos debe también contribuir a la preservación de restos orgánicos. Las bacterias anaeróbicas son incapaces de causar efecto en la descomposición de material orgánico tan completamente como las bacterias aeróbicas, ya que moléculas complejas orgánicas son relativamente inmunes al ataque de bacterias anaeróbicas. Además, los sedimentos anaeróbicos parecen tener un pH relativamente alto cerca de 8.0, asegurando de este modo la preservación de carbonatos inorgánicos y apatitas (Soutar, 1967).

En aguas marinas óxicas poco profundas, la biodegradación aeróbica parece ocurrir a una tasa más rápida que la biodegradación en regímenes anóxicos (Simon et al., 1994). En condiciones óxicas la tasa de biodegradación es particularmente alta para estructuras esqueléticas con

alto contenido orgánico, en que la mayor parte de la biodegradación se completa en alrededor de un año (Simon et al., 1994). Este período es más corto que la sedimentación anual del material particulado en la mayoría de sedimentos. Por lo tanto la probabilidad de enterramiento de esqueletos de peces con alto contenido orgánico en la zona profunda anóxica de los sedimentos es pequeña. Para esqueletos con bajo contenido orgánico (caparazón de moluscos y capas esqueléticas de individuos tiernos), la biodegradación aeróbica es normalmente seguida por biodegradación anaeróbica después del enterramiento en la zona anóxica (Simon et al., 1994).

En estuarios, el rol de la tasa de sedimentación proporciona abundante materia orgánica fácilmente accesible. Particularmente el carbón orgánico disuelto permite a los descomponedores usar eficientemente esta materia orgánica no mineralizada como una fuente de energía. Por lo tanto, la materia orgánica de esqueletos que es enmascarada por material mineral y energéticamente menos eficiente para los descomponedores, es poco atacada, y la preservación del material inorgánico esquelético aumenta en estos sedimentos (Simon et al., 1994).

### 2.3. Definiciones de términos básicos

- **Abrasión:** Erosión originada por el frotamiento de los materiales transportados por el agua o el hielo.

- **Anoxia:** Situación en la que se registra ausencia de oxígeno molecular libre en el sistema, frecuentemente asociada con la acumulación/liberación de  $H_2S$ .
- **Biom mineralización:** Es la síntesis de materiales como mineral inorgánico cristalino o amorfo por organismos vivos. Entre los minerales sintetizados biológicamente en varias formas de vida están la fluorapatita ( $Ca_5(PO_4)_3(F,OH)$ ), hidróxiapatita, magnetita ( $Fe_3O_4$ ), y carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ).
- **Biotur bación:** Es el cambio y degradación de los sedimentos por la acción de movimientos de organismos a través de los sedimentos y alimentándose de ello.
- **Degradación:** Es el paso gradual y lento de conversión de una molécula compleja en entidades químicas más simples: descomposición de una molécula o material con daño o pérdida de sus propiedades características.
- **Diagénesis:** Es el proceso físico, químico ó biológico que toma lugar en los sedimentos después de su deposición y antes de iniciar el proceso del metamorfismo. La diagénesis química incluye la transformación mineral, recristalización, cementación, y disolución.
- **Diagénesis temprana de materia orgánica marina:** Son los cambios que ocurren durante el enterramiento a unos pocos cientos de metros donde no son encontradas elevadas temperaturas y donde no ocurre elevación sobre el nivel del mar (o nivel del lago), así que los espacios

de poro de los sedimentos están continuamente ocupados con agua. Algunos ejemplos de diagénesis temprana son: la destrucción de laminación por excavación de organismos bentónicos, la difusión de sales disueltas en lechos de lagos, la descomposición bacteriana de la materia orgánica, la disolución de carbonatos de calcio en sedimentos marinos profundos, y la formación de concreciones.

- **Disolución:** Regeneración de las escamas y restos esqueléticos de peces en la columna de agua y en los sedimentos. Los procesos de disolución están determinados por la composición de los clastos y la química del agua. Una fracción significativa de P asociada con los restos de peces podría ser regenerada durante la diagénesis temprana. La descomposición de la apatita del hueso en los sedimentos es dependiente de muchos factores, incluyendo el pH, concentraciones de fosfato y calcio, destrucción por microorganismos, y bioturbación (Atlas & Pytkowicz 1977; Newesely 1989).
- **Estratigrafía:** Es la ciencia geológica que se ocupa del estudio e interpretación de los procesos registrados en las sucesiones sedimentarias, que van a permitir, además de conocer la naturaleza y disposición de las rocas estratificadas, la correlación y la ordenación temporal correcta de la secuencia de materiales y sucesos.
- **Estratificación:** Es la condición mostrada por los sedimentos y las rocas sedimentarias dispuestas en capas horizontales conocidas como estratos. El término es también ocasionalmente aplicado a cuerpos

ígneos que muestran texturas paralelas análogas.

- **Estrato:** Es el nivel simple en los sedimentos o roca sedimentaria con litología homogénea o gradual, separado del infrayacente y del suprayacente por superficies de estratificación.
- **Estructura sedimentaria:** Las estructuras sedimentarias son patrones geométricos que dependen de las relaciones entre los agregados sedimentarios que son de origen físico y deben su existencia principalmente a procesos que actúan durante la deposición o después de ella. Estos patrones pueden resultar de las diferencias de tamaño o de las diferencias de las mineralogías.
- **Estratigrafía bandeada:** Es la estructura sedimentaria estratificada en escala mayor a 1 cm.
- **Estratigrafía homogénea:** Es la estructura sedimentaria estratificada sin subdivisión interna.
- **Fosforitas:** Son rocas sedimentarias que están enriquecidas con fósforo, hasta un nivel donde la composición es más del 15 % en masa ( $P_2O_5$ ). El fosfato podría estar presente en los sedimentos como bioclasto primario, tales como dientes, escamas, y huesos, pero principalmente esto ocurre como un precipitado autigénico. Las concentraciones modernas de fosfato ocurren en márgenes continentales donde hay regiones de afloramiento de agua ricas en nutrientes (Nichols, 2009).
- **Hidróxiapatita:** Es una forma cristalizada de hidróxido de calcio

ortofosfato,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , virtualmente insoluble en agua y en muchos disolventes sedimentarios. Es el componente mineral principal del hueso, cartilago, escamas y dientes.

- **Holoceno:** Es la época presente, cubriendo los últimos 11, 500 años (Rein et al., 2005).
- **Holoceno tardío:** Es la época más reciente del Holoceno, cubriendo los últimos ~5.600 años (Rein et al., 2005).
- **Lámina:** Es la capa fina de roca sedimentaria o sedimentos, que difiere en algo respecto de sus capas en cada lado; ello podría por ejemplo tener un particular color, tamaño de partícula, o composición. Es considerada la división de menor orden posible (normalmente milimétrica) reconocible dentro de un estrato.
- **Paleoceanografía:** Es el estudio de mares y océanos de la época geológica pasada.
- **Paleoecología:** Es el estudio de la relación entre organismos fósiles y sus paleoambientes, lograda por una exanimación del registro geológico usando técnicas como análisis de polen y datación de carbón radiactivo.
- **Hipoxia:** Es la presencia de cantidades de oxígeno molecular menos que lo normal en los tejidos vivos, afectando la fisiología del organismo.
- **Sedimentos:** Partículas terrígenas (arena, arcilla, u otras sustancias) y biogénicas que sedimentan hacia el fondo de un cuerpo de agua. La

erosión por el viento, agua, y/o glaciación son los orígenes de los sedimentos litológicos, y los sedimentos biogénicos son originados por muerte y desecho de organismos. Las causas humanas en la acumulación de sedimentos son principalmente actividades de mover la tierra, tal como agricultura u operaciones de construcción.

- **Subóxía:** Es la ausencia de oxígeno molecular libre con ausencia de sulfuro.
- **Zona de mínima de oxígeno:** Zona anaeróbica de un cuerpo de agua donde la concentración de materia orgánica es alta y la velocidad de consumo de oxígeno excede de su ingreso.

### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1. Variables de la investigación

- Variable Dependiente:

Estado de preservación de restos de peces.

- Variable Independiente:

Posición geográfica y propiedades de los sedimentos.

- Variables Intervinientes:

➤ Propiedades químicas del agua de mar

Indicadores:

- Oxígeno disuelto en las aguas de fondo
- pH del agua de fondo y del agua intersticial (contenida en los sedimentos).

➤ Ubicación geográfica

Indicadores:

- Distancia respecto a la línea de costa.
- Distancia respecto al núcleo de la Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO).

➤ Transporte de sedimentos y transporte lateral de aguas superficiales y sub-superficiales

Indicadores:

- Tasa de sedimentación.
- Velocidad de corrientes.

#### 3.2. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables se describe a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Operacionalización de las variables.

| ESTADO DE PRESERVACIÓN DE RESTOS DE ESCAMAS Y ESQUELETOS ÓSEOS DE PECES EN LOS SEDIMENTOS MARINOS FRENTE A PERU |  |   |
|---|--|---|
| Variables   | Dimensiones  | Indicadores   |
| VARIABLE I<br>Estado de preservación de restos de peces   | Abundancias de escamas y restos óseos de peces             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentraciones de escamas de peces</li> <li>• Concentraciones de vértebras de peces</li> <li>• Concentraciones de huesos de peces</li> </ul>  |
|   | Índices de preservación de escamas y restos óseos de peces | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de alteración física (IAF) de escamas de peces</li> <li>• Índice IAF de vértebras</li> <li>• Índice IAF de huesos</li> <li>• Cocientes de escamas a vértebras</li> <li>• Cocientes de escamas a vértebras más huesos</li> </ul> |
| VARIABLE II<br>Posición geográfica y propiedades de los sedimentos marinos                                      | Posición geográfica de los sedimentos marinos              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Latitud sur, profundidad</li> </ul>  |
|   | Propiedades de los sedimentos marinos                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de materia orgánica en los sedimentos</li> <li>• Textura de los sedimentos: porcentaje de contenido de arena, limo y arcilla</li> <li>• Tamaño promedio de los granos de los sedimentos</li> </ul>                           |

### **3.3. Hipótesis general e hipótesis específicas**

#### **3.3.1. *Hipótesis general:***

**El estado de preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos varía de acuerdo a la posición geográfica y a las propiedades de los sedimentos, en el margen continental superior frente a Perú.**

#### **3.3.2. *Hipótesis específicas:***

- 1. La preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos, es menor en el norte que en el centro y sur del margen continental superior frente a Perú, debido a la mayor oxigenación subsuperficial en el norte.**
- 2. La preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces, es mayor en sedimentos con texturas más finas, en el margen continental superior frente a Perú.**
- 3. La preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces, es mayor en los sedimentos con mayor contenido de materia orgánica, en el margen continental superior frente a Perú.**

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1. Tipo de investigación**

- De acuerdo a su finalidad, la investigación es básica.
- De acuerdo a su duración, la investigación es diacrónica-retrospectiva.
- De acuerdo a su profundidad, la investigación es descriptiva y explicativa.
- De acuerdo a su amplitud, la investigación es macro-grupal.
- De acuerdo a su fuente, la investigación es primaria y secundaria.
- De acuerdo a su carácter, la investigación es cualitativa y cuantitativa.
- De acuerdo a su marco, la investigación es de campo y laboratorio.
- De acuerdo a su naturaleza, la investigación es documental, doctrinal y empírica.

Esta investigación está orientada al campo de la ecología pesquera.

### **4.2. Diseño de investigación**

La investigación es experimental, descriptiva y correlacional.

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Características de la población**

La población de estudio comprende los restos de escamas y esqueletos óseos de peces acumulados en los sedimentos marinos superficiales (los primeros 50 cm - 70 cm).

#### **4.3.2. Delimitación de la población**

La población está delimitada a la plataforma y talud continental superior.

#### **4.3.3. Ubicación espacio- temporal de la población**

La población de estudio se encuentra ubicada frente a la costa peruana. La ubicación temporal de acuerdo al tiempo geológico es perteneciente a la serie del Holoceno tardío. La ubicación temporal se estima que abarca la sedimentación de los últimos 600 - 300 años., suponiendo una tasa de sedimentación de 1-2 mm por año, de acuerdo a trabajos realizados para diferentes localidades del borde continental frente a Perú (Muñoz et al., 2004; Gutiérrez et al., 2006).

#### **4.3.4. Tamaño de la muestra**

La muestra es no probabilística (muestra no aleatoria) (Córdova, 2008). La selección del muestreo fue basada en el criterio de expertos en

sedimentología marina, del Laboratorio de Geología Marina (LGM) del Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Por tanto, la determinación del tamaño de la muestra, no aplica en el presente estudio.

#### Selección del material de estudio:

El material de estudio consistió de un total de veintitrés testigos de sedimentos (6,7 cm Ø; ~35 cm<sup>2</sup> de superficie, 25-75 cm de longitud). Dieciocho testigos fueron colectados con saca testigos de gravedad (Gravity Core), y cinco testigos con Multisacatestigos (MUC), entre las latitudes 5°S y 14°S, y en un rango de profundidades de 40 a 450 m sobre la plataforma y talud continental superior frente a la costa peruana (ver mapa, Figura 2, Tabla 2). La procedencia de los testigos es de zonas frente a Piura, Chimbote, Callao y Pisco (ver Tabla 2). Los restos de peces expuestos a diferentes condiciones ambientales, pueden presentar efectos en la variabilidad espacial de su preservación. El propósito del presente estudio es responder que factor principal y secundario regula la preservación de los restos de peces en los sedimentos. Por ello, se colectaron testigos en zonas con mayor y menor concentración de oxígeno en las aguas de fondo, con diferentes profundidades bajo el nivel del mar, y con un amplio rango latitudinal frente al litoral peruano (Figura 2); las cuales a la vez poseen sedimentos con características y propiedades particulares.

#### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **4.4.1. Trabajo de campo**

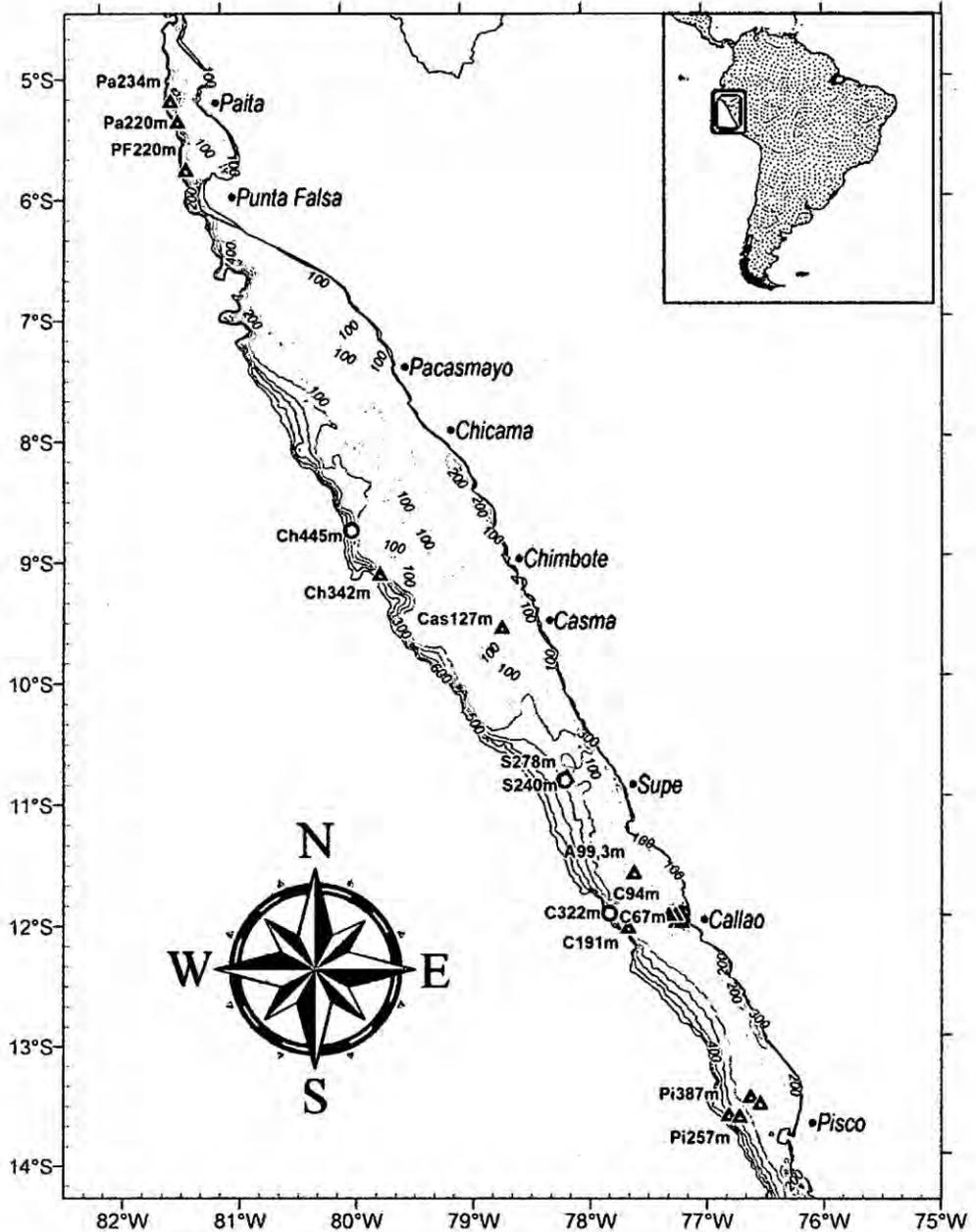
###### **Colección de testigos**

La colecta de los testigos fue llevada a cabo durante:

- **Crucero de enero-febrero 2007, Buque de Investigaciones Científicas (BIC) José Olaya B.**
- **Crucero de enero-febrero 2008, BIC José Olaya B.**
- **Cruceros Paleoceanográficos mayo 2003, mayo 2004, julio 2007, diciembre 2007.**

La posición de colección de los testigos se muestra en la Figura 2.

El procedimiento para la colecta de los testigos se llevó a cabo a bordo de un buque oceanográfico. La colección se realizó con previa exploración acústica para la detección de zonas potenciales que poseen sedimentos superficiales con estructuras sedimentarias. La exploración fue basada en registros de datos acústicos de archivos ó registros de datos in situ. Luego de detectar la zona, se procedió a preparar el equipo saca testigo respectivo (multicasatestigos, saca testigos de gravedad) para su lanzamiento, registrando la posición geo-espacial del buque posicionado. El equipo fue ensamblado, incluyendo sus lastres de plomo,



**Figura 2. Mapa de posición de todos los testigos de estudio.**

**●: Testigos colectados con el multisacatestigos, ▲: Testigos colectados con el sacatestigo de gravedad. Los rótulos de cada testigo son códigos, la primera letra es asignada a la zona (localidad) seguida por la profundidad marina (ver Tabla 2).**

**Tabla 2. Relación de Testigos analizados, con características principales de las estructuras sedimentarias en cada testigo. La tabla incluye los códigos asignados que se representan en el mapa de colección (Figura 2). GC: Testigo de gravedad, MUC: Multisacatestigo.**

| Zona     | Fecha      | Rótulo Testigo | Código en mapa (Figura 2) | Equipo | Posición |          |           | Descripción general de la Estructura Sedimentaria |
|----------|------------|----------------|---------------------------|--------|----------|----------|-----------|---|
|          |            |                |                           |        | Latitud  | Longitud | Prof. (m) |   |
| Paíta    | Enero-2007 | D0701G-43      | Pa220m                    | G. C   | -5,355   | -81,359  | 220,0     | Homogénea y bioturbada                            |
| P. Falsa | Enero-2008 | D0801G-7       | PF220m                    | G. C   | -5,755   | -81,294  | 220,0     | Homogénea con láminas bioturbadas                 |
| Paíta    | Enero-2007 | D0701G-47      | Pa234m                    | G. C   | -5,186   | -81,418  | 234,0     | Homogénea con láminas aisladas bioturbadas        |
| Casma    | Enero-2008 | D0801G-4       | Cas127m                   | G. C   | -9,584   | -78,690  | 127,0     | Homogénea con láminas bioturbadas                 |
| Chimbote | Enero-2008 | D0801G-6       | Ch342m                    | G. C   | -9,129   | -79,713  | 342,0     | Homogénea a laminada y bandeada                   |
| Chimbote | Enero-2007 | D0701M-4       | Ch445m                    | MUC    | -8,773   | -79,948  | 445,0     | Laminada con presencia de fosforita               |
| Callao   | Dic-2007   | P0712M-4       | C41m                      | MUC    | -11,986  | -77,201  | 41,0      | Laminada a bandeada y homogénea                   |
| Callao   | Dic-2007   | P0712G-4       | C41m                      | G. C   | -11,986  | -77,201  | 41,0      | Bandeada a laminada                               |
| Callao   | Dic-2007   | P0712G-5       | C67m                      | G. C   | -11,982  | -77,246  | 67,0      | Bandeada a laminada                               |
| Callao   | Julio-2007 | P0707G-15      | C68.5m                    | G. C   | -12,039  | -77,245  | 68,5      | Bandeada a laminada                               |
| Callao   | Dic-2007   | P0712M-3       | C70m                      | MUC    | -12,039  | -77,194  | 70,0      | Laminada a bandeada                               |
| Callao   | Dic-2007   | P0712G-3       | C70m                      | G. C   | -12,039  | -77,194  | 70,0      | Bandeada a laminada                               |

Tabla 2. Continuación.

| Zona   | Fecha      | Rótulo Testigo | Código en mapa (Figura 2) | Equipo | Posición |          | Descripción general de la Estructura Sedimentaria |  |
|--------|------------|----------------|---------------------------|--------|----------|----------|---|--|
|        |            |                |                           |        | Latitud  | Longitud |   |  |
| Callao | Dic-2007   | P0712G-6       | C94m                      | G. C   | -11,984  | -77,302  | 94,0  | Bandeada a laminada                    |
| Ancón  | Julio-2007 | P0707G-1       | A99.3m                    | G. C   | -11,630  | -77,593  | 99,3  | No se describió                        |
| Callao | Julio-2007 | P0707G-13      | C191m                     | G. C   | -12,082  | -77,651  | 191,0   | Bandeada a laminada                    |
| Supe   | Julio-2007 | P0707G-6       | S240m                     | G. C   | -10,823  | -78,157  | 240,0   | Homogénea con banda aislada en 7-9 cm. |
| Supe   | Julio-2007 | P0707M-4       | S278m                     | MUC    | -10,865  | -78,179  | 278,0   | Laminada a homogénea                   |
| Callao | Julio-2007 | P0707M-11      | C322m                     | MUC    | -11,978  | -77,807  | 322,0   | Laminada a homogénea                   |
| Pisco  | Mayo-2003  | P0305G-28      | P1131m                    | G. C   | -13,568  | -76,538  | 131,0   | Bandeada a homogénea                   |
| Pisco  | Mayo-2003  | P0305G-23      | P1151m                    | G. C   | -13,512  | -76,622  | 151,0   | Laminada a bandeada y homogénea        |
| Pisco  | Mayo-2004  | P0405G-4       | P1257m                    | G. C   | -13,679  | -76,715  | 257,0   | Bandeada a homogénea                   |
| Pisco  | Mayo-2003  | P0305G-33      | P1387m                    | G. C   | -13,665  | -76,807  | 387,0   | Bandeada con láminas aisladas          |
| Pisco  | Mayo-2003  | P0305G-31      | P1438                     | G. C   | -13,679  | -76,815  | 438,0   | Bandeada a laminada                    |

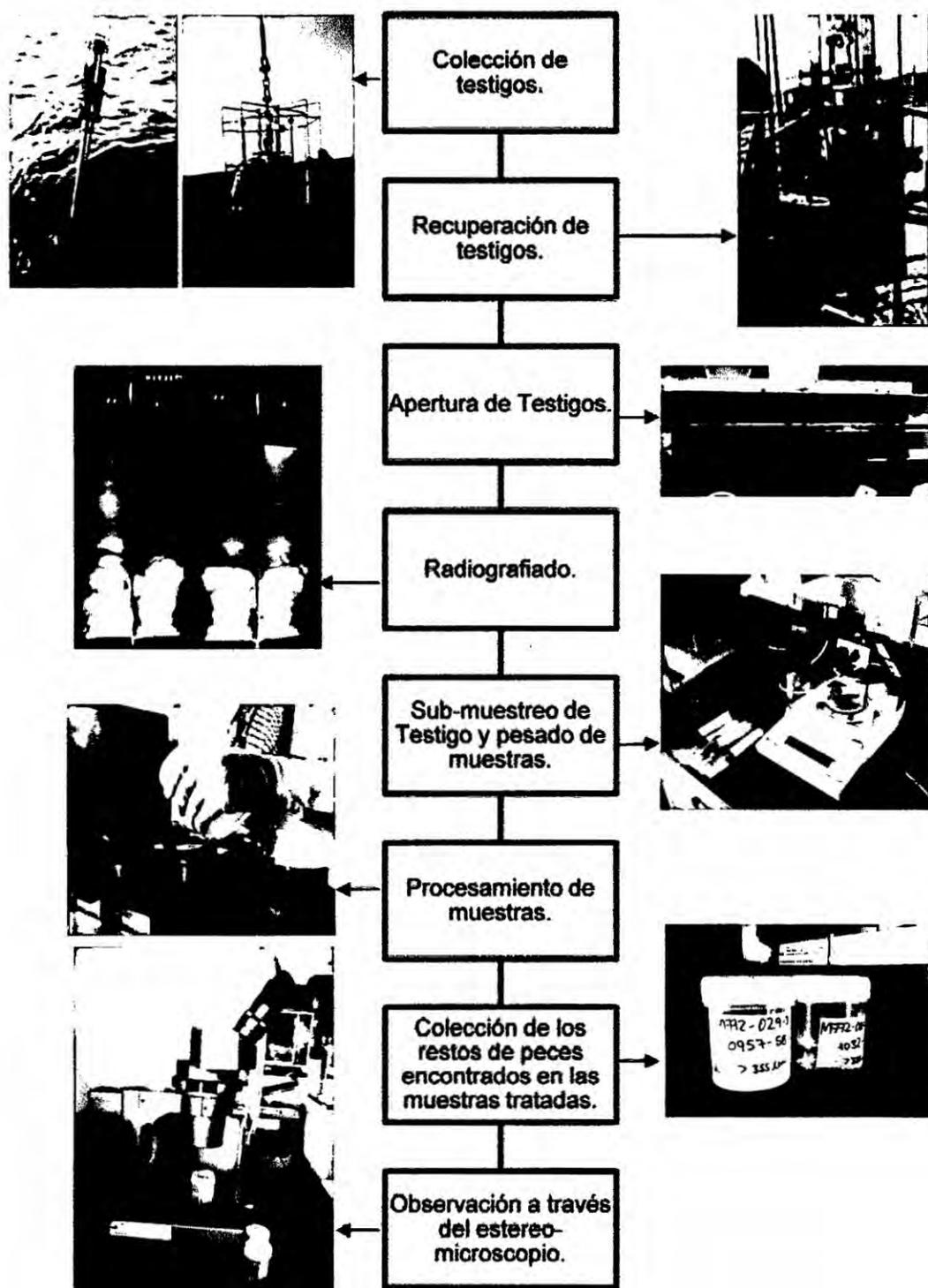
y tubos accesorios de PVC ó acrílicos (para contener los sedimentos). El equipo listo a bordo fue lanzado, conectado a un cable de acero, el cual fue guiado por el winche. El equipo fue recuperado luego de llegar al fondo, penetrar sobre el lecho marino, y capturar la muestra de sedimentos. La recuperación del equipo fue operada con las maniobras del winche, con una velocidad promedio del carrete de 1 m/s, para cuidar de no perturbar la muestra de sedimentos contenida en los tubos del equipo. Una vez recuperado el equipo a bordo, se retiró los tubos accesorios que contenían los sedimentos, para su inmediata refrigeración y su uso posterior. Si el equipo iba a ser nuevamente lanzado se incorporaron con nuevos tubos accesorios (Figura 3, Anexo 2).

