

TESIS DEFENDIDA POR  
Franco Renato Salvattecí Merino  
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

---

Dr. Timothy Baumgartner McBride  
*Director del Comité*

---

M. en C. Vicente Ferreira Bartrina  
*Miembro del Comité*

---

Dra. Tereza Cavazos Pérez  
*Miembro del Comité*

---

Dr. David Field  
*Miembro del Comité*

---

Dr. Dimitri Gutiérrez Aguilar  
*Miembro del Comité*

---

Dr. Luis E. Calderón Aguilera  
*Coordinador del programa de posgrado en  
Ecología Marina*

---

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales  
*Director de Estudios de Posgrado*

30 de junio del 2008

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DE ENSENADA**



---

**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS  
EN ECOLOGIA MARINA**

---

**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

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Franco Renato Salvattec Merino

**Ensenada, Baja California, México, junio del 2008.**

**RESUMEN** de la tesis de **Franco Renato Salvattecí Merino**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en Ecología Marina. Ensenada, Baja California. Junio, 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**

Resumen aprobado por:

---

Dr. Timothy Baumgartner McBride  
Director de Tesis

El objetivo global de este estudio es proporcionar las bases para reconstruir la historia de las poblaciones de los peces pelágicos menores utilizando el registro de la depositación de restos ictiológicos en los sedimentos marinos de la zona del mínimo de oxígeno (ZMO) frente a Perú. Se utilizaron dos testigos colectados frente a Pisco (latitud  $\sim 14^\circ$  S), uno a 300m de profundidad, cercana del núcleo de la ZMO, y el otro, menos profundo (200m) más cerca del borde superior del ZMO con el fin de estimar la variabilidad en la depositación de los restos ictiológicos. La comparación entre los dos testigos permite determinar si hay diferencias en la preservación de escamas, que se puede relacionar a su posición relativa a la variabilidad en la concentración de oxígeno dentro de la ZMO. El conteo de las escamas en los testigos demuestra la dominancia de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en comparación a las otras especies identificadas, tales como la sardina (*Sardinops sagax sagax*), jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) y caballa (*Scomber japonicus*). Solo considerando las series de abundancia de escamas en los testigos se podría inferir una menor densidad poblacional local (por baja productividad y/o desplazamiento en la distribución) de la anchoveta desde el comienzo del registro (de la base del testigo) hasta mediados del siglo 19 ( $\sim 1840$ ) y mayor densidad local (por alta productividad y/o movimiento de la población) en el periodo después del año  $\sim 1880$ . El periodo intermedio ( $\sim 1840-1880$ ) se caracteriza por la ausencia o números muy bajos de escamas de anchoveta y la presencia de especies asociadas con un hábitat más oceánico y cálido. Para determinar si los bajos números de escamas de anchoveta en el periodo antes de  $\sim 1840$  se debieron a una baja abundancia local de la población de anchoveta o por efectos en la preservación de escamas en los sedimentos, se examinaron el uso de 1) razones de número de escamas/restos óseos, 2) el grado de cobertura de hongos sobre los restos ictiológicos y 3) un índice de integridad de las escamas, como posibles indicadores del grado de preservación de las escamas. Este análisis indica que los bajos números de escamas en el periodo más antiguo se debe en gran parte por la degradación que es aún mas intensa en el testigo más somero y más expuesto a concentraciones ligeramente mayores de oxígeno en general y también sujeto a eventos ocasionales de oxigenación intensa por la variación en la profundidad del límite superior de la ZMO. Se realizó una estimación del número de escamas de anchoveta quitando el efecto de la degradación. Este análisis indica que el periodo antes de  $\sim 1840$  si representa menores densidades locales de anchoveta, pero no tan significativo como indican los conteos de las escamas. Se estima que el efecto de la degradación contribuye a una disminución entre 70 a 85% en los números de escamas registrados en los testigos en el periodo más antiguo.

**Palabras Clave:** *Engraulis ringens*, escamas, vértebras, ZMO, sedimentos laminados, Pisco, Perú

**ABSTRACT** of the thesis presented by **Franco Renato Salvattecí Merino** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in Marine Ecology. Ensenada, Baja California, México June 2008.

**Preservation and abundance of fish debris in the oxygen minimum zone off Pisco, Peru in the last 400 years**

The overall objective of this study is to provide the foundation to reconstruct the history of the populations of small pelagic fish species using the remains that are preserved in marine sediments in the oxygen minimum zone (OMZ) off Peru. This work is based on two box cores that were collected off Pisco (14 °S), one at 300 meters near the center of the OMZ, and the other at 200m near the upper limit of the OMZ, for the purpose of characterizing the variability in deposition of the fish remains. Comparison of the two cores provides the means to determine whether there are differences in the quality of preservation of fish scales that can be linked to the depth of the cores within the OMZ along the upper slope. Fish scale counts in both cores show a dominance of anchovy (*Engraulis ringens*) relative to the abundance of scales from sardine (*Sardinops sagax sagax*), jack mackerel (*Trachurus symmetricus murphyi*) and pacific mackerel (*Scomber japonicus*). The fish scale numbers in both cores suggest a relatively lower local anchovy population density (due to lower productivity and/or changes in spatial distribution) persisting from the beginning of the series at the bottom of the two cores to ~1840 (55cm in both cores) and a significantly higher local density of anchovy after ~1880 (~41cm in the two cores). The intermediate period (~1840-1880) is characterized by the absence or very low numbers of anchovy scales (and vertebrae) and the presence of species associated with more oceanic and warmer water habitat. To determine whether the lower numbers of anchovy scales in the period before ~1840 were due only to lower local abundance of anchovy or whether the effects of preservation of the fish scales in the sediments were also a significant factor, several indices were examined as possible indicators of fish scale preservation: 1) fish scale/vertebrate ratio, 2) the degree of coverage of fungi on the fish debris and 3) an index of fish scale integrity (estimate of degree of scale breakdown). These indices indicate that the lower numbers of fish scales in the earliest period could be largely explained by degradation and is more intense in the box core from 200m that is subject to somewhat higher oxygen concentrations within the OMZ as well as to occasional events of more intense oxygenation due to variation of the upper limit of the OMZ. A preliminary estimate was made to correct for the effects of degradation on the series of fish scale counts. This analysis indicates that the period prior to ~1840 does represent lower local anchovy biomass, but the difference is not as significant as indicated by the raw fish scales numbers. The effect of degradation during the earliest period is estimated to result in a decrease of up to ~70-85% in the number of fish scales deposited in both of the box cores analyzed.

**Keywords:** *Engraulis ringens*, fish scales, vertebrae, OMZ, laminated sediments, Pisco, Perú

## Dedicatorias

Dedico este trabajo a las personas más importantes en mi vida:

Mis padres, mis hermanos  
*und mis sole mio (mis liebe hertzli)*

y

al “Chato Cano” por haber sido un  
ejemplo de dedicación y esfuerzo

## Agradecimientos.

En primer lugar quiero agradecer al CICESE y a los miembros de mi comité por el apoyo y la orientación durante este trabajo. Quiero agradecer también al Dr. David Covarrubias, Director de Estudios de Posgrado por otorgarme una beca terminal para culminar con mis estudios. Esta tesis corresponde a los estudios realizados con una beca otorgada por la Secretaría de Relaciones Exteriores del Gobierno de México.

A los miembros del laboratorio de Geología del Instituto del Mar del Perú (IMARPE): a Federico Velazco y Juana Solís; a los miembros del laboratorio de Bentos del Imarpe: Edgardo Enríquez, Luis Quipuzcoa y Robert Marquina; y a la tripulación del Olaya por su apoyo durante la colecta de los testigos y su procesamiento. A Arturo Campusano por su colaboración en la identificación de las vértebras y por coleccionar y submuestrear un testigo frente a Callao.

También quisiera agradecer a Juan Carlos Herguera, Sharon Herzka y Ruth Gingold por sus importantes contribuciones y sugerencias durante el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Chandralata Raghukumar del Instituto Nacional de Oceanografía de la India por confirmar que las fisuras presentes en los restos ictiológicos correspondían a algún tipo de hongos. A la Dra. Meritxell Riquelme del departamento de Microbiología del CICESE por su interés y ayuda en tratar de identificar los hongos presentes en los restos ictiológicos. Al Dr. Miguel Avalos y a la M. en C. Martha Eloisa Aparicio del laboratorio de Difracción de Rayos X del Centro de Ciencias de la Materia Condensada de la Universidad Autónoma de México por su ayuda en la identificación de los minerales presentes en las muestras.

A los siguientes proyectos relacionados con el presente trabajo de tesis:

- \* "Investigaciones paleo-oceanográficas en el margen continental" (PALEOMAP), IMARPE
- \* "Paleo-reconstruction of population dynamics of anchovy and sardine off the Peruvian/northern Chilean coast related to climate shifts during the last 200 years" Small Grant Program II, Interamerican Institute for Global Change Research IAI / IMARPE, SGP 211-222
- \* "Nuclear and Isotopic Studies of El Niño Phenomenon in Peru", proyecto CRP (AIEA), IMARPE & Instituto Peruano de Energía Nuclear IPEN
- \* "Registros Paleoceanográficos de Alta resolución en los sedimentos de la zona de mínimo de oxígeno del Perú Central (PALEOPECES)", (IMARPE/IRD/CICESE y otros)

En especial quisiera agradecer a Vicente, Dolores y familia porque me dieron un nuevo hogar estando tan lejos del mío.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>Resumen español</b> .....	i
<b>Resumen inglés</b> .....	ii
<b>Dedicatorias</b> .....	iii
<b>Agradecimientos</b> .....	iv
<b>Contenido</b> .....	v
<b>Lista de Figuras</b> .....	viii
<b>Lista de Tablas</b> .....	xi
<b>I. Introducción</b> .....	1
I.1 Variabilidad poblacional de la anchoveta peruana ( <i>Engraulis ringens</i> ) y efectos de la pesquería.....	1
I.2 Planteamiento del problema.....	3
<b>II. Antecedentes</b> .....	5
II.1 El ecosistema de afloramiento y características de la anchoveta peruana.....	5
II.2 La ZMO y los sedimentos laminados frente a Pisco y Callao.....	6
II.3 Condiciones de preservación/ degradación.....	8
II.4 Antecedentes de estudios en Perú.....	9
II.5 Efecto de la pesquería en las escamas y restos óseos depositados en los sedimentos.....	16
<b>III. Diseño del estudio</b> .....	19
III.1 Objetivos y planteamiento de la hipótesis.....	19
III.2 Selección de núcleos y preparación de submuestras.....	20

## CONTENIDO (continuación)

	<b>Página</b>
III.3 Análisis.....	23
III.3.1 Definición de las estructuras y estratigrafía de los testigos.....	23
III.3.2 Estimación de las abundancias de escamas y otros restos óseos.....	23
III.3.3 Determinación de la degradación/preservación.....	25
III.3.4 Determinación del efecto de la pesquería en las escamas y restos óseos...	27
<b>IV. Resultados.....</b>	<b>28</b>
IV.1 Descripción y muestreo de los testigos.....	28
IV.2 Correlación estratigráfica entre los testigos B04056, B0506-13 y B0506-14	32
IV.3 Abundancia de restos ictiológicos.....	32
IV.3.1 Abundancias de escamas y restos óseos.....	32
IV.3.2 Abundancia de escamas.....	35
IV.3.3 Abundancia de vértebras.....	39
IV.4 Preservación/Degradación de escamas y restos óseos.....	42
IV.4.1 Índice de integridad de las escamas de anchoveta.....	42
IV.4.2 Grado de cobertura por hongos.....	46
IV.4.3 Razón: escamas/restos óseos.....	48
IV.4.4 Otras características en las escamas que sugieren una posible degradación: índice compuesto.....	49
IV.5 Cambios en la abundancia y degradación de escamas utilizando los paquetes estratigráficos.....	50
IV.5.1. Cambios después y antes del cambio sedimentológico.....	50
IV.5.2 Comparación entre testigos.....	51



## CONTENIDO (continuación)

	<b>Página</b>
IV.6 Cambios en la abundancia y degradación de escamas agrupando cada 10 muestras.....	53
IV.6.1 Cambios después y antes del cambio sedimentológico.....	53
IV.6.2 Comparación entre testigos.....	58
IV.7 Efecto de la pesquería en los flujos de restos ictiológicos.....	64
IV.7.1 Ancho de las escamas de anchoveta.....	64
IV.7.2 Cambios en las abundancias de los restos óseos.....	67
IV.7.3 Cambios en el tipo de escama de anchoveta.....	67
<b>V. Discusión.....</b>	<b>69</b>
V.1 Estratigrafía.....	69
V.2 Evidencias de degradación en las escamas.....	71
V.2.1 Índices de degradación.....	71
V.2.2 Evidencias de degradación en los testigos B0506-13 y B0506-14.....	73
V.3 Efecto de la pesquería.....	76
V.4 Cambios en las poblaciones de peces.....	77
V.4.1 Cambios temporales.....	77
V.4.2 Cambios espaciales.....	79
<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>82</b>
<b>VII. Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>83</b>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>		<i>Página</i>
1	Marco conceptual del presente trabajo. Un testigo colectado cerca del borde la zona de mínimo de oxígeno estaría más expuesto a eventos de oxigenación lo que podría favorecer algún mecanismo de degradación de escamas	4
2	Distribución de los stocks de anchoveta a lo largo de la costa oeste de América del sur.	6
3	Localización de los testigos de caja colectados en Callao (B0405-13) y Pisco (B0405-6).	10
4	Radiografía, abundancias de escamas, restos óseos e índices de degradación en el testigo B0405-13 colectado frente a Callao a 184 metros de profundidad.	12
5	Radiografía, abundancias de escamas, restos óseos e índices de degradación en el testigo B0405-6 colectado frente a Pisco a 299 metros de profundidad	13
6	Escamas de sardina ( <i>Sardinops sagax sagax</i> ) mostrando fisuras sobre su superficie.	14
7	Regiones del cuerpo del pez en donde se ubican los principales tipos de escamas en la anchoveta ( <i>Engraulis ringens</i> ) y sardina ( <i>Sardinops sagax sagax</i> ).	17
8	Histograma de los anchos de todas las escamas de anchoveta en los testigos B0405-06 (Pisco) y B0405-13 (Callao)	18
9	Ubicación de los testigos de caja B0405-6 colectado en el 2004 y de los testigos B0506-13 y B0506-14 colectados en el 2005 frente a Pisco, Perú	21
10	Procedimiento de submuestreo de un testigo de caja	22
11	Escamas de anchoveta enteras y mitad de una escama	24
12	Escamas de anchoveta con presencia de hongos sobre la superficie de la escama	25

## LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>		<i>Página</i>
13	Características sedimentológicas de los testigos de caja B0506-13 y B0506-14	30
14	Correlación estratigráfica entre los testigos de caja B0506-13, B0506-14 y B0405-6	31
15	Abundancias generales de restos ictiológicos en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14 normalizados por peso seco	34
16	Abundancias de escamas identificadas por especie normalizadas por peso seco en el testigo B0506-13	37
17	Abundancias de escamas identificadas por especie normalizadas por peso seco en el testigo B0506-14	38
18	Vértebra de anchoveta y vértebras no identificadas	40
19	Abundancia de vértebras normalizadas por peso seco en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14	41
20	Abundancia de escamas de anchoveta normalizadas por peso seco en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14	43
21	Abundancia de escamas de anchoveta y posibles índices de degradación en el testigo B0506-13	44
22	Abundancia de escamas de anchoveta y posibles índices de degradación en el testigo B0506-14	45
23	Restos ictiológicos con presencia de hongos en el testigo de caja B0506-14 colectado a 301 metros de profundidad	46
24	Índices de degradación compuesto en los testigos B0506-13 (a) y B0506-14 (b) donde 1 significa ausencia de señales de degradación y 4 mayor presencia de señales de degradación.	50
25	Agrupación de las muestras en los testigos B0506-13 y B0506-14 de acuerdo a los paquetes estratigráficos	52

## LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>		<i>Página</i>
26	Datos agrupados cada 10 muestras en los testigos B0506-13 y B0506-14	55
27	Testigo B0506-13: Comparación entre el promedio y desviación estándar en el periodo después y antes del cambio sedimentológico en base al agrupamiento de cada 10 muestras de las abundancias de restos ictiológicos y posibles índices de degradación	56
28	Testigo B0506-14: Comparación entre el promedio y desviación estándar en el periodo después y antes del cambio sedimentológico en base al agrupamiento de cada 10 muestras de las abundancias de restos ictiológicos y posibles índices de degradación	57
29	Comparación del promedio y desviación estándar entre los testigos B0506-13 (n=8) y B0506-14 (n=8) en base al agrupamiento de cada 10 muestras de las abundancias de restos ictiológicos y posibles índices de degradación en el periodo después del cambio sedimentológico	59
30	Comparación del promedio y desviación estándar entre los testigos B0506-13 (n=7) y B0506-14 (n=7) en base al agrupamiento de cada 10 muestras de las abundancias de restos ictiológicos y posibles índices de degradación en el periodo antes del cambio sedimentológico	60
31	Diagrama X e Y de los datos agrupados cada 10 muestras entre los testigos B0506-13 y B0506-14	61
32	Escamas de anchoveta contadas y estimadas a partir de la razón escamas/vértebras de anchoveta en el periodo después del cambio sedimentológico en los testigos B0506-13 y B0506-14	63
33	Histograma de frecuencias para los anchos de las escamas de anchoveta tipo X en los testigos B0506-13 y B0506-14.	65
34	Cambios en la distribución espacial de la anchoveta y sardina durante condiciones extremas. a) Etapa inicial de El Niño, b) Etapa intermedia de El Niño y c) Etapa final de El Niño.	81

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Coeficientes de determinación ( $r^2$ ) entre los conteos generales de restos ictiológicos en el testigo B0506-13.	33
II	Coeficientes de determinación ( $r^2$ ) entre los conteos generales de restos ictiológicos en el testigo B0506-14.	33
III	Abundancias de escamas enteras y mitades de escamas, suma de escamas enteras y mitades y porcentaje de escamas por especie en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14	35
IV	Número y porcentaje de escamas de anchoveta ( <i>Engraulis ringens</i> ) de acuerdo al tipo de escama en las escamas completas y en las mitades de escamas en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14.	39
V	Abundancia y porcentaje de vértebras enteras y mitades de anchoveta ( <i>Engraulis ringens</i> ) y no identificadas en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14.	40
VI	Número y porcentaje de escamas de anchoveta ( <i>Engraulis ringens</i> ) de acuerdo al grado de cobertura de hongos en las escamas enteras y en las mitades de escamas en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14.	47
VII	Número y porcentaje de vértebras de anchoveta ( <i>Engraulis ringens</i> ) de acuerdo al grado de cobertura de hongos en las vértebras enteras y en las mitades de escamas en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14.	48
VIII	Tipo de escama de anchoveta en los testigos B0506-13 y B0506-14 durante la pesquería y antes de la pesquería.	67
IX	Tipo de escama de anchoveta en los testigos B0506-13 y B0506-14 después y antes del cambio sedimentológico.	68

## I. Introducción

### I.1 Variabilidad poblacional de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) y efectos de la pesquería

El ecosistema de afloramiento peruano es uno de los más productivos del mundo y sostiene una de las principales pesquerías pelágicas en el mundo dedicada casi exclusivamente a la anchoveta (*Engraulis ringens*). La historia de los desembarques refleja una gran variabilidad de la biomasa de anchoveta desde el inicio de la pesquería que muchas veces presenta consecuencias económicas negativas para la comunidad pesquera e incluso para el país (Schwartzlose et al., 1999). Los desembarques de anchoveta presentan una variabilidad interanual que puede ser explicada por factores ambientales como El Niño Oscilación Sur (ENSO) así como también por los efectos de la pesquería (Alheit y Ñiquen, 2004). A escala decadal, el período en el cual el Pacífico noreste presentó anomalías de temperatura positivas (aprox. de 1975 a 1990) coincide con los bajos volúmenes en los desembarques de anchoveta (Chávez et al., 2003) pero la baja abundancia de anchoveta todavía no ha sido bien explicada por mecanismos físicos y biológicos. El hecho de que se desembarque en los últimos 15 años alrededor de 6 millones de toneladas anuales de anchoveta sugiere que hay una combinación de buen manejo del recurso y condiciones oceanográficas favorables para la anchoveta. La variabilidad a grandes escalas temporales tiene que ser tomada en cuenta para el efectivo manejo de las pesquerías y para distinguir los efectos de la pesca de la variabilidad natural.