Los testigos colectados fueron refrigerados (4°C) luego de ser descritos a bordo de acuerdo a los procedimientos estándares (Shipboard Sedimentologists' Handbook, 1988. Technical Note N°8; Shipboard Scientific Party, 2004. Explanatory notes. Initial Reports Volume 210).

#### *4.4.2. Trabajo de laboratorio*

##### Apertura del testigo

Antes del análisis, cada testigo de sedimento fue retirado de refrigeración, y se colocó en posición horizontal sobre una base de madera encima de la mesa de trabajo (Figura 3). Luego se procedió a cortar las cintas adhesivas que envuelven el testigo y se retiraron la tapa superior y la tapa



**Figura 3. Diagrama de flujo de obtención y tratamiento de los testigos de sedimentos marinos.**

inferior. Inmediatamente se procedió a realizar el corte de los sedimentos longitudinalmente, empleando una cuerda de guitarra. Enseguida, el testigo se aperturó cuidadosamente y se inspeccionó la superficie, observándose que los sedimentos no estuviesen muy húmedos o sueltos, caso contrario se volvió a almacenar hasta que quedaran suficientemente consolidados.

#### Radiografiado de los testigos

La radiografía de rayos X es una técnica usada en el estudio de los sedimentos. El método es muy útil para analizar los detalles de las estructuras sedimentarias principales y secundarias o para detectar su presencia en sedimentos sin consolidar, como también en depósitos consolidados (Kenneth, 1962; Bouma, 1964; Ojala, 2004; Rothwell, 2006). Las tomas de rayos X (Equipo Rx Marca: SIEMENS, modelo: Heliophoss) se efectuaron directamente sobre la superficie de las muestras seccionadas longitudinalmente sin utilizar ningún recubrimiento. Se realizaron de uno a tres ensayos radiográficos con cada foco en diferentes posiciones a lo largo de cada testigo, colocando el respectivo rótulo de cada testigo. Al finalizar los ensayos radiográficos se guardaron cuidadosamente las muestras de sedimentos para evitar pérdida de humedad, cuidando así que no se dañen las muestras, retornándolas lo más pronto posible al refrigerador.

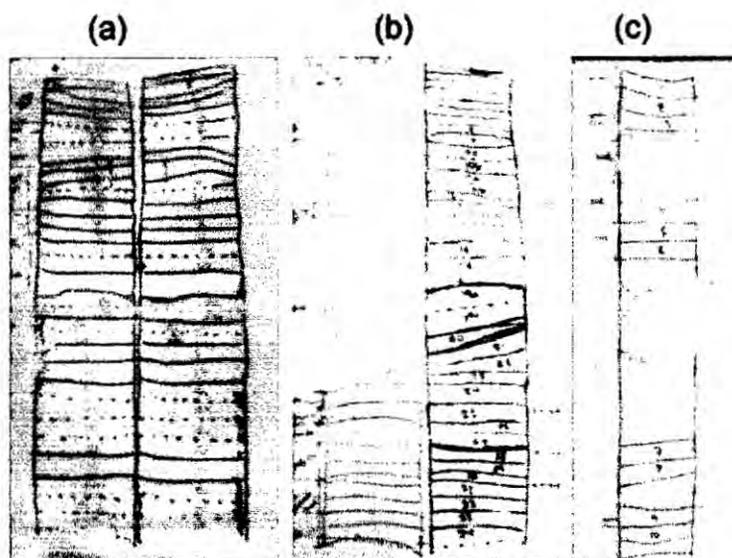
Las tomas de rayos X fueron impresas en positivo. A partir dichas impresiones se identificaron las estructuras sedimentarias (secuencia de láminas finas y gruesas, y bandas) a lo largo del testigo.

#### Submuestreo de testigos

Los testigos (excepto 6 testigos colectados frente a Chimbote y Piura) fueron submuestreados en secciones de acuerdo a la disposición de los estratos, realizando cortes siguiendo la orientación de las líneas de contacto de las estructuras sedimentarias identificadas en los sedimentos. Para ello, previamente se elaboraron plantillas estratigráficas (Figura 4), las cuales consistieron en esquemas representativos de las estructuras sedimentarias identificadas en las placas radiográficas (imágenes de rayos X) de los sedimentos. Cada plantilla se elaboró en una hoja plástica transparente, la cual se colocó sobre cada placa radiográfica, trazando líneas (con plumón a mano alzada) de acuerdo a la orientación de las líneas de contacto de las estructuras sedimentarias. Los cortes realizados en los sedimentos fueron hechos siguiendo la orientación de las líneas trazadas en las plantillas.

Cabe indicar que las plantillas fueron elaboradas en dos tipos de formatos de acuerdo a la variabilidad de las estructuras sedimentarias identificadas en cada testigo. Un tipo de formato correspondió para el submuestreo continuo o completo del testigo. Es decir, si el testigo presentaba estructuras sedimentarias con mucha variabilidad, o si el

testigo era de mayor interés, se elaboró la plantilla para cortar y seccionar el testigo completo (Figura 4). El otro tipo de formato correspondió para el submuestreo discontinuo del testigo. En este último caso el esquema de cada plantilla consistió en trazos de líneas representativas de estructuras laminadas y/o bandeadas no necesariamente secuenciales. Para ello, se eligió de dos a tres muestras (equivalentes a estructuras de láminas y/o bandas) de ~0,5 a 1 cm de espesor cerca a la superficie, luego de dos a cuatro muestras de ~1 cm de espesor cerca a la mitad de la longitud del testigo, y de dos a cuatro muestras de ~1 cm de espesor cerca a la base del testigo (ver Figura 4, Tabla 3).



**Figura 4. Ejemplo de plantillas usadas para el submuestreo de los testigos de sedimentos.**  
(a) y (b): Submuestreo de testigo completo, (c): Submuestreo discontinuo de testigo. En (c) se seleccionaron tres muestras en superficie, tres muestras a profundidad intermedia, y cuatro muestras cerca a la base del testigo.

Tabla 3. Resumen del submuestreo realizado y número de muestras examinadas en cada testigo de sedimentos marinos.

| Zona     | Rótulo    | Denominación   | Longitud testigo (cm) | Submuestreo                          | # muestras examinadas |
|----------|-----------|----------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| Paíta    | D0701G-43 | Paíta, 220m    | 32,0                  | cada 0.5cm (0-5 cm), el resto c/1cm  | 19                    |
| P. Falsa | D0801G-7  | P. Falsa, 220m | 53,5                  | cada 0.5cm (0-3 cm), el resto c/1cm  | 24                    |
| Paíta    | D0701G-47 | Paíta, 234m    | 34,0                  | cada 0.5cm (0-10 cm), el resto c/1cm | 20                    |
| Casma    | D0801G-4  | Casma, 127m    | 41,0                  | cada 0.5cm (0-3 cm), el resto c/1cm  | 12                    |
| Chimbote | D0801G-6  | Chimbote, 342m | 27,5                  | cada 0.5cm (0-3 cm), el resto c/1cm  | 14                    |
| Chimbote | D0701M-4  | Chimbote, 445m | 26,5                  | cada 0.5 cm todo el testigo          | 103                   |
| Callao   | P0712M-4  | Callao, 41m    | 35                    | completo, por estratigrafía          | 12                    |
| Callao   | P0712G-4  | Callao, 41m    | 74,4                  | completo, por estratigrafía          | 15                    |
| Callao   | P0712G-5  | Callao, 67m    | 33,2                  | discontinuo, por estratigrafía       | 11                    |
| Callao   | P0707G-15 | Callao, 68.5m  | 43,8                  | completo, por estratigrafía          | 47                    |
| Callao   | P0712M-3  | Callao, 70m    | 36                    | completo, por estratigrafía          | 18                    |
| Callao   | P0712G-3  | Callao, 70m    | 74                    | completo, por estratigrafía          | 16                    |
| Callao   | P0712G-6  | Callao, 94m    | 42,6                  | discontinuo, por estratigrafía       | 10                    |
| Ancón    | P0707G-1  | Ancón, 99,3    | ----                  | discontinuo, por estratigrafía       | 6                     |

Tabla 2. Continuación.

| Zona   | Rótulo    | Denominación | Longitud testigo (cm) | Submuestreo                    | # muestras examinadas |
|--------|-----------|--------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Callao | P0707G-13 | Callao, 191m | 36                    | discontinuo, por estratigrafía | 8                     |
| Supe   | P0707G-6  | Supe, 240m   | 26,6                  | discontinuo, por estratigrafía | 6                     |
| Supe   | P0707M-4  | Supe, 278m   | 40                    | completo, por estratigrafía    | 13                    |
| Callao | P0707M-11 | Callao, 322m | 38                    | completo, por estratigrafía    | 26                    |
| Pisco  | P0305G-28 | Pisco, 131m  | 34                    | discontinuo, por estratigrafía | 8                     |
| Pisco  | P0305G-23 | Pisco, 151m  | 42,5                  | discontinuo, por estratigrafía | 12                    |
| Pisco  | P0405G-4  | Pisco, 257m  | 42,1                  | discontinuo, por estratigrafía | 8                     |
| Pisco  | P0305G-33 | Pisco, 387m  | 32                    | discontinuo, por estratigrafía | 5                     |
| Pisco  | P0305G-31 | Pisco, 438m  | 24,6                  | discontinuo, por estratigrafía | 9                     |

Los seis testigos sub-muestreados sin uso de plantillas, se cortaron en intervalos en escala centimétrica desde la superficie hasta la base. El testigo compuesto D0701M-4 (D0701M-4-2 y D0701M-4-3, colectados frente a Chimbote) fue cortado cada 0.5 cm desde la superficie hasta la base. Otros dos de estos testigos (D0701G-43 y D0701G-47, frente a Paita) fueron cortados cada 0,5 cm desde la superficie hasta los 5 cm de profundidad, y el resto cada 1 cm. Los tres testigos restantes (D0801G-4, D0801G-6 y D0801G-7, frente a Casma, Chimbote y Punta Falsa respectivamente) fueron cortados cada 0,5 cm desde la superficie hasta los 3 cm de profundidad, y luego cada 1 cm.

Conforme se realizaba el submuestreo de cada testigo, cada sección de sedimentos se colocó en una bolsa con cierre hermético previamente rotulada, registrando la masa húmeda de los sedimentos en una balanza analítica, luego se llevó a refrigeración (4°C) para su conservación y uso posterior.

#### Tratamiento y tamizado de las muestras

Posteriormente las muestras fueron calentadas en baño maría por nueve minutos en una solución de peróxido de hidrógeno (al 35%) y luego tamizadas en una tamiz con abertura de malla de 500 micras para retener las escamas y restos óseos de peces (vértebras, espinas y otros restos óseos) (Sánchez C. ---). El material fue identificado utilizando un catálogo de escamas de referencia, que incluye muestras de peces actuales.

*Descripción de metodología:*

- Para llevar a cabo el procedimiento del lavado de sedimentos, la muestra se transfirió a un vaso de precipitado de 500 mL (etiquetado previamente según nomenclatura de las muestras), al que se agregó luego hasta 50 mL de agua destilada, agitándolo un poco para homogenizar la muestra.
- Cada vaso fue colocado por tres minutos en baño María regulado entre 40 y 50 °C. Después se añadieron 30 mL de solución de peróxido de hidrógeno (al 35 %), agitando el contenido del vaso y se dejó en el baño María por otros tres minutos (Figura 5).

*"El peróxido se usa como un agente dispersante, actuando en este caso de dos modos: Oxida la materia orgánica, la cual frecuentemente impide la dispersión y tiene que ser removida. Además, el peróxido genera oxígeno en los espacios porosos de la sustancia, empujando las partículas individuales lejos unas de las otras. Posteriormente esto facilitó el tamizado húmedo de la muestra (Konert, 1997; Vdović et al., 2010)".*

- Si la efervescencia resultaba como para que se derrame la espuma, se añadía buffer etanol (al 70 %). Ya controlada la efervescencia, se añadió otros 30 mL de solución peróxido de hidrógeno y se dejó en el baño María otros tres minutos más (Figura 5).

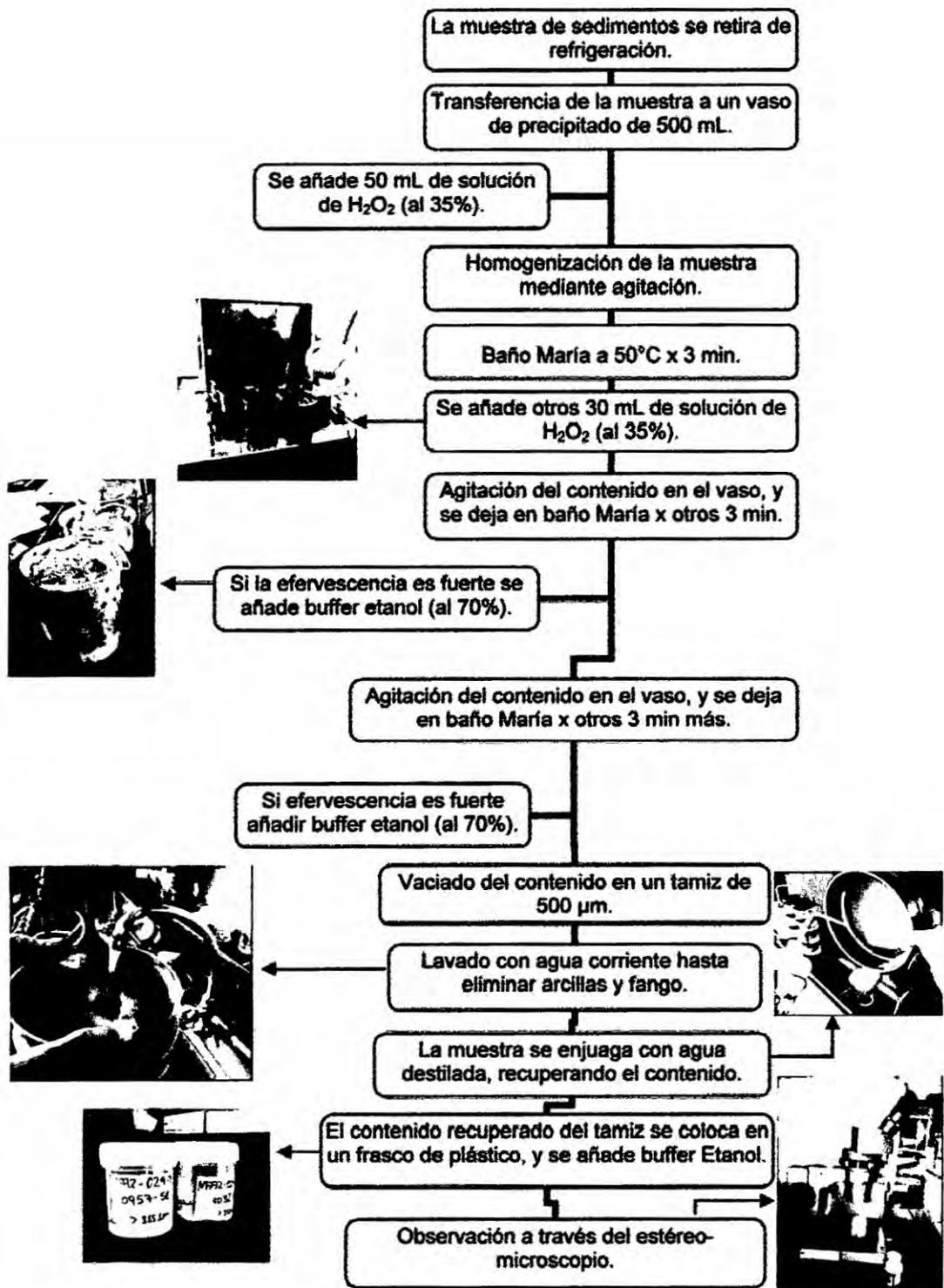
- Posteriormente, el contenido del vaso de precipitado fue vaciado sobre un tamiz de 500 micras, que fue lavado con agua corriente, hasta observar escasa o nula cantidad de arcilla y fango (Figura 5).
- Los residuos del tamiz fueron enjuagados con agua destilada y se colocaron dentro de un recipiente de plástico previamente rotulado, añadiéndole buffer Etanol para así preservar el contenido. Esta fracción retenida fue la utilizada para el conteo e identificación de escamas y restos óseos de peces (Figura 5).

#### Identificación de escamas y restos óseos de peces

##### Identificación de escamas de peces:

Las escamas de peces encontradas en los sedimentos fueron contadas e identificadas (identificación de la especie de pez que produjo las escamas), utilizando como referencia un catálogo de escamas de peces (Salvatteci et al., 2006), que incluye muestras de peces actuales.

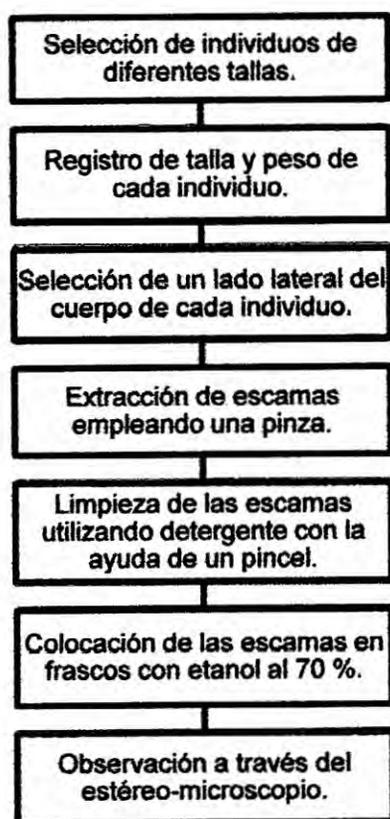
El adiestramiento en la técnica de identificación de escamas de peces, se realizó empleando muestras frescas de peces pelágicos (anchoveta, sardina, jurel, y caballa) y demersal (merluza). Estas muestras de peces provenientes de la pesquería artesanal, fueron facilitadas amablemente por el personal de la sala de muestreo del IMARPE. La identificación de las escamas de muestras frescas de peces, fue la base para la identificación de las escamas provenientes de los sedimentos marinos.



**Figura 5. Diagrama de flujo del tratamiento de las muestras de sedimentos. Dicho tratamiento se realizó para separar las escamas y restos óseos de peces de los sedimentos.**

A continuación se describe el procedimiento (Figura 6) para el adiestramiento en la técnica de identificación de escamas de peces:

- Se utilizaron de cinco a quince ejemplares por especie, de tallas adulta y juvenil, registrando previamente las tallas totales y los pesos de cada individuo.



**Figura 6. Diagrama del procedimiento para coleccionar muestras de escamas de peces actuales.**

- Con el propósito de obtener los tipos de escamas de acuerdo a su distribución en el cuerpo de cada ejemplar (Figura 7), se seleccionó un lado lateral del cuerpo de cada individuo, extrayendo las escamas en

tres filas (desde el opérculo hasta el pedúnculo caudal). Se utilizaron pinzas para la extracción de las escamas, evitando dañarlas. Se obtuvieron un total de treinta a cien escamas por individuo.

- La limpieza de las escamas se realizó con detergente, utilizando un pincel para retirar los restos de piel, luego las escamas se colocaron en frascos (previamente rotulados) con etanol para su preservación.
- La identificación de las escamas se realizó a través de un estereomicroscopio (VMT JAPAN-1X, 4X).

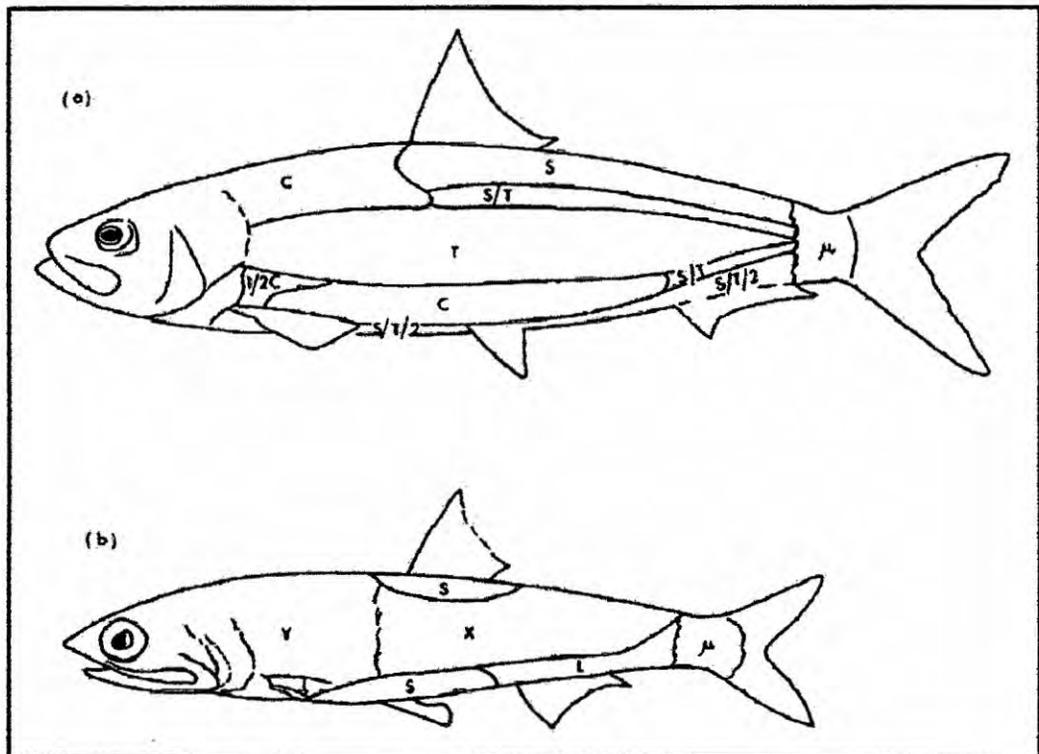


Figura 7. Ejemplo de la distribución del tipo de escamas en diferentes partes del cuerpo del pez.  
(a) Sardina *Sardinops ocellatus* y (b) anchoveta *Engraulis capensis* de Sudáfrica (figura tomada de Shackleton & Johnson [1988]).

### **Identificación de restos óseos de peces**

Los restos óseos de peces comprenden a las vértebras, huesos y espinas. En el caso de los restos óseos, solamente las vértebras provenientes de los sedimentos, fueron posibles de identificar, al ser comparadas con vértebras de ejemplares frescos diseccionados. El procedimiento en la obtención de muestras de individuos frescos y la identificación de las vértebras, fue similar al de las de escamas.

### **Análisis sedimentológico**

El análisis granulométrico de las muestras de sedimentos se realizó según Ingram (1971) por el método de tamizado para la fracción gruesa, y la fracción limo-arcilla por el método hidrométrico.

La determinación del contenido de materia orgánica total se realizó mediante la calcinación del sedimento seco a 550 °C según el método de ignición (Dean, 1974).

#### ***4.4.3. Equipos para la colección de muestras:***

- Equipo Multisacatestigos (Multicore, MUC, obtención de testigos con sedimentos superficiales del lecho marino, Anexo 2).
- Equipo saca testigo de gravedad (Gravity core, GC, obtención de testigos de sedimentos con mayor penetración, Anexo 2).

#### **4.4.4. Equipos empleados en laboratorio:**

- Balanza analítica.
- Cámara fotográfica NIKON.
- Equipo cortador marca Dremen (apertura de testigos).
- Equipo de baño María.
- Estéreo microscopio (VMT JAPAN -1X, 4X).
- Estufa.
- Refrigerador o conservador a temperatura constante (4° C).

#### **4.4.5. Materiales accesorios empleados en laboratorio**

- Base de madera porta testigos de 60 cm x 30 cm, y cuerda de guitarra para cortar sedimentos.
- Vasos de precipitado de 500 mL.
- Bolsas plásticas de 16.5 cm x 14.9 cm (con empalmes herméticos).
- Bolsas plásticas o pliegos de papel celofán transparentes (para elaborar plantillas).
- Caja con alfileres.
- Cajas para archivar muestras.
- Cinta adhesiva de 1.5".
- Cinta aislante.
- Cuchillas con mango de plástico (3 o 4).
- Espátulas (3 o 4).

- Fiola de 1000 mL.
- Frascos de plásticos con tapa hermética de 20 mL y 40 mL, para almacenar los restos de peces.
- Lápices.
- Matraz o Erlenmeyer de 1000 mL.
- Picetas.
- Pinzas y pinceles.
- Pipetas.
- Placas Petri (10 y 15 cm Ø).
- Placas radiográficas de los testigos sedimentológicos.
- Plástico adhesivo para envoltura (30.4 cm x 30.4 cm).
- Plumones indelebles punta gruesa y punta fina.
- Regla graduada centimétrica de metal y plástica.
- Tamiz (500 micras de apertura de malla).
- Tijeras.

**4.4.6. Insumos químicos empleados en procesamiento de muestras:**

- Agua destilada.
- Etanol absoluto (al 99%).
- Peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) al 35 %.
- Tetra-Sódio difosfato decahidratado (Pirofosfato de sódio).
- THAM (Hidroximetil purificado) Aminometano.

#### **4.4.7. Equipos, materiales y software de escritorio para procesar datos**

- **Archivador de papeles.**
- **Computadora.**
- **Cuaderno de apuntes.**
- **Discos compactos.**
- **Hoja de cálculo Office Excel.**
- **Papel boom A4.**
- **Software ArcGis 10.1.**
- **Software Statistica 6.0.**

#### **4.5. Procedimientos de recolección de datos**

##### **4.5.1. Estimación de abundancias de escamas, y restos óseos**

Las escamas fueron contadas y anotadas como una escama (escama entera) considerando lo siguiente (Salvatteci, 2008):

- Si las escamas presentaban sus partes completas (parte lateral izquierdo y derecho, más foco) tal como una de un pez reciente.
- Si las escamas presentaban una parte lateral (izquierdo o derecho), con presencia del foco.
- Si las escamas presentaban las líneas concéntricas de crecimiento, y a lo menos si el foco completo estaba presente.
- Si las escamas presentaban solo su foco.

Las escamas fueron anotadas como media escama (mitad escama) considerando lo siguiente:

- Si las escamas presentaban una mitad (parte lateral izquierda o derecha) o menos, con la mitad o parte del foco, asegurando que esta no sea un resto de otras escamas consideradas como enteras.

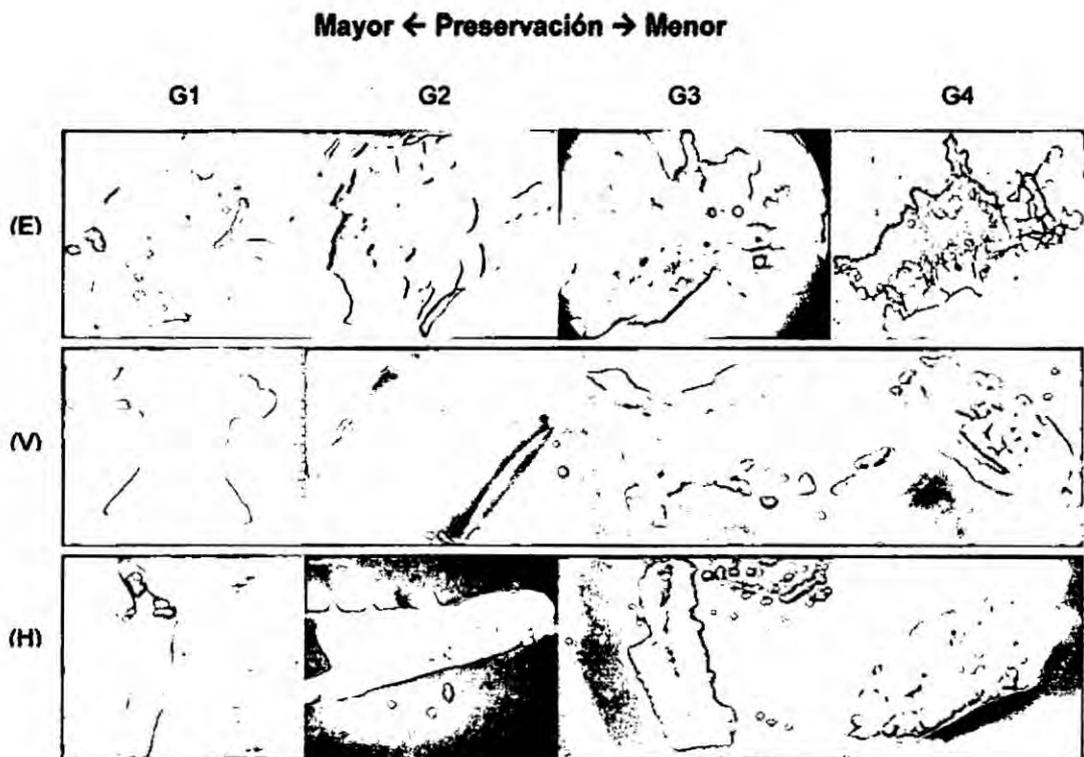
Las escamas que no presentaron a lo menos lo descrito, fueron contadas y anotadas como fragmentos de escamas. Las vértebras, huesos y espinas fueron contadas, identificándose por especie de pez, únicamente a las vértebras. Se encontraron vértebras de anchoveta, sardina y merluza que fueron comparadas con muestras de ejemplares frescos. El número de escamas y restos óseos se dividieron entre el peso de cada muestra húmeda de sedimentos para normalizar los valores a números de escamas por gramos de sedimento analizado.

#### *4.5.2. Determinación de índices de alteración física en restos de peces*

La determinación de la preservación consistió en primer lugar establecer categorías o niveles de alteración física de los restos de peces, y en segundo lugar calcular índices de alteración física. El nivel de alteración física se estableció para cada resto de pez observado. El índice de alteración física se calculó para el conjunto de cada tipo (escama, vértebras, etc.) de restos de peces respecto a una muestra, conjunto de muestras y al testigo completo.

### Determinación del nivel de alteración física de los restos de peces

La determinación de los niveles o grados de alteración física consistió en caracterizar el estado de la integridad física de la superficie de los restos de peces. La caracterización del estado de la integridad física se realizó por técnica visual a través del estéreo microscopio. Dichos niveles se categorizaron y anotaron en un rango de valores (adimensionales) de 1 a 4 (Salvatteci, et al., 2005) tanto para escamas, vértebras, huesos y espinas (Figura 8). El nivel o grado de valor 1 expresa mayor preservación y el nivel de valor 4 expresa menor preservación.



**Figura 8. Restos de peces ordenados de acuerdo al nivel de preservación. E: Escamas (1<sup>ra</sup> fila), V: Vértebras (2<sup>da</sup> fila), H: Huesos (3<sup>ra</sup> fila). G1- G4: Nivel de preservación de 1 a 4.**

A continuación se describen las consideraciones que se tomaron en cuenta para establecer el nivel de alteración física de los restos de peces:

**CAF 1:** Sin cobertura de alteración física (CAF) 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.

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

**CAF 3:** De 33% a 66% de CAF 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%) de su cobertura. Los restos de peces con esta categoría son considerados en estado de mala preservación física.

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

Cálculo de los índices de cobertura de alteración física de los restos de peces:

Los índices de cobertura de alteración física (IAF) representan un valor promedio del nivel de alteración de un conjunto de restos de peces observados en una muestra, conjunto de muestras, o un testigo completo. Estos índices se calcularon en forma independiente para cada tipo de escama (por especie de pez), así como también para cada tipo de resto óseo (vértebra, hueso y espina). El cálculo del índice IAF de los restos de peces, se realizó usando la siguiente fórmula de promedio ponderado (según Salvatteci et al., 2012):

$$IAF = \frac{(NRCAF1 * 1) + (NRCAF2 * 2) + (NRCAF3 * 3) + (NRCAF4 * 4)}{NTR}$$

$$IAF = \frac{\sum NRCAF_n * CAF_n}{NTR}$$

*IAF: Índice de cobertura de alteración física.*

*NRCAF1, número de restos de peces con cobertura de alteración física de nivel 1.*

*NRCAF2, número de restos de peces con cobertura de alteración física de nivel 2.*

*NRCAF3, número de restos de peces con cobertura de alteración física de nivel 3.*

*NRCAF4, número de restos de peces con cobertura de alteración física de nivel 4.*

*NRCAF<sub>n</sub>, número de restos de peces con cobertura de alteración física de nivel "n".*

*CAF<sub>n</sub>, cobertura de alteración física de nivel "n".*

*NTR, número total de restos de peces.*

#### **4.5.3. Determinación de cocientes entre restos de peces**

Se determinaron los cocientes escamas/vértebras, escamas/(vértebras + huesos), espinas/(vértebras + huesos), escamas enteras/escamas fragmentadas. Estos cocientes se usaron también como indicadores de preservación, aumentando la consistencia en la evaluación de los cambios en la preservación de los restos de peces en los testigos estudiados. Mayores valores en los cocientes escamas/restos óseos, nos indica una mejor preservación de las escamas suponiendo que los restos óseos sufren un proceso más lento de descomposición. Es decir los huesos y vértebras al tener bajos cocientes de área superficial a volumen y menos materia orgánica que las escamas, entonces las escamas pueden ser descompuestas más fácilmente que los huesos y vértebras (Salvatteci et al., 2012).

#### **4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos**

El registro, ordenamiento y procesamiento de los datos, se realizaron usando una hoja de cálculo Excel. Se calcularon concentraciones de escamas y restos óseos, índices de alteración física, y cocientes de escamas a restos óseos de peces en cada muestra, muestras de la superficie del testigo, y en cada testigo completo como si fuera una sola muestra. Las pruebas estadísticas se realizaron empleando el paquete estadístico "Statistica 6.0". La elaboración de mapas de la posición de

colección de los testigos, se realizó con el programa computacional ArcGIS versión 10.1.

La evaluación del grado de correlación entre los factores abióticos (latitud, propiedades de los sedimentos), y entre las concentraciones e índices de preservación de los restos de peces se realizó usando una correlación de matriz cuadrada de Pearson (Rodgers & Nicewander, 1988; Stigler, 1989; Rovien & von, 1997; Godwin & Leech, 2006). Los datos de las concentraciones, índices de preservación de los restos de peces correspondieron a los primeros ~2 cm de cada testigo, considerando que estos reflejarían el efecto de las condiciones ambientales actuales. Además, la evaluación del grado de correlación de las concentraciones e indicadores de preservación de los restos de peces con los factores abióticos se realizó mediante una matriz rectangular de correlación de Pearson. Previo al análisis de correlación, los datos que no cumplieran con la distribución esperada, se transformaron, usando el método de transformación de arcoseno, logarítmica, y raíz cuadrada según sea el caso (Zar, 1999).

Se realizaron pruebas de análisis de varianza (ANOVA) factorial de dos vías para determinar si existen diferencias significativas en las concentraciones e índices IAF de los restos de peces entre los diferentes grupos y clases de latitud y profundidad respectivamente. Para este análisis, los datos correspondieron a la superficie (0-2 cm) de los testigos

(ver Anexo 5 y Anexo 7). Se consideró a las concentraciones de escamas, vértebras, vértebras + huesos, y a los índices IAF de los restos de peces, como variables dependientes, y como factores (predictores categóricos) a la latitud (posición geográfica del testigo) y profundidad bajo el nivel del mar. La latitud se arregló en tres categorías o grupos (N=norte, C=centro, y S=sur); y la profundidad se arregló en tres categorías o clases (Clase 1:  $\leq 150$  m, clase 2:  $150 < y \leq 300$  m, y clase 3:  $> 300$  m) (ver Anexo 5 y Anexo 7).

La evaluación del efecto de la variabilidad de los factores abióticos sobre la variabilidad de las concentraciones de escamas, vértebras, huesos, e índices de alteración física, se realizó mediante el desarrollo de modelos de regresión múltiple. Para este análisis se usó como variable dependiente a las concentraciones de escamas y vértebras de peces, cocientes de escamas a restos óseos, y los índices IAF de los restos de peces. Como variables predictores se usó a la latitud, profundidad, proporciones de arena, limo y arcilla, y el contenido de materia orgánica total en los sedimentos. Estableciendo que la concentración promedio de oxígeno disuelto en el agua de fondo está en función de la profundidad y latitud (Helly & Levin, 2004).

## **V. RESULTADOS**

### **5.1. Descripción de los testigos**

En los 23 testigos de sedimentos marinos analizados se observaron una gran variabilidad de las estructuras sedimentarias, categorizadas de acuerdo a escalas milimétrica y centimétrica como laminas finas (<0.3 cm), laminas gruesas (entre 0.3-1 cm), bandas (>1cm), homogénea (estructura masiva sin subunidades de laminación y bandas), y bioturbadas (ver Tabla 2, Figura 9). Las estructuras sedimentarias características fueron masivas y bioturbadas en los testigos del Norte (Paita), laminadas en los de Chimbote, y laminada a bandeada en los testigos de Callao y Pisco. En los testigos de Callao destaca particularmente uno de ellos (P0712M-3, Callao, 70 m) por presentar paquetes continuos con estructuras de láminas y bandas a lo largo de todo el testigo, a diferencia de los otros que exhibieron combinación de estructuras laminadas, bandeadas con secciones masivas u homogéneas.

### **5.2. Abundancia de escamas y restos óseos de peces**

En los testigos de sedimentos examinados se identificaron escamas de anchoveta, merluza, sardina, jurel, caballa, y otras no identificadas (posiblemente de mictófidis). Los testigos de Callao presentan mayores cantidades de escamas, seguidos por los testigos de Chimbote y Piura, y

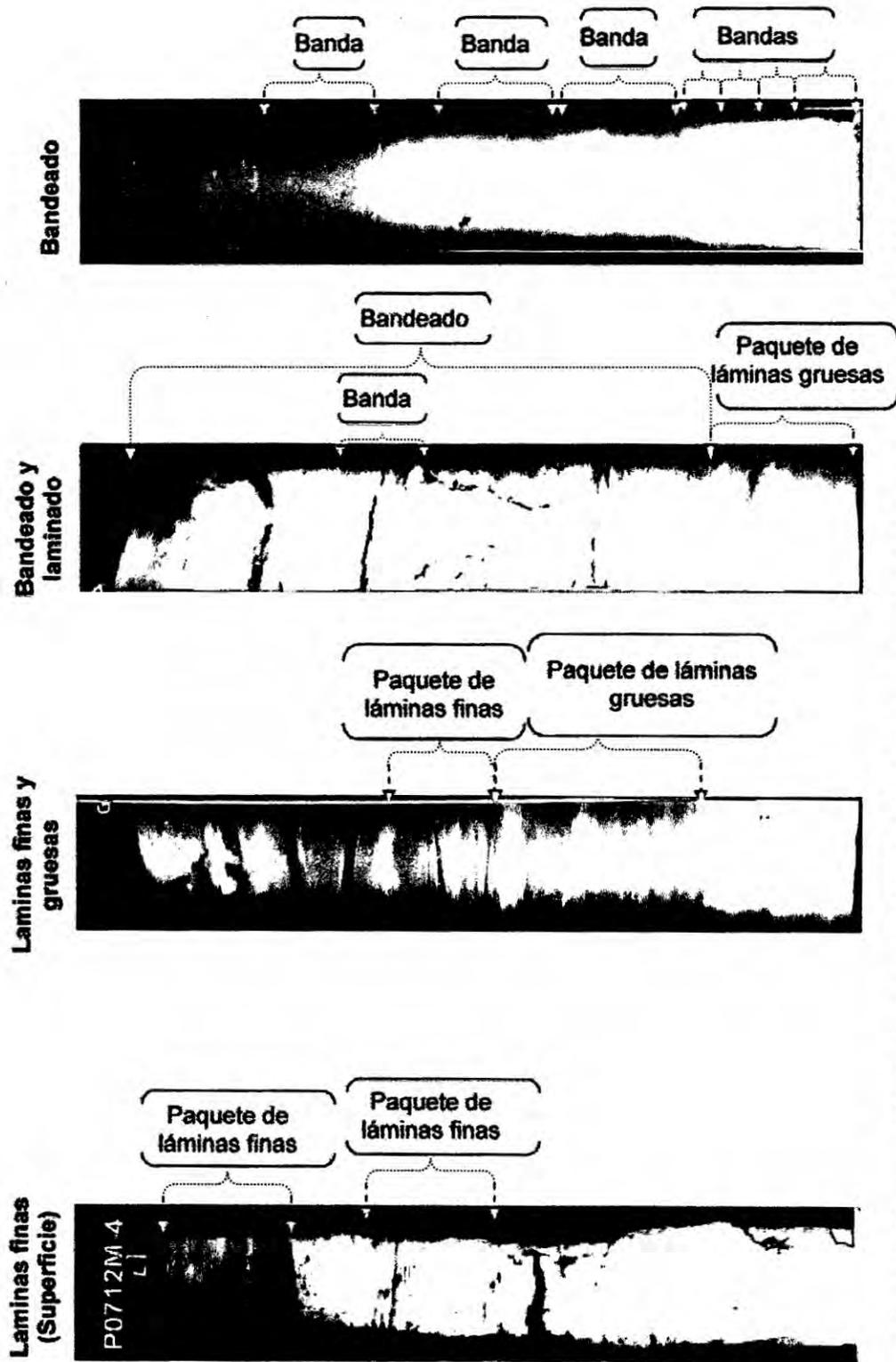


Figura 9. Radiografías de algunos testigos exhibiendo los diferentes tipos de estructuras sedimentarias.

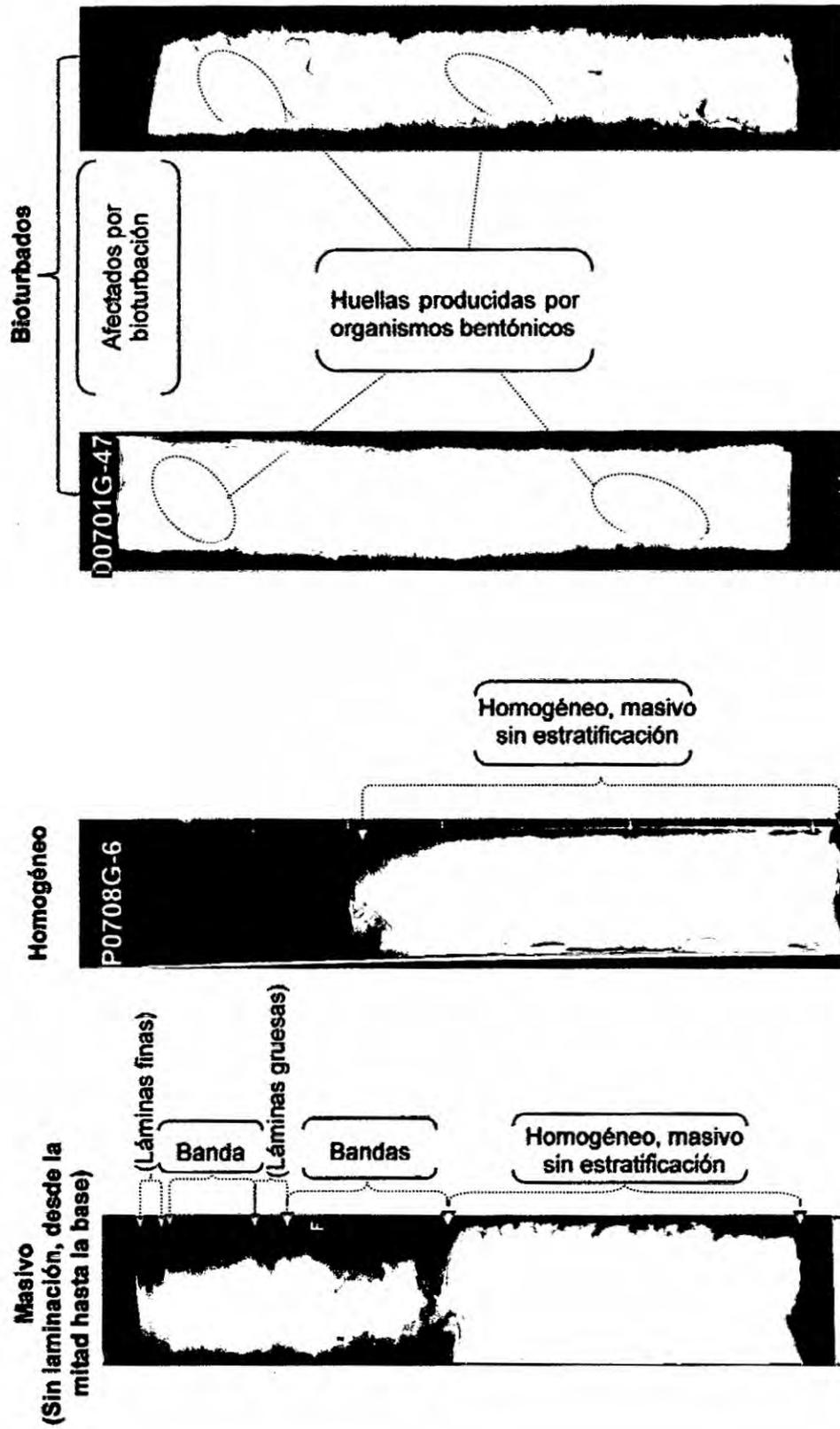
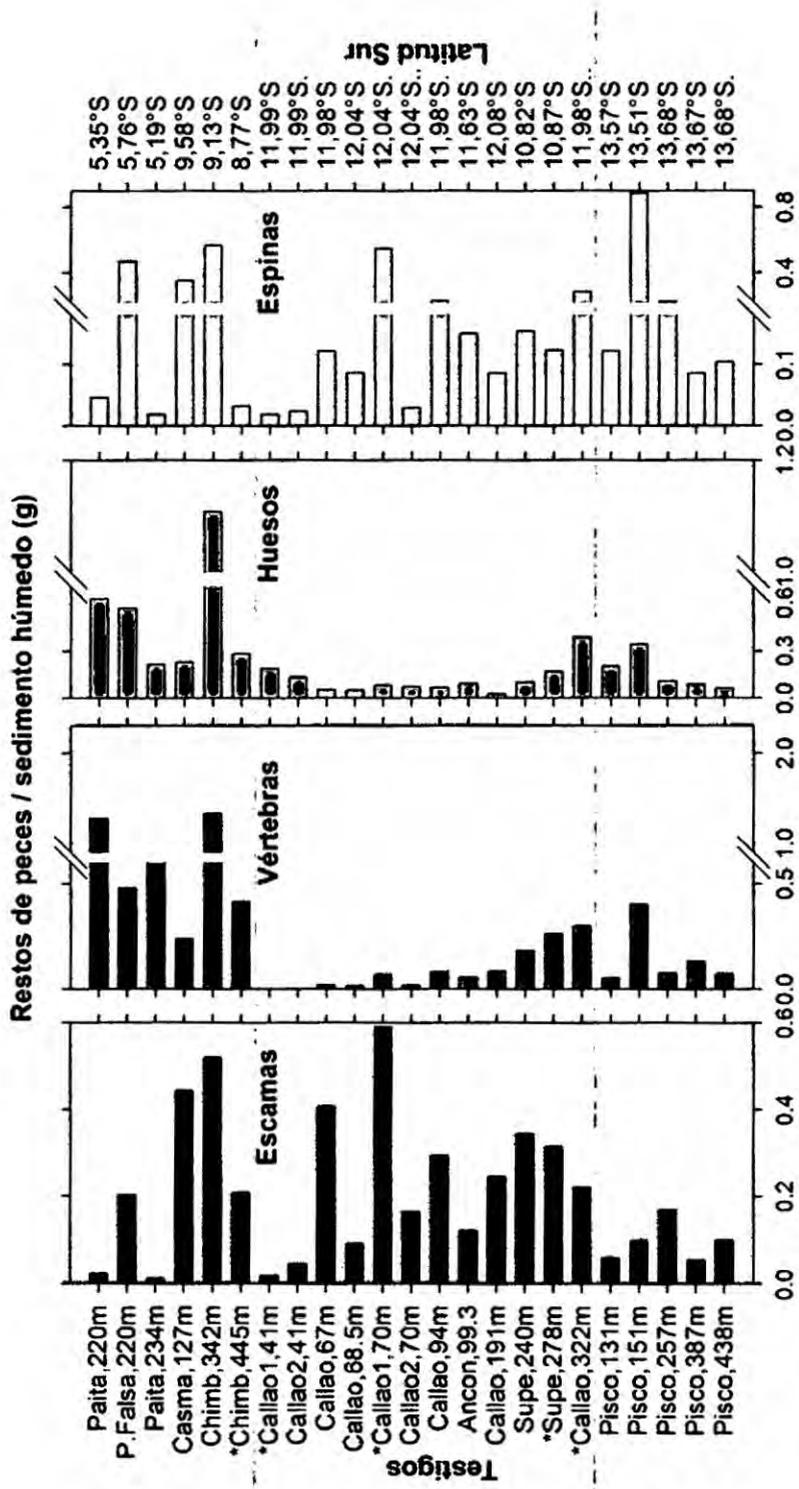


Figura 9. Continuación.