La variabilidad natural de las poblaciones de anchoveta puede tener efectos negativos para la pesquería en el futuro y una manera de entenderla es investigar su comportamiento en el pasado. A lo largo del tiempo las escamas de peces y otros restos de muchos organismos marinos se depositan en los sedimentos marinos y se acumulan, preservando un registro de eventos biológicos y oceanográficos si las condiciones depositacionales son favorables (Soutar y Isaacs, 1969). Las escamas sedimentadas pueden reflejar, bajo ciertas condiciones, el número de peces que habitaban la columna de agua en un momento

determinado. Por ello, la variabilidad natural de la población de anchoveta antes de la etapa de pesquería puede ser inferida utilizando escamas y otros restos óseos preservados en los sedimentos marinos siguiendo los ejemplos de Soutar y Isaacs (1974), DeVries y Percy (1982), Shackleton (1987), Baumgartner et al. (1992), Holmgren y Baumgartner (1993), O'Connell y Tunnicliffe (2001) y Tunnicliffe et al. (2001).

Los efectos de la pesquería sobre los recursos marinos son diversos. Una remoción constante y selectiva de individuos adultos y viejos por parte de la pesquería trae por consecuencia una población joven que podría ser más susceptible a los cambios del medio ambiente y/o podría ocasionar cambios en los parámetros demográficos, como inducir a que los peces maduren a una edad menor (Anderson et. al., 2008). Hsieh et al. (2006), por ejemplo, utilizando el registro de abundancias de larvas de peces frente a California concluyeron que la pesquería aumenta la variabilidad en la abundancia de especies explotadas. En este trabajo se explora la utilidad de los anchos de las escamas de anchoveta depositadas en los sedimentos para determinar si la pesquería causó cambios significativos en la estructura de tallas de la población de anchoveta.

Este estudio es parte de un esfuerzo internacional y multidisciplinario (proyecto PALEOPECES) que busca reconstruir la variabilidad del ecosistema y del ambiente en el ecosistema de afloramiento peruano durante los últimos 2000 años a partir de sedimentos laminados colectados en la zona de mínimo de oxígeno (ZMO) del margen continental peruano (Gutiérrez et al., 2006b). En particular, este estudio retrospectivo contribuirá a reconstruir la variabilidad de la población de anchoveta y otros peces pelágicos en los últimos 400 años aproximadamente, con la finalidad de distinguir los efectos de la pesquería de los cambios ambientales en las fluctuaciones poblacionales y en la talla promedio de la anchoveta. Por lo tanto, esta tesis aportará una perspectiva de largo plazo en el conocimiento de factores que controlan el estado de las poblaciones de anchoveta, que resulta necesaria para el manejo pesquero en el contexto de cambio climático global.

## I.2 Planteamiento del problema

Gutiérrez et al. (2006a y en preparación) mostraron evidencias de un importante cambio biogeoquímico en el sistema de afloramiento peruano a principios del siglo XIX registrado en los sedimentos marinos colectados frente a Pisco y Callao. Este cambio hacia una mayor productividad en los últimos 150 años aproximadamente estuvo caracterizado por una elevada abundancia de escamas de anchoveta. Antes de este cambio las abundancias de escamas de anchoveta y otras especies muestran un largo periodo de baja abundancia de escamas desde aproximadamente inicios del siglo XVI (Gutiérrez et al., 2006a, Salvattecí et al., 2005, Salvattecí et al., 2006). La baja abundancia de escamas podría ser explicada por: i) cambio y desplazamiento de hábitat de la población debido a cambios en las condiciones oceanográficas, ii) una reducción en la abundancia de anchoveta y/o iii) por degradación y pérdida de las escamas después de su depositación, entre otros factores (Gutiérrez et al., 2006a, Salvattecí et al., 2006).

Existen evidencias de variables geoquímicas en los testigos que sugieren una menor productividad primaria en el periodo de baja abundancia de escamas (Gutiérrez et al., en preparación), lo que podría haber tenido un efecto en los niveles tróficos superiores, como la anchoveta. Esta situación revelaría la existencia de períodos prolongados a escala de siglos de baja productividad primaria y secundaria en el ecosistema de afloramiento, afectando el potencial rendimiento pesquero. Por otro lado si se puede confirmar que la disminución de escamas y restos óseos se debe más bien a procesos degradativos en la columna sedimentaria (activados probablemente por oxigenación) se puede inferir cambios significativos en los procesos biogeoquímicos del ecosistema a una escala de siglos, afectando la intensidad de la ZMO y la conservación de las escamas. Para poder entender la variabilidad poblacional de anchoveta utilizando las escamas depositadas en los sedimentos marinos es fundamental determinar si existe o no cambios significativos en la conservación de las escamas durante el periodo que abarcan los registros sedimentarios colectados.

Una manera de determinar el efecto de la degradación de escamas es coleccionar un testigo en



cerca del borde y otro cerca del núcleo de la ZMO. El testigo más somero estaría más expuesto a eventos de oxigenación lo que podría favorecer algún mecanismo de degradación de escamas (ver Figura 1). Por lo que la comparación de las abundancias e índices de degradación de restos ictiológicos entre estos dos testigos ayudará a determinar el efecto de la degradación en las abundancias de escamas.

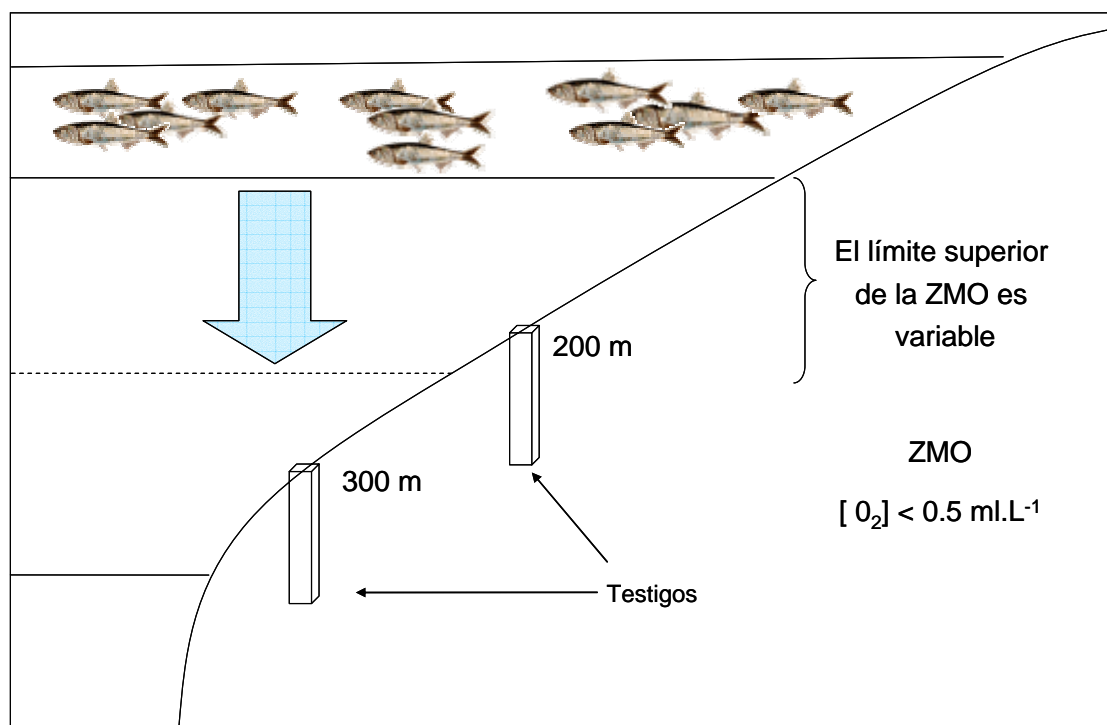


Figura 1. Marco conceptual del presente trabajo. Un testigo colectado cerca del borde superior de la zona de mínimo de oxígeno estaría más expuesto a eventos de oxigenación lo que podría favorecer algún mecanismo de degradación de escamas.

## II. Antecedentes

### II.1 El ecosistema de afloramiento y la anchoveta peruana

El ecosistema de afloramiento peruano se caracteriza por presentar una de las más altas productividades primarias en el mundo (Carr, 2002) y a la vez una variabilidad interanual significativa asociada a fenómenos ENSO. Los afloramientos son generados por vientos alisios del SE y son persistentes a lo largo del año intensificándose en el invierno austral (Zuta & Guillén, 1970). Frente a la costa peruana se presentan masas de agua superficiales y subsuperficiales procedentes de la región subtropical, ecuatorial y de la región subantártica. Las corrientes predominantes con dirección al ecuador son la Corriente Costera Peruana y la Corriente Oceánica Peruana y hacia el polo se presenta la Contracorriente Perú-Chile (Strub et al., 1998). En la capa subsuperficial se presentan la Corriente Peruana Subsuperficial y la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (Morón, 2000). En los años en los que no se presenta El Niño la producción primaria promedio es de  $\sim 1 \text{ kg C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  generando una gran biomasa de anchoveta ( $\sim 20$  millones de toneladas) que sostiene una de las pesquerías más grandes del mundo (Tarazona et al., 2003).

La anchoveta es un pez pelágico de vida corta (4 años) y con una talla máxima de 20 cm (Palomares et al. 1987). La edad de primera madurez es a los 12 cm cuando la anchoveta tiene aproximadamente un año. Los límites geográficos de la distribución de anchoveta abarcan el mar del litoral peruano y chileno entre  $3^{\circ} 23' \text{ S}$  (Csirke et al 1996) y  $42^{\circ} 30' \text{ S}$  (Mathisen, 1989) utilizando los lugares más distantes de ocurrencias como límites. En esta área se distinguen dos stocks: el stock norte-centro que registra las mayores concentraciones y el stock sur (ver Figura 2) y se ha establecido como límite entre estos dos stocks la latitud de  $14^{\circ} 00' \text{ S}$  (Pauly y Tsukayama, 1987). La anchoveta vive dentro de las 60 millas náuticas a profundidades menores de 100 metros en la franja de aguas frías de la Corriente Peruana caracterizada por la gran renovación de nutrientes en las capas superficiales y la alta productividad biológica (Ñiquen et al. 2000).

Estudios recientes han mostrado que el mayor componente de la dieta de la anchoveta en términos de contenido de carbono, es el zooplancton (en especial eufásidos y copépodos) a pesar que las anchovetas consumen más fitoplancton que zooplancton (Espinoza y Bertrand, 2006). En el sistema de afloramiento peruano la anchoveta es la principal presa de muchos depredadores especialistas como el piquero (*Sula variegata*), guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*) y pelicano (*Pelecanus thagus*) y de oportunistas como el jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*), caballa (*Scomber japonicus*), merluza (*Merluccius gayi peruanus*) y pinípedos. Por lo que la biomasa de muchas especies están en función de la biomasa de la anchoveta (Muck, 1989).

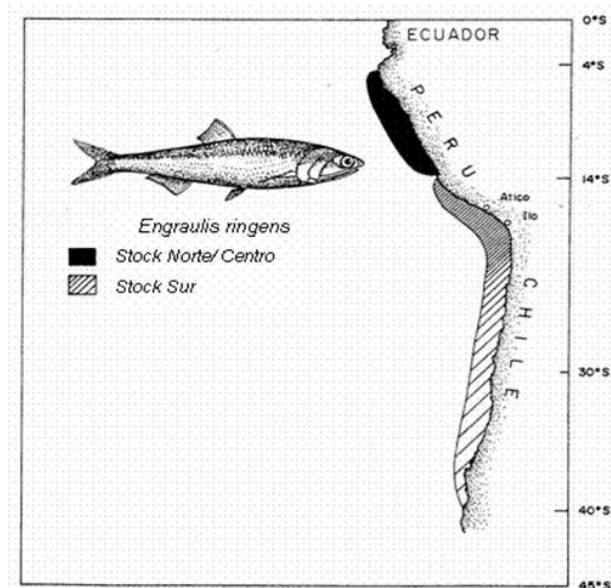


Figura 2. Esquema de la distribución de los stocks de anchoveta a lo largo de la costa oeste de América del sur. Tomado de Pauly y Tsukayama (1987).

## II.2 La ZMO y los sedimentos laminados frente a Pisco y Callao

En algunas regiones como en la costa oeste del continente americano, agua con bajo contenido de oxígeno disuelto ( $<0.5 \text{ mL.L}^{-1}$ ), que resulta por la respiración de la materia orgánica durante el viaje de las masas de agua a través del océano determinados por los patrones de circulación (Levin, 2003), interceptan los márgenes continentales (entre

aproximadamente 50 a 1000 metros de profundidad). Las ZMO se intensifican donde fuertes surgencias generan una alta productividad en la superficie que al hundirse y degradarse consume el oxígeno en la columna de agua (Levin, 2003). La intensidad y distribución de las ZMO varía a escalas temporales de meses a cientos de miles de años (Levin, 2003). Por ejemplo, el límite superior de la ZMO puede variar estacionalmente (Kamykowski y Zentara, 1990) y entre años por efectos del fenómeno El Niño (Gutiérrez et al., 2000), entre otros factores. A escalas de siglos a miles de años, los cambios en productividad y/o circulación son probablemente los responsables de las expansiones y contracciones de la ZMO (Tyson y Pearson, 1991).

Las laminaciones en los registros sedimentarios se producen en todos los sedimentos donde existen cambios estacionales o interanuales en la composición del material depositado (biogénico vs terrígenos). Estas láminas solo se conservan en las ZMO debido a que los bajos niveles de oxígeno limitan la presencia de macrobentos que causan bioturbación de los sedimentos (Soutar, 1967; Levin et al., 2002).

La ZMO frente a Perú es más somera e intensa que otras ZMO y varía con la latitud, profundidad y distancia a la costa (Gutiérrez et al., 2006c). Entre 10 °S y 20 °S, el núcleo de la ZMO ( $<0.2 \text{ mL.L}^{-1}$ ) se encuentra entre 75 a 312 metros, mientras que las concentraciones de oxígeno disuelto menores a  $0.5 \text{ mL.L}^{-1}$  se encuentra entre 57 a 368 metros (Helly y Levin, 2004). Durante eventos extremos como El Niño 1997/98, el borde superior de la ZMO se profundizó hasta 250 metros (Sánchez et al., 2000), por lo que los sedimentos que están normalmente en el borde de la ZMO podrían oxigenarse temporalmente, a escalas interanuales, durante eventos El Niño. Por lo tanto se puede esperar que los testigos colectados en el borde de la ZMO serían más susceptibles a degradación por algún mecanismo que involucre una mayor oxigenación en comparación a testigos colectados en el núcleo de la ZMO.

Los sedimentos colectados frente a Pisco y Callao en la ZMO de Perú permiten estudiar la variabilidad en el estado del ecosistema pelágico costero que refleja las condiciones

climáticas y oceanográficas con una resolución de varios años hasta una década (Gutiérrez et al. 2006b). Sin embargo estos testigos muestran evidencias de transporte lateral (slumps) que podrían haber eliminado secuencias previamente depositadas. Por otro lado también se observa una falta de conservación de la estructura original de los sedimentos (especialmente en la primera sección del testigo), probablemente ocasionados por efectos de oxigenación periódica lo que genera diversos grados de bioturbación que no permite la preservación del registro. Baumgartner et al. (1991) observaron que cinco testigos que fueron colectados frente a Guaymas en el Golfo de California presentaron eventos de erosión y re-depositación instantánea que interrumpieron la continuidad estratigráfica. Cada discontinuidad no siempre estaba asociada con re-depositación de sedimentos sino que algunas representaban superficies de deslizamiento. Estos eventos generalmente no ocurrieron en los mismos niveles en diferentes testigos por lo que fue posible construir una secuencia estratigráfica continua juntando secuencias laminadas de los diferentes testigos analizados.

En el margen continental peruano la combinación de una alta tasa de sedimentación, alto contenido de agua y alta sensibilidad de los sedimentos, la elevada pendiente y frecuentes sismos podrían generar deslizamientos masivos que causarían la eliminación de las estructuras sedimentarias depositadas (Keller, 1981)

La construcción de una secuencia estratigráfica continua frente a Pisco es el primer paso para reconstruir la variabilidad en el ecosistema y en el ambiente del ecosistema de afloramiento peruano.

### II.3 Condiciones de preservación/degradación

La preservación de restos óseos en sedimentos marinos puede ser atribuida a bajas concentraciones de oxígeno disuelto y a altas tasas de sedimentación (Soutar y Isaacs, 1969; DeVries y Pearcy, 1982). Los restos de peces que llegan al sedimento marino están sujetos a disolución/degradación, sin embargo los procesos que generan la disolución de los

restos de peces en ambientes marinos aún no son muy bien comprendidos (Schenau y De Lange, 2000). Las escamas y otros restos óseos de un pez están compuestos de un 60 a 70% de cristales de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) que están contenidos en una matriz orgánica compuesta mayormente de colágeno (Nemliher et al., 1997). La matriz orgánica de los restos óseos se descompone principalmente por acción bacteriana de acuerdo con las condiciones de temperatura y humedad (Newesly, 1989). Las grandes superficies, así como las imperfecciones de los cristales hacen que la hidroxiapatita biogénica también sea soluble (Posner et al., 1984), además el agua de mar está por debajo del punto de saturación de apatita biogénica lo que podría favorecer una disolución de las escamas y restos óseos (Atlas y Pytkowicz, 1977). La descomposición de la apatita depende de muchos factores, incluyendo el pH del agua intersticial (valores bajos de pH aumenta la solubilidad de la hidroxiapatita), la concentración de calcio y fosfato en el agua intersticial y la destrucción por microorganismos (Atlas y Pytkowicz, 1977). Los huesos y vértebras tienen una razón menor de área/volumen en comparación con las escamas por lo que las escamas se podrían degradar con mayor rapidez que los restos óseos (O'Connell y Tunnicliffe, 2001). Por otro lado, altas tasas de sedimentación favorecen la incorporación de los restos de peces antes de su completa disolución (Froelich et al., 1982).

#### II.4 Antecedentes de estudios en Perú

Las abundancias de escamas estimadas a partir de sedimentos colectados en la ZMO frente a Callao y Pisco (ver Figura 3) muestran una alta variabilidad multi-decadal y hasta de cientos de años (Gutiérrez et al., 2006a, Salvattecí et al., 2005). Las abundancias de escamas a lo largo de los testigos de caja colectados frente a Callao (B0450-13 a 184 metros de profundidad) y frente a Pisco (B0405-6 a 299 metros de profundidad) muestran altos valores en los primeros ~30 cm y bajos a nulos en el resto del testigo con excepción del testigo B0405-13 que presenta altos valores en la base del testigo (ver Figuras 2 y 3). En los dos testigos se observa un incremento de escamas de sardina (*Sardinops sagax sagax*), jurel y caballa asociado a una disminución de escamas de anchoveta entre ~20 a ~30 cm de profundidad en el testigo de Callao y ~25 a ~34 cm en Pisco.

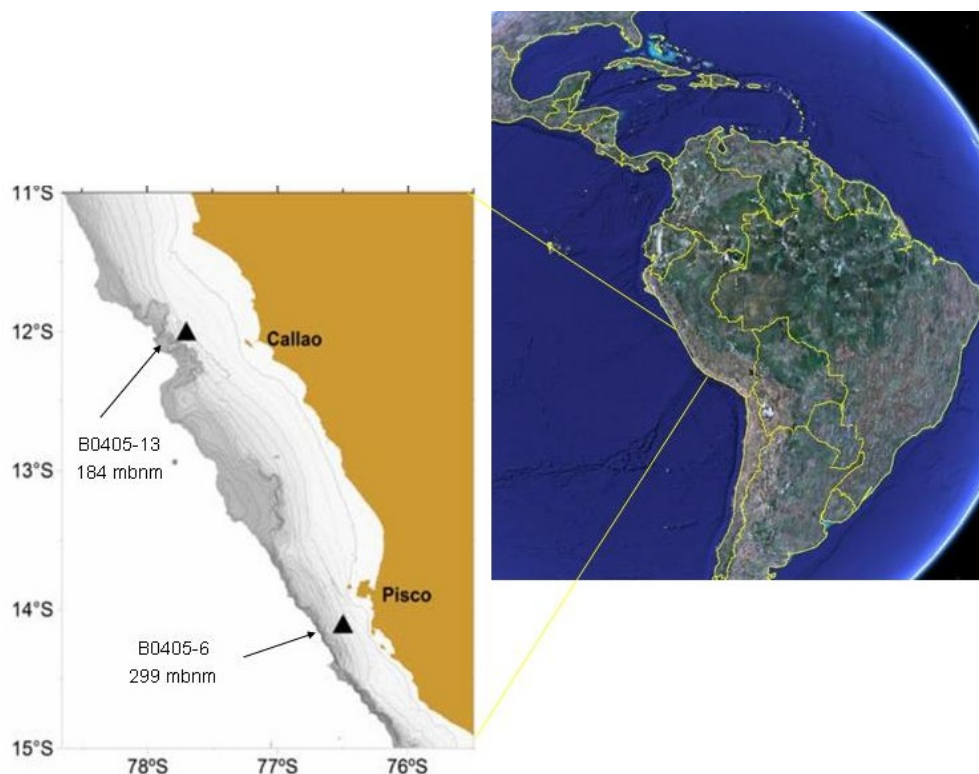


Figura 3. Localización de los testigos de caja colectados en Callao (B0405-13) y Pisco (B0405-6). Tomada de Gutiérrez et al. (en preparación).

Las abundancias de restos óseos (vértebras, espinas y otros huesos) sin distinguir entre especies muestran un patrón similar a las abundancias de escamas de todas las especie en los testigos de Callao y Pisco. Sin embargo no hay consistencia en la magnitud porque los valores máximos de escamas no siempre están asociados a los valores máximos de restos óseos y viceversa (Figuras 4f y 5e respectivamente). En ambos testigos se observa una disminución de restos óseos en comparación a las escamas en los primeros ~10 cm que correspondería aproximadamente a los últimos 50 años (Gutiérrez et al., 2006a). Esta disminución sugiere que existe algún mecanismo que disminuye la presencia de restos óseos en relación a las escamas. Este mecanismo tal vez podría ser atribuido a la pesquería que al extraer peces del mar disminuye la mortalidad natural de las especies (que es un mecanismo que podría llevar restos óseos al sedimento) y probablemente aumenta el flujo de escamas a los sedimentos durante la faena de pesca. El otro mecanismo atribuido a la pesquería podría ser la disminución de los depredadores que al alimentarse de peces excretarían las partes duras en pellets fecales (otro mecanismo que podría llevar restos

óseos a los sedimentos).

Las bajos valores en las abundancias de escamas de anchoveta en Pisco y Callao podrían reflejar una baja abundancia de biomasa y/o el desplazamiento de la población de anchoveta por un largo período antes del siglo XIX (Gutiérrez et al. 2006a, Salvattecí et al., 2006). Durante una gran parte de este período las abundancias de escamas de anchoveta son mayores en Pisco que en Callao. Este patrón observado podría significar que en este periodo hubo una baja biomasa de anchoveta, la población se concentró más alrededor de Pisco que en Callao y se replegó hacia la costa (el testigo colectado en Pisco está más cerca de la costa que el testigo de Callao). Las investigaciones pesqueras muestran que la población actual de anchoveta presenta cambios en su distribución y abundancia, especialmente durante eventos El Niño cuando la población de anchoveta disminuye en biomasa y se distribuye asimétricamente hacia el sur, formando parches y acercándose a la costa (Ñiquen y Bouchon, 2004). Otra posibilidad de explicar la disminución de escamas es que los restos ictiológicos hayan sufrido algún tipo de degradación postdeposicional que podría ocurrir a diferentes intensidades a través del tiempo (DeVries y Pearcy, 1982; Gutiérrez et al., 2006a; Salvattecí et al., 2006).

De acuerdo con Gutiérrez et al. (en preparación) y Sifeddine et al. (en revisión) el incremento en las abundancias de escamas en la sección superior (a partir de mediados del siglo XIX) de los testigos de Callao y Pisco coincide con cambios hacia una mayor producción primaria y menores niveles de oxígeno. Este evidencia es respaldada por la mayor preservación de foraminíferos (Morales et al. 2006) y de diatomeas (Tapia et al., 2006), el incremento en el porcentaje de *Bolivina seminuda* que es un foraminífero bentónico asociado a condiciones de oxigenación micróxicas a disóxicas (Morales et al., 2006), las características sedimentológicas, el incremento del carbono orgánico total (TOC) y el incremento en las abundancias de diatomeas. Teniendo en consideración todos los indicadores estudiados en los testigos de Pisco y Callao, Gutiérrez et al. (en preparación) sugieren una intensificación del afloramiento que trajo por consecuencia un aumento de la productividad primaria y secundaria en el ecosistema de afloramiento peruano.



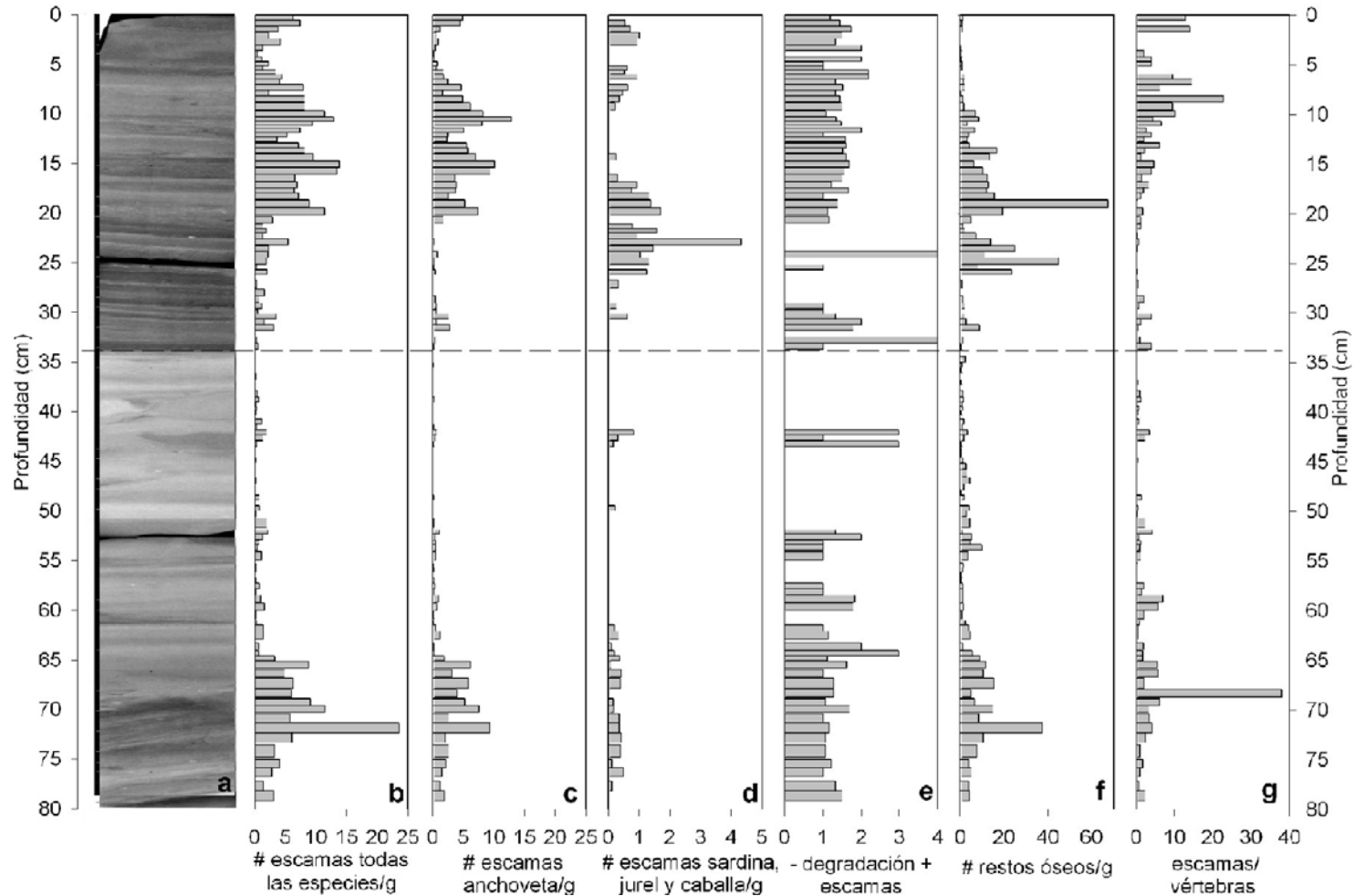


Figura 4. Radiografía, abundancias de escamas, restos óseos e índices de degradación en el testigo B0405-13 colectado frente a Callao a 184 metros de profundidad. a) Radiografía del testigo, b) abundancia de escamas de todas las especies, c) abundancia de escamas de anchoveta, d) abundancia de escamas de sardina, jurel y caballa, e) índice de degradación visual de escamas de todas las especies: 1 no hay evidencias de degradación y 4 las escamas se encuentran muy degradadas, f) abundancia de espinas, vértebras y otros huesos, g) razón escamas/vértebras sin distinguir especies. Las abundancias de escamas y restos óseos están normalizadas al peso seco. La línea discontinua indica el cambio sedimentológico y biogeoquímico (aproximadamente 1820) reportado por Gutiérrez et al. (2006b).

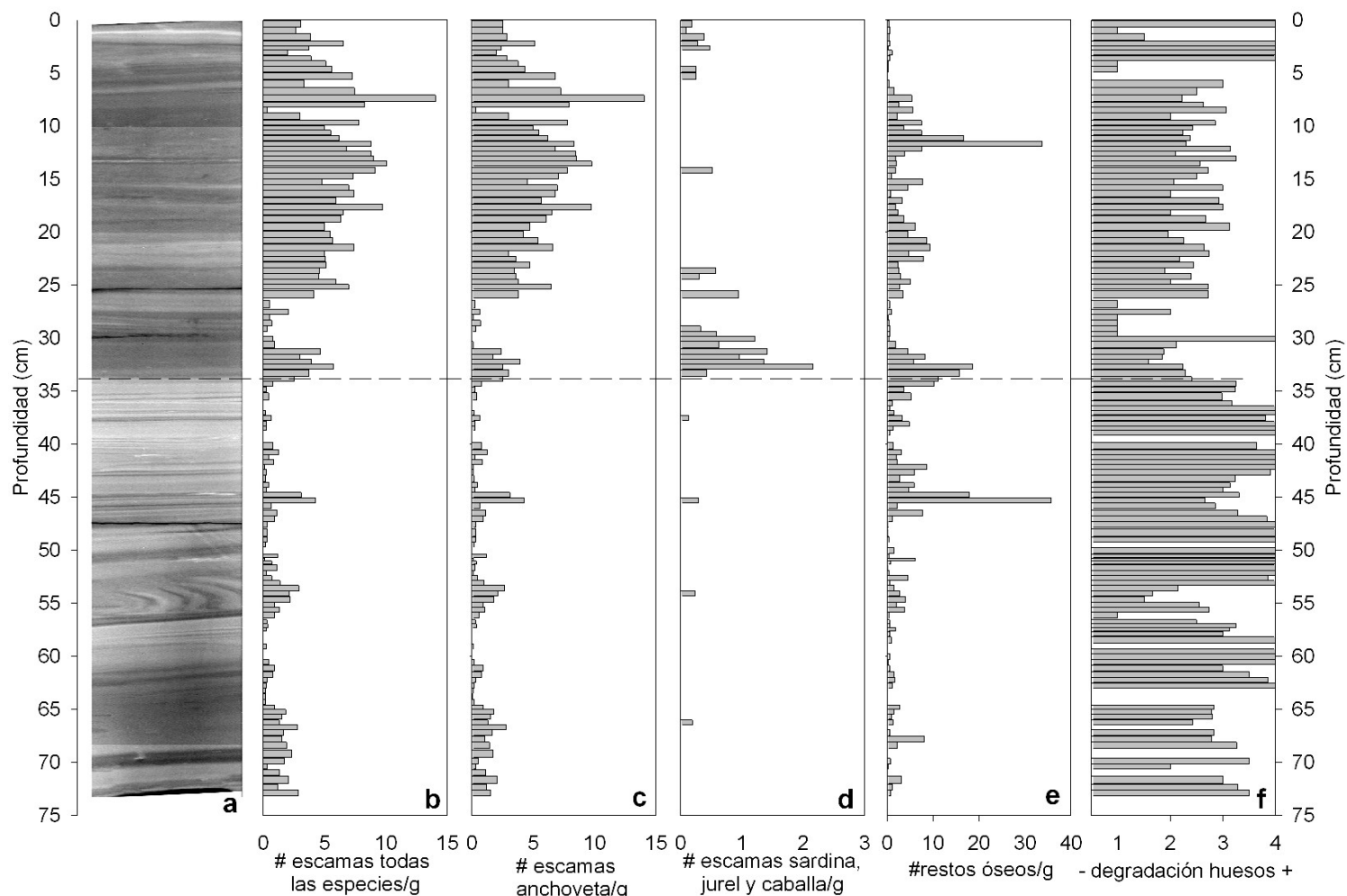


Figura 5. Radiografía, abundancias de escamas, restos óseos e índices de degradación en el testigo B0405-6 colectado frente a Pisco a 299 metros de profundidad. a) Radiografía del testigo de caja B0405-6, b) abundancia de escamas de todas las especies, c) abundancia de escamas de anchoveta, d) abundancia de escamas de sardina, jurel y caballa, e) abundancia de espinas, vértebras y otros huesos, f) índice de degradación de restos óseos: 1 no hay evidencias de degradación y 4 los restos óseos se encuentran muy degradados. Las abundancias de escamas y restos óseos están normalizadas por peso seco. La línea discontinua indica el cambio sedimentológico y biogeoquímico (aproximadamente 1820) reportado por Gutiérrez et al. (2006b).

Una posible interpretación de la baja abundancia de escamas en los registros de escamas y restos óseos en los testigos de caja colectados en Pisco y Callao es que las escamas hayan sufrido algún proceso de degradación. Algunas escamas y restos óseos encontrados en los testigos de Callao y Pisco presentan fisuras sobre su superficie y estas escamas tienden a quebrarse en pequeños fragmentos lo que podría originar una subestimación del registro. La Figura 6 muestra una escama de sardina (obtenida de un individuo reciente) que no presenta signos visibles de degradación (a), una escama de sardina colectada en sedimentos marinos en Pisco que muestra fisuras, las cuales son posibles signos de degradación (b), un acercamiento de la zona central de la escama (c) nos muestra que la escama mostrada en (a) no presenta signos visibles de degradación mientras que en (d) se observa que la degradación tiene su origen en la zona central de la escama. Las escamas que presentan fisuras tienden a quebrarse en pequeños fragmentos lo que originaría una subestimación del registro.



Figura 6. Escamas de sardina (*Sardinops sagax sagax*) mostrando fisuras sobre su superficie. a) Escama de sardina de un pez actual, b) escama de sardina colectada en el testigo de caja B0405-06 (Pisco) mostrando formación de fisuras en la zona central c) imagen ampliada de la zona central de a), y d) imagen ampliada de la zona central de b) mostrando fisuras, que podrían resultar en la fragmentación de la escama.