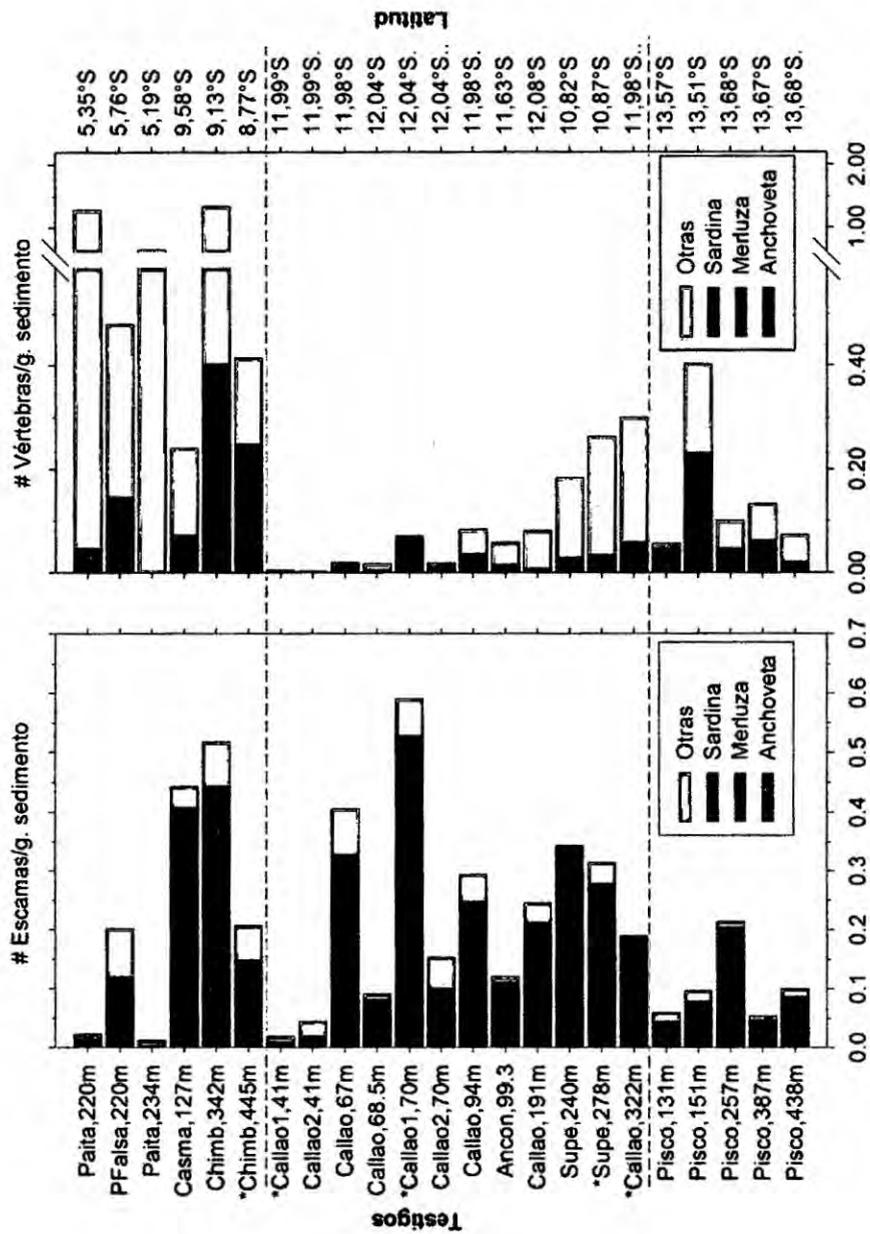
los testigos de Pisco (Gráfico 1). Las escamas de anchoveta predominaron generalmente en todos los testigos, en segundo orden las escamas de merluza, seguida por las de sardina y de otras no identificadas (Gráfico 2, Anexo 3, Anexo 4).

Las concentraciones del total de vértebras de peces son mayores en los testigos de Chimbote y Piura. Frente a Callao los testigos más profundos presentan concentraciones de vértebras ligeramente mayores que en los testigos someros; mientras que frente a Pisco es lo contrario (Gráfico 2). Se lograron identificar vértebras de anchoveta, sardina, merluza, y las vértebras no identificadas se consideraron como otras (vértebras más pequeñas que las de anchoveta, posiblemente de anchovetas juveniles o de mictófidis). Las mayores concentraciones de vértebras resultaron ser de anchoveta en primer orden y de otras vértebras no identificadas en segundo orden, seguidas por las concentraciones de vértebras de merluza y sardina (Gráfico 2).

Los huesos y espinas de peces fueron solamente cuantificados sin lograrse identificar a que especie de pez pertenecían. La variabilidad de las concentraciones de dichos restos fue similar como a la del total de vértebras, con mayor concentración en los testigos de Chimbote, y Piura; una ligera tendencia de incremento en los testigos de Callao con respecto a la profundidad bajo el nivel del mar, inverso a esto se observa en los testigos de Pisco (Gráfico 3).



**Gráfico 1. Concentración de restos de peces en testigos organizados de menor a mayor profundidad. Se muestran los testigos frente a Chimbote y Piura (arriba de la línea de guiones superior), frente a Callao (entre las 2 líneas), y frente a Pisco (debajo de la línea inferior); de izquierda a derecha: Total de escamas, vértebras, huesos, y espinas por gramo de sedimento húmedo examinado.**



**Gráfico 2. Concentraciones de restos de peces por especie de pez en los testigos de sedimentos. Los testigos están organizados de menor a mayor profundidad frente a Chimbote y Piura (arriba de la línea superior en guiones), frente a Callao (entre las 2 líneas), frente a Pisco (debajo de la línea inferior en guiones); composición de escamas por especie (izquierda), composición de vértebras por especie (derecha).**

### 5.3. Índices de preservación de los restos de peces en los sedimentos marinos

Los índices de preservación comprenden los índices de alteración física y los cocientes de los restos de peces (escamas, huesos, vértebras y espinas), (Anexo 6, Anexo 7, Anexo 8, Gráfico 3. y Gráfico 4). A continuación se describen los tipos de cocientes e índices de alteración física por cada testigo completo como si fueran una sola muestra:

- Cocientes de escamas/vértebras
- Cocientes de escamas/ vértebras y huesos
- Cocientes de escamas enteras/escamas fragmentadas
- Cocientes de espinas/vértebras y huesos

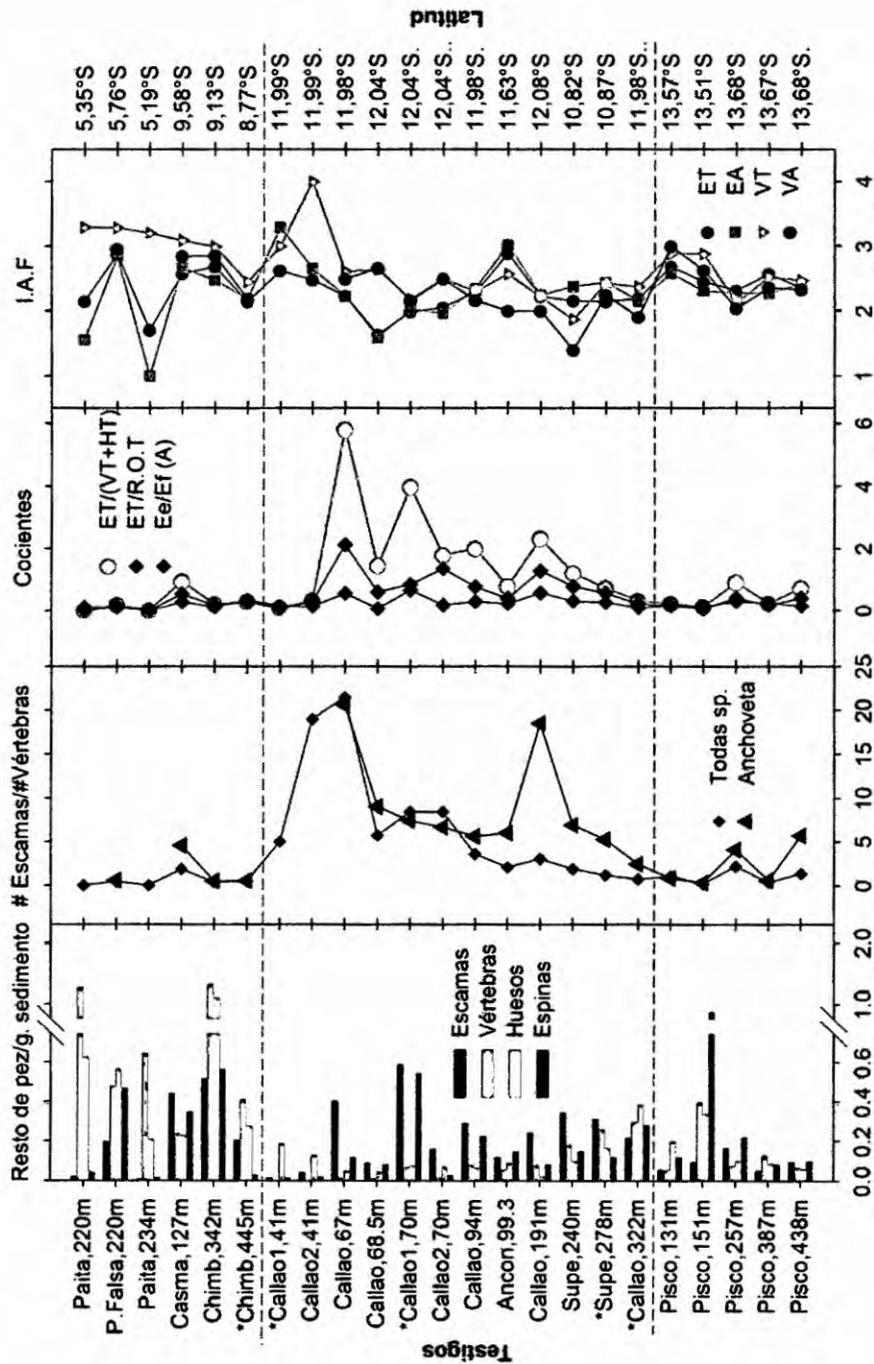
Los cocientes escamas de anchoveta a vértebras de anchoveta, y cociente escamas a vértebras de todas las especies, presentan diferencias entre los testigos centro, sur y norte frente a Perú. Dichos cocientes presentan valores máximos en los testigos frente a Callao, Ancón y Supe, seguidos en sentido decreciente por los de los testigos frente a Pisco (2<sup>do</sup> panel de Gráfico 3), y mínimos valores en los testigos frente a Chimbote y Paita. Dicho patrón es reproducido de forma similar en los cocientes de escamas/(vértebras + huesos) y cocientes espinas/(vértebras + huesos), y de forma ligeramente similar en los cocientes escamas/restos óseos totales (3<sup>er</sup> panel en Gráfico 3).

Los índices de alteración física de huesos, vértebras, y restos óseos totales, presentan un patrón de variabilidad similar tanto en la superficie de los testigos como en el testigo completo (Gráfico 3 y Gráfico 4). Estos índices IAF exhiben valores máximos (cercano a 4) en los testigos del grupo latitudinal norte (testigos frente Paita) (Gráfico 3 y Gráfico 4). En el resto de los testigos los índices IAF fluctúan entre los valores 2 y 3, con excepción en dos testigos frente a Callao ("*Callao, 41 m*") que exhiben valores mayores, aproximadamente entre los valores 3 y 4 (Gráfico 3 y Gráfico 4).

Los índices IAF de escamas totales y escamas de anchoveta presentan valores que oscilan entre 1 y 2.87 en los testigos del grupo latitudinal norte, resultando estos valores menores en comparación con los valores de los índices IAF de vértebras y huesos del mismo grupo latitudinal. En el resto de los testigos, los índices IAF de escamas exhiben un patrón de variabilidad similar como al patrón descrito anteriormente para el caso de los índices IAF de huesos y vértebras (testigos considerados como una sola muestra) (4<sup>to</sup> panel en Gráfico 3, Anexo 6).

#### 5.4. Relaciones de los indicadores de preservación de los restos de peces en superficie de los testigos con factores ambientales

En la exploración de los datos, la posición geográfica (latitud y profundidad) y las propiedades sedimentológicas presentan ciertas



**Gráfico 3. Variabilidad de los indicadores de preservación en los testigos de sedimentos frente a Perú. De izquierda a derecha, concentraciones, cocientes (segundo y tercer panel), e índices de alteración física de los restos de peces en el total de sedimento examinado por cada testigo. ET, escamas totales; EA, escamas de anchoqueta; VT, vértebras totales; VA, vértebras de anchoqueta; R.O.T, restos óseos totales; Ee, escamas enteras; Ef, escamas fragmentadas, (A), anchoqueta.**

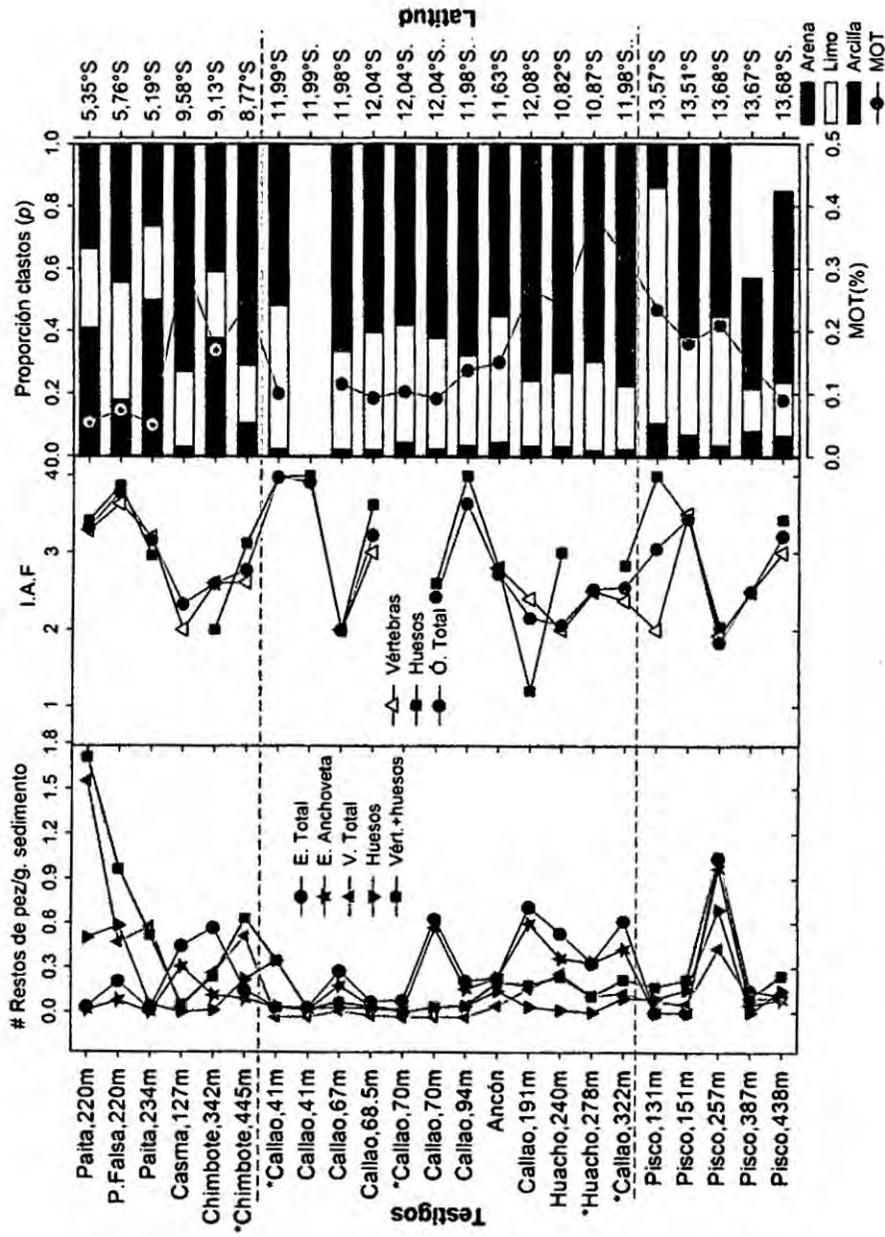


Gráfico 4. Indicadores del estado de preservación en escamas y restos óseos de peces y parámetros sedimentológicos (superficie de testigos, ~0-2 cm). Concentración de los restos de peces por sedimento examinado (izquierda), índices de alteración física (centro), Granulometría y contenido de materia orgánica de los sedimentos (derecha). E, escamas; V, vértebras; Ó, óseos.

correlaciones significativas en sentido positivo y negativo (Tabla 4). Por ejemplo, el tamaño promedio de grano ( $\mu m$ ) de los sedimentos presenta una correlación significativa en sentido positivo con la profundidad bajo el nivel del mar (Tabla 4). Además, la proporción de arena en los sedimentos exhibe una correlación significativa y altamente significativa en forma positiva con la profundidad y la latitud geográfica respectivamente. En adición, el contenido de materia orgánica en los sedimentos exhibe una correlación significativa en sentido positivo con la proporción de arcilla, y en sentido negativo con la proporción de arena y limo (Tabla 4).

Así mismo, en los sedimentos, las concentraciones de restos de escamas, vértebras y espinas, y los índices IAF de los restos de peces presentan entre ellos correlaciones significativas (Tabla 5). Por un lado, el aumento en las concentraciones de escamas totales y de escamas de anchoveta se correlaciona significativamente con el aumento en las concentraciones de espinas, y con la disminución del valor del índice IAF de vértebras, índice IAF de huesos e índice IAF de espinas (Tabla 5). Por otro lado, las concentraciones de vértebras presentan una correlación altamente significativa en sentido positivo con las concentraciones de huesos, y una correlación ligeramente significativa en sentido negativo con el índice IAF del total de escamas fragmentadas, y el índice IAF de escamas fragmentadas de anchoveta (Tabla 5).

Además, las concentraciones de huesos presentan una correlación

**Tabla 4. Coeficientes de correlación (r) de Pearson entre las variables independientes.**

Estas variables corresponden a los datos geográficos (latitud y profundidad) y a la textura y contenido de materia orgánica total (MOT) de los sedimentos (primeros ~2 cm de cada testigo). \*:  $p < 0.1$ , \*\*:  $p < 0.05$ , \*\*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*\*:  $p < 0.005$ , \*\*\*\*\*:  $p < 0.001$ . <sup>1</sup>: datos transformados.

|                                      | Latitud               | Prof (m)               | <sup>1</sup> Grano ( $\mu\text{m}$ ) | <sup>1</sup> Arena (p) | <sup>1</sup> Limo (p) | <sup>1</sup> Arcilla(p) | MOT (p) |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Latitud                              | 1.00                  |                        |                                      |                        |                       |                         |         |
| Prof (m)                             | 0.147                 | 1.00                   |                                      |                        |                       |                         |         |
| <sup>1</sup> Grano ( $\mu\text{m}$ ) | 0.265                 | <b>0.479</b><br>**     | 1.00                                 |                        |                       |                         |         |
| <sup>1</sup> Arena (p)               | <b>0.704</b><br>***** | <b>0.369</b><br>*      | <b>0.726</b><br>*****                | 1.00                   |                       |                         |         |
| <sup>1</sup> Limo (p)                | -0.174                | <b>-0.685</b><br>***** | -0.234                               | -0.172                 | 1.00                  |                         |         |
| <sup>1</sup> Arcilla (p)             | -0.238                | -0.012                 | <b>-0.747</b><br>*****               | <b>-0.664</b><br>***** | <b>-0.386</b><br>*    | 1.00                    |         |
| MOT (p)                              | -0.242                | 0.281                  | <b>-0.401</b><br>*                   | <b>-0.411</b><br>*     | -0.132                | <b>0.368</b><br>*       | 1.00    |

ligeramente significativa en sentido positivo con las concentraciones de espinas (Tabla 5). También, tenemos que el índice IAF de escamas totales y el índice IAF de escamas de anchoveta, se correlacionan significativamente en sentido positivo con el índice IAF de escamas fragmentadas totales, índice IAF de escamas fragmentadas de anchoveta, y con el índice IAF de espinas (Tabla 5). En adición, el aumento del índice IAF de vértebras se correlaciona significativamente con el aumento del índice IAF de huesos y el índice IAF de espinas (Tabla 5).

Adicionalmente, las concentraciones e índices IAF de los restos de peces presentan correlaciones significativas con la posición geográfica

Tabla 5. Coeficientes de correlación (r) de Pearson entre los indicadores de preservación. Los indicadores de preservación de los restos de peces corresponden a la superficie (primeros ~2 cm) de los testigos de sedimentos.  
 \*; p<0.1, \*\*; p<0.05, \*\*\*; p<0.01, \*\*\*\*; p<0.001, \*\*\*\*\*; p<0.001, 1; datos transformados.

| Variables                          | V1              | V2              | V3           | V4             | V5             | V6         | V7     | V8             | V9             | V10            | V11   | V12            | V13            | V14            | V15  |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|------------|--------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|------|
| Escamas total                      | 1.00            |                 |              |                |                |            |        |                |                |                |       |                |                |                |      |
| Escamas anchoveta                  | .937<br>*****   | 1.00            |              |                |                |            |        |                |                |                |       |                |                |                |      |
| Escamas otras                      | 0.406<br>*      | 0.133           | 1.00         |                |                |            |        |                |                |                |       |                |                |                |      |
| Vértebra total                     | 0.008           | -0.017          | 0.087        | 1.00           |                |            |        |                |                |                |       |                |                |                |      |
| Huesos                             | 0.049           | 0.142           | -0.082       | 0.555<br>***   | 1.00           |            |        |                |                |                |       |                |                |                |      |
| Vértebra + huesos                  | 0.085           | 0.101           | 0.019        | 0.886<br>***** | 0.840<br>***** | 1.00       |        |                |                |                |       |                |                |                |      |
| Espinas                            | 0.609<br>*****  | 0.595<br>*****  | 0.149        | 0.252          | 0.373<br>*     | 0.387<br>* | 1.00   |                |                |                |       |                |                |                |      |
| IAF Escamas total                  | 0.069           | 0.055           | -0.016       | -0.095         | 0.306          | 0.216      | 0.033  | 1.00           |                |                |       |                |                |                |      |
| IAF Escamas anchoveta              | -0.055          | -0.123          | 0.082        | -0.216         | 0.157          | 0.075      | 0.049  | 0.844<br>***** | 1.00           |                |       |                |                |                |      |
| IAF Escamas fragmentadas Total     | 0.016           | -0.082          | 0.223        | -0.397<br>*    | 0.058          | -0.193     | 0.095  | 0.588<br>***** | 0.763<br>***** | 1.00           |       |                |                |                |      |
| IAF Escamas fragmentadas anchoveta | 0.023           | -0.066          | 0.234        | -0.393<br>*    | 0.078          | -0.193     | 0.126  | 0.538<br>**    | 0.729<br>***** | 0.985<br>***** | 1.00  |                |                |                |      |
| IAF Vértebras                      | -0.584<br>**    | -0.576<br>**    | -0.045       | 0.343          | 0.326          | 0.351      | -0.059 | -0.005         | 0.142          | 0.037          | 0.022 | 1.00           |                |                |      |
| IAF Huesos                         | -0.733<br>***** | -0.652<br>***   | -0.599<br>** | -0.052         | 0.185          | 0.004      | -0.200 | 0.069          | 0.154          | 0.283          | 0.281 | 0.446<br>*     | 1.00           |                |      |
| IAF Espinas                        | -0.549<br>**    | -0.643<br>***** | 0.055        | -0.032         | -0.144         | -0.055     | -0.321 | 0.450<br>*     | 0.543<br>**    | 0.366          | 0.349 | 0.506<br>*     | 0.400          | 1.00           |      |
| IAF Óseos total                    | -0.748<br>***** | -0.704<br>***** | -0.234       | 0.002          | 0.289          | 0.092      | -0.281 | 0.016          | 0.197          | 0.291          | 0.293 | 0.861<br>***** | 0.807<br>***** | 0.425<br>***** | 1.00 |

(latitud y profundidad) y con las propiedades sedimentológicas (Tabla 6). Es decir, el aumento de las concentraciones de escamas totales y de escamas de anchoveta se correlacionan significativamente con las disminuciones en el tamaño promedio de grano y en la proporción de arena del sedimento, y con los aumentos en la proporción de arcilla y en el contenido de materia orgánica del sedimento (Tabla 6). Como también, las concentraciones de las vértebras muestran una correlación altamente significativa ( $p < 0.001$ ) en sentido positivo con la latitud y la proporción de arena en el sedimento, y una correlación significativa ( $p < 0.05$ ) en sentido positivo con la profundidad de la columna de agua (Tabla 6).