Las bajas abundancias de escamas de anchoveta, por debajo de ~34 cm (~1820), en los testigos de Pisco y Callao podrían sugerir una degradación de escamas y restos óseos debido a un desplazamiento vertical de la ZMO. El hundimiento de la ZMO oxigenaría el fondo marino en relación a las profundidades de los sitios de los testigos y podría activar algún mecanismo de degradación, por lo que la posible degradación de escamas y restos óseos podría ser variable temporal y espacialmente en el margen continental peruano. El índice de degradación visual (que agrupa muchas características que sugieren una mayor degradación) de escamas en el testigo de Callao y el índice de degradación visual de restos óseos en Pisco (en el cual el número 1 indica buena preservación y el 4 indica mayores

signos de degradación) son variables a lo largo de los testigos y no muestran una tendencia a aumentar con el tiempo (Figura 4e y 5f). Comparar los índices de degradación de escamas en dos testigos colectados en la misma región pero con diferente grado de exposición a oxigenación (por ejemplo uno colectado en el núcleo de la ZMO y el otro al borde superior de la ZMO) podría proporcionar evidencia sobre el efecto de la oxigenación sobre la degradación de escamas.

El claro efecto de disolución de foraminíferos (Morales et al., 2006) y de diatomeas (Tapia et al., 2006) por debajo de ~34 cm (~1820) en los testigos de Callao (B0405-13) y Pisco (B0405-6) nos indica que las condiciones bioquímicas de las aguas subsuperficiales, en ese periodo de tiempo, afectó la preservación de los carbonatos y de la sílice. Sin embargo, los procesos de disolución de la sílice de las diatomeas son diferentes que los procesos que afectan la calcita de los foraminíferos (Liebes, 1992).

El uso de las razones escamas/vértebras han sido utilizadas como indicadores de procesos degradativos post deposicionales de las escamas (DeVries y Pearcy, 1982; O'Connell y Tunnicliffe, 2001; Gutiérrez et al., 2006a; Salvattecí et al., 2006). Las vértebras serían menos propensas a la degradación en comparación a las escamas por tener una razón menor de área/volumen. En consecuencia bajos valores en la razón escamas/vértebras nos indicaría posiblemente una mayor degradación de las escamas. Las razones promedio de escamas/vértebras de anchoveta en un testigo colectado frente a Callao (186 metros de profundidad) muestra que entre los 60 y 145 cm la razón promedio es menor que en los primeros 60 cm (DeVries y Pearcy, 1982). Los resultados de la razón escamas/vértebras (sin distinguir entre especies) en el testigo de caja B0405-13 muestran que la razón es variable a lo largo del testigo (Figura 3g). Esto sugiere que la degradación de escamas es variable a lo largo del tiempo y podría estar en función de las condiciones bioquímicas particulares del agua de fondo (Gutiérrez et al., 2006a y Salvattecí et al., 2006). La degradación de escamas no aumenta en función del tiempo, lo cual sería el caso de un control predominantemente diagenético sobre la degradación.

La razón escamas/vértebras también varía con las características sedimentológicas y con la profundidad a la que fueron colectados los testigos, factores que a su vez pueden estar relacionados con la exposición a diferentes concentraciones de oxígeno en el ambiente sedimentario. DeVries y Percy (1982) indicaron que las razones más altas de escamas/vértebras de anchoveta en los sedimentos del margen continental peruano se encontraron en la sección laminada de un testigo (colectado a 186 metros de profundidad frente a Callao) cuya razón promedio fue de 4:1. Razones menores de 2.5:1 caracterizaban a los sedimentos colectados a profundidades mayores de 400 metros.

## II.5 Efecto de la pesquería en las escamas y restos óseos depositados en los sedimentos

La anchoveta y sardina presentan hasta 7 tipos diferentes de escamas en el cuerpo del pez, denominándose a las escamas más comunes y que se presentan en la parte lateral como escamas típicas (Shackleton y Johnson, 1988). Los tipos de escamas de anchoveta y sardina se muestran en la Figura 7. Las escamas típicas o tipo X de anchoveta y T de sardina se desprenden con más facilidad del cuerpo del pez y se depositan en mayor abundancia en los sedimentos (Field et al., en prensa, Lozano-Montes, 1997, Salvattecí et al. 2004). Se ha observado que el ancho de todas las escamas de anchoveta (sin diferenciar entre los tipos de escamas ni si las escamas estaban completas o no) en los sedimentos de Callao y Pisco se ha reducido desde el inicio de la pesquería (Salvattecí et al. 2005 y 2006) (ver Figura 8). El ancho promedio de todas las escamas de anchoveta medidas en Pisco durante la etapa de la pesquería es menor al periodo antes de la pesquería (U de Mann-Whitney,  $p = 0.011$ ). Los anchos de las escamas de anchoveta medidos en Callao muestran una ligera reducción en el promedio durante la pesquería en comparación al periodo antes de la pesquería pero no son significativamente diferentes (U de Mann-Whitney,  $p = 0.504$ ). Esto sugiere que la talla promedio de la anchoveta es menor ahora que antes del inicio de la pesquería, basándonos en la fuerte relación entre el ancho de la escama y talla (para inferir edad utilizando la talla) de anchoveta (Singh y Sharma, 1995, Lozano-Montes, 1997). Sin embargo, la relación entre talla de pez y ancho de escama varía de acuerdo a los distintos tipos de escama (Shackleton y Johnson, 1988) y un cambio en el tipo de escama perdida

durante la pesquería podría haber afectado este resultado. La disminución en las abundancias de restos óseos después del inicio de la pesca sugiere un efecto posible de la pesquería en el flujo de restos de peces en el sedimento.

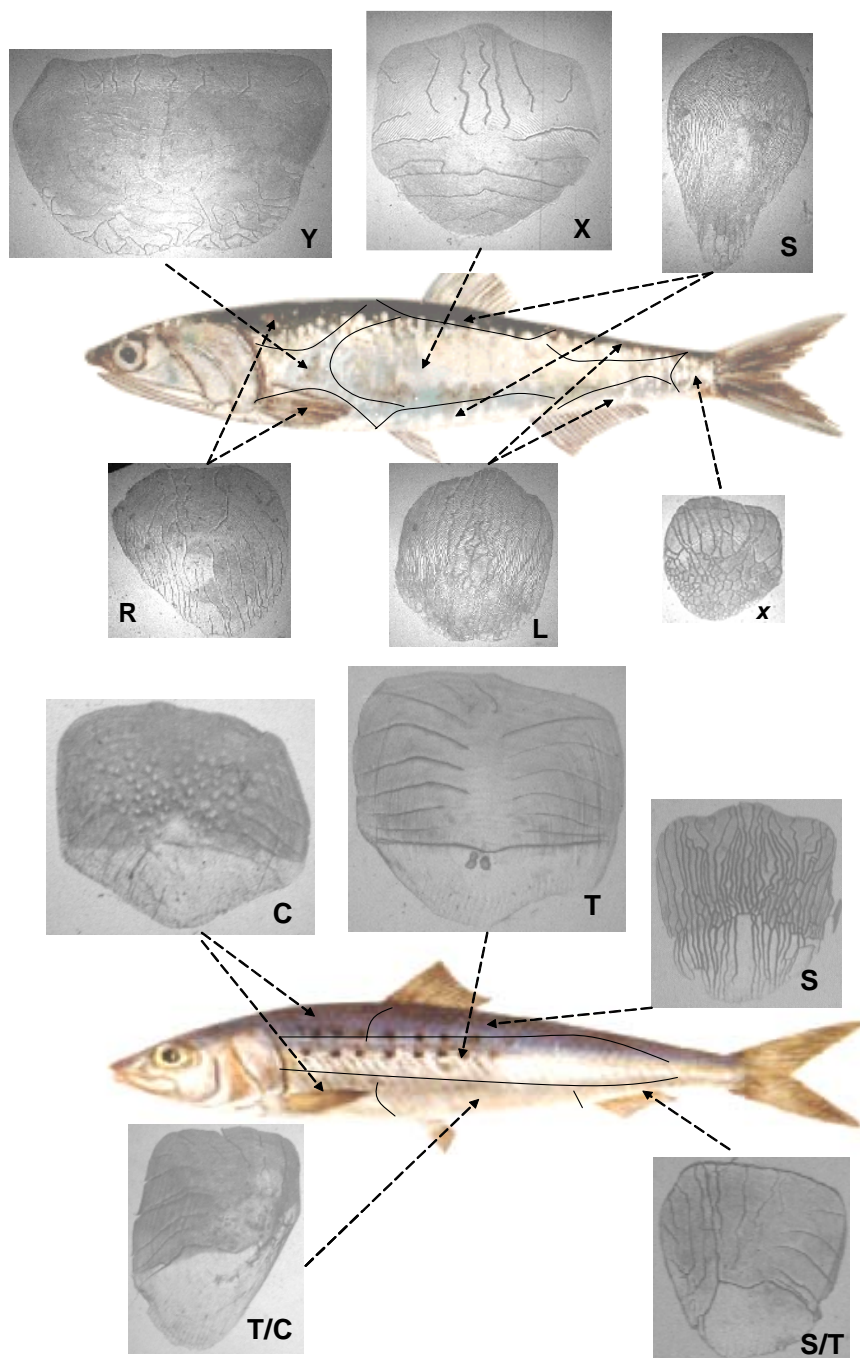


Figura 7. Regiones del cuerpo del pez en donde se ubican los principales tipos de escamas en la anchoveta (*Engraulis ringens*) arriba y sardina (*Sardinops sagax sagax*) abajo. El tamaño de las escamas está aproximadamente a escala. La nomenclatura de los tipos de escamas es la utilizada por Shackleton (1986) y Lozano (1997) adaptada para las especies que habitan el mar peruano (Salvatteci et al., 2004).

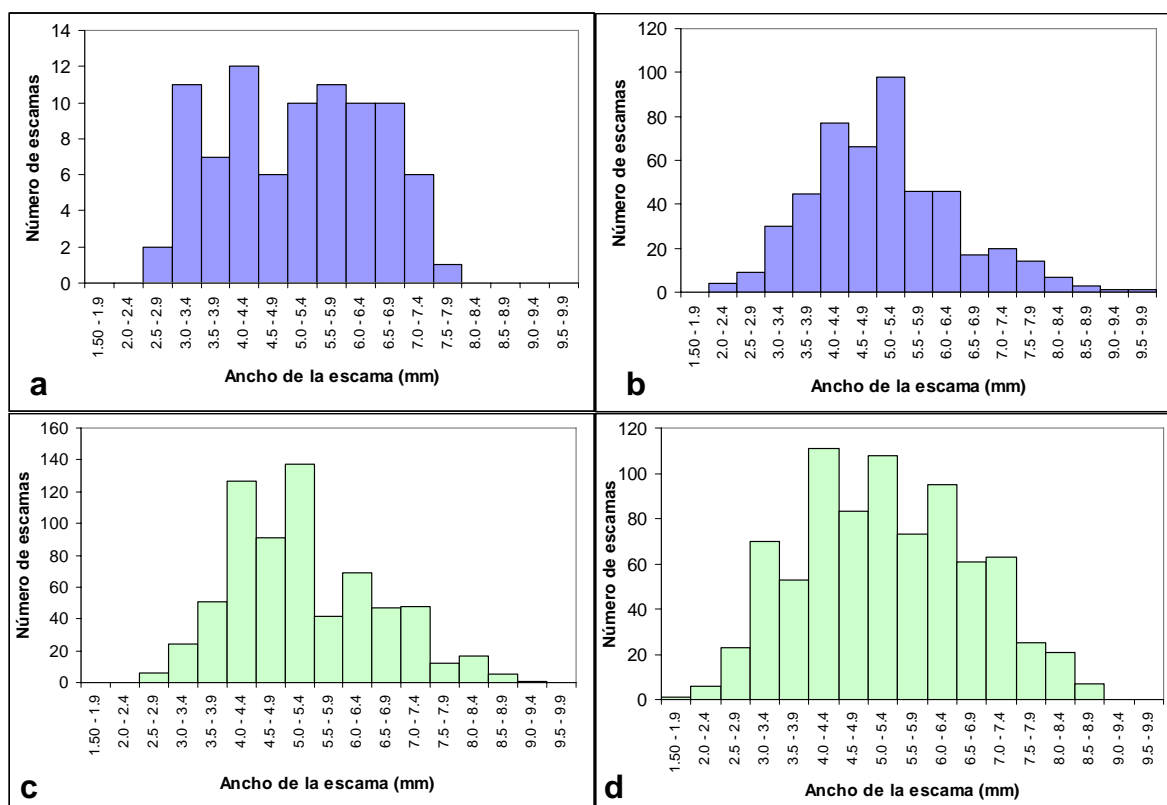


Figura 8. Histograma de los anchos de todas las escamas de anchoveta en los testigos B0405-06 (Pisco) y B0405-13 (Callao). a) B0405-13 durante la pesquería ( $5.1 \pm 1.32$  mm,  $n = 86$ ) b) B0405-6 durante la pesquería ( $5.06 \pm 1.27$  mm,  $n = 484$ ), c) B0405-13 antes de la pesquería ( $5.25 \pm 1.27$  mm,  $n = 677$ ) y d) B0405-6 antes de la pesquería ( $5.26 \pm 1.44$  mm,  $n = 800$ ). Se consideró el año 1965 como inicio de la pesquería, fecha en la que la pesquería estuvo plenamente desarrollada. Entre paréntesis el promedio y desviación estándar de cada periodo.

### III. Diseño del estudio

#### III.1 Objetivos y planteamiento de la hipótesis

Objetivo general:

- Proporcionar las bases para reconstruir la historia de la población de la anchoveta y otros peces pelágicos menores en los últimos 400 años a partir de las escamas y restos óseos en los sedimentos marinos de la ZMO en Pisco

Objetivos específicos:

- Establecer un marco estratigráfico preliminar de la depositación continua de los sedimentos utilizando los testigos de caja colectados en Pisco (B0405-6, B0506-13 y B0506-14).
- Determinar si existen o no diferencias en la preservación de escamas en función a la exposición a la oxigenación, en sedimentos acumulados sobre el talud continental de Pisco, Perú.
- Utilizar las diferencias en las abundancias de restos ictiológicos en los testigos de Pisco para determinar si la diferencia en las abundancias de escamas en Callao (B0405-13) y Pisco (B0405-6) se debe a cambios en poblaciones de peces o degradación post-deposicional de escamas.
- Establecer una serie preliminar de la depositación de escamas de anchoveta que refleje la historia de la variabilidad de la abundancia de la anchoveta frente a Pisco.
- Determinar si la pesquería es una fuerza selectiva que redujo la talla promedio de la anchoveta en relación a sus fluctuaciones naturales.

La dificultad en la interpretación de los registros paleo-ecológicos nos lleva a evaluar si existe una mayor degradación de escamas y restos óseos en un testigo colectado más cerca del límite superior de la ZMO (200 metros) que uno colectado a mayor profundidad y cerca del núcleo de la ZMO (300 metros), a 6 millas de distancia uno del otro. El límite superior de la ZMO frente a Pisco podría desplazarse, a escala interanual o a una escala mayor



probablemente, oxigenando eventualmente en mayor proporción al testigo más somero. Por lo que se plantean la siguiente hipótesis:

H<sub>0</sub>: Las diferencias en profundidad y a la exposición a oxigenación no influyen en la acumulación de escamas y restos óseos en los sedimentos del margen continental en la ZMO frente a Pisco.

H<sub>a</sub>: La oxigenación activa un mecanismo que controla la preservación diferencial de escamas y restos óseos en los sedimentos del margen continental en la ZMO, reduciendo la preservación de los restos ictiológicos cerca al límite superior de la ZMO.

Para determinar si la pesquería redujo la talla promedio en la población de anchoveta se plantea la siguiente hipótesis:

H<sub>0</sub>: No hay diferencias significativas en el tamaño de escamas del tipo X ni en el tipo de escama antes y después de iniciada la etapa de la pesquería industrial (~1965)

H<sub>a</sub>: Hay una disminución significativa en el tamaño de escamas del tipo X y/o en el tipo de escama después de iniciada la etapa de la pesquería industrial (~1965)

### III.2 Colecta de núcleos y preparación de submuestras

El material de estudio consiste en 2 testigos de caja: B0506-13 y B0506-14 colectados con un nucleador de caja tipo Soutar en junio del 2005 frente a Pisco (Figura 9) durante el crucero Paleo II a bordo del Buque de Investigación Científica (BIC) José Olaya del Instituto del Mar del Perú (IMARPE). El testigo B0506-13 colectado a 201 metros de profundidad se encuentra en el borde superior de la ZMO y el núcleo B0506-14 colectado a 301 metros de profundidad se encuentra en el núcleo de la ZMO. La posición de los núcleos dentro de la ZMO permitirá cumplir con el objetivo de determinar si la mayor

preservación de escamas en los testigos se debe a una menor exposición a eventos de oxigenación.

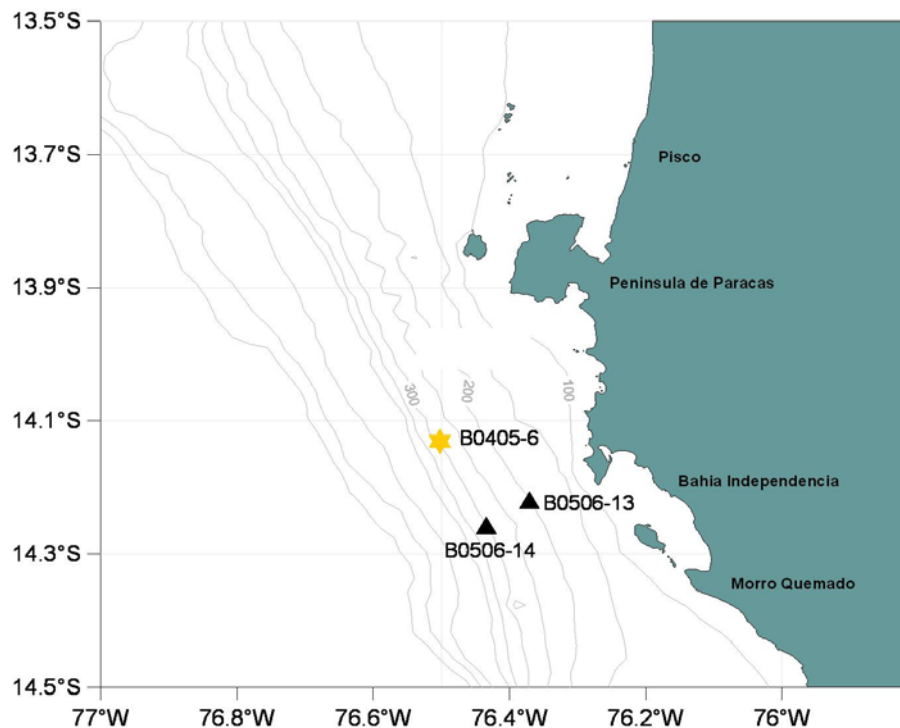


Figura 9. Ubicación de los testigos de caja B0405-6 colectado en el 2004 (estrella) y de los testigos B0506-13 y B0506-14 colectados en el 2005 (triángulos) frente a Pisco, Perú.

Cada testigo de caja fue cortado en 4 secciones (A, B, C y D) y cada sección fue cortada en 7 losas longitudinales (I, II, III, IV, V, VI y VII) de diferente grosor (ver Figura 10). Las losas II, V y VI fueron radiografiadas 2 veces cada una con focos distintos (uno a aproximadamente a 7 cm de la base y el otro foco a aproximadamente 7 cm del tope) para poder determinar las estructuras y la secuencia estratigráfica del testigo. A partir de las radiografías de la losa VI se construyó un modelo de muestreo de acuerdo a la estratigrafía con el cual se realizó el submuestreo a la losa VI para el conteo de restos ictiológicos. El modelo consiste en una hoja plástica transparente sobre la cual se calcaron las estructuras sedimentarias observadas en la radiografía. Cada submuestra está comprendida preferentemente desde la base de una lámina oscura hasta el tope de una lámina clara en la radiografía. Si una estructura excedía 0.6 cm fue subdividida equitativamente en muestras

más delgadas. En los intervalos en los cuales no se distinguen láminas o estructuras claras en la radiografía se estableció un grosor de 0.5 cm aproximadamente para determinar la submuestra. El modelo construido fue colocado sobre la losa VI de cada sección para realizar el submuestreo. La Figura 10 muestra un esquema de un testigo de caja dividido en secciones y losas, y el procedimiento para el submuestreo.

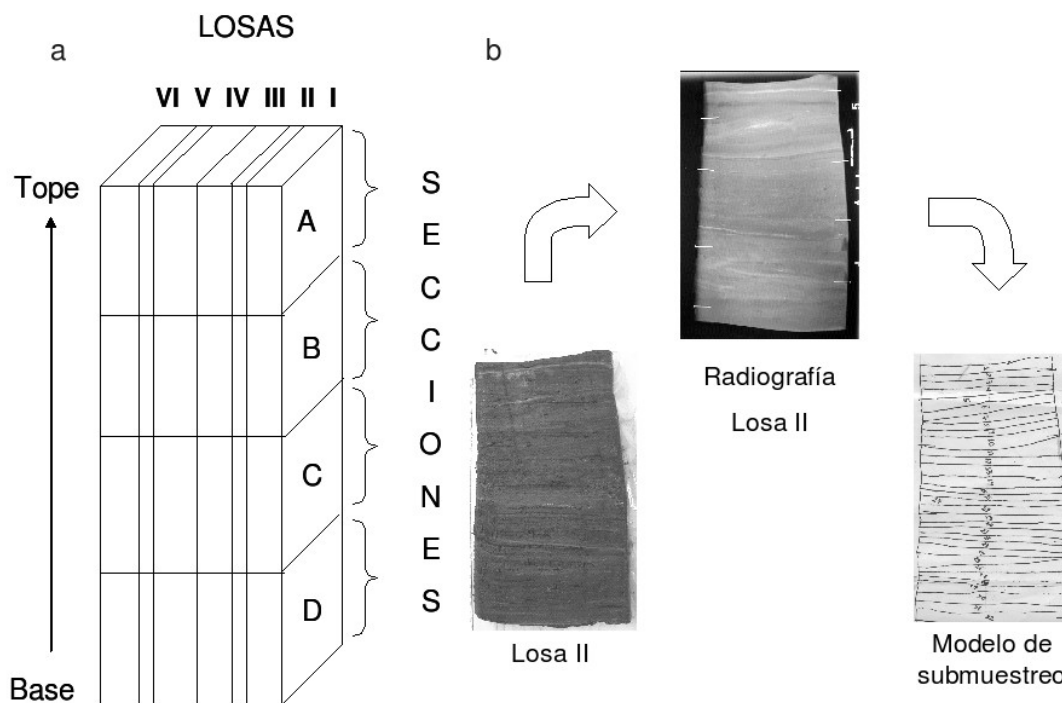


Figura 10. Procedimiento de submuestreo de un testigo de caja. a) Esquema de un testigo de caja dividido en secciones (A, B, C y D) y losas I, II, III, IV, V y VI. b) Diagrama que muestra el procedimiento seguido para el submuestreo de las losas. Las losas II y V tienen un espesor aproximado de 1cm mientras que las otras losas tienen un espesor de aproximado de 2 cm.

Cada submuestra fue pesada, colocada en una bolsa transparente y refrigerada hasta el momento en que fue procesada. Las submuestras fueron llevadas a un vaso de precipitación utilizando agua destilada, se calentaron en baño maría por 5 minutos, se agregaron 30 ml de una solución de peróxido de hidrógeno al 35%, agua destilada y pirofosfato de sodio, se calentaron por 5 minutos más y luego fueron tamizadas utilizando mallas de 155 y 350 micras. Los restos retenidos en el tamiz de 350 micras fueron utilizados para el conteo de escamas y otros restos de peces (vértebras, espinas y otros restos óseos).

### III.3 Análisis

#### III.3.1 Definición de las estructuras y estratigrafía de los testigos

Las radiografías de las losas presentaron muchas irregularidades debido a la calidad de las radiografías y una tendencia en la intensidad de los Rayos X. Se generó una escala de grises en cada losa utilizando el programa ImageJ (programa disponible en internet <http://rsb.info.nih.gov/ij/>) restando la tendencia (a partir de una regresión lineal) a los datos originales y sumándole un valor de 50 para tener valores positivos. Las radiografías fueron procesadas con el programa de procesamiento de imágenes GIMP (GNU Image Manipulation Program, programa disponible en internet <http://www.gimp.org/>). A cada imagen se le mejoró el contraste y el brillo hasta revelar al grado posible las láminas y las diferentes estructuras que se observaban difusas en las radiografías. Cada radiografía se imprimió en positivo y a partir de las impresiones y utilizando la escala de grises y el porcentaje de humedad de las muestras se identificaron las secuencias de láminas y estructuras a lo largo de los testigos. Se definió como paquete estratigráfico a un conjunto de láminas o estructuras con un inicio y final claramente distinguible en 2 o más testigos. La cronología preliminar se obtuvo a partir de un cálculo aproximado de la tasa de depositación para los testigos B0506-13 y B0506-14 en base a la fecha reportada para el cambio sedimentológico (Gutiérrez et al., 2006b). El cambio sedimentológico fue observado en los dos testigos por lo que en base a la profundidad de este cambio se estimó la tasa de depositación.

#### III.3.2 Estimación de las abundancias de escamas y otros restos óseos

Las escamas fueron identificadas utilizando un catálogo de referencia de escamas confeccionado en el IMARPE y con un catálogo de escamas del laboratorio de Paleocéanografía del CICESE. Los tipos de las escamas de anchoveta y sardina fueron identificadas utilizando la nomenclatura propuesta por Shackleton y Johnson (1988) y modificada para la anchoveta y sardina que habitan en el ecosistema de afloramiento

peruano (Salvatteci et al., 2004).

Se utilizó el siguiente protocolo para el conteo de escamas:

- a) Las escamas que presenten los dos campos laterales (izquierdo y derecho), incluyendo el foco o zona de crecimiento fueron contadas como 1 escama entera y se denominaron "Completas" (Figura 11a)
- b) Las escamas que presenten un campo lateral e incluyan el foco, fueron contadas como 1 escamas entera y se denominaron "Incompletas" (Figura 11b)
- c) Las escamas que solo presentaron el foco o zona de crecimiento fueron contadas como 1 escama entera y se denominaron "Solo centro" (Figura 11c)
- d) Las escamas que presenten la mitad o menos e incluyan la mitad del foco serán contadas como 0.5 escama, considerando que esta escama no es un resto de b) ni de c) (Figura 11d).
- e) El resto de escamas encontradas en la muestra que no cumplieron con las características arriba mencionadas fueron contadas como fragmentos.

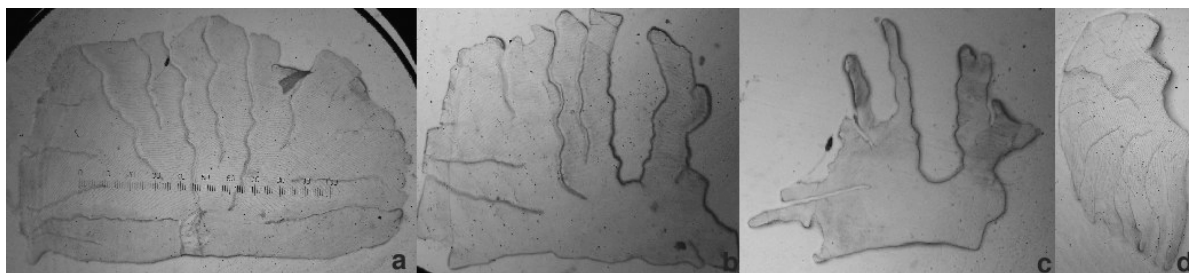


Figura 11. Escamas de anchoveta enteras y mitad de una escama. a) escama entera considerada completa b) escama entera considerada incompleta, c) escama entera considerada solo centro y d) Mitad de escama.

Los restos óseos fueron clasificados en vértebras, espinas y otros restos óseos. Únicamente las vértebras de anchoveta fueron identificadas por especie comparando las vértebras colectadas en los sedimentos con vértebras de anchoveta de ejemplares frescos.

El número de escamas y restos óseos se dividieron entre el peso seco de cada muestra para normalizar los valores a número de escamas/g y de esta manera poder comparar los datos y desarrollar las series de depositación de los restos ictiológicos. Las series no fueron

convertidas a tasas de depositación por la falta de una cronología. El desarrollo de la cronología para los dos testigos (B0506-13 y B0506-14) está todavía en proceso como parte del proyecto de PALEOPECES.

### III.3.3 Determinación de la degradación/preservación

#### *Índice de cobertura de hongos*

Cada escama identificada, medida y considerada como una escama entera o media escama fue calificada de acuerdo al porcentaje de su superficie cubierta por hongos. Las escamas en cuya superficie no se observaron hongos fueron calificadas como 1, las escamas que presentaron hongos hasta el 33% de su superficie fueron calificadas como 2, las escamas que presentaron hongos entre el 34 y 66% fueron calificadas como 3 y finalmente las escamas que presentaron hongos entre el 67% al 100% fueron calificadas como 4. La Figura 12 muestra 3 escamas de anchoveta con los distintos niveles de cobertura de hongos. Se calculó un índice de cobertura de hongos para cada muestra a través de un promedio ponderado al número de escamas.

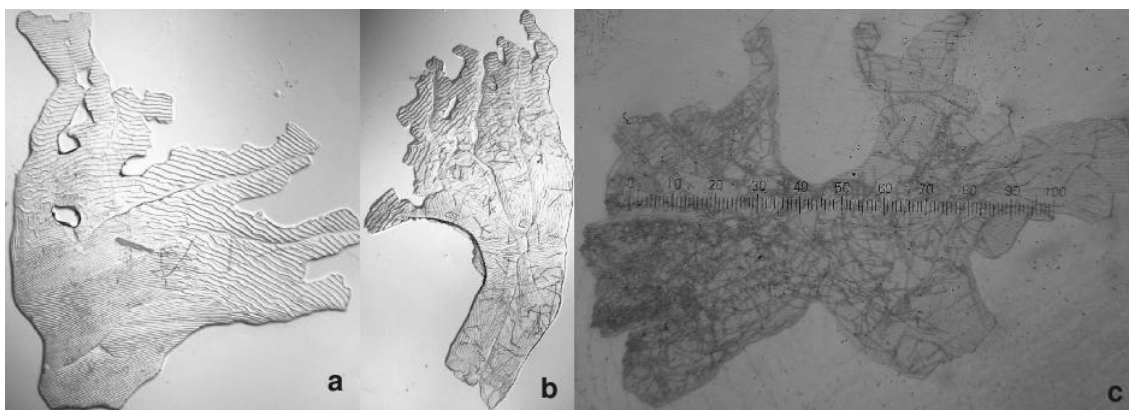


Figura 12. Escamas de anchoveta con presencia de hongos sobre la superficie de la escama (entre paréntesis el grado de cobertura de hongos). a) media escama de anchoveta (2), b) media escama de anchoveta (3), y c) escama de anchoveta entera del tipo solo centro (4).

### *Índice de integridad de las escamas enteras*

Cada escama identificada considerada como escama entera fue calificada del 1 al 3 de acuerdo a la integridad del área total de la escama. Las escamas que presentaron los dos bordes (completas) fueron calificadas como 1, las escamas que presentaron solo un borde (incompletas) fueron calificadas como 2 y finalmente las escamas que no presentaron los dos bordes (solo centro) fueron calificadas como 3. Se calculó un índice de integridad para cada muestra a través de un promedio ponderado al número de escamas.

### *Cálculo del índice de degradación compuesto*

En la sección D de ambos testigos además de la integridad de las escamas de anchoveta y el grado de cobertura por hongos se consideraron otras características que podrían sugerir degradación de escamas:

- \* Escamas con coloración muy amarillenta
- \* Presencia de fisuras distintas a los hongos
- \* Ausencia de la capa orgánica en parte de la superficie de la escama
- \* Escamas blandas sin consistencia
- \* Escamas enrolladas en forma tubo, muy delicadas, se fragmentan al desenrollarlas
- \* Presencia de hoyos en las escamas

Cada característica presente en la escama aumentaba un punto el índice de degradación compuesto de cada escama, por ejemplo si una escama presentaba hongos, ausencia de capa orgánica y hoyos le correspondía un grado de degradación 4.

### *Razón escamas/restos óseos*

Se calcularon las razones de escamas totales entre espinas y huesos, escamas totales entre vértebras, escamas totales entre todos los restos óseos (vértebras, espinas y huesos) y escamas de anchoveta entre vértebras de anchoveta. Algunas muestras presentaron elevadas

abundancias de espinas y otros restos óseos que sugieren la presencia del cuerpo entero o casi entero de un pez. Las abundancias de espinas y restos óseos fueron reemplazados por el promedio + 2 desviaciones estándar para calcular las razones escamas/restos óseos. Altos valores en las razones escamas/restos óseos nos indicaría una buena preservación de las escamas suponiendo que los restos óseos sufren un proceso de degradación más lento.

*Comparación de las abundancias de restos óseos, de las razones y de los índices de degradación en los testigos y entre los testigos*

En cada paquete estratigráfico establecido a partir de la correlación estratigráfica entre los testigos y en cada grupo de 10 muestras se calcularon las abundancias de restos óseos, las razones y los posibles índices de degradación como si fueran una sola muestra. Para probar si existen diferencias significativas entre los dos testigos y entre los periodos después y antes del cambio sedimentológico se realizó una prueba (no paramétrica) U de Mann-Whitney.

#### III.3.4 Determinación del efecto de la pesquería en las escamas y restos óseos

Cada escama entera considerada como escama completa fue medida. Se realizó una prueba U de Mann-Whitney para determinar si el ancho promedio de las escamas enteras completas del tipo X fueron estadísticamente menores después de que la pesquería estuvo plenamente desarrollada (aproximadamente 1965). Suponemos una tasa de sedimentación constante en los dos testigos de 3 mm/año por lo tanto el año 1965 se encontraría a 12 centímetros de profundidad en los dos testigos analizados. En el testigo B0506-13 este período corresponde a las muestras 1 hasta la 9b y en el testigo B0506-14 de la muestra 1 a la 11c. La normalidad en los anchos de las escamas se probó mediante la prueba de normalidad de chi-cuadrada ( $X^2$ ) y de Kolmogorov-Smirnov disponible en el paquete estadístico STATISTICA (Statsoft, 2005). Para determinar si hay algún cambio en el tipo de escama antes y después de la pesquería se construyó una tabla de contingencia 2x2 (escamas tipo X vs el resto de escamas) y se realizó una prueba de  $X^2$ .



## IV. Resultados

### IV.1 Descripción y muestreo de los testigos

Las radiografías y las características sedimentológicas (el nivel de grises y el porcentaje de humedad) en los testigos B0506-13 y B0506-14 se muestran en la Figura 13. En ambos testigos la escala de grises muestra una relación inversa con el porcentaje de humedad. Se observa un cambio en el porcentaje de humedad y en el nivel de grises a los ~60 cm y ~63 cm de profundidad en los testigos B0506-13 y B0506-14 respectivamente, siendo más notorio en el testigo más profundo. Por encima de este cambio sedimentológico se observa poca variabilidad en la escala de grises, altos valores en el porcentaje de humedad, zonas homogéneas y discordancias. Por debajo de esta profundidad la variabilidad en la escala de grises aumenta, el porcentaje de humedad es menor y se observan finas laminaciones.

Utilizando las radiografías de los testigos B0506-13 y B0506-14 se subdividieron los testigos en 114 y 101 niveles estratigráficos respectivamente. Algunos de estos niveles estratigráficos al ser mayores que 0.6 cm fueron divididos en muestras de espesor equivalentes resultando un total de 222 muestras en el testigo B0506-13 y 206 en el testigo B0506-14. El promedio (entre paréntesis  $\pm$  1 desviación estándar) del espesor de las muestras fue de 0.45 cm ( $\pm$  0.12) y 0.45 cm ( $\pm$  0.11) mientras que el promedio del peso húmedo de cada muestra fue de 25.52 g ( $\pm$  8.6) y 23.6 g ( $\pm$  8.37) en los testigos B0506-13 y B0506-14 respectivamente.