Finalmente, tenemos que el índice IAF de vértebras presenta una correlación significativa en sentido positivo con la latitud y la proporción de arena en el sedimento, y una correlación significativa en sentido negativo con el contenido de materia orgánica en el sedimento (Tabla 6). Por último, el aumento en el índice IAF de espinas se correlaciona significativamente con el aumento en el tamaño promedio de grano del sedimento (Tabla 6).

#### 5.5. Efecto de la latitud y de la profundidad sobre las concentraciones de restos de peces en la superficie de los testigos de sedimentos

Las pruebas de análisis de varianza muestran que la concentración de escamas por especie, vértebras por especies, índices IAF en vértebras

Tabla 6. Coeficientes de correlación (r) de Pearson de los indicadores de preservación de los restos de peces con los factores abióticos. Los factores abióticos comprenden a los datos geográficos (latitud y profundidad), la textura y contenido de materia orgánica de los sedimentos. \*:  $p < 0.1$ , \*\*:  $p < 0.05$ , \*\*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*\*:  $p < 0.005$ , \*\*\*\*\*:  $p < 0.001$ . 1: datos transformados.

| VARIABLES    | Escamas total | Escamas anchoveta | Escamas otras | 1Vertebras total | 1Huesos | 1Vertebras + huesos | 1Espinas | IAF Escamas total | IAF Escamas anchoveta | IAF Escamas fragmentadas total | IAF Escamas fragmentadas anchoveta | 1IAF Vertebras | 1IAF Huesos | 1IAF Espinas | IAF Oseos total |
|--------------|---------------|-------------------|---------------|------------------|---------|---------------------|----------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|
| Latitud      | -0.17         | -0.26             | 0.23          | 0.73 *****       | 0.25    | 0.56 *****          | 0.09     | -0.11             | 0.08                  | -0.18                          | -0.16                              | 0.45 *         | 0.09        | 0.34         | 0.21            |
| Prof. (m)    | 0.18          | 0.08              | 0.09          | 0.43 **          | 0.12    | 0.42 **             | 0.30     | 0.24              | 0.19                  | -0.17                          | -0.19                              | 0.10           | -0.19       | 0.02         | -0.26           |
| 1Grano (µm)  | -0.35 *       | -0.43 **          | -0.01         | 0.43 **          | 0.10    | 0.36 *              | -0.15    | 0.15              | 0.17                  | -0.15                          | -0.26                              | 0.33           | 0.21        | 0.40 *       | 0.18            |
| 1Arena (p)   | -0.30         | -0.44 **          | 0.28          | 0.73 *****       | 0.26    | 0.58 *****          | 0.06     | -0.19             | 0.04                  | -0.23                          | -0.26                              | 0.51 **        | 0.10        | 0.30         | 0.30            |
| 1Limo (p)    | -0.15         | -0.02             | -0.16         | -0.22            | 0.29    | -0.03               | 0.01     | 0.08              | 0.12                  | 0.23                           | 0.26                               | -0.14          | 0.34        | 0.09         | 0.25            |
| 1Arcilla (p) | 0.42 *        | 0.43 **           | 0.06          | -0.34            | -0.18   | -0.31               | 0.15     | 0.06              | -0.09                 | 0.15                           | 0.22                               | -0.15          | -0.32       | -0.29        | -0.31           |
| MOT (p)      | 0.46 **       | 0.45 **           | 0.01          | -0.16            | -0.28   | -0.14               | 0.30     | 0.20              | 0.10                  | 0.04                           | 0.08                               | -0.58 **       | -0.37       | -0.07        | -0.52 **        |

(resultados no incluidos en Tabla 7), y total de escamas presentan diferencias no significativas respecto a la latitud y profundidad (Tabla 7). Por el contrario, la concentración del total de vértebras (todas las especies) si presenta diferencias significativas respecto a la latitud y profundidad.

Respecto a la latitud, la concentración de vértebras es significativamente mayor en el grupo latitudinal norte (N) con valor promedio de 0,152 #V/g, seguida en sentido decreciente por el valor promedio 0,055 #V/g en el grupo latitudinal sur (S), y el menor valor promedio de 0,024 #V/g en el grupo latitudinal centro (C). Respecto a la profundidad, la concentración de vértebras aumenta en forma significativa de 0,009 #V/g en el estrato superior (clase 1:  $\leq 150$  m) a 0,125 #V/g en el estrato intermedio (clase 2:  $> 150$  m y  $\leq 300$  m), luego disminuye a 0,074 #V/g hacia el estrato inferior (clase 3:  $> 300$  m) (Tabla 7). La concentración del total de vértebras más huesos presenta diferencias significativas únicamente respecto a la profundidad, mostrando un patrón similar como al de la concentración de vértebras antes descrita (Tabla 7, Gráfico 3., Gráfico 4).

#### 5.6. Efecto de los factores abióticos en la variabilidad de los indicadores de preservación

La Tabla 8 muestra los modelos significativos de regresión lineal múltiple de los factores abióticos sobre la concentración, (tanto en las escamas y restos óseos) e índices de alteración física (solo en restos óseos) de los

Tabla 7. Análisis de varianza de dos vías sobre la concentración total de escamas, vértebras, y vértebras + huesos, en los 0-2 cm de los testigos de sedimentos.  
 Como factores se incluyen a la latitud (Grupo N: norte, grupo C: centro, grupo S: sur) y la profundidad (clase 1: ≤150 m, clase 2: >150 y ≤300 m, clase 3: >300 m). Se incluye el valor p de la prueba de Bartlett (Winer, 1962, Winer, Brown, & Michels, 1991) de homogeneidad de varianzas y los grupos homogéneos estadísticamente según la prueba de Tukey N Desigual (Spjotvoll & Stoline, 1973).

| Efecto                    | g.l | SC    | CM    | F      | p     | Bartlett<br>Chi <sup>2</sup> | Pr. Bartlett<br>(valor p) | Grupos homogéneos<br>(α=0,05) |
|---------------------------|-----|-------|-------|--------|-------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| <b>Escamas</b>            |     |       |       |        |       |                              |                           |                               |
| Intercepto                | 1   | 1,560 | 1,560 | 21,903 | 0,000 |                              |                           |                               |
| Latitud                   | 2   | 0,145 | 0,072 | 1,014  | 0,388 |                              |                           |                               |
| Profundidad               | 2   | 0,081 | 0,040 | 0,566  | 0,581 |                              |                           |                               |
| Lat.* Prof.               | 4   | 0,483 | 0,121 | 1,695  | 0,207 |                              |                           |                               |
| Error                     | 14  | 0,997 | 0,071 |        |       |                              |                           |                               |
| Total                     | 22  | 1,733 |       |        |       |                              |                           |                               |
| <b>Vértebras</b>          |     |       |       |        |       |                              |                           |                               |
| Intercepto                | 1   | 0,075 | 0,075 | 31,447 | 0,000 |                              |                           |                               |
| Latitud                   | 2   | 0,019 | 0,009 | 3,932  | 0,044 | 12,181                       | 0,002                     | N S C                         |
| Profundidad               | 2   | 0,028 | 0,014 | 5,944  | 0,014 | 23,669                       | < 0,001                   | 2 3 1                         |
| Lat.* Prof.               | 4   | 0,013 | 0,003 | 1,318  | 0,311 |                              |                           |                               |
| Error                     | 14  | 0,033 | 0,002 |        |       |                              |                           |                               |
| Total                     | 22  | 0,142 |       |        |       |                              |                           |                               |
| <b>Vértebras + huesos</b> |     |       |       |        |       |                              |                           |                               |
| Intercepto                | 1   | 3,927 | 3,927 | 85,878 | 0,000 |                              |                           |                               |
| Latitud                   | 2   | 0,164 | 0,082 | 1,796  | 0,202 |                              |                           |                               |
| Profundidad               | 2   | 0,513 | 0,256 | 5,607  | 0,016 | 4,570                        | 0,102                     | 2 3 1                         |
| Lat.* Prof.               | 4   | 0,255 | 0,064 | 1,394  | 0,286 |                              |                           |                               |
| Error                     | 14  | 0,640 | 0,046 |        |       |                              |                           |                               |
| Total                     | 22  | 2,167 |       |        |       |                              |                           |                               |

restos de peces en los sedimentos marinos. Para los datos basados en la concentración de escamas (todas especies), un 29% de su varianza se asoció únicamente con mayores valores de contenido de materia orgánica total (MOT) en los sedimentos. Si se consideran únicamente los datos de las concentraciones de escamas de anchoveta, el valor de  $R^2$  disminuye a 0,231 en función del mismo factor abiótico (MOT) como en el caso anterior (Tabla 8).

Para los datos basados en concentración de restos óseos, la localización latitudinal explica el 53 % ( $R^2=0,525$ ) de la varianza de las concentraciones de vértebras de peces en los sedimentos. En el caso de las concentraciones de huesos, ningún modelo es significativo. Sin embargo, si se consideran las concentraciones de vértebras más huesos, el 37 % de su varianza es explicada por el mayor contenido de arena en los sedimentos (Tabla 8).

Para los datos de los índices de alteración física, la variabilidad del índice IAF de vértebras, es explicada en un 38 % por el mayor contenido de arena, y el mayor contenido de MOT en los sedimentos. En el caso del índice IAF de huesos y del índice IAF de restos óseos totales (huesos, vértebras y espinas) ningún modelo significativo se ajusta a sus variabilidades (Tabla 8).

La correlación negativa entre los factores abióticos, contenido de arena y MOT en los sedimentos (Tabla 4) indicaría una colinealidad entre

**Tabla 8. Modelos significativos de regresión múltiple sobre las concentraciones de escamas, vértebras, huesos, e índices de alteración física (IAF.) de los restos de peces. Se indican los signos de los coeficientes de los predictores y los valores p correspondientes. Los valores p de los modelos derivan de la prueba de F correspondiente.**

| Variables dependientes        | Variables independientes |                     |                                |          |             |                     | Ajuste del modelo |           |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------------|----------|-------------|---------------------|-------------------|-----------|
|                               | Lat.                     | Prof.               | Arena (%)                      | Limo (%) | Arcilla (%) | MOT (%)             | R <sup>2</sup>    | n valor p |
| Todas                         |                          |                     |                                |          |             | (+) 0,541<br>0,011  | 0,292             | 21 <0,011 |
| Anchoveta                     |                          |                     |                                |          |             | (+) 0,481<br>0,032  | 0,231             | 20 <0,032 |
| Concentración de restos óseos | Vértebras total          | (+) 0,725<br><0,001 |                                |          |             |                     | 0,525             | 18 <0,001 |
|                               | Huesos                   |                     | Ningún modelo es significativo |          |             |                     |                   |           |
|                               | Huesos + Vértebras total |                     | (+) 0,605<br><0,003            |          |             |                     | 0,366             | 22 <0,003 |
| Índices de alteración física  | IAF Vértebras total      |                     | (+) 0,546<br><0,01             |          |             | (+) 0,560<br><0,009 | 0,378             | 23 <0,009 |
|                               | IAF Huesos total         |                     | Ningún modelo es significativo |          |             |                     |                   |           |
|                               | IAF Óseos total          |                     | Ningún modelo es significativo |          |             |                     |                   |           |

**Tabla 9. Modelos significativos de regresión simple sobre el índice de alteración física (IAF) de vértebras de peces. Se indican los signos y valores de los coeficientes de los predictores y los valores *p* correspondientes. Los valores *p* de los modelos derivan de la prueba de *F* correspondiente.**

| Variable dependiente | Variables independientes | Parámetros                |          | Prueba de hipótesis de coeficientes<br>$H_0: B=0, H_A: B \neq 0$ |       |       |       | Ajuste del modelo |                |    |                |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------|--|-------|-------|-------|-------------------|----------------|----|----------------|
|                      |                          | Coefficiente ( <i>B</i> ) | <i>t</i> | <i>p</i>   | SC    | CM    | F     | P                 | R <sup>2</sup> | n  | valor <i>p</i> |
| IAF de Vértebras     | Arena (%)                | 0,514                     | 2,396    | 0,029  | 0,036 | 0,036 | 5,740 | 0,029             | 0,26           | 23 | 0,029          |
|                      | MOT (%)                  | -0,582                    | -2,866   | 0,011  | 0,046 | 0,046 | 8,216 | 0,011             | 0,34           | 23 | 0,011          |

ellos. Por lo cual, tomar en cuenta sus efectos en la variabilidad del índice IAF de vértebras en el modelo de regresión múltiple (Tabla 8), mostraría estimaciones imprecisas de la relación y dependencia con dichos factores abióticos. En tal caso, es recomendable realizar en forma independiente dos modelos de regresión lineal simple para reanalizar los resultados (Zar, 1999). En ese sentido, se obtienen dos modelos de regresión simple significativos. Al considerar el contenido de arena en los sedimentos como único predictor, el mayor contenido de arena explica en un 26 % la variabilidad del índice IAF de las vértebras de peces (Tabla 9). En cambio, al considerar el contenido de MOT en los sedimentos como único predictor, el 34% de la varianza del índice IAF de las vértebras de peces es explicada por el menor contenido de MOT (Tabla 9).

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados**

#### **6.1.1. Características sedimentarias**

Para la interpretación de los registros de restos de peces en los testigos, primero debemos entender el registro sedimentario. La sedimentología de los testigos puede basarse en el análisis de radiografías de rayos-X (Lofi & Weber, 2001). Las placas radiográficas facilitaron la identificación de los diferentes tipos de estructuras sedimentarias presentes en los testigos estudiados. Entre ellas, se evidencian huellas de perturbación biológica (bioturbación) casi por completo a lo largo de los testigos del norte (excepto en el de Chimbote), y en tamaños pequeños de forma aislada a lo largo de los testigos de Callao y Pisco.

Las huellas de bioturbación indican actividad de organismos bentónicos excavadores, propios de ambientes oxigenados, sugiriendo eventos de oxigenación en las aguas de fondo (Marenco & Bottjer, 2010; Savrda & Bottjer, 1986). La actividad de dichos organismos propiciaría la ocurrencia de mezcla de las secuencias de estratos sedimentarios. La ocurrencia de mezcla en los sedimentos complica la obtención de un registro continuo (Field et al., 2009) afectando el orden cronológico de los eventos. La interrupción de una sedimentación secuencial, limita el

análisis de la variación temporal en la preservación de los restos de peces y en las abundancias de peces, reconstruida a partir de sus restos. Por ello, es importante identificar sedimentos con efectos pos-depositación para evitar interpretaciones erradas.

### *6.1.2. Tipos de indicadores de preservación*

Los indicadores de preservación de los restos de peces, presentan diferentes ventajas y limitaciones. Por ejemplo, los cocientes de escamas a vértebras, huesos y espinas estarían afectados en registros que abarcan desde el inicio de la pesquería industrial (1960s). La pesca impediría que los restos óseos lleguen en forma natural hacia el fondo marino (principalmente como pellets fecales producto de la depredación). La pesquería industrial en su pico máximo alcanza extraer 10 millones de TM de anchoveta al año, lo que estaría retirando gran cantidad de restos óseos del sistema (Salvattecci et al., 2012). Por tanto, la afectación de las proporciones de escamas a restos óseos en los sedimentos, producirán altos valores en los cocientes de escamas a restos óseos, invalidando su uso en la evaluación de la preservación.

Los cocientes de escamas enteras a escamas fragmentadas pueden usarse para evaluar la preservación, ya que mayores valores en el índice indicarían una mayor preservación. Esto se debe a que las escamas menos afectadas por las condiciones adversas ambientales,

serían menos propensas a fragmentarse. Sin embargo, estos cocientes pueden ser específicos por especie debido a la diferencia en los tipos de escamas en cada especie y entre especies. Es decir, las escamas típicas (Figura 7) tienen mayor espesor que el resto de escamas, tanto de anchoveta como de sardina. Además, las escamas típicas de sardina tienen mayor espesor que las escamas típicas de anchoveta (Shackleton & Johnson, 1988; Salvattecchi et al., 2012), consecuentemente resultando en una mayor resistencia a la alteración física. Por ello, la variación de los cocientes de escamas enteras a escamas fragmentadas, podría reflejar más las diferencias en el estado de preservación entre tipos de escamas por especie, que la variación de la preservación de los restos de peces en general.

Los índices IAF en escamas pueden usarse como un indicador de preservación de los restos de peces en los sedimentos, recordando que un menor valor del índice IAF indica una menor alteración física del resto de pez. Sin embargo, los valores de dichos índices podrían contener sesgos, debido al cálculo realizado a partir de pocas observaciones. En condiciones geoquímicas muy adversas para la preservación, muchas de las escamas muy alteradas se fragmentarían, produciendo su disolución y remineralización hacia el ambiente. Entonces, la estimación del índice IAF en escamas radicaría únicamente de las escamas que lograron resistir a la descomposición. Por tanto, sería muy imprecisa la evaluación de la preservación de los restos de peces basada únicamente en dicho índice.

Por el contrario, los índices IAF en vértebras y huesos serían más útiles, debido a que los restos óseos, en particular las vértebras resistirían más que las escamas la alteración física. Las vértebras y huesos tienen menores cocientes de área superficial a volumen, y menos materia orgánica que las escamas, por lo tanto estas últimas podrían ser descompuestas más fácilmente que las vértebras y huesos (Salvatteci et al., 2012; Field et al., 2009). De ahí, que los índices IAF en vértebras reflejarían mejor el estado de preservación de los restos de peces.

Sin embargo, se requiere un mayor tamaño de muestra de sedimentos para obtener mayores observaciones o conteos de vértebras, los cuales harían más consistente y confiable el uso de este índice IAF para la evaluación de la preservación. Los valores más robustos del índice IAF en vértebras aumentarán la confiabilidad de su uso en la evaluación del estado de preservación en la reconstrucción de la variabilidad de las abundancias de peces en el pasado. Además, este índice IAF en vértebras facilitará la interpretación del registro y permitirá discriminar entre los cambios en la abundancia de peces en el sistema de los cambios en la preservación de los restos de peces.

Cabe recordar que las escamas y restos óseos de peces son producidas y llegan hacia el lecho marino en diferentes formas. Las escamas llegan al fondo marino, producto de la liberación y muda de escamas del pez vivo (Shackleton, 1988; Field et al., 2009), mientras que

las vértebras y otros restos óseos generalmente llegan al fondo como pellets fecales, después de haber pasado a través del tracto intestinal de peces depredadores (Salvatteci et al., 2012).

Por lo expuesto, sabemos que cada indicador del estado de preservación de los restos de peces, presenta ventajas y limitaciones. Además, los diferentes indicadores de preservación pueden ser afectados por otros factores como: las diferencias de producción de escamas entre especies de peces, cambios en la tasa de sedimentación, transporte lateral hidrodinámico, bioturbación, entre otros. Por ello, es importante el uso simultáneo de múltiples indicadores de preservación para facilitar la interpretación de la variabilidad de las abundancias de restos de escamas y esqueletos óseos en el registro sedimentario.

### *6.1.3. Indicadores de preservación con factores abióticos*

Previo a la interpretación de los resultados del presente estudio, es necesario establecer la relación de la variación de la oxigenación de las aguas de fondo con los cambios en la latitud y profundidad frente a las costas de Perú. Establecida esta relación, resulta válido inferir la variación de la oxigenación sub-superficial entre diferentes zonas frente a Perú, a partir de la variación latitudinal y de la profundidad. Conocer la variación de la oxigenación de las aguas de fondo a lo largo del litoral peruano, nos permitirá identificar si existe una relación coherente

con los cambios en el estado de preservación de los restos de peces entre las zonas norte, centro y sur frente a Perú.

En un estudio de la determinación de los límites de profundidades superior e inferior de la ZMO, Helly & Levin (2004) muestran que la ZMO frente al Pacífico sureste exhibe variaciones latitudinales en profundidad, espesor e intensidad. También, Helly & Levin (2004) indican que la profundización del límite superior de la ZMO desde 5°N a 5°S es atribuida al flujo hacia el este de la Corriente Ecuatorial Subsuperficial (*Equatorial Undercurrent*, en inglés), debido al alto oxígeno disuelto de sus aguas respecto a la de la ZMO. Además, dichos autores señalan que el espesor de la ZMO disminuye donde la corriente Perú-Chile se desarrolla (20-30°S) a lo largo de la línea de costa.

Esta explicación es consistente con lo encontrado en el presente estudio, donde el índice IAF de vértebras en la zona norte, frente a Paita y Punta Falsa, indica una disminución en la preservación de las vértebras, sugiriendo condiciones de intensa descomposición de las escamas y restos óseos de peces. Esta variación latitudinal de la preservación de los restos de peces refleja la influencia de la variación latitudinal de la oxigenación subsuperficial a lo largo del litoral peruano.

Los indicadores de preservación (concentración e índices IAF de los restos de peces) indican menor preservación de los restos de peces

en los sedimentos con texturas arenosas de las zonas más al norte frente al litoral peruano. Esto se evidencia a partir de la relación positiva entre la proporción de arena en los sedimentos y el índice IAF de las vértebras (Tabla 6, Tabla 9), que indica que la textura gruesa de los sedimentos se asocia a la disminución de la preservación de los restos de peces. La preservación sería afectada, debido a que la textura arenosa facilitaría la penetración del agua suprayacente en los sedimentos, profundizando la capa redox dentro de los sedimentos (Gutiérrez et al., 2009). La penetración del agua suprayacente oxigenada o insaturada en apatita biogénica, propiciaría la degradación de la capa orgánica por ataque de bacterias y hongos, y/o la disolución de la apatita biogénica respectivamente. Los procesos de descomposición de los restos de peces han sido descritos anteriormente (ver sección 2.2.3). Por lo expuesto, es sugerente que elevados tenores de oxígeno disuelto (OD) en el agua de fondo especialmente al norte de los 5°S (Brockmann et al., 1980), propician una mayor descomposición de los restos de peces en los sedimentos.

Por otro lado, el aumento de las abundancias de vértebras y huesos respecto a las de escamas, y la disminución de los cocientes de escamas a vértebras en la zona norte, sugieren también una mejor resistencia, y una mejor selección de depositación de los restos óseos. La mejor selección de depositación de las vértebras respecto a la de escamas, se puede explicar, debido a que las vértebras al tener una

mayor densidad específica que las escamas, estas últimas además de tener forma irregular, prolongarían su tiempo de depositación (Vdović et al., 2010; Treweek. & Morgan, 1977). Adicionalmente, debido a la mayor velocidad de sedimentación de las vértebras respecto a la de las escamas, la acumulación de vértebras sería menos afectada, por el transporte lateral en localidades con intensa energía hidrodinámica. Esta explicación se aplicaría a la zona norte del litoral peruano, donde la corriente subsuperficial es más intensa que en el sur (Brockmann et al., 1980; Huyer et al., 1991).

Además, las vértebras y otros restos óseos al presentar mejor selección (suponiendo aproximarse al tamaño de arenas medias, Blott & Pye, 2001) de depositación que las escamas en los sedimentos, las primeras lograrían registrar mejor las condiciones adversas del ambiente en la zona más al norte. Las escamas al ser más frágiles, se fragmentarían a causa de la erosión y tracción de los sedimentos, disminuyendo la resistencia a las condiciones biogeoquímicas desfavorables del ambiente. Por tanto, eso haría más susceptibles a las escamas al ataque bacteriano de su capa orgánica (Salvatteci et al., 2012) bajo condiciones de alto OD.

Por otro lado, el aumento en el contenido de MOT asociado con el aumento en las concentraciones de escamas de peces (Tabla 8) y la disminución del índice IAF en vértebras de peces (Tabla 9), indican que

el mayor contenido de MO favorecería la preservación de las escamas y vértebras de peces en los sedimentos. El aumento en la preservación de las escamas y vértebras de peces, sería debido a que una mayor cantidad de materia orgánica en los sedimentos reduciría más el OD mediante la oxidación (Berner, 1980, 1984; Canfield, 1993; Arndt et al., 2013). Estas condiciones biogeoquímicas impiden o disminuyen el ataque bacteriano aeróbico de la capa orgánica de las escamas y vértebras, evitando la exposición y disolución de la apatita biogénica (Schenau & De Lange, 2000).