### IV.2 Correlación estratigráfica entre los testigos B0405-6, B0506-13 y B0506-14

La correlación estratigráfica entre los testigos B0405-6, B0506-13 y B0506-14 se muestra en la Figura 14. Se identificaron un total de 7 paquetes estratigráficos entre los testigos B0506-13 y B0506-14 y 4 de ellos (I, V, VI y VII) también estuvieron presentes en el testigo B0405-6. La ausencia de estructuras claras en el testigo B0405-6 por encima del paquete estratigráfico V dificulta la correlación en esta parte del testigo. En el testigo

B0405-6 la segunda sección fue colocada en esa posición debido a la presencia de un par de láminas oscuras que podrían corresponder al paquete estratigráfico II. La tercera sección del testigo B0405-6 fue colocada en esa posición porque los conteos de escamas en este testigo muestran en esta parte un cambio en las abundancias de escamas de anchoveta a sardina, cambio que también se observa en los testigos B0506-13 y B0506-14. Los espacios entre las radiografías en el testigo B0405-6 indicarían ausencia de material porque no hay evidencia en este testigo de laminaciones presentes en los otros dos testigos. El espacio entre las radiografías del testigo B0506-14 y B0405-6 entre ~72 y ~76 cm de profundidad corresponde a un depósito instantáneo observado en los tres testigos pero con un mayor espesor en el testigo B0506-13 (más cercano a la costa). El cambio sedimentológico reportado por Gutiérrez et al. (2006b) en el testigo B0405-6 coincide con el límite superior del paquete estratigráfico V, por lo tanto a esta profundidad le correspondería una fecha de aproximadamente 1820. Utilizando esta fecha, la tasa de sedimentación promedio en el periodo después del cambio sedimentológico es de 2.94 mm por año. Los paquetes estratigráficos en los testigos B0405-6, B0506-13 y B0506-14 por debajo del cambio sedimentológico ocurren a profundidades similares lo que sugiere una tasa de sedimentación parecida. El testigo B0506-14 presenta aparentemente una mayor continuidad en el registro. Se observa por ejemplo en el testigo B0506-14 que entre los paquetes VI y VII hay una serie de laminaciones no observadas en el testigo B0506-13 pero sí en el testigo B0405-6.

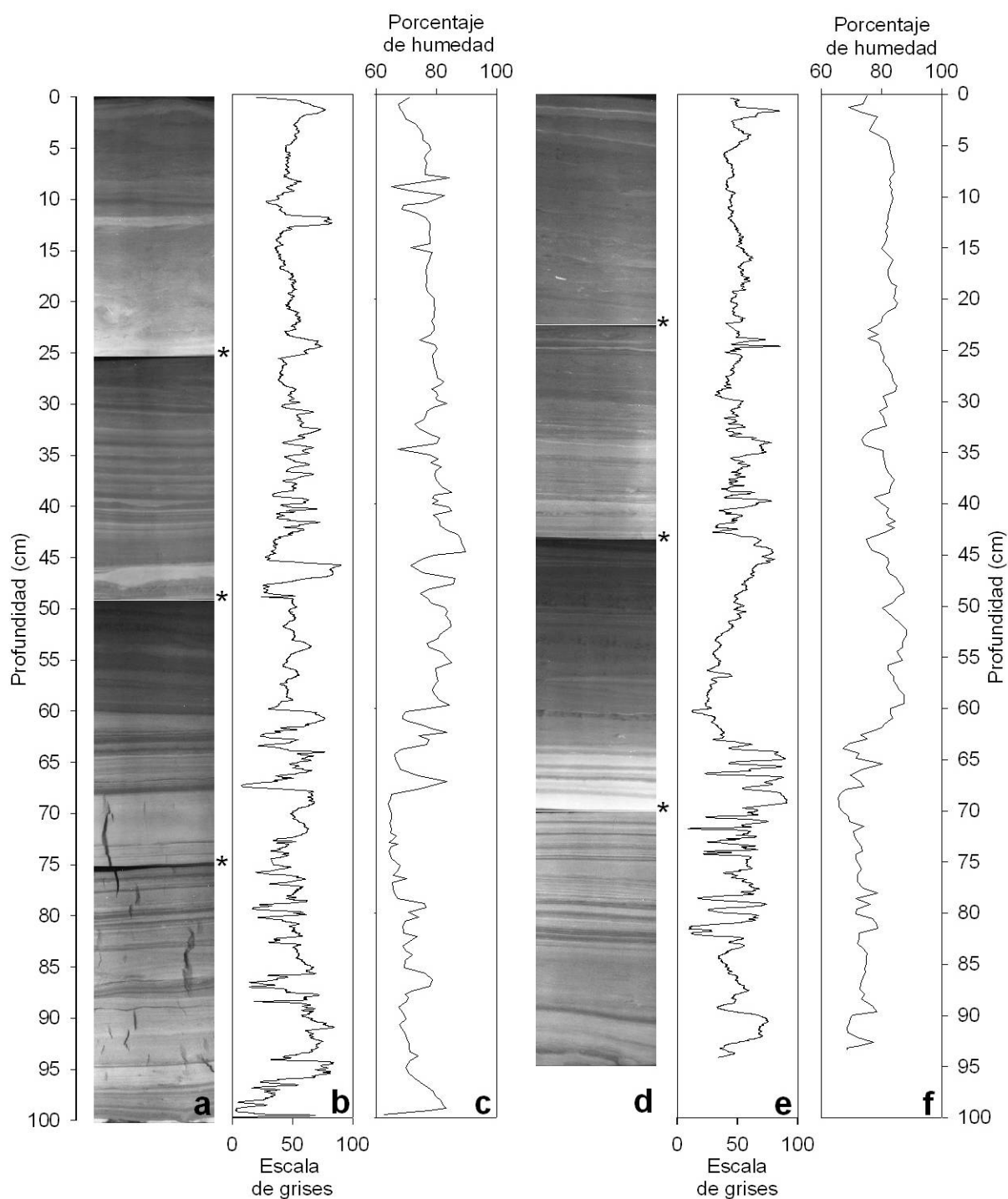


Figura 13. Características sedimentológicas de los testigos de caja B0506-13 y B0506-14. a) Radiografía del testigo B0506-13, b) escala de grises en el testigo B0506-13, c) porcentaje de humedad en el testigo B0506-13, d) radiografía del testigo B0506-14, e) escala de grises en el testigo B0506-14 y f) porcentaje de humedad en el testigo B0506-14. Los asteriscos al lado derecho de cada radiografía indican el límite entre cada losa. Las unidades de la escala de grises son arbitrarias.

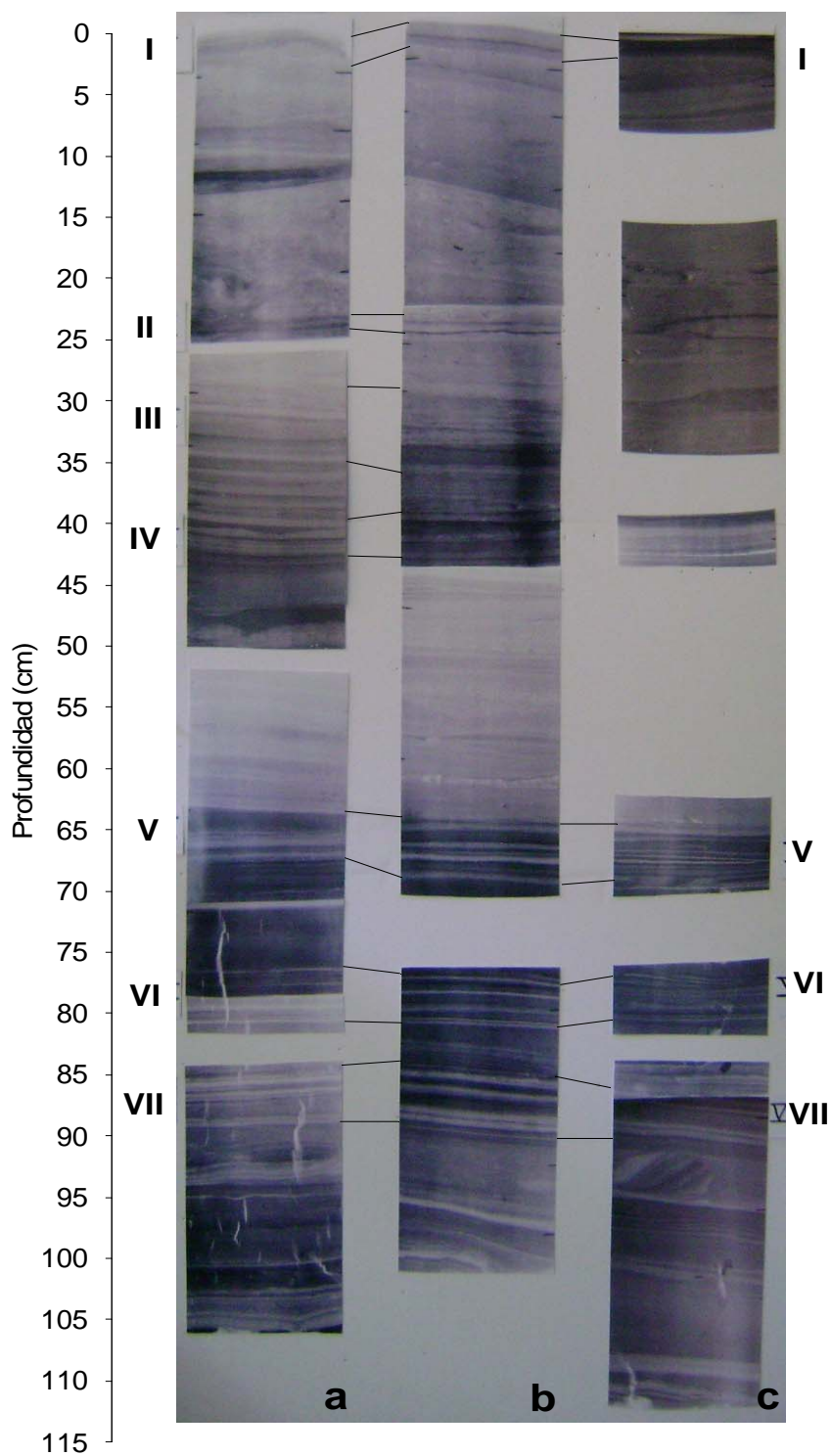


Figura 14. Correlación estratigráfica entre los testigos de caja B0506-13 (a), B0506-14 (b) y B0405-6 (c). Los números romanos indican los paquetes estratigráficos y las líneas que une a los testigos indican el inicio y el fin de cada paquete. El inicio del paquete estratigráfico V coincide con el cambio sedimentológico y biogeoquímico reportado por Gutiérrez et al. (2006b).

### IV.3 Abundancia de restos ictiológicos

#### IV.3.1 Abundancias de escamas y restos óseos

##### *Testigo B0506-13*

Las abundancias de restos ictiológicos en el testigo B0506-13 muestran una gran variabilidad a lo largo del testigo tanto entre muestras como entre secciones del testigo. La Figura 15 muestra las abundancias de escamas, fragmentos de escamas, vértebras, espinas y huesos entre el peso seco. Se observan altos valores en los primeros ~40 cm y bajos valores o nulos después de esta profundidad, con excepción de dos niveles: el primero entre ~56 a ~68 cm y el segundo entre ~95 cm hasta la base. La Tabla I muestra los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de los conteos generales en el testigo B0405-13, en donde se observa que las abundancias de escamas y fragmentos de escamas se encuentran altamente asociados entre si ( $r^2 = 0.673$ ,  $n = 222$ ,  $p < 0.05$  ver Tabla I).

Las vértebras son los restos ictiológicos menos abundantes en los sedimentos por lo que es frecuente la ausencia de vértebras en algunas muestras. Las abundancias de vértebras a lo largo del testigo B0506-13 muestran un patrón no tan similar a las abundancias de escamas y otros restos óseos. Se observa un segmento de bajos o nulos conteos en los primeros ~21 cm, un segmento de altas abundancias entre ~21 a ~67 cm (sin embargo algunas muestras no presentan vértebras), un segmento caracterizado por ausencia de vértebras desde los ~67 hasta los ~73 cm y desde los ~73 cm hasta la base del testigo un aumento en las abundancias de vértebras (pero con valores menores que entre ~21 a ~67 cm). Las abundancias de espinas y otros huesos se encuentran altamente asociados entre si ( $r^2 = 0.63$ ,  $n = 222$ ,  $p < 0.05$ ) y muestran un patrón similar a las abundancias de escamas y fragmentos con excepción de un periodo de bajos o nulos valores de huesos y espinas en los primeros ~12 cm.

Tabla I. Coeficientes de determinación ( $r^2$ ) entre los conteos generales de restos ictiológicos en el testigo B0506-13.

	Escamas	Fragmentos	Vértebras	Espinas	Huesos
Escamas	-				
Fragmentos	0.673*	-			
Vértebras	0.035*	0.032*	-		
Espinas	0.165*	0.481*	0.190*	-	
Huesos	0.217*	0.436*	0.128*	0.631*	-

\*  $p < 0.05$

#### *Testigo B0506-14*

Las abundancias de restos ictiológicos en el testigo B0506-14 a lo largo del testigo son similares al testigo B0506-13 pero con valores ligeramente mayores (Figura 15). Al igual que en el testigo B0506-13, las abundancias de escamas y fragmentos de escamas también se encuentran altamente asociados ( $r^2 = 0.78$ ,  $n = 206$ ,  $p < 0.05$ , ver Tabla II) y muestran altos valores en los primeros ~42.5 cm, bajos valores o nulos entre ~42.5 y ~55 cm, y un periodo de menor abundancia entre ~55 cm y la base del testigo.

Al igual que en el testigo B0506-13 las vértebras son los restos ictiológicos menos abundantes por lo que en algunas muestras no se encontraron vértebras. Las abundancias de vértebras a lo largo del testigo muestran una gran variabilidad y en comparación con el testigo B0506-13 en este testigo se observan vértebras en los primeros centímetros del testigo y no se observan largos intervalos con bajas o nulas abundancias. Las abundancias de espinas y otros huesos muestran una gran variabilidad y se encuentran altamente asociados ( $r^2 = 0.567$ ,  $n = 206$ ,  $p < 0.05$ ). Las abundancias de espinas y otros huesos a lo largo del testigo muestran altos valores entre el tope del testigo y ~42 cm, bajos o nulos valores entre ~42.5 y ~57.5 cm y un periodo de altas abundancias entre ~57.5 cm y la base del testigo

Tabla II. Coeficientes de determinación ( $r^2$ ) entre los conteos generales de restos ictiológicos en el testigo B0506-14.

	Escamas	Fragmentos	Vértebras	Espinas	Huesos
Escamas	-				
Fragmentos	0.781*	-			
Vértebras	0.069*	0.056*	-		
Espinas	0.181*	0.238*	0.121*	-	
Huesos	0.178*	0.257*	0.151*	0.567*	-

\*  $p < 0.05$

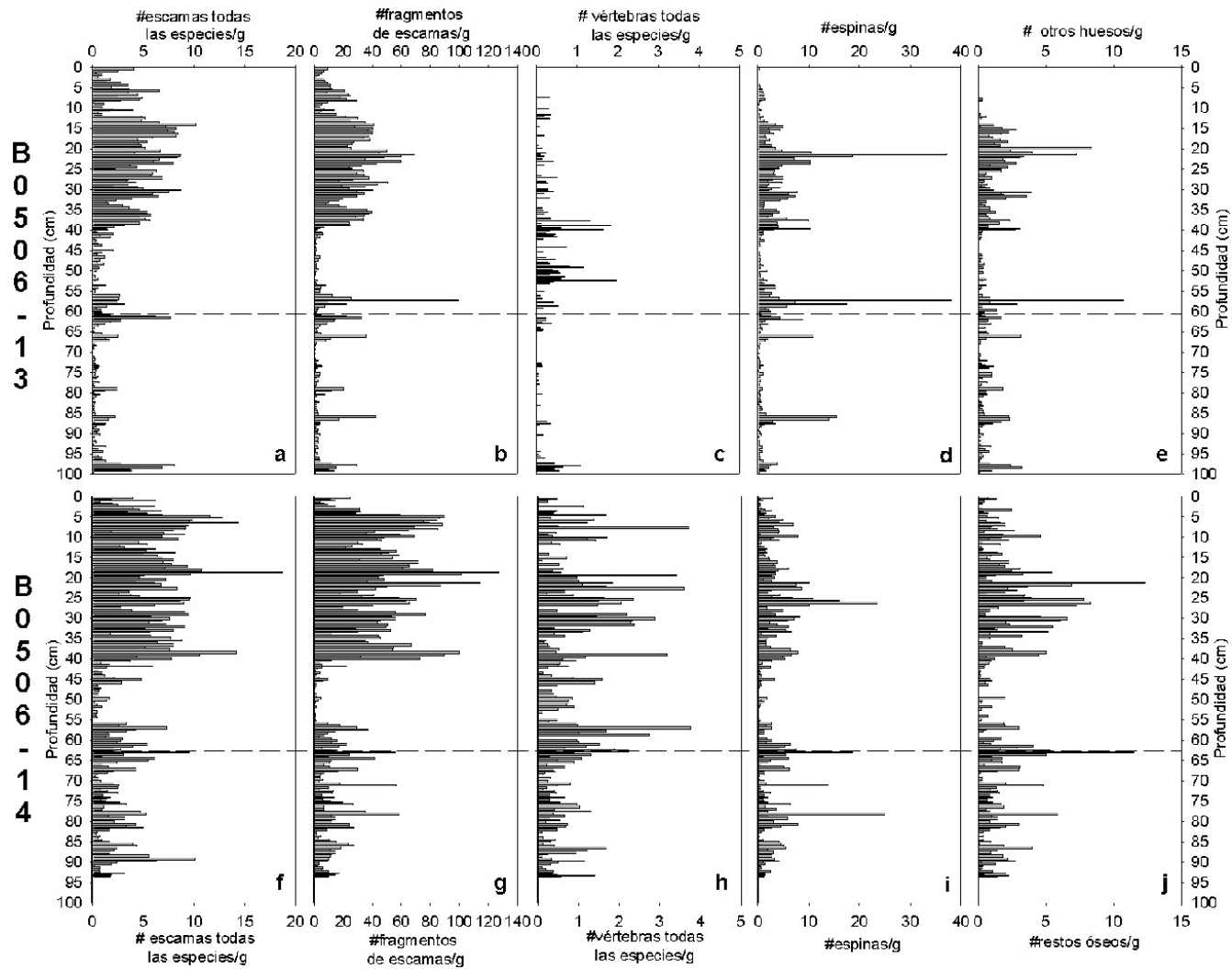


Figura 15. Abundancias generales de restos ictiológicos en los testigos de caja B0506-13 (arriba) y B0506-14 (abajo) normalizados por peso seco. a) y f) conteos de las escamas sin distinguir especies, b) y g) conteos de fragmentos de escamas, c) y h) conteos de vértebras sin distinguir especies, d) y i) conteos de espinas y e) y j) conteos de otros huesos. La línea discontinua representa el cambio sedimentológico y biogeoquímico reportado por Gutiérrez et al. (2006b).

### IV.3.2 Abundancia de escamas

#### IV.3.2.1 Abundancia de escamas por especie

Las escamas de anchoveta comprenden la mayoría de escamas en los dos testigos (ver Tabla III), la especie de segunda mayor abundancia es la merluza seguida por sardina y otras especies. La Tabla III también muestra los conteos de escamas enteras, de mitades de escama, la suma del total de escamas y el porcentaje de escamas por especie. La abundancia de escamas enteras de anchoveta es similar en los dos testigos sin embargo las mitades de escamas es 85% mayor en el testigo B0506-14.

Tabla III. Abundancias de escamas enteras y mitades de escamas, suma de escamas enteras y mitades y porcentaje de escamas por especie en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14.

Especie	B0506-13				B0506-14			
	Escamas enteras	Mitades de escamas	Escamas enteras + mitades	Porcentaje de escamas por especie	Escamas enteras	Mitades de escamas	Escamas enteras + mitades	Porcentaje de escamas por especie
<i>Engraulis ringens</i>	1646	1685	2488.5	84.03	1691	3115	3248.5	86.43
<i>Merluccius gayi peruvianus</i>	194	19	203.5	6.87	183	58	212	5.64
<i>Sardinops sagax sagax</i>	35	10	40	1.35	43	27	56.5	1.5
<i>Trachurus picturatus murphyi</i>	30	0	30	1.01	27	0	27	0.72
<i>Scomber japonicus</i>	4	0	4	0.14	22	0	22	0.59
<i>Cololabis saira</i>	3	0	3	0.1	5	0	5	0.13
Mictófidios	83	7	86.5	2.92	94	0	94	2.5
Otras especies y no identificadas	99	14	106	3.58	85	17	93.5	2.49
Total	2094	1735	2961.5	100	2150	3217	3758.5	100

La Figura 16 muestra las abundancias de escamas de anchoveta, merluza, sardina, jurel, caballa, agujilla (*Cololabis saira*), mictófidios y escamas de otras especies y no identificadas entre el peso seco de cada muestra a lo largo del testigo B0506-13. Las abundancias de escamas de anchoveta muestran un periodo con altos valores entre el tope del testigo y ~40 cm de profundidad (con una ligera disminución cerca de la superficie), ausencia o bajos valores entre ~40 y ~56 cm, un segundo periodo con altos valores entre ~56 y ~68 cm, ausencia o bajos valores entre ~68 y ~95 cm y finalmente un ligero aumento desde ~95 cm hasta la base del testigo. Las escamas de merluza no están presentes en todas las muestras y se observa una gran disminución en los conteos de escamas desde ~46 hasta ~86 cm de profundidad. Se observan escamas de sardina esporádicamente en los



primeros ~13 cm y en la base del testigo, sin embargo se observa un periodo de abundancia de escamas de sardina casi continua entre ~36 y ~49 cm. Las escamas de jurel, caballa y agujilla son escasas y se observan esporádicamente en los primeros ~22 cm y también entre ~37.5 y ~57.5. Las escamas de mictófidios se observan a lo largo del registro con excepción de un periodo entre ~66 y 89 cm de profundidad.

En el testigo B0506-14 las abundancias de escamas de anchoveta muestran un periodo con altos valores entre el tope del testigo y ~42 cm, ausencia o bajos valores entre ~42 y ~55 cm y un segundo periodo de altos valores entre ~55 cm hasta la base del testigo aunque con valores menores en comparación con el primer periodo de alta abundancia (ver Figura 17). Las escamas de merluza no están presentes en todas las muestras y se observa una ausencia de escamas de merluza entre ~4 hasta ~21 cm de profundidad. Se observan escamas de sardina en los primeros ~4 cm y entre ~38 a ~50 cm, en el resto del testigo solo se observan escamas de sardina en 6 muestras. Las escamas de jurel, caballa y agujilla son más abundantes en comparación al testigo B0506-13 y la mayoría de escamas de jurel y caballa se encuentran entre ~38 a ~50 cm, profundidad a la cual también se observa una abundancia de escamas de sardina. Las escamas de mictófidios se observan a lo largo del registro con excepción de dos periodos, el primero entre ~47 a ~56 cm y el segundo entre ~68 y ~82 cm de profundidad (con excepción de una muestra).

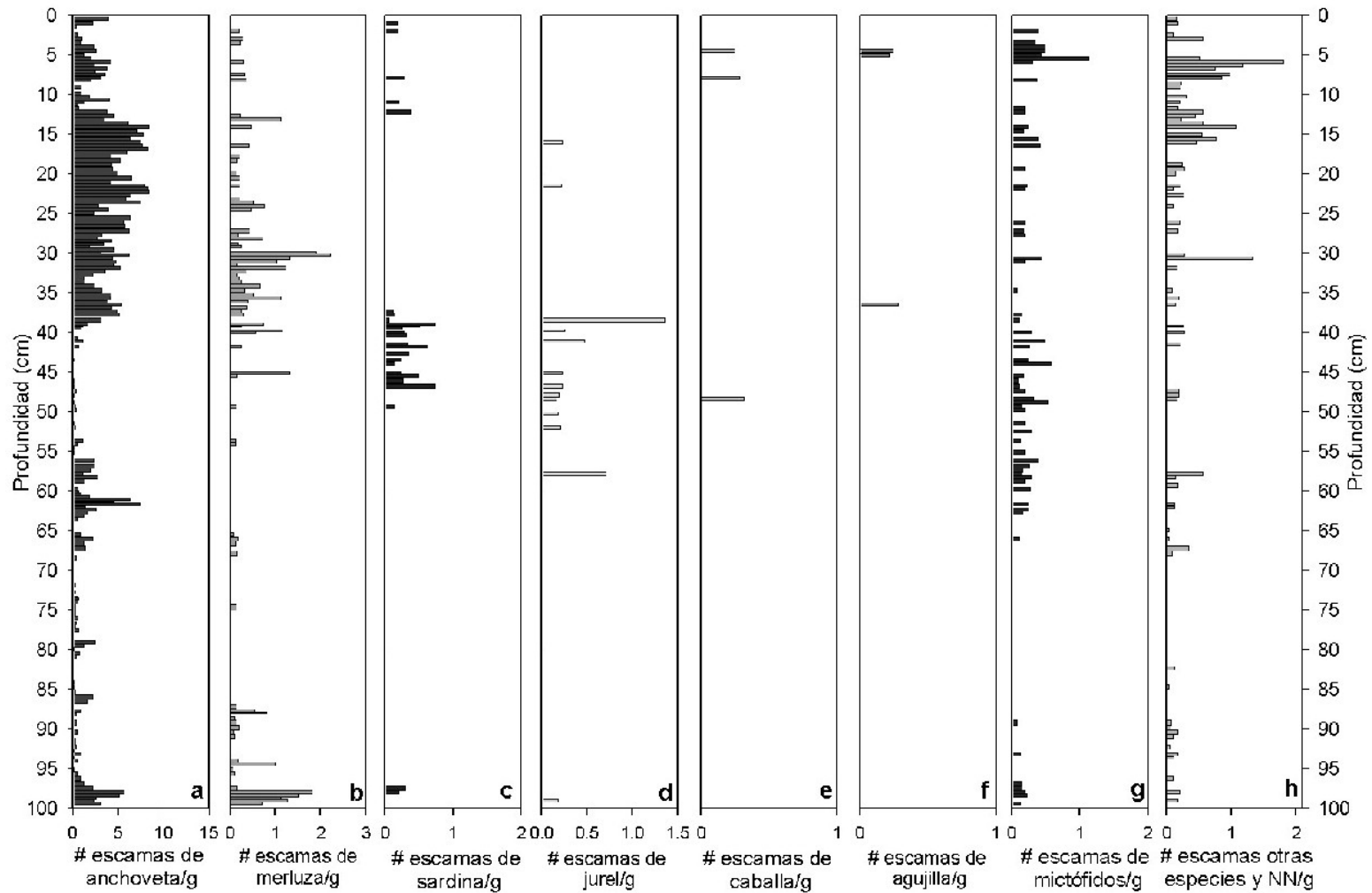


Figura 16. Abundancias de escamas identificadas por especie normalizadas por peso seco en el testigo B0506-13. a) anchoveta peruana (*Engraulis ringens*), b) merluza peruana (*Merluccius gayi peruvianus*), c) Sardina (*Sardinops sagax sagax*), d) Jurel (*Trachurus picturatus murphyi*), e) caballa (*Scomber japonicus*), f) Agujilla (*Cololabis saira*), g) Mictófidos y h) Otras especies y escamas sin identificar.

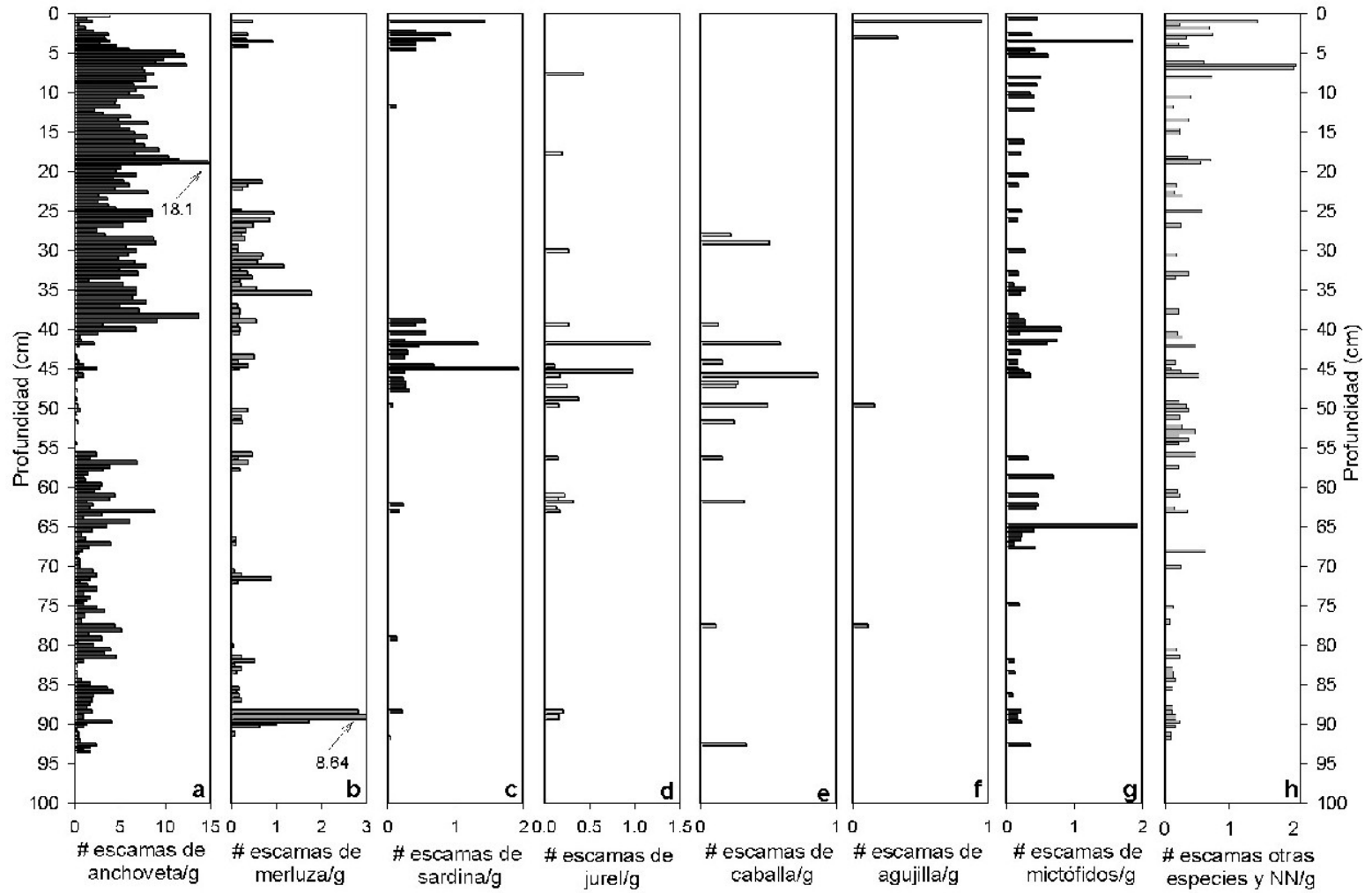


Figura 17. Abundancias de escamas identificadas por especie normalizadas por peso seco en el testigo B0506-14. a) anchoveta peruana (*Engraulis ringens*), b) merluza peruana (*Merluccius gayi peruvianus*), c) Sardina (*Sardinops sagax sagax*), d) Jurel (*Trachurus picturatus murphyi*), e) caballa (*Scomber japonicus*), f) Agujilla (*Cololabis saira*), g) Mictófidos y h) Otras especies y escamas sin identificar.

### IV.3.2.2. Tipos de escamas de anchoveta

La Tabla IV muestra el número y porcentaje de escamas de anchoveta presentes en los testigos B0506-13 y B0506-14 de acuerdo al tipo de escama en las escamas completas y en las mitades de escamas. La mayoría de escamas de anchoveta enteras identificadas en los testigos B0506-13 y B0506-14 correspondieron a las escamas tipo X. El testigo B0506-14 presenta un mayor porcentaje de escamas tipo X en comparación con el B0506-13 pero no son estadísticamente diferentes ( $X^2$ ,  $p = 0.285$ ). En ambos testigos el porcentaje de escamas tipo X en las mitades de escamas es considerablemente menor a las escamas enteras y las del tipo R aumentan. El testigo B0506-14 presenta un mayor porcentaje de mitades de escamas tipo X que el testigo B0506-13 pero no son estadísticamente diferentes ( $X^2$ ,  $p = 0.083$ ). La identificación del tipo de escama R, L y S en las mitades de escama es difícil porque muchas veces es necesaria toda la escama para una correcta identificación. Un gran número de mitades de escamas no fueron identificadas por este problema.

Tabla IV. Número y porcentaje de escamas de anchoveta (*Engraulis ringens*) de acuerdo al tipo de escama en las escamas completas y en las mitades de escamas en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14.

Tipo de escama	B0506-13				B0506-14			
	Escamas enteras		Mitades de escamas		Escamas enteras		Mitades de escamas	
	Número de escamas	Porcentaje	Número de escamas	Porcentaje	Número de escamas	Porcentaje	Número de escamas	Porcentaje
X	1394	84.69	907	53.9	1517	89.71	2061	66.2
Y	143	8.69	46	2.7	116	6.86	67	2.2
R	102	6.2	559	33.2	52	3.08	704	22.6
L	1	0.06	1	0.1	1	0.06	53	1.7
S	2	0.12	22	1.3	1	0.06	57	1.8
NN	3	0.18	147	8.7	3	0.18	173	5.6
x min	1	0.06	0	0.0	1	0.06	0	0.0
t	0	0	2	0.1	0	0	0	0.0
Total	1646	100	1684	100	1691	100	3115	100

### IV.3.3 Abundancia de vértebras

Al igual que con las abundancias de escamas, el testigo B0506-14 presentó una mayor abundancia de vértebras que el testigo B0506-13. Sin embargo un gran porcentaje de las vértebras encontradas en los testigos no pudieron ser identificadas. En contraste con las

escamas, la mayoría de vértebras estaban enteras. El testigo B0506-14 presentó un mayor porcentaje de vértebras no identificadas (ver Tabla V).

Tabla V. Abundancia y porcentaje de vértebras enteras y mitades de anchoveta (*Engraulis ringens*) y no identificadas en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14.

Especie	B0506-13				B0506-14			
	Vértebras enteras		Mitades de vértebras		Vértebras enteras		Mitades de vértebras	
	Abundancia	%	Abundancia	%	Abundancia	%	Abundancia	%
Anchoveta	163	42.8	9	27.3	191	29.9	26	38.2
No identificadas	218	57.2	24	72.7	448	70.1	42	61.8
Total	381	100	33	100	639	100	68	100

En ambos testigos las vértebras no identificadas corresponden a unas vértebras pequeñas y delgadas mostradas en la Figura 18 b y c.

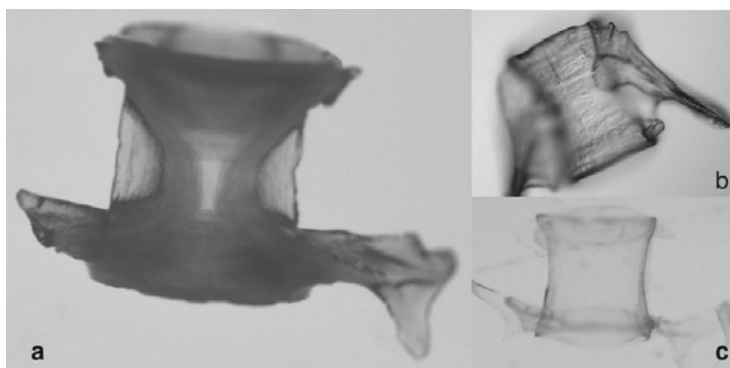


Figura 18. Vértebra de anchoveta y vértebras no identificadas. a) Vértebra de anchoveta tomada de un ejemplar reciente diámetro 1.2 mm, b) vértebra no identificada tomada de la muestra B0506-14 10g diámetro 0.6 mm, c) vértebra no identificada tomada de la muestra B0506-13 59b diámetro 0.6 mm.

La abundancia de vértebras de anchoveta a lo largo de los testigos muestran que entre ~40 y ~55 cm (ver Figura 19) hay una clara disminución de vértebras de anchoveta pero una mayor abundancia de vértebras no identificadas similares a las mostradas en la Figura 16c. Esta disminución de vértebras de anchoveta coincide con la ausencia o baja abundancia de escamas de anchoveta. Durante este periodo el número de vértebras no identificadas no disminuye. El testigo B0506-13 presenta una mayor disminución en la abundancia de vértebras en los primeros centímetros del registro en comparación con el testigo B0506-14. Por debajo del cambio sedimentológico no se observa una gran disminución en las abundancias de vértebras de anchoveta como si ocurre con las escamas de anchoveta.