En adición, la materia orgánica (MO), que está asociada principalmente al tamaño de arcilla de los clastos sedimentarios, mayor cantidad de MO indica una menor intensidad de energía hidrodinámica (Pettijohn, 1976) que favorece la sedimentación. Esto es consistente con nuestros resultados, los cuales muestran que el aumento del contenido de la materia orgánica se asocia con el aumento en la proporción del tamaño arcilla ( $< 4 \mu m$ ) de los sedimentos. La MO estaría consumiendo el OD (explicado anteriormente), y a la vez el mayor contenido de clastos de tamaño acilla estaría impidiendo o reduciendo la penetración del OD en los sedimentos. Por tanto, la mayor preservación de escamas y vértebras de peces serían un efecto combinado del aumento en el contenido de materia orgánica y arcillas en los sedimentos.

## 6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

DeVries & Pearcy (1982), encontraron que las mayores abundancias de restos de peces están en profundidades de 200 m a 400 m entre los 11° y 12°S. De acuerdo al presente estudio, las mayores abundancias de vértebras en los sedimentos están asociadas al estrato de profundidad intermedia (>150 m y ≤300 m) de la columna de agua, esto es relativamente consistente con lo encontrado por DeVries & Pearcy (1982). Por ello, el patrón espacial de las concentraciones de vértebras en los sedimentos reflejaría en forma consistente el patrón de distribución de los cardúmenes de pequeños pelágicos, principalmente el de los de anchoveta.

DeVries & Pearcy (1982) notaron señales de descomposición de escamas, sin embargo no desarrollaron suficientes medios para evaluar la descomposición, más que los cocientes de escamas a vértebras. Además, DeVries & Pearcy (1982) señalan que los restos de peces parecen haber estado sujetos a mayor disolución y abrasión en profundidades mayores a los 600 m. Nuestros resultados limitan contrastar dichas evidencias, ya que el presente estudio abarca lugares estudiados menores a los 500 m. Además, respecto a la variación de la preservación de los restos de peces entre lugares de diferentes latitudes, DeVries & Pearcy (1982) encontraron que las escamas estaban pobremente preservadas en los testigos de más al norte. La extensión geográfica latitudinal de estudio de

dichos autores, limitada hacia el norte alrededor de los 8°S., es menor respecto al rango latitudinal del presente estudio. Sin embargo, dichas observaciones son consistentes con nuestros resultados, confirmando que la preservación de las escamas es menor en los testigos más al norte asociada a una mayor oxigenación y mayor intensidad de energía hidrodinámica subsuperficiales (Brockmann et al., 1980; Huyer et al., 1991).

Por otro lado, Díaz-Ochoa et al. (2009) en un estudio de un testigo frente a Callao (12°01'S, 77°42'W, 179 m), infirieron cambios en la preservación de los restos de peces y cambios en la oxigenación de las aguas de fondo, a partir de los cocientes de fósforo biogénico a fósforo total ( $P_{pez}/P_{total}$ ) contenido en los sedimentos y de elementos traza redox-sensitivo respectivamente. Díaz-Ochoa et al. (2009) encontraron que el aumento en la preservación de los restos de peces estaba asociado con condiciones más reducidas (anóxicas). Estas evidencias son soportadas por nuestros resultados, que muestran que la preservación es mayor en sedimentos ricos en materia orgánica, en lugares asociados al núcleo de la ZMO.

En otro estudio, Salvattecí et al. (2012) encontraron que la preservación es menor en los sedimentos someros respecto a la ZMO, debido a que estos lugares están más expuestos a evento de oxigenación. Los resultados del presente estudio basados en lugares con

amplio rango latitudinal no muestran evidencias suficientes sobre la diferencias de preservación de los restos de peces entre sitios someros, intermedios y profundos respecto a la ZMO.

Finalmente, son escasos o inexistentes los estudios en la evaluación de la preservación de los restos de peces asociada a diferentes texturas de los sedimentos. Sin embargo, en algunas de las observaciones realizadas por DeVries & Pearcy (1982) encontraron depósitos de restos de peces con aumento de espesor y nódulos fosfáticos en capas de sedimentos arenosos. La alteración de los restos de peces sugiere procesos de diagénesis, que afectarían la preservación, incorporando sesgos en la cuantificación de los restos de escamas, y esqueletos óseos de peces. Por ello, el presente estudio, como una primera aproximación, contribuye en conocer el efecto de los cambios texturales de los sedimentos en la preservación de los restos de peces. Nuestros resultados evidencian que una pobre preservación de los restos de peces se encuentra asociada con sedimentos de texturas arenosas.

## **VII. CONCLUSIONES**

Los resultados soportan la hipótesis general que "el estado de preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos varía de acuerdo a la posición geográfica y propiedades del los sedimentos, en el margen continental superior frente a Perú".

Los cambios en la latitud y profundidad bajo el nivel del mar, se asocian a cambios en la depositación y preservación de los restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos. En la zona norte, la condición de intensa energía hidrodinámica afecta la sedimentación de los restos de escamas, favoreciendo la sedimentación de los restos óseos, particularmente la de las vértebras.

Los resultados soportan la hipótesis que "la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos, es menor en el norte que en el centro y sur del margen continental superior frente a Perú, debido a la mayor oxigenación subsuperficial en el norte".

Además, La preservación es menor en el norte respecto al centro y sur, en sedimentos con estructuras homogéneas y bioturbadas. En dicha zona norte la preservación de los restos de escamas es más afectada que la de los esqueletos óseos de peces en los sedimentos con mayor oxigenación subsuperficial en relación con la zona centro y sur del margen continental peruano.

Los resultados soportan la hipótesis que "la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces, es mayor en sedimentos con texturas más finas y con mayor contenido de materia orgánica, en el margen continental superior frente a Perú".

Consideramos que el índice IAF de vértebras es recomendable para ser usado como indicador del estado de preservación de los restos de peces en los sedimentos. Las vértebras al poseer una estructura con mayor espesor y menor área de exposición que las escamas, estarían resistiendo más el efecto de las condiciones adversas del ambiente. Estas diferencias de preservación tienen implicancias en la magnitud de las abundancias de vértebras respecto a las escamas pos-depositación. Por lo cual la preservación debe evaluarse con varios índices de preservación para facilitar la interpretación de los resultados en la reconstrucción de la variabilidad de las abundancias de peces en el pasado.

## VIII. RECOMENDACIONES

En futuros estudios, se debe considerar mayor área de muestreo en los sacatestigos de sedimentos marinos. En una muestra con mayor área se obtiene mayor masa de sedimentos, lo cual representa una mayor cantidad de material para ser examinado, con la consecuencia de mayores observaciones de restos de peces. La obtención de mayores observaciones de restos de peces en los sedimentos, aumentará la representatividad de la muestra, obteniendo una mayor aproximación en la determinación de la variabilidad de la preservación asociada con los factores ambientales moduladores.

Adicionalmente, se debe estudiar más testigos en el área de la zona norte frente al margen continental peruano. Se debe coleccionar más testigos en transeptos paralelo y perpendicular a la línea de costa. Esto nos ayudará a identificar el principal factor regulador de la preservación y sedimentación, o la inclusión de un factor o factores aún no considerados en el presente estudio.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alheit, J., Niquen, M. 2004. Regime shifts in the Humboldt Current Ecosystem. *Progress in Oceanography* 60: 201–222.
2. Alheit, J., Roy, C., Kifani, S. 2009. 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: pp. 64–87.
3. Arndt, Sandra, Jørgensen, B.B., LaRowe, D.E., Middelburg, J.J., Pancost, R., Regnier, P. 2013. Quantifying the degradation of organic matter in marine sediments: A review and synthesis, *Earth Science Reviews* 123, 53–86.
4. Atlas E.; Pytkowicz R. M. 1977. Solubility Behavior of Apatites in Seawater. *Limnology and Oceanography* 22, 2: 290–300.
5. Babu, C.P., Nath, B.N., 2005. Processes controlling phosphorus in surficial sediments from the eastern Arabian Sea impinged by varying bottom water oxygenation conditions. *Deep-Sea Research II* 52, 1965–1980.
6. Bacquet, G., Vo, Q. T., Bonel, G., Vignoles, M. 1980. Résonance paramagnétique électronique du centre F dans les fluorapatites carbonatées de type B. – *Journal of Solid State Chemistry*, 33: 189–195.
7. Ballón M., Wosnitza-Mendo C., Guevara-Carrasco R., Bertrand A. 2008. The impact of overfishing and El Niño on the condition factor and reproductive success of Peruvian hake, *Merluccius gayi peruanus*. *Progress in Oceanography* 79: 300–307.
8. Barange, M., J. Coetzee, A. Takasuka, K. Hill, M. Gutierrez, Y. Oozeki, C. van der Lingen, and V. Agostini. 2009. Habitat expansion and contraction in anchovy and sardine populations. *Progress in Oceanography* 83:251–260.
9. Baumgartner, T.R., Soutar, A. & V. Ferreira-Bartina. 1992. Reconstruction of the history of Pacific Sardine and Northern Anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin. California. *CalCOFI Reports* 33, 24–40.
10. Berner R. A. 1984 Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 605–615.
11. Berner Robert A. Early diagenesis. 1980. A theoretical approach. (princeton series in geochemistry). princeton university press, princeton, new jersey, 241 pp.
12. Blott, S. J., and Pye, K. 2001. GRADISTAT: A GRAIN SIZE DISTRIBUTION AND STATISTICS PACKAGE FOR THE ANALYSIS OF UNCONSOLIDATED SEDIMENTS. *Earth Surface. Processes and Landforms* 26, 1237–1248.
13. Bornemann–Starynkevitch, I. D. & Belov, N. V. 1940. Isomorphic substitutions in carbonate-apatite. – *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 26/18: 804806 (in Russian).
14. Bornemann–Starynkevitch, I. D. & Belov, N. V. 1953. On carbonate-apatites. – *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 90/1: 89–92 (in Russian).
15. Bouma A. H. 1964. NOTES ON X-RAY INTERPRETATION OF MARINE SEDIMENTS. *Marine Geol.*, 2, 278–309.
16. Brockmann, C., Fahrbach, E., Huyer, A., Smith, R. 1980. The poleward undercurrent along the Peru coast: 5 to 15°S. *Deep-Sea Research*, Vol. 27A, pp. 847–856.
17. Brophy, G. P. & Nash, T. J. 1968. Compositional, infrared and X-ray analysis of fossil bone. – *American Mineralogist*, 53: 445–454.
18. Canfield, 1993. Organic matter oxidation in marine sediments. In: Wollast, R., et al. (Ed.), *Interactions of biogeochemical cycles*. Springer, pp. 333–363.

19. Carter, J. G. (ed.). 1990. *Skeletal Biomineralization: Patterns, Processes and Evolutionary Trends*. New York.
20. Chavez F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E., and Niquen, M. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299: 217 – 221.
21. Chavez, F. P., Messié, M. 2009. A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography* 83, 80–96
22. Chavez, F.P., Bertrand, A., Guevara, R., Soler, P., Csirke, J., 2008. The northern Humboldt Current System: brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography* 79 (2–4), 95–105.
23. Córdova, M. 2008. *Estadística Aplicada*. Dist. Imp. Edit. Lib. MOSHERA S.R.L., Lima-Perú. 525 p.
24. Csirke, J., Guevara-Carrasco, R., Cárdenas, G., Niquen, M., Chipolini, A. 1996. 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* 15 (1): 1–23.
25. Dean Walter E., JR, 1974, Determination of Carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 44, N° 1, p. 242-248.
26. DeVries, T.J., & W.G. Pearcy. 1982. Fish debris in sediments of the upwelling zone off central Peru: a late Quaternary record. *Deep Sea Res.* 28:87-109.
27. Díaz-Ochoa, J. A., C. B. Lange, S. Pantoja, G. J. De Lange, D. Gutierrez, P. Muñoz, and M. Salamanca. 2009. Fish scales in sediments from off Callao, central Peru. *Deep-Sea Research Part II* 56:1124–1135.
28. Ehlert, C., Grasse, P., Mollier-Vogel, E., Bösch, T., Franz, J., de Souza, G.F., Reynolds, B.C., Stramma, L., Frank, M., 2012. Factors controlling the silicon isotope distribution in waters and surface sediments of the Peruvian coastal upwelling. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 99, 128 - 45.
29. Estrella Arellano, C., Swartzman, G. 2010. The Peruvian artisanal fishery: Changes in patterns and distribution over time. *Fisheries Research* 101 (2010) 133–145.
30. Field, D. B., T. R. Baumgartner, V. Ferreira, D. Gutierrez, H. Lozano-Montes, R. Salvatteci, and A. Soutar. 2009. Variability from scales in marine sediments and other historical records. Pp. 45–63 in Checkley et al. 2009a.
31. Godwin LD, Leech NL. 2006. Understanding Correlation: Factors That Affect the Size of r. *The Journal of Experimental Education*; 74.
32. Guevara-Carrasco R., and Leonart J. 2008. Dynamics and fishery of the Peruvian hake: Between nature and man. *Journal of Marine Systems* 71: 249-259.
33. Gulbrandsen, R. A. 1970. Relation of carbon dioxide content of apatite of the Phosphoria Formation to regional facies. *USGeological Survey Professional Paper* 700-B, B9–B13.
34. Gutiérrez, D., Sifeddine, A., Field, D., Ortlieb, L., Vargas, G., Chávez, F., Velasco, F., Ferreira, V., Tapia, P., Salvatteci, R., Boucher, H., Morales, M., Valdés, J., Reyss, J., Campusano, A., Boussafir, M., Mandeng-Yogo, M., García, M., and Baumgartner, T., 2009. Rapid reorganization in ocean biogeochemistry off Peru towards the end of the Little Ice Age. *Biogeosciences*, 6, 835-848.
35. Gutiérrez, D., Sifeddine, A., Reyss, J.L., Vargas, G., Velasco, F., Salvatteci, R., Ferreira, V., Ortlieb, L., Field, D., Baumgartner, T., Boussafir, M., Boucher, H., Valdés, J., Marinovic, L., Soler, P., Tapia, P. 2006. Anoxic sediments off Central Peru record interannual to multidecadal changes of climate and upwelling ecosystem during the last two centuries. *Advances in Geosciences* 6: 119–125.

36. Gutiérrez, D., T. Baumgartner, J. Valdés, F. Velazco, V. Ferreira, R. Guevara, M. Ñiquen, G. Vargas & D. Field. 2005. 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, 42 p.
37. Helly, J.J., Levin, L.A., 2004. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Research I* 51, 1159–1168.
38. Hughes, J. M., Cameron, M., Crowley, K. D. 1989. Structural variations in natural F, OH and Cl apatites. – *American Mineralogist*, 74: 870–876.
39. Huyer, A., Knoll, M., Paluszkiwicz, T., and Smith, R. 1991. The Peru Undercurrent: a study in variability. *Deep-Sea Research* 38, 1: 247-271.
40. Ikoma T., Kobayashi H., Tanaka J., Walsh D., Mann S. 2003. Microstructure, mechanical, and biomimetic properties of fish scales from *Pagrus major*. *Journal of Structural Biology* 142, 327–333.
41. Ikoma, T., Suetsugu, Y., & Mann, S. 2004. Internal Structure and Biomimetic Properties of Fish Scales. *National Institute for Materials Science*. Vol. 2 N°. 13: pp 3.
42. Ingram, R. 1971. Sieve Analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology*. Eds. Carver, RE, de. Cap. 3. P.49-67. New York.
43. Kenneth W. M. 1962. X-RAY RADIOGRAPHY IN THE STUDY OF STRUCTURES IN HOMOGENEOUS SEDIMENTS. *Journal of Sedimentary Petrology*, 32: 2, 201-210.
44. Konert M., Vandenberghe J. 1997. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction. *Sedimentology* 44, 523-535.
45. Lofi J., Weber O. 2001. SCOPIX – digital processing of X-ray images for the enhancement of sedimentary structures in undisturbed core slabs. *Geo-Marine Letters* 20: 182-186.
46. LOWENSTAM, H. A. 1972. Phosphatic hard tissues of marine invertebrates: Their nature and mechanical function, and some fossil implications. *Chem. Geol.* 9: 153–166.
47. Marengo K.N., Bottjer d.J. 2010. The intersection grid technique for quantifying the extent of bioturbation on bedding planes. *PALAIOS* 25: 457–462.
48. McClellan G. H. & Lehr, J. R. 1969. Crystal chemistry investigation of natural apatites. – *American Mineralogist*, 54: 1374–1391.
49. McConnell, D. 1973. *Apatite – its crystal chemistry, mineralogy, utilization, and geologic and biologic occurrences*. Wien, Heidelberg, New York: Springer. 111 pp.
50. Muñoz, P., Lange, C. B., Gutiérrez, D., Hebbeln, D., Salamanca, M. A., Dezileau, L., Reyss, J. L., and Benninger, L. K. 2004. Recent sedimentation and mass accumulation rates based on <sup>210</sup>Pb along the Peru-Chile continental margin, *Deep-Sea Res. II*; 51: 2523-2541.
51. Nathan, Y. 1984. The mineralogy and geochemistry of phosphorites. In: Nriagu, J.O. & Moore, P.B. *Phosphate Minerals*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag, 275–291.
52. Newesely H. 1989. Fossil bone apatite. *Applied Geochemistry*; 4: 233-245.
53. Nichols Gary. 2009: *Sedimentology and Stratigraphy*. Second Edition. Wiley-Blackwell. Printed in the United Kingdom. 419 p.
54. Ñiquen, M., Bouchon, M. 2004. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep Sea Research II* 51: 563–574.
55. Nriagu, J. O. 1984. Phosphate minerals: their properties and general modes of occurrence. In: Nriagu, J. O. & Moore, P. B. *Phosphate Minerals*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag, 1–136.

56. O'Connell, J., Tunnicliffe, V., 2001. The use of sedimentary fish remains for interpretation of long-term fish population fluctuations. *Marine Geology* 174, 177–195.
57. Ojala A. K. 2004. Application of X-ray radiography and densitometry in varve analysis. In: Francus P. (ed.), *Image Analysis, Sediments and Paleoenvironments*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 187-202.
58. Pennington J. T., Mahoney K., Kuwahara V. S., Kolber D. D., Calienes R. and Chavez F. P. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: a review. *Prog. Oceanogr.* 69 (2–4), 285–317.
59. Petchey, F., Higham, T., 2000. Bone diagenesis and radiocarbon dating of fish bones at the Shag river mouth site, New Zealand. *Journal of Archaeological Science* 27, 135–150.
60. Pettijohn F. J., 1976: *Rocas Sedimentarias*. 3ra Edición. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 731 pp.
61. Puura, I. & Nemliher, J. 1993. Shell mineralogy of Recent and fossil lingulate brachiopods: differences caused by fossilization. – *Lund Publications in Geology*, 109: 26.
62. Puura, I.; Nemliher, J. 1999. Advances in skeletal apatite mineralogy. *Folia Baeriana* (64–69). Tartu: Institute of Zoology and Botany.
63. Rein, R., Lückge, A., Reinhardt, L., Sirocko, F., Wolf, A., Dullo, W.C. 2005. El Niño variability off Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography* 20, PA4003. doi:10.1029/2004PA001099.
64. Rodgers J. L., and W. A. Nicewander. 1988. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician* 42(1): 59–66.
65. Rothwell, R.G. 2006. *New Techniques in Sediment Core Analysis*. Geological Society, London, Special Publications, 267p.
66. Rovine MJ, Eye A von. 1997. A 14th Way to Look at a Correlation Coefficient: Correlation as the Proportion of Matches. *The American Statistician* 51: 42–46.
67. Salvattecí R, Field DB, Baumgartner T, Ferreira V, Gutierrez D. 2012. Evaluating fish scale preservation in sediment records from the oxygen minimum zone off Peru. *Paleobiology*; 38(1): 766–792.
68. Salvattecí, R., 2008. 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. 102 p.
69. Salvattecí, R., D. Gutierrez, D. Field, V. Ferreira, F. Velazco, A. Sifeddine, T. Baumgartner, L. Ortlieb, & P. Soler. 2006. 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.
70. Salvattecí, R; Field, D.; Gutierrez, D.; Baumgartner, T; Ferreira, V.; Velazco, F.; Niquen, M.; Guevara, R.; Sifeddine, A. & L. Ortlieb. 2005. 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., Abstract PP51D-0628.
71. Sánchez Ochoa Cristina: "Manual de identificación de escamas de peces". Compilación para laboratorio de Paleoceanografía. CICESE-MEXICO.35 p.
72. Savrda Ch.E., Bottjer D.J. 1986. Trace-fossil model for reconstruction of paleo-oxygenation in bottom waters, *Geology* 14: 3-6.
73. Schenau, S., De Lange, G.J., 2000. A novel chemical method to quantify fish debris in marine sediments. *Limnology and Oceanography* 45, 963–971.
74. Schoonen, M.A.A., 2004, Mechanisms of sedimentary pyrite formation, in Amend, J.P., Edwards, K.J., and Lyons, T.W., eds., *Sulfur biogeochemistry - Past and*

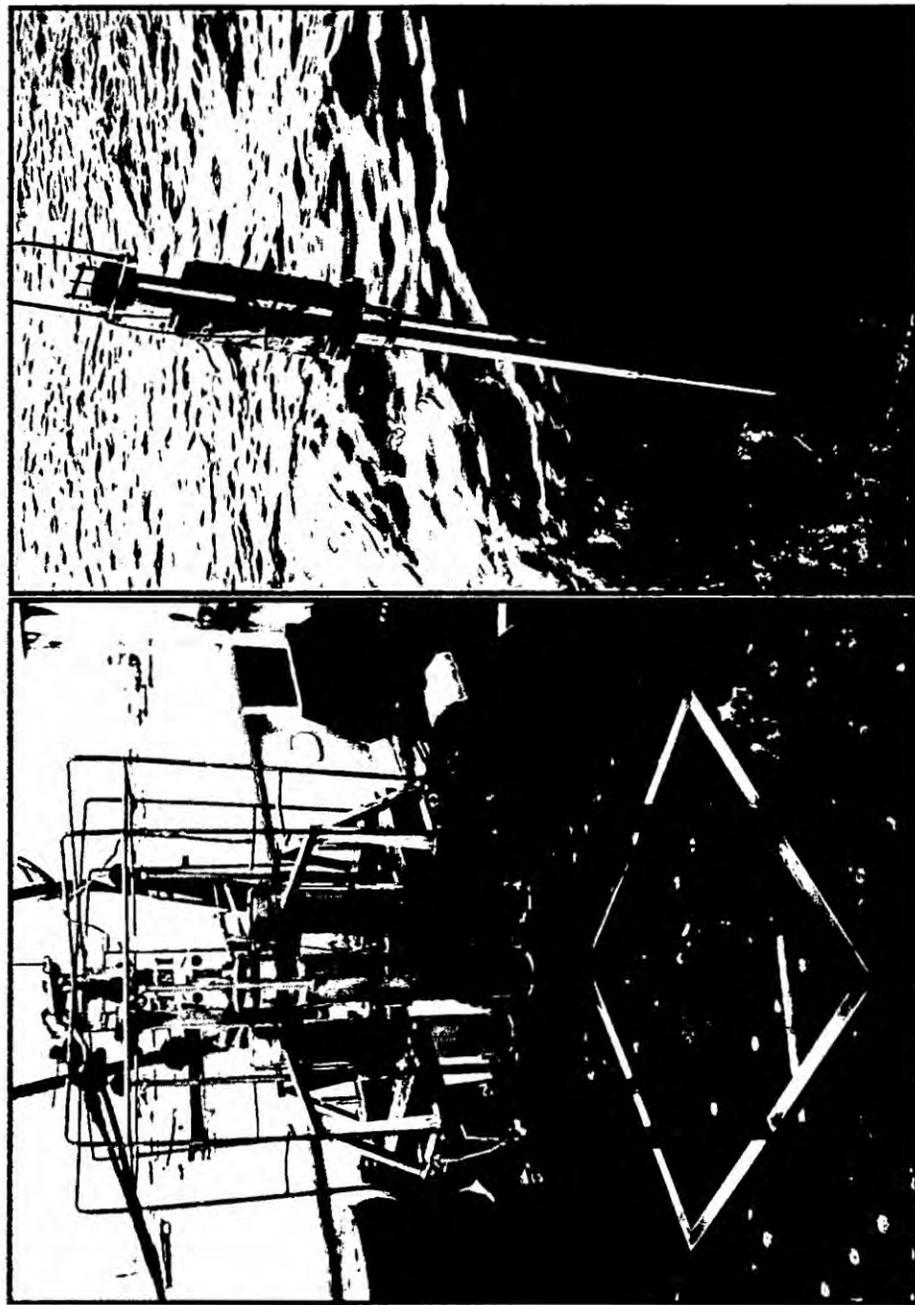
- present: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 379, p. 117–134.
75. Schuffert, J. D., Kastner, M., Emanuele, G., Jahnke, R. A. 1990. Carbonate-ion substitution in francolite: a new equation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54: 2323–2328.
  76. Schwartzlose, R., Alheit, J., 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. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations, *S. Afr. J. Mar. Sci.* 21: 289– 347.
  77. Shackleton, L. Y. & Johnson, R. F. 1988. Identification of and distinction between the scales of South African pilchard *Sardinops ocellatus* and Cape anchovy *Engraulis capensis*, *South African Journal of Marine Science*, 6:1, 207-216.
  78. Shackleton, L.Y. 1986. 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, 141 pp.
  79. Shackleton, L.Y. 1988. Scale shedding: An important factor in fossil fish scale studies. - *J. Cons. int. Explor. Mer*, 44: 259-263.
  80. Shipboard Scientific Party, 2004. Explanatory notes. In Tucholke, B.E., Sibuet, J.-C., Klaus, A., et al., *Proc. ODP, Init. Repts.*, vol 210: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1-69.
  81. Shipboard Sedimentologists' Handbook, 1988. In J., Mazzullo, A. G., Graham, Technical Note N°8: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1-67.
  82. Simon, A., Poulicek, M., Velimirov, B., & Mackenzie, F. T., 1994. Comparison of anaerobic and aerobic biodegradation of mineralized skeletal structures in marine and estuarine conditions. *Kluwer Academic Publishers. Biogeochemistry* 25: 167-195.
  83. Slansky, M. 1986. *Geology of Sedimentary Phosphates*. North Oxford Academic Publishers. 210 pp.
  84. Soutar, A. & J.D. Isaacs. 1974. Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the Californias. *Fish. Bull.* 72: 257-273.
  85. Soutar, A., & J.D. Isaacs. 1969. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 13:63-70.
  86. Soutar, A., 1967. The accumulation of fish debris in certain California coastal sediments, *CalCOFI Reports*, 11, 136-139.
  87. Spjotvoll, E., & Stoline, M. R. 1973. An extension of the T-method of multiple comparison to include the cases with unequal sample sizes. *Journal of the American Statistical Association*, 68, 976-978.
  88. Stigler, Stephen M. 1989. "Francis Galton's Account of the Invention of Correlation". *Statistical Science* 4 (2): 73–79. doi:10.1214/ss/1177012580.
  89. Suess, E, 1981. Phosphate regeneration from sediments of the Peru continental margin by dissolution of fish debris. *Geochim. Cosmochim. Acta* 45, 577-588.
  90. Treweek, G.P. & Morgan, J.J. 1977. Size distribution of flocculated particles: application of electronic particle counters. *Environmental Science & Technology*, 11, 707–714.
  91. Valdés, J., Ortlieb, L., Gutiérrez, D., Marinovic, L., Vargas, G., and Sifeddine, A. 2008. 250 years of sardine and anchovy scale deposition record in Mejillones Bay, northern Chile, *Prog. Oceanogr.* 79, 198–207.

92. Vdović N., Obhodaš J. & Pikelj K. 2010. Revisiting the particle-size distribution of soils: comparison of different methods and sample pre-treatments. *European Journal of Soil Science*, December 61, 854–864.
93. Winer, B. J. 1962. *Statistical principles in experimental design*. New York: McGraw-Hill.
94. Winer, B. J., Brown, D. R., Michels, K. M. 1991. *Statistical principals in experimental design. (3rd ed.)*. New York: McGraw-Hill.
95. Wosnitza-Mendo C, Ballón M, Benites C, Guevara-Carrasco R. 2009. Changes in the Peruvian hake distribution area: effect of fishery and El Niño event. *Bol Inst Mar Perú*; 24 (1-2): 29-38.
96. Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall. Second edition, 718 pp.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

| PROBLEMA  | OBJETIVOS   | HIPÓTESIS   | METODOLOGÍA  | POBLACIÓN   |
|---|---|---|--|---|
| <p><b>Problema general:</b></p> <p>¿Cuál es el estado de preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos, en relación a la posición geográfica y propiedades de los sedimentos en el margen continental superior frente a Perú?</p> <p><b>Problemas específicos:</b></p> <p>¿Es mayor la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces, en los sedimentos del norte, centro o sur del margen continental superior frente a Perú?</p> <p>¿Es mayor la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos con texturas gruesas o finas, en el margen continental superior frente a Perú?</p> <p>¿Es mayor la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos con mayor o menor contenido de materia orgánica, en el margen continental superior frente a Perú?</p> | <p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Determinar el estado de preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos del margen continental superior frente a Perú.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>Quantificar la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos de diferentes localidades sobre el margen continental superior frente a Perú.</p> <p>Evaluar la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos en relación con la textura y tamaño de grano de los sedimentos, en el margen continental superior frente a Perú.</p> <p>Evaluar la preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos en relación con el contenido de materia orgánica sedimentaria, en el margen continental superior frente a Perú.</p> | <p><b>Hipótesis general:</b></p> <p>El estado de preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos varía de acuerdo a la posición geográfica y propiedades de los sedimentos, en el margen continental superior frente a Perú.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <p>La preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces en los sedimentos, es menor en el norte que en el centro y sur del margen continental superior frente a Perú, debido a la mayor oxigenación sub-superficial en el norte.</p> <p>La preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces, es mayor en sedimentos con texturas más finas, en el margen continental superior frente a Perú.</p> <p>La preservación de restos de escamas y esqueletos óseos de peces, es mayor en los sedimentos con mayor contenido de materia orgánica, en el margen continental superior frente a Perú.</p> | <p><b>Tipo:</b></p> <p>Este estudio es investigación básica, descriptiva, correlacional y explicativa. Dentro de este marco utilizaremos los referentes metodológicos ya existentes a nuestra variable, para resolver el problema de investigación, buscando determinar las zonas con registros sedimentarios con mejor preservación de los restos de peces, asociada a la posición geográfica y propiedades de los sedimentos.</p> <p><b>Método:</b></p> <p>El método que utilizaremos es el descriptivo correlacional.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b></p> <p>El diseño de la investigación es experimental, descriptivo y correlacional.</p> | <p><b>Población:</b></p> <p>La población de estudio comprende los restos de escamas y esqueletos óseos de peces acumulados en los sedimentos marinos superficiales (los primeros ~50 cm - 70 cm).</p> <p><b>Muestra:</b></p> <p>La muestra comprende veintiséis testigos de sedimentos marinos colectados en el rango de latitudes 5°S y 14°S, y en un rango de profundidades de 40 a 450 m sobre la plataforma y talud continental superior frente a la costa peruana.</p> |



**Anexo 2. (Izquierda) Equipo multiscatostigos de sedimentos marinos superficiales, (derecha) equipo saca testigo de gravedad. El último equipo mencionado alcanza mayor penetración en el lecho marino, obteniendo testigos más largos.**

Anexo 3. Conteo de escamas, vértebras y otros restos óseos (huesos, espinas) de peces, expresado en número total de restos contados por cada testigo de sedimentos.

| Denominación   | # g. sedimento | # de Escamas |           |         |         |       | # de Vértebras |           |         |         |       | # Restos óseos |         |  |
|----------------|----------------|--------------|-----------|---------|---------|-------|----------------|-----------|---------|---------|-------|----------------|---------|--|
|                |                | Total        | Anchoveta | Merluza | Sardina | Otros | Total          | Anchoveta | Merluza | Sardina | Otros | Huesos         | Espinas |  |
|                |                |              |           |         |         |       |                |           |         |         |       |                |         |  |
| Paíta, 220m    | 368,31         | 8,5          | 2,5       | 3,5     | 0,0     | 2,5   | 472,0          | 0,0       | 1,0     | 17,0    | 454,0 | 230,9          | 17,0    |  |
| P. Falsa, 220m | 522,6          | 105,5        | 42,0      | 16,5    | 5,0     | 42,0  | 251,0          | 72,0      | 5,0     | 0,0     | 174,0 | 296,6          | 246,0   |  |
| Paíta, 234m    | 396,04         | 5,0          | 0,0       | 2,0     | 0,0     | 3,0   | 257,8          | 0,0       | 0,0     | 0,0     | 257,8 | 84,1           | 7,5     |  |
| Casma, 127m    | 188,3          | 83,5         | 59,0      | 16,0    | 2,0     | 6,5   | 45,3           | 13,0      | 1,0     | 0,0     | 31,3  | 43,4           | 66,0    |  |
| Chimbote, 342m | 234,5          | 121,5        | 24,0      | 75,5    | 5,0     | 17,0  | 313,5          | 49,0      | 46,0    | 0,0     | 218,5 | 259,9          | 133,0   |  |
| Chimbote, 445m | 1208           | 223,0        | 46,5      | 97,0    | 21,5    | 58,0  | 224,0          | 40,0      | 38,3    | 4,0     | 141,8 | 272,9          | 19,8    |  |
| Chimbote, 445m | 683,9          | 142,0        | 55,5      | 40,5    | 6,5     | 39,5  | 283,8          | 101,5     | 50,0    | 20,0    | 112,3 | 191,1          | 22,0    |  |
| Callao, 41m    | 263,2          | 5,0          | 2,0       | 1,0     | 0,0     | 2,0   | 1,0            | 0,0       | 0,0     | 0,0     | 1,0   | 50,0           | 5,0     |  |
| Callao, 41m    | 426,4          | 19,0         | 8,0       | 1,0     | 0,0     | 10,0  | 1,0            | 0,0       | 0,0     | 0,0     | 1,0   | 55,9           | 10,0    |  |
| Callao, 67m    | 264,9          | 107,5        | 82,5      | 1,0     | 4,0     | 20,0  | 5,0            | 4,0       | 0,0     | 0,0     | 1,0   | 13,5           | 32,0    |  |
| Callao, 68.5m  | 825,29         | 75,5         | 54,0      | 6,0     | 8,5     | 7,0   | 13,3           | 6,0       | 0,0     | 0,0     | 7,3   | 38,9           | 71,3    |  |
| Callao, 70m    | 346,5          | 204,5        | 177,0     | 1,5     | 5,0     | 21,0  | 24,3           | 24,0      | 0,0     | 0,0     | 0,3   | 27,3           | 189,0   |  |
| Callao, 70m    | 329,1          | 50,5         | 26,5      | 2,0     | 5,0     | 17,0  | 6,0            | 4,0       | 0,0     | 0,0     | 2,0   | 22,1           | 9,0     |  |

Anexo 3. Continuación.

| Denominación | # g. sedimento | # de Escamas |           |         |         | # de Vértebra |       |           |         | # Restos óseos |       |        |         |
|--------------|----------------|--------------|-----------|---------|---------|---------------|-------|-----------|---------|----------------|-------|--------|---------|
|              |                | Total        | Anchoveta | Merluza | Sardina | Otros         | Total | Anchoveta | Merluza | Sardina        | Otros | Huesos | Espinas |
|              |                |              |           |         |         |               |       |           |         |                |       |        |         |
| Callao, 94m  | 316,7          | 93,0         | 67,0      | 6,0     | 6,0     | 14,0          | 26,0  | 12,0      | 0,0     | 0,0            | 14,0  | 20,6   | 72,0    |
| Ancón, 99,3m | 120,6          | 14,5         | 12,0      | 1,5     | 0,0     | 1,0           | 7,0   | 2,0       | 0,0     | 0,0            | 5,0   | 11,3   | 18,0    |
| Callao, 191m | 222,14         | 54,5         | 37,0      | 10,5    | 0,0     | 7,0           | 18,0  | 2,0       | 0,0     | 0,0            | 16,0  | 5,5    | 19,0    |
| Supe, 240m   | 169,8          | 58,5         | 34,5      | 22,0    | 2,0     | 0,0           | 31,0  | 5,0       | 0,0     | 0,0            | 26,0  | 17,0   | 26,0    |
| Supe, 278m   | 114,3          | 36,0         | 21,0      | 10,0    | 1,0     | 4,0           | 30,0  | 4,0       | 0,0     | 0,0            | 26,0  | 19,3   | 14,0    |
| Callao, 322m | 589,5          | 130,0        | 79,5      | 26,5    | 5,0     | 1,2           | 176,5 | 33,0      | 3,0     | 0,0            | 140,5 | 228,5  | 167,3   |
| Pisco, 131m  | 303,95         | 18,0         | 11,5      | 1,0     | 1,5     | 4,0           | 17,0  | 14,0      | 1,0     | 0,0            | 2,0   | 61,9   | 37,0    |
| Pisco, 151m  | 417,95         | 40,5         | 29,5      | 1,0     | 3,0     | 7,0           | 167,8 | 95,0      | 3,0     | 0,0            | 69,8  | 141,5  | 370,0   |
| Pisco, 201m  | 250,40         | 41,5         | 28,5      | 6,0     | 3,0     | 4,0           | 15,0  | 8,0       | 0,0     | 0,0            | 7,0   | 17,3   | 23,0    |
| Pisco, 257m  | 261,21         | 56,0         | 51,0      | 1,0     | 2,0     | 2,0           | 26,0  | 12,5      | 0,0     | 0,0            | 13,5  | 35,1   | 74,0    |
| Pisco, 387m  | 174,40         | 9,5          | 6,5       | 0,0     | 2,0     | 1,0           | 23,0  | 11,0      | 0,0     | 0,0            | 12,0  | 15,5   | 15,0    |
| Pisco, 416m  | 203,46         | 2,0          | 2,0       | 0,0     | 0,0     | 0,0           | 20,0  | 8,0       | 4,0     | 0,0            | 8,0   | 28,4   | 7,0     |
| Pisco, 438m  | 260,14         | 26,0         | 17,0      | 5,0     | 1,0     | 3,0           | 19,0  | 3,0       | 3,0     | 0,0            | 13,0  | 16,4   | 27,0    |

Anexo 4. Concentración de los restos de peces en los testigos de sedimentos marinos frente a Perú, expresados en número de restos contados por gramos de sedimento examinado.

| Denominación de Testigo | # g. sedimento examinado | # Escamas/g. sedimento |           |         |         |       | # de Vértebras/gr. sedimento |           |         |         |       | # R. óseos/g. sedimento |         |  |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|-----------|---------|---------|-------|------------------------------|-----------|---------|---------|-------|-------------------------|---------|--|
|                         |                          | Total                  | Anchoveta | Merluza | Sardina | Otros | Total                        | Anchoveta | Merluza | Sardina | Otros | Huesos                  | Espinas |  |
|                         |                          |                        |           |         |         |       |                              |           |         |         |       |                         |         |  |
| Paíta, 220m             | 368,31                   | 0,02                   | 0,007     | 0,010   | 0       | 0,007 | 1,282                        | 0         | 0,003   | 0,046   | 1,233 | 0,627                   | 0,046   |  |
| P. Falsa, 220m          | 522,6                    | 0,20                   | 0,080     | 0,032   | 0,010   | 0,080 | 0,480                        | 0,138     | 0,010   | 0       | 0,333 | 0,568                   | 0,471   |  |
| Paíta, 234m             | 396,04                   | 0,01                   | 0,000     | 0,005   | 0       | 0,008 | 0,651                        | 0         | 0       | 0       | 0,651 | 0,212                   | 0,019   |  |
| Casma, 127m             | 188,3                    | 0,44                   | 0,313     | 0,085   | 0,011   | 0,035 | 0,240                        | 0,069     | 0,005   | 0       | 0,166 | 0,230                   | 0,350   |  |
| Chimbote, 342m          | 234,5                    | 0,52                   | 0,102     | 0,322   | 0,021   | 0,072 | 1,337                        | 0,209     | 0,196   | 0       | 0,932 | 1,108                   | 0,567   |  |
| Chimbote, 445m          | 1208                     | 0,18                   | 0,039     | 0,080   | 0,018   | 0,048 | 0,186                        | 0,033     | 0,032   | 0,003   | 0,117 | 0,226                   | 0,016   |  |
| Chimbote, 445m          | 683,9                    | 0,21                   | 0,081     | 0,059   | 0,010   | 0,058 | 0,415                        | 0,148     | 0,073   | 0,029   | 0,164 | 0,279                   | 0,032   |  |
| Callao, 41m             | 263,2                    | 0,02                   | 0,008     | 0,004   | 0       | 0,008 | 0,004                        | 0         | 0       | 0       | 0,004 | 0,190                   | 0,019   |  |
| Callao, 41m             | 426,4                    | 0,04                   | 0,019     | 0,002   | 0       | 0,023 | 0,002                        | 0         | 0       | 0       | 0,002 | 0,131                   | 0,023   |  |
| Callao, 67m             | 264,9                    | 0,41                   | 0,311     | 0,004   | 0,015   | 0,076 | 0,019                        | 0,015     | 0       | 0       | 0,004 | 0,051                   | 0,121   |  |
| Callao, 68.5m           | 825,29                   | 0,09                   | 0,065     | 0,007   | 0,010   | 0,008 | 0,016                        | 0,007     | 0       | 0       | 0,009 | 0,047                   | 0,086   |  |
| Callao, 70m             | 346,5                    | 0,59                   | 0,511     | 0,004   | 0,014   | 0,061 | 0,070                        | 0,069     | 0       | 0       | 0,001 | 0,079                   | 0,545   |  |
| Callao, 70m             | 329,1                    | 0,15                   | 0,081     | 0,006   | 0,015   | 0,052 | 0,018                        | 0,012     | 0       | 0       | 0,006 | 0,067                   | 0,027   |  |

Anexo 4. Continuación.

| Denominación de Testigo | # g. sedimento examinado | # Escamas/g. sedimento |           |         |         | # de Vértebras/gr. sedimento |       |           |         | # R. óseos/g. sedimento |       |        |         |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|-----------|---------|---------|------------------------------|-------|-----------|---------|-------------------------|-------|--------|---------|
|                         |                          | Total                  | Anchoveta | Merluza | Sardina | Otros                        | Total | Anchoveta | Merluza | Sardina                 | Otros | Huesos | Espinas |
|                         |                          |                        |           |         |         |                              |       |           |         |                         |       |        |         |
| Callao, 94m             | 316,7                    | 0,29                   | 0,212     | 0,019   | 0,019   | 0,044                        | 0,082 | 0,038     | 0       | 0                       | 0,044 | 0,065  | 0,227   |
| Ancón, 99,3             | 120,6                    | 0,12                   | 0,100     | 0,012   | 0       | 0,008                        | 0,058 | 0,017     | 0       | 0                       | 0,041 | 0,093  | 0,149   |
| Callao, 191m            | 222,14                   | 0,25                   | 0,167     | 0,047   | 0       | 0,032                        | 0,081 | 0,009     | 0       | 0                       | 0,072 | 0,025  | 0,086   |
| Supe, 240m              | 169,8                    | 0,34                   | 0,203     | 0,130   | 0,012   | 0                            | 0,183 | 0,029     | 0       | 0                       | 0,153 | 0,100  | 0,153   |
| Supe, 278m              | 114,3                    | 0,31                   | 0,184     | 0,087   | 0,009   | 0,035                        | 0,262 | 0,035     | 0       | 0                       | 0,227 | 0,168  | 0,122   |
| Callao, 322m            | 589,5                    | 0,22                   | 0,135     | 0,045   | 0,008   | 0,002                        | 0,299 | 0,056     | 0,005   | 0                       | 0,236 | 0,388  | 0,284   |
| Pisco, 131m             | 303,95                   | 0,06                   | 0,038     | 0,003   | 0,005   | 0,013                        | 0,056 | 0,046     | 0,003   | 0                       | 0,007 | 0,204  | 0,122   |
| Pisco, 151m             | 417,95                   | 0,10                   | 0,071     | 0,002   | 0,007   | 0,017                        | 0,401 | 0,227     | 0,007   | 0                       | 0,167 | 0,339  | 0,885   |
| Pisco, 201m             | 250,40                   | 0,17                   | 0,114     | 0,024   | 0,012   | 0,016                        | 0,060 | 0,032     | 0       | 0                       | 0,028 | 0,069  | 0,092   |
| Pisco, 257m             | 261,21                   | 0,21                   | 0,195     | 0,004   | 0,008   | 0,008                        | 0,100 | 0,048     | 0       | 0                       | 0,052 | 0,134  | 0,283   |
| Pisco, 387m             | 174,40                   | 0,05                   | 0,037     | 0       | 0,011   | 0,006                        | 0,132 | 0,063     | 0       | 0                       | 0,069 | 0,089  | 0,086   |
| Pisco, 416m             | 203,46                   | 0,01                   | 0,010     | 0       | 0       | 0                            | 0,098 | 0,039     | 0,020   | 0                       | 0,039 | 0,139  | 0,034   |
| Pisco, 438m             | 260,14                   | 0,10                   | 0,065     | 0,019   | 0,004   | 0,012                        | 0,073 | 0,012     | 0,012   | 0                       | 0,050 | 0,063  | 0,104   |

**Anexo 5. Concentración de los restos de peces en superficie (entre 0-2 cm) de los testigos de sedimentos marinos frente a Perú. Las concentraciones están expresadas en número de restos por gramo de sedimento húmedo examinado. Datos que no cumplan con la distribución esperada, fueron transformados para ajustar a la normalidad. (\*Datos originales, <sup>2</sup>datos transformados). <sup>o</sup>Colectado con Multiacatástigo, el resto colectado con sacatástigo de gravedad. La latitud y profundidad están en grupos categóricos.**

| Latitud | Categorías de latitud | Prof (m) | Categorías Profundidad | <sup>1</sup> Escamas total | <sup>1</sup> Escamas anchoveleta | <sup>1</sup> Escamas otras | <sup>2</sup> Escamas otras | <sup>2</sup> Escamas total | <sup>2</sup> Vertebras total | <sup>2</sup> Vertebras anchoveleta | Hueso | <sup>2</sup> Huesos | <sup>1</sup> Vertebras +huesos | <sup>2</sup> Vertebras +huesos | <sup>1</sup> Vertebras | <sup>2</sup> Vertebras | <sup>1</sup> Esquinas | <sup>2</sup> Esquinas |  |
|---------|-----------------------|----------|------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Pa220m  | -5.355                | N        | 220                    | 2                          | 0.036                            | 0.012                      | 0.024                      | 0.010                      | 1.209                        | 0.344                              | 0.000 | 0.499               | 0.707                          | 1.709                          | 1.307                  | 0.024                  | 0.394                 |                       |  |
| PF220m  | -5.755                | N        | 220                    | 2                          | 0.207                            | 0.078                      | 0.078                      | 0.033                      | 0.383                        | 0.141                              | 0.078 | 0.580               | 0.762                          | 0.963                          | 0.961                  | 0.311                  | 0.747                 |                       |  |
| Pa234m  | -5.188                | N        | 234                    | 2                          | 0.018                            | 0.000                      | 0.000                      | 0.000                      | 0.464                        | 0.165                              | 0.000 | 0.054               | 0.231                          | 0.517                          | 0.719                  | 0.045                  | 0.460                 |                       |  |
| Cas127m | -9.584                | N        | 127                    | 1                          | 0.445                            | 0.305                      | 0.047                      | 0.020                      | 0.047                        | 0.020                              | 0.000 | 0.000               | 0.000                          | 0.047                          | 0.216                  | 0.187                  | 0.658                 |                       |  |
| Ch342m  | -9.129                | N        | 342                    | 3                          | 0.567                            | 0.113                      | 0.227                      | 0.089                      | 0.227                        | 0.089                              | 0.000 | 0.011               | 0.106                          | 0.238                          | 0.488                  | 0.227                  | 0.690                 |                       |  |
| *Ch445m | -8.773                | N        | 445                    | 3                          | 0.150                            | 0.092                      | 0.023                      | 0.010                      | 0.414                        | 0.151                              | 0.253 | 0.219               | 0.468                          | 0.633                          | 0.796                  | 0.052                  | 0.477                 |                       |  |
| *C41m   | -11.986               | C        | 41                     | 1                          | 0.033                            | 0.033                      | 0.000                      | 0.000                      | 0.000                        | 0.000                              | 0.000 | 0.346               | 0.589                          | 0.346                          | 0.589                  | 0.000                  | 0.000                 |                       |  |
| C41m    | -11.986               | C        | 41                     | 1                          | 0.032                            | 0.016                      | 0.016                      | 0.007                      | 0.000                        | 0.000                              | 0.000 | 0.024               | 0.155                          | 0.024                          | 0.155                  | 0.008                  | 0.300                 |                       |  |
| C67m    | -11.982               | C        | 67                     | 1                          | 0.276                            | 0.178                      | 0.065                      | 0.027                      | 0.032                        | 0.014                              | 0.032 | 0.032               | 0.180                          | 0.065                          | 0.255                  | 0.000                  | 0.000                 |                       |  |
| C68.5m  | -12.040               | C        | 68.5                   | 1                          | 0.071                            | 0.040                      | 0.032                      | 0.014                      | 0.008                        | 0.003                              | 0.008 | 0.026               | 0.160                          | 0.034                          | 0.183                  | 0.083                  | 0.537                 |                       |  |
| *C70m   | -12.039               | C        | 70                     | 1                          | 0.080                            | 0.011                      | 0.046                      | 0.019                      | 0.000                        | 0.000                              | 0.000 | 0.000               | 0.000                          | 0.000                          | 0.000                  | 0.000                  | 0.000                 |                       |  |
| C70m    | -12.039               | C        | 70                     | 1                          | 0.629                            | 0.570                      | 0.026                      | 0.011                      | 0.000                        | 0.000                              | 0.000 | 0.033               | 0.181                          | 0.033                          | 0.161                  | 0.118                  | 0.586                 |                       |  |
| C94m    | -11.984               | C        | 94                     | 1                          | 0.210                            | 0.155                      | 0.018                      | 0.008                      | 0.000                        | 0.000                              | 0.000 | 0.041               | 0.203                          | 0.041                          | 0.203                  | 0.073                  | 0.520                 |                       |  |
| A99.3m  | -11.630               | C        | 99.3                   | 1                          | 0.229                            | 0.229                      | 0.000                      | 0.000                      | 0.057                        | 0.024                              | 0.000 | 0.143               | 0.378                          | 0.200                          | 0.447                  | 0.172                  | 0.644                 |                       |  |
| C191m   | -12.082               | C        | 191                    | 2                          | 0.711                            | 0.595                      | 0.116                      | 0.048                      | 0.145                        | 0.059                              | 0.000 | 0.036               | 0.190                          | 0.181                          | 0.426                  | 0.058                  | 0.491                 |                       |  |
| S240m   | -10.823               | C        | 240                    | 2                          | 0.529                            | 0.362                      | 0.000                      | 0.000                      | 0.223                        | 0.087                              | 0.028 | 0.014               | 0.118                          | 0.237                          | 0.486                  | 0.251                  | 0.707                 |                       |  |
| *S278m  | -10.865               | C        | 278                    | 2                          | 0.331                            | 0.331                      | 0.000                      | 0.000                      | 0.110                        | 0.045                              | 0.055 | 0.000               | 0.000                          | 0.110                          | 0.332                  | 0.055                  | 0.484                 |                       |  |
| *C322m  | -11.978               | C        | 322                    | 3                          | 0.615                            | 0.423                      | 0.019                      | 0.008                      | 0.123                        | 0.050                              | 0.031 | 0.096               | 0.310                          | 0.219                          | 0.468                  | 0.215                  | 0.681                 |                       |  |
| PI131m  | -13.568               | S        | 131                    | 1                          | 0.000                            | 0.000                      | 0.000                      | 0.000                      | 0.080                        | 0.033                              | 0.000 | 0.080               | 0.300                          | 0.170                          | 0.412                  | 0.040                  | 0.447                 |                       |  |
| PI151m  | -13.512               | S        | 151                    | 2                          | 0.000                            | 0.000                      | 0.000                      | 0.000                      | 0.067                        | 0.028                              | 0.000 | 0.152               | 0.389                          | 0.219                          | 0.468                  | 0.067                  | 0.509                 |                       |  |
| PI257m  | -13.679               | S        | 257                    | 2                          | 1.037                            | 0.968                      | 0.035                      | 0.015                      | 0.354                        | 0.132                              | 0.320 | 0.692               | 0.832                          | 1.046                          | 1.023                  | 2.006                  | 1.190                 |                       |  |
| PI387m  | -13.665               | S        | 387                    | 3                          | 0.148                            | 0.049                      | 0.000                      | 0.000                      | 0.099                        | 0.041                              | 0.099 | 0.000               | 0.000                          | 0.099                          | 0.314                  | 0.000                  | 0.000                 |                       |  |
| PI438m  | -13.679               | S        | 438                    | 3                          | 0.113                            | 0.088                      | 0.000                      | 0.000                      | 0.100                        | 0.041                              | 0.000 | 0.147               | 0.383                          | 0.247                          | 0.497                  | 0.194                  | 0.664                 |                       |  |