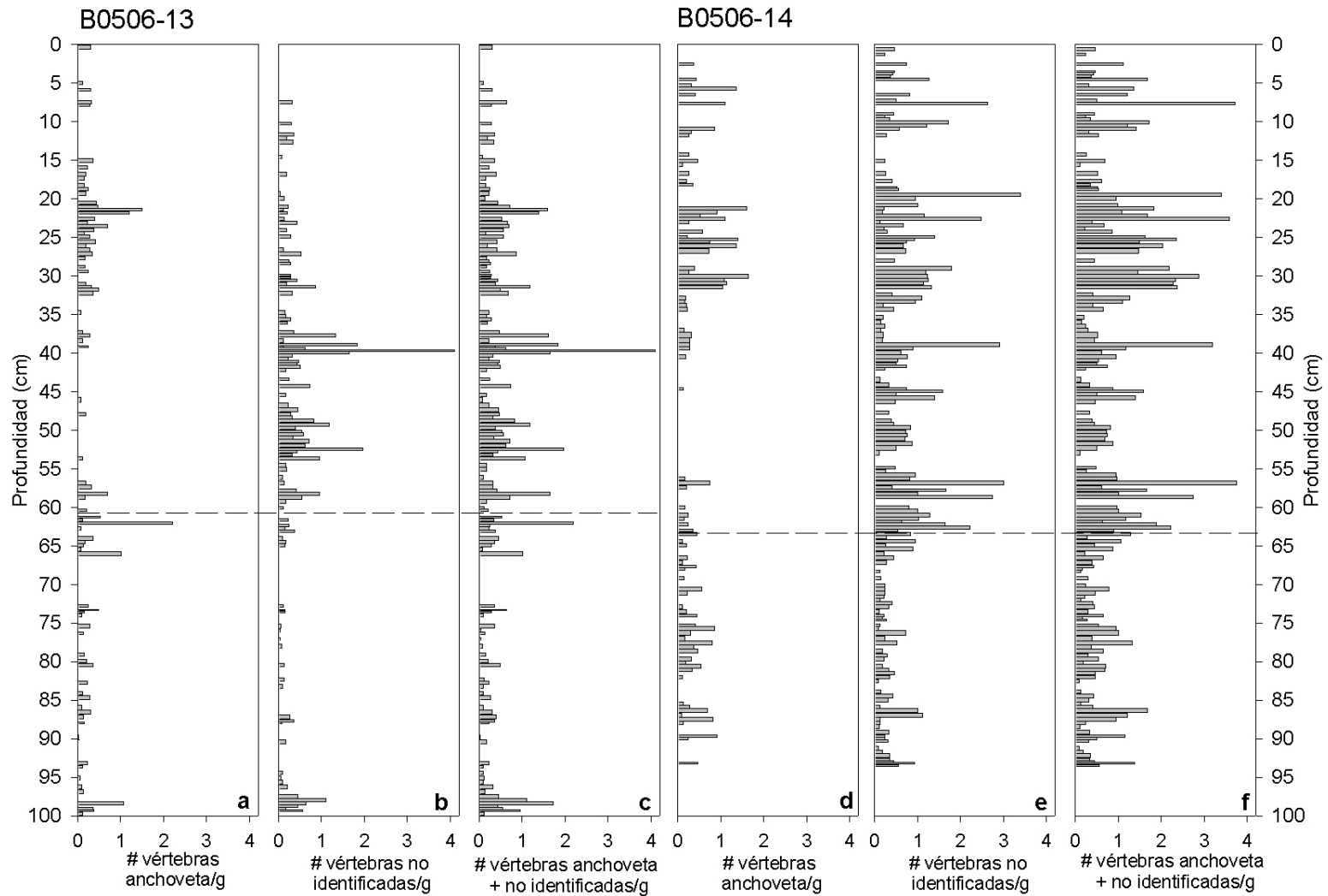


Figura 19. Abundancia de vértebras normalizadas por peso seco en los testigos de caja B0506-13 (a, b y c) y B0506-14 (d, e y f). a) abundancia de vértebras de anchoveta (n=167.5), b) abundancia de vértebras no identificadas (n=230), c) abundancia de vértebras de anchoveta y no identificadas (n=397.5), d) abundancia de vértebras de anchoveta (n=204), e) abundancia de vértebras no identificadas (n=469), f) abundancia de vértebras de anchoveta y no identificadas (n=673). La línea discontinua representa el cambio sedimentológico y biogeoquímico reportado por Gutiérrez et al. (2006b)

#### IV.4 Preservación/Degradación de escamas y restos óseos

##### IV.4.1 Índice de integridad de las escamas de anchoveta

La abundancia de escamas de anchoveta contadas como mitades, las escamas contadas como enteras (completas, incompletas y solo centro) y la abundancia de total de escamas de anchoveta enteras en los testigos B0506-13 y B0506-14 se muestran en la Figura 20. En el testigo B0506-13 se observa que la proporción entre escamas completas, incompletas y solo centro no es igual entre los periodos antes y después del cambio sedimentológico. Después del cambio sedimentológico el porcentaje de escamas completas, incompletas y solo centro es de 34.9, 53.3 y 11.9% respectivamente mientras que en el periodo antes del cambio sedimentológico el porcentaje es de 16.5, 46.4 y 37.1%. Existen diferencias significativas entre el porcentaje de escamas completas y la suma de las escamas incompletas y solo centro, después y antes del cambio sedimentológico ( $X^2$ ,  $p < 0.005$ ). En el testigo B0506-14 también se observa que la proporción entre escamas completas, incompletas y solo centro no es similar entre los periodos antes y después del cambio sedimentológico. Después del cambio sedimentológico el porcentaje de escamas completas, incompletas y solo centro es de 25.3, 54.5 y 20.2% respectivamente mientras que antes del cambio el porcentaje es de 9.7, 48.5 y 41.8%. Existen diferencias significativas entre el porcentaje de escamas completas después y antes del cambio sedimentológico ( $X^2$ ,  $p = 0.005$ ).

El índice de integridad de las escamas enteras de anchoveta a lo largo de los testigos B0506-13 y B0506-14 presenta un ligero aumento hacia la base del testigo causado por la mayor abundancia de escamas enteras solo centro (ver Figura. 21b y 22b). La baja abundancia de escamas de anchoveta antes del cambio sedimentológico esta asociada con un mayor índice de integridad de las escamas enteras de anchoveta lo que indica una menor preservación de las escamas.

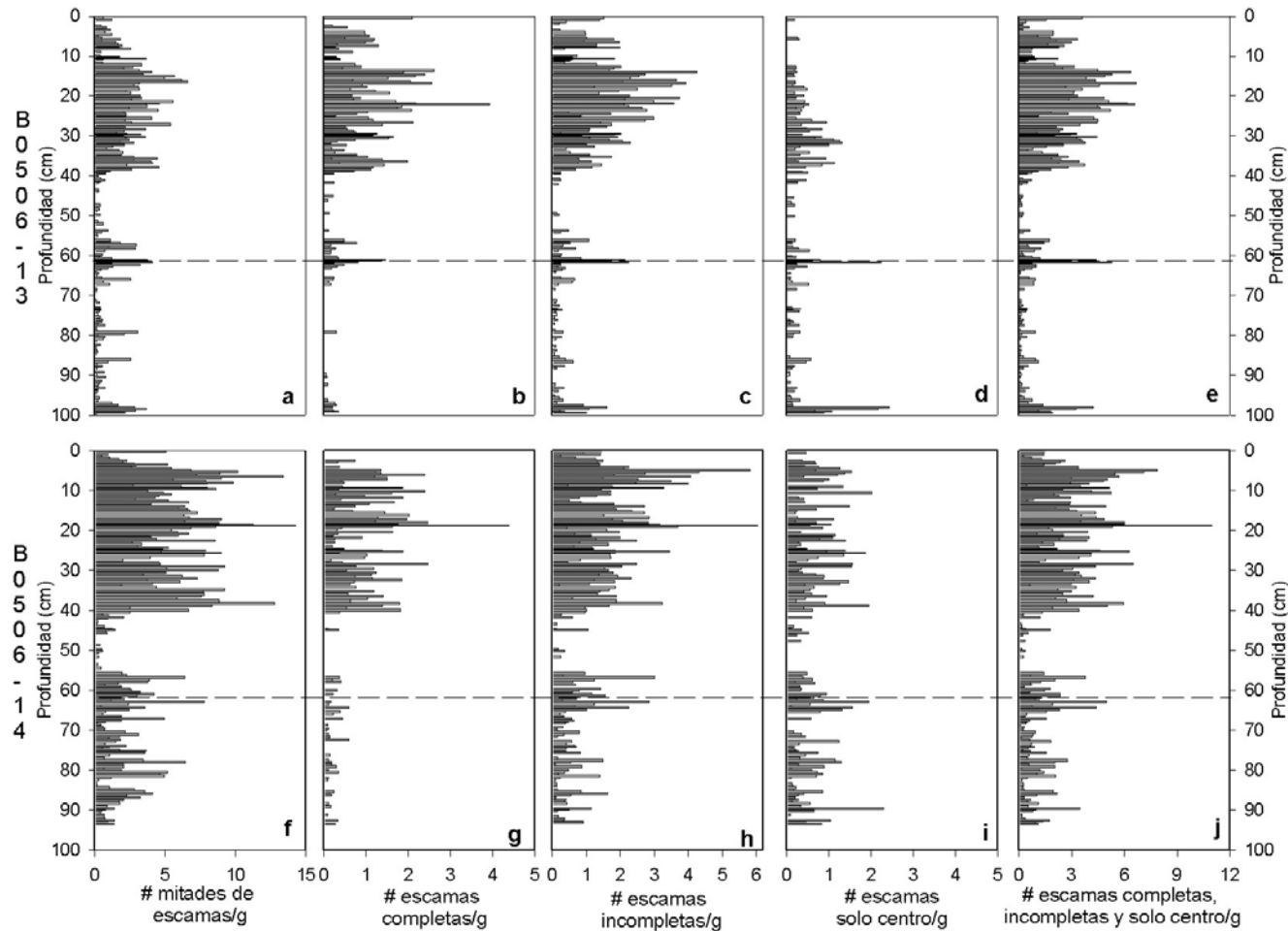


Figura 20. Abundancia de escamas de anchoveta normalizadas por peso seco en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14. a) mitades de escamas (n=1685), b) escamas enteras consideradas completas (n=511, 31.04%), c) escamas enteras consideradas incompletas (n=854, 51.88%), d) escamas enteras consideradas solo centro (n=281, 17.07%), e) sumatoria de las escamas consideradas enteras: completas, incompletas y solo centro (n=1646), f) mitades de escamas (n=3115), g) escamas enteras consideradas completas (n=354, 20.93%), h) escamas enteras consideradas incompletas (n=893, 52.81%), i) escamas enteras consideradas solo centro (n=444, 26.26%) y j) sumatoria de las escamas consideradas enteras: completas, incompletas y solo centro (n=1691). Entre paréntesis el número de escamas y el porcentaje de contribución al total de escamas enteras en cada testigo. La línea discontinua representa el cambio sedimentológico y biogeoquímico reportado por Gutiérrez et al. (2006b)



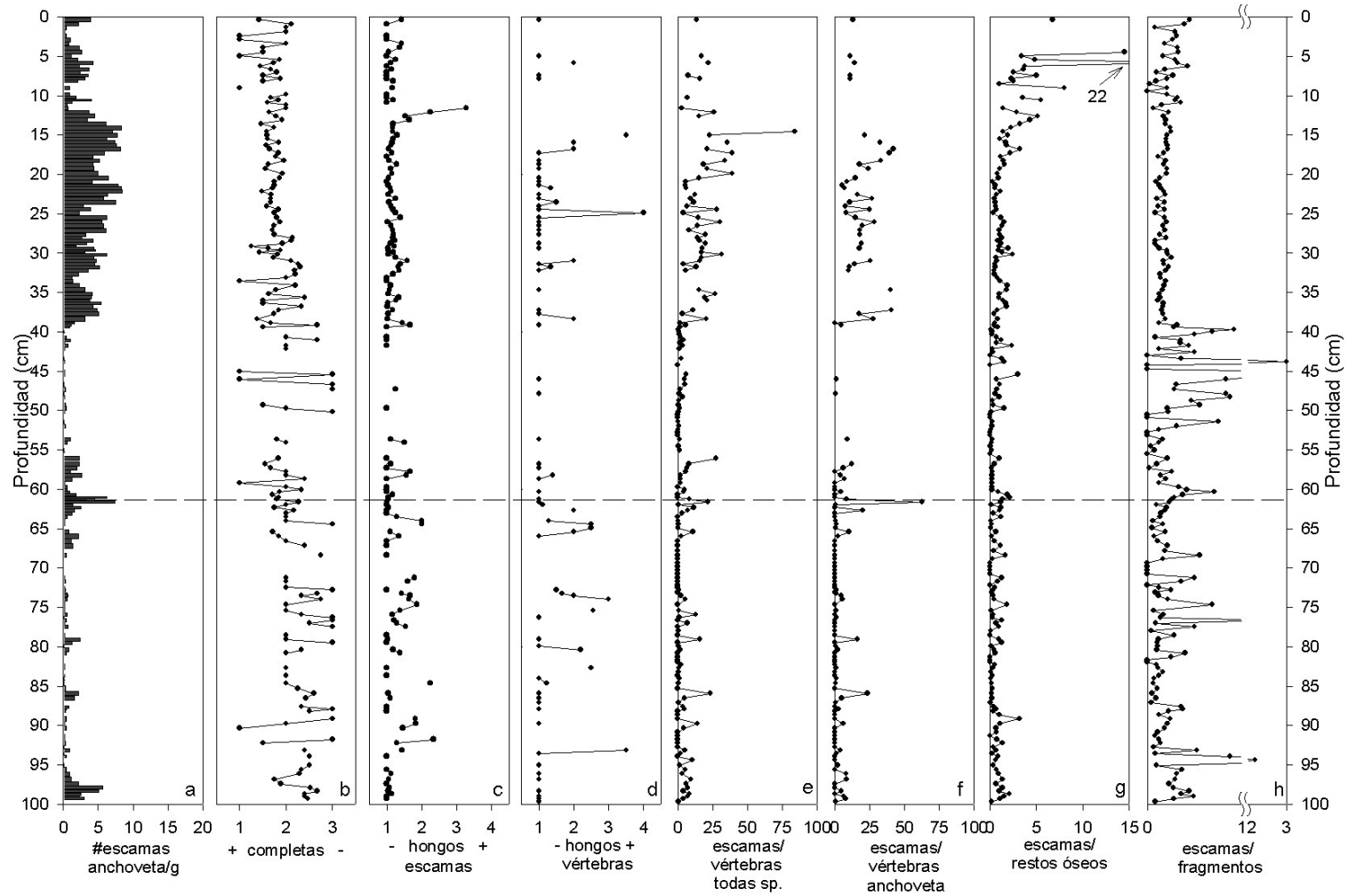


Figura 21. Abundancia de escamas de anchoveta y posibles índices de degradación en el testigo B0506-13. a) escamas de anchoveta, b) índice de integridad de escamas enteras de anchoveta, c) índice de cobertura de hongos sobre las escamas de anchoveta, d) índice de cobertura de hongos en las vértebras de anchoveta, e) razón escamas/ vértebras de todas las especies, f) razón escamas/ vértebras de anchoveta, g) razón escamas de todas las especies/ todos los restos óseos y h) razón escamas de todas las especies/fragmentos de escamas La línea discontinua representa el cambio sedimentológico y biogeoquímico reportado por Gutiérrez et al. (2006b)

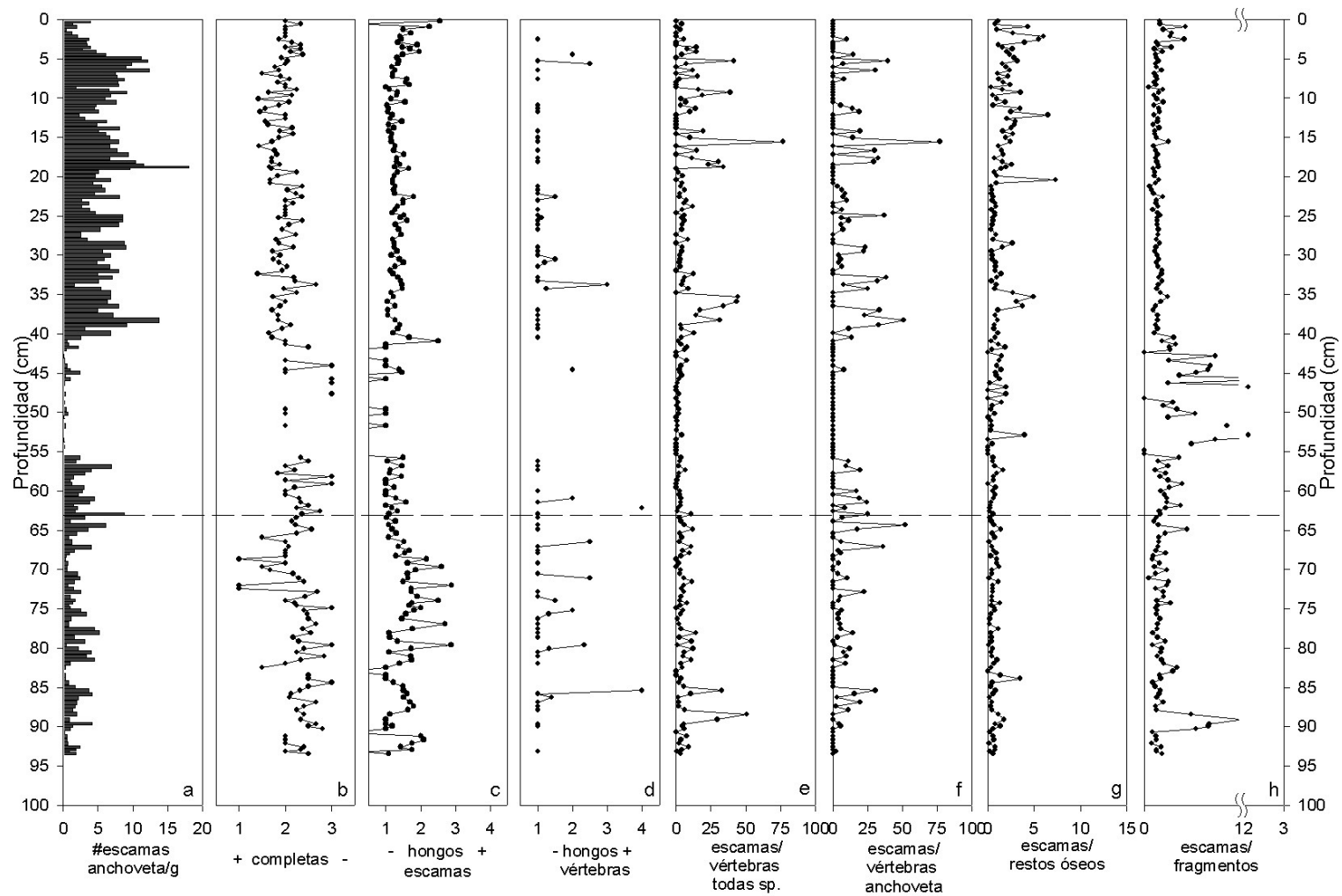


Figura 22. Abundancia de escamas de anchoveta y posibles índices