Anexo 6. Índices de alteración física de los diferentes restos de peces en total de sedimento examinado por cada testigo.

| Denominación del testigo | ÍNDICES DE ALTERACIÓN FÍSICA (IAF) |           |         |         |       |                              |           |                     |                       |        |         |                    |  |
|--------------------------|------------------------------------|-----------|---------|---------|-------|------------------------------|-----------|---------------------|-----------------------|--------|---------|--------------------|--|
|                          | IAF en escamas enteras             |           |         |         |       | IAF en fragmentos de escamas |           | IAF en restos óseos |                       |        |         |                    |  |
|                          | Total                              | Anchoveta | Merluza | Sardina | Otras | Total                        | Anchoveta | Vértabras total     | Vértabras (Anchoveta) | Huesos | Espinas | Restos óseos total |  |
| Paíta, 220m              | 2,15                               | 1,56      | 2,50    | ---     | 2,51  | 2,68                         | 2,24      | 3,29                | ---                   | 3,74   | 3,06    | 3,44               |  |
| P. Falsa, 220m           | 2,87                               | 2,85      | 3,61    | 3,06    | 2,64  | 3,19                         | 3,18      | 3,28                | 2,96                  | 3,73   | 3,41    | 3,52               |  |
| Paíta, 234m              | 1,71                               | 1,00      | 1,78    | ---     | 2,17  | 1,25                         | 1,00      | 3,20                | ---                   | 3,29   | 2,67    | 3,22               |  |
| Casma, 127m              | 2,58                               | 2,67      | 2,41    | 3,33    | 2,43  | 2,95                         | 2,94      | 3,09                | 2,85                  | 3,18   | 3,09    | 3,13               |  |
| Chimbote, 342m           | 2,68                               | 2,48      | 2,68    | 3,68    | 2,80  | 3,00                         | 2,92      | 2,99                | 2,86                  | 3,34   | 3,22    | 3,15               |  |
| Chimbote, 445m           | 2,25                               | 2,11      | 2,24    | 2,49    | 2,31  | 2,53                         | 2,45      | 2,44                | 1,93                  | 3,14   | 2,68    | 2,83               |  |
| Chimbote, 445m           | 2,15                               | 2,19      | 2,18    | 2,22    | 2,64  | 2,55                         | 2,40      | 2,45                | 2,19                  | 3,12   | 2,66    | 2,72               |  |
| Callao, 41m              | 2,63                               | 3,29      | 3,50    | ---     | 2,00  | 3,39                         | 3,15      | 3,00                | ---                   | 3,87   | 2,00    | 3,83               |  |
| Callao, 41m              | 2,48                               | 2,66      | 2,00    | ---     | 2,45  | 2,63                         | 2,60      | 4,00                | ---                   | 3,68   | 3,60    | 3,68               |  |
| Callao, 67m              | 2,24                               | 2,24      | 2,00    | 2,27    | 2,70  | 2,49                         | 2,47      | 2,62                | 2,50                  | 2,65   | 2,47    | 2,56               |  |
| Callao, 68.5m            | 1,64                               | 1,59      | 1,57    | 1,90    | 1,71  | 1,87                         | 1,86      | 2,64                | 2,67                  | 2,34   | 1,88    | 2,34               |  |
| Callao, 70m              | 1,99                               | 2,03      | 3,50    | 1,50    | 1,45  | 2,45                         | 2,45      | 2,19                | 2,17                  | 2,59   | 2,20    | 2,34               |  |
| Callao, 70m              | 2,06                               | 1,97      | 2,50    | 1,80    | 2,31  | 2,06                         | 2,06      | 2,50                | 2,50                  | 3,01   | 2,44    | 2,88               |  |

Anexo 6. Continuación.

| Denominación del testigo | ÍNDICES DE ALTERACIÓN FÍSICA (IAF) |             |         |         |       |                              |             |                     |                         |        |         |                    |  |
|--------------------------|------------------------------------|-------------|---------|---------|-------|------------------------------|-------------|---------------------|-------------------------|--------|---------|--------------------|--|
|                          | IAF de escamas enteras             |             |         |         |       | IAF de fragmentos de escamas |             | IAF de restos óseos |                         |        |         |                    |  |
|                          | Total                              | Anchoveleta | Merluza | Sardina | Otras | Total                        | Anchoveleta | Vértabras total     | Vértabras (Anchoveleta) | Huesos | Espinas | Restos óseos total |  |
| Callao, 94m              | 2,30                               | 2,35        | 2,50    | 2,14    | 2,00  | 2,57                         | 2,56        | 2,31                | 2,17                    | 2,78   | 2,56    | 2,52               |  |
| Ancón, 99,3              | 2,89                               | 3,02        | 2,67    | ---     | 2,00  | 3,25                         | 3,25        | 2,57                | 2,00                    | 2,80   | 2,50    | 2,69               |  |
| Callao, 191m             | 2,22                               | 2,25        | 2,00    | ---     | 3,25  | 2,42                         | 2,42        | 2,22                | 2,00                    | 2,18   | 2,16    | 2,21               |  |
| Supé, 240m               | 2,16                               | 2,38        | 1,86    | 1,50    | 4,00  | 2,66                         | 2,65        | 1,87                | 1,40                    | 2,82   | 2,54    | 2,23               |  |
| Supé, 278m               | 2,15                               | 2,45        | 1,60    | 2,00    | ---   | 2,69                         | 2,69        | 2,43                | 2,25                    | 2,53   | 2,43    | 2,47               |  |
| Callao, 322m             | 2,20                               | 2,16        | 1,98    | 2,80    | 3,01  | 2,48                         | 2,47        | 2,38                | 1,91                    | 2,55   | 2,18    | 2,46               |  |
| Pisco, 131m              | 2,68                               | 2,59        | 3,00    | 3,33    | 3,00  | 2,69                         | 2,65        | 2,88                | 3,00                    | 2,94   | 3,14    | 2,94               |  |
| Pisco, 151m              | 2,46                               | 2,31        | 3,00    | 2,67    | 3,00  | 2,56                         | 2,55        | 2,88                | 2,63                    | 3,23   | 2,77    | 3,00               |  |
| Pisco, 201m              | 2,25                               | 2,32        | 2,00    | 2,00    | 2,00  | 2,36                         | 2,37        | 2,27                | 2,13                    | 3,19   | 2,70    | 2,75               |  |
| Pisco, 257m              | 2,32                               | 2,28        | 3,00    | 3,33    | 4,00  | 2,25                         | 2,22        | 2,13                | 2,04                    | 2,49   | 1,43    | 2,22               |  |
| Pisco, 387m              | 2,57                               | 2,28        | ---     | 3,00    | 4,00  | 2,32                         | 2,23        | 2,52                | 2,36                    | 2,67   | 2,87    | 2,59               |  |
| Pisco, 416m              | 2,01                               | 2,00        | 3,00    | ---     | ---   | 2,04                         | 2,00        | 3,05                | 3,00                    | 2,73   | 3,00    | 2,86               |  |
| Pisco, 438m              | 2,36                               | 2,42        | 2,20    | 2,00    | 2,33  | 2,43                         | 2,43        | 2,47                | 2,33                    | 3,05   | 2,71    | 2,74               |  |

Anexo 7. Índices de alteración física de los restos de peces en superficie (entre 0-2 cm) de los testigos de sedimentos frente a Perú.  
<sup>1</sup>Datos originales, <sup>2</sup>datos transformados. \*Colectado con multisacatestigo, el resto colectado con sacatestigo de gravedad. La latitud se muestra en grupos categóricos: Norte (N), centro (C), y sur (S). La profundidad se muestra en grupos categóricos 1, 2 y 3 (de menor a mayor profundidad).

|                | Latitud | Latitud categórica | Profundidad (m) | Prof. categórica | Índice de alteración física (IAF) |                    |                                 |            |                        |         |                     |          |                      |              |       |
|----------------|---------|--------------------|-----------------|------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------|------------------------|---------|---------------------|----------|----------------------|--------------|-------|
|                |         |                    |                 |                  | 'Escamas total                    | 'Escamas anchoveta | 'Escamas fragmentadas anchoveta | 'Vertebras | <sup>2</sup> Vertebras | 'Huesos | <sup>2</sup> Huesos | 'Espinas | <sup>2</sup> Espinas | 'Oseos total |       |
| Paíta,220m     | -5.355  | N                  | 220             | 2                | 2.044                             | 1.536              | 2.133                           | 2.071      | 3.284                  | 0.516   | 3.410               | 1.359    | 2.500                | 1.257        | 3.319 |
| P. Falsa,220m  | -5.755  | N                  | 220             | 2                | 3.072                             | 3.413              | 3.650                           | 3.650      | 3.627                  | 0.560   | 3.866               | 1.402    | 3.917                | 1.407        | 3.777 |
| Paíta,234m     | -5.186  | N                  | 234             | 2                | 1.600                             | --                 | 1.200                           | 1.000      | 3.192                  | 0.504   | 2.958               | 1.311    | 2.600                | 1.270        | 3.162 |
| Casma,127m     | -9.584  | N                  | 127             | 1                | 2.654                             | 2.774              | 3.190                           | 3.190      | 2.000                  | 0.301   | --                  | --       | 3.000                | 1.316        | 2.333 |
| Chimbote,342m  | -9.129  | N                  | 342             | 3                | 2.457                             | 2.845              | 3.400                           | 3.379      | 2.600                  | 0.415   | 2.000               | 1.189    | 2.800                | 1.294        | 2.596 |
| *Chimbote,445m | -8.773  | N                  | 445             | 3                | 2.506                             | 2.617              | 2.556                           | 2.700      | 2.611                  | 0.417   | 3.118               | 1.329    | 2.000                | 1.189        | 2.778 |
| *Callao,41m    | -11.986 | C                  | 41              | 1                | 3.344                             | 3.344              | 3.375                           | 3.375      | --                     | --      | 3.982               | 1.413    | --                   | --           | 3.982 |
| Callao,41m     | -11.986 | C                  | 41              | 1                | 1.500                             | 2.000              | 3.000                           | 3.000      | --                     | --      | 4.000               | 1.414    | 2.000                | 1.189        | 3.920 |
| Callao,67m     | -11.982 | C                  | 67              | 1                | 2.317                             | 2.167              | 2.167                           | 2.167      | 2.000                  | 0.301   | 2.000               | 1.189    | --                   | --           | 2.000 |
| Callao,68.5m   | -12.040 | C                  | 68.5            | 1                | 1.848                             | 1.747              | 2.484                           | 2.481      | 3.000                  | 0.477   | 3.615               | 1.379    | 2.429                | 1.248        | 3.225 |
| *Callao,70m    | -12.039 | C                  | 70              | 1                | 1.739                             | 2.348              | 2.696                           | 2.696      | --                     | --      | --                  | --       | --                   | --           | --    |
| Callao,70m     | -12.039 | C                  | 70              | 1                | 2.196                             | 2.193              | 2.978                           | 2.989      | --                     | --      | 2.600               | 1.270    | 2.056                | 1.197        | 2.431 |

Anexo 7. Continuación.

|              | Latitud | Latitud categórica | Profundidad (m) | Prof. categórica | Índice de alteración física (IAF) |                    |                             |                                 |            |                        |                     |                     |                      |                      |              |
|--------------|---------|--------------------|-----------------|------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------|
|              |         |                    |                 |                  | 'Escamas total                    | 'Escamas anchoveta | 'Escamas fragmentadas total | 'Escamas fragmentadas anchoveta | 'Vértabras | <sup>2</sup> Vértabras | <sup>1</sup> Huesos | <sup>2</sup> Huesos | <sup>1</sup> Espinas | <sup>2</sup> Espinas | 'Oseos total |
| Callao,94m   | -11.984 | C                  | 94              | 1                | 2.231                             | 2.403              | 3.000                       | 3.031                           | ---        | 4.000                  | 1.414               | 2.000               | 1.189                | 3.636                |              |
| Ancón,99.3m  | -11.630 | C                  | 99.3            | 1                | 2.937                             | 2.937              | 3.433                       | 3.433                           | 2.800      | 0.447                  | 2.800               | 1.294               | 2.833                | 1.297                | 2.726        |
| Callao,191m  | -12.082 | C                  | 191             | 2                | 2.204                             | 2.195              | 2.294                       | 2.294                           | 2.400      | 0.380                  | 1.200               | 1.047               | 2.000                | 1.189                | 2.154        |
| Huacho,240m  | -10.823 | C                  | 240             | 2                | 2.130                             | 2.328              | 2.595                       | 2.595                           | 2.000      | 0.301                  | 3.000               | 1.316               | 2.111                | 1.205                | 2.065        |
| *Huacho,278m | -10.865 | C                  | 278             | 2                | 2.703                             | 2.703              | 2.625                       | 2.625                           | 2.500      | 0.398                  | ---                 | ---                 | 3.000                | 1.316                | 2.529        |
| *Callao,322m | -11.978 | C                  | 322             | 3                | 2.323                             | 2.267              | 2.556                       | 2.557                           | 2.375      | 0.376                  | 2.840               | 1.298               | 2.357                | 1.239                | 2.555        |
| Pisco,131m   | -13.568 | S                  | 131             | 1                | ---                               | ---                | 2.750                       | 2.750                           | 2.000      | 0.301                  | 4.000               | 1.414               | 3.000                | 1.316                | 3.057        |
| Pisco,151m   | -13.512 | S                  | 151             | 2                | ---                               | ---                | ---                         | ---                             | 3.500      | 0.544                  | 3.444               | 1.362               | 3.000                | 1.316                | 3.444        |
| Pisco,257m   | -13.679 | S                  | 257             | 2                | 2.392                             | 2.320              | 2.340                       | 2.234                           | 1.927      | 0.285                  | 2.050               | 1.197               | 1.138                | 1.033                | 1.840        |
| Pisco,387m   | -13.665 | S                  | 387             | 3                | 2.917                             | 2.625              | 2.667                       | 2.250                           | 2.500      | 0.398                  | ---                 | ---                 | ---                  | ---                  | 2.500        |
| Pisco,438m   | -13.679 | S                  | 438             | 3                | 2.633                             | 2.760              | 2.800                       | 2.800                           | 3.000      | 0.477                  | 3.426               | 1.360               | 2.871                | 1.302                | 3.219        |

Anexo 8. Cocientes entre los diferentes restos de peces en cada testigo.

| Testigo | # Escamas /<br># vértebras |           | # Escamas / #<br>otros óseos   |   | # Escamas enteras<br>/ # escamas<br>fragmentadas |           | Espinas / vértebras +<br>huesos |
|---------|----------------------------|-----------|--------------------------------|---|--|-----------|---------------------------------|
|         | Todas especies             | anchoveta | Escamas /<br>vértebras+ huesos | Escamas /<br>vértebras + huesos<br>+espinas | Todas especies                                   | Anchoveta |                                 |
| Pa220m  | 0,018                      | —         | 0,012                          | 0,012                                       | 0,181  | 0,119     | 0,024                           |
| PF220m  | 0,420                      | 0,583     | 0,193                          | 0,133                                       | 0,293  | 0,121     | 0,449                           |
| Pa234m  | 0,019                      | —         | 0,015                          | 0,014                                       | 0,313  | 0,000     | 0,022                           |
| Cas127m | 1,845                      | 4,538     | 0,942                          | 0,540                                       | 0,401  | 0,288     | 0,745                           |
| Ch342m  | 0,388                      | 0,490     | 0,212                          | 0,172                                       | 0,576  | 0,133     | 0,232                           |
| Ch445m  | 0,996                      | 1,163     | 0,449                          | 0,432                                       | 0,381  | 0,243     | 0,040                           |
| Ch445m  | 0,500                      | 0,547     | 0,299                          | 0,286                                       | 0,507  | 0,345     | 0,046                           |
| Ca41m   | 5,000                      | —         | 0,098                          | 0,089                                       | 0,278  | 0,154     | 0,098                           |
| Ca41m   | 19,000                     | —         | 0,334                          | 0,284                                       | 0,339  | 0,145     | 0,176                           |
| C67m    | 21,500                     | 20,625    | 5,811                          | 2,129                                       | 0,736  | 0,577     | 1,730                           |
| C68.5m  | 5,698                      | 9,000     | 1,448                          | 0,612                                       | 0,101  | 0,074     | 1,367                           |
| C70m    | 8,433                      | 7,375     | 3,971                          | 0,850                                       | 0,769  | 0,668     | 3,670                           |
| C70m    | 8,417                      | 6,625     | 1,796                          | 1,360                                       | 0,353  | 0,189     | 0,320                           |
| C94m    | 3,577                      | 5,583     | 1,995                          | 0,784                                       | 0,415  | 0,303     | 1,544                           |
| A99,3   | 2,071                      | 6,000     | 0,795                          | 0,400                                       | 0,279  | 0,235     | 0,986                           |
| C191m   | 3,028                      | 18,500    | 2,319                          | 1,282                                       | 0,852  | 0,578     | 0,809                           |
| S240m   | 1,887                      | 6,900     | 1,219                          | 0,791                                       | 0,532  | 0,317     | 0,542                           |
| S278m   | 1,200                      | 5,250     | 0,731                          | 0,569                                       | 0,462  | 0,269     | 0,284                           |
| C322m   | 0,737                      | 2,409     | 0,321                          | 0,227                                       | 0,174  | 0,108     | 0,413                           |
| Pi131m  | 1,059                      | 0,821     | 0,228                          | 0,155                                       | 0,250  | 0,177     | 0,469                           |
| Pi151m  | 0,241                      | 0,311     | 0,131                          | 0,060                                       | 0,148  | 0,110     | 1,196                           |
| Pi201m  | 2,767                      | 3,563     | 1,287                          | 0,751                                       | 0,377  | 0,261     | 0,713                           |
| Pi257m  | 2,154                      | 4,080     | 0,916                          | 0,414                                       | 0,329  | 0,305     | 1,211                           |
| Pi387m  | 0,413                      | 0,591     | 0,247                          | 0,178                                       | 0,339  | 0,250     | 0,390                           |
| Pi416m  | 0,100                      | 0,250     | 0,041                          | 0,036                                       | 0,087  | 0,091     | 0,145                           |
| Pi438m  | 1,368                      | 5,667     | 0,735                          | 0,417                                       | 0,243  | 0,159     | 0,763                           |



## Acta de Sustentación

En Bellavista a las 11.00 am. Horas del día 12 de Agosto del 2015, se reunió el jurado evaluador de la tesis de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos conformado por los siguientes miembros:

Mg. Walter Huiter Ruesta Presidente  
 Mg. Etelvina Carme León Chambiaca Secretaria  
 Ms. C. Arnulfo Antonio Maniles Fernandez Vocal  
 Ing. Roberto Orlando Quisquer Fernandez Asesor

previa lectura de la Resolución del Decanato N° 95-20 y el documento presentado por los miembros del jurado evaluador de fecha 04 de Agosto del 2015, y en concordancia con el artículo 110 del Reglamento de Grados y Títulos de Pre-Grado aprobado por Resolución N° 082-2011-CH, seguidamente se dio inicio al acto de sustentación invitando al Sr. Bachiller Campasano Baltazar Felix Arturo, para la sustentación de su tesis titulada "Estado de Preservación de Restos de Escomas y Esqueletos óseos de Peces en los Sedimentos Marinos Frente a Perú".

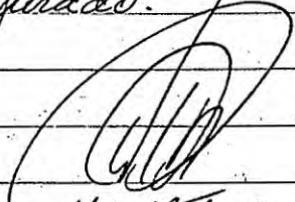
Terminada la sustentación, el Sr. Bachiller fue sometido a las respectivas preguntas por parte del jurado. Concluida esta etapa, el jurado evaluador procedió a deliberar en privado y calificar la sustentación. El jurado evaluador decidió por unanimidad el calificativo de muy bueno, seguidamente se leyó en público el Acta de Sustentación, y se procedió a la juramentación del Sr. Bachiller.

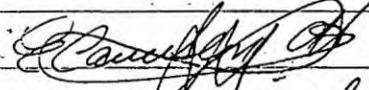
Siendo las 12:15 horas del día antes referido y habiendo cumplido con lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos de Pre-Grado, se dio por

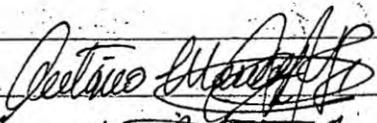
Acta  
 el.

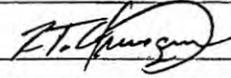


Concluida la sesion  
Para dar fe de lo actuado firman los miembros  
del jurado.

  
Mg. Walter Rivas Rosta  
Presidente.

  
Mg. Estelina Concha Leon  
Secretaria

  
MSc Arnulfo Antonio Mendiz Fernandez  
Vocal

  
Ing Roberto Osando Quevedo  
Asesor

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS**

**MEMORÁNDUM N° 001 – WLM-2015**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos  
15 MAYO 2015  
RECIBIDO  
0391

**De:** Jurado Evaluador del Proyecto de Tesis (Resol. N° 084-2014-DFIPA).  
**“ESTADO DE PRESERVACIÓN DE RESTOS DE ESCAMAS Y ESQUELETOS  
ÓSEOS DE PECES EN LOS SEDIMENTOS MARINOS FRENTE A PERÚ”** Del señor  
**Bachiller CAMPUSANO BALTAZAR FELIX ARTURO**

**Para:** Dr. David Vivanco Pezantes, Decano (e) de la FIPA.

**Asunto:** Dictamen Colegiado

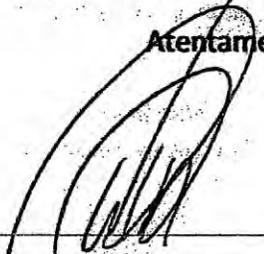
**Fecha:** 14 de mayo del 2015

---

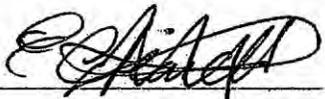
S.D.

Es grato dirigirnos a usted, a fin de saludarlo; y, por intermedio del presente, hacer de su conocimiento, que el Jurado Evaluador del Proyecto de Tesis antes referido, ha comprobado que las observaciones alcanzadas con el Memorándum N° 001-WLM-2014; han sido levantadas por parte del señor bachiller, en tal sentido sugerimos que continúe con el proceso de investigación.

Atentamente,

  
Mg. WALTER ALVITES R.

Presidente

  
Mg. ETELVINA C. LEÓN CH.

Secretaria

  
Ms. C. ARNOLFO A. MARILUZ F.

Vocal

C. c. Interesados.

Archivo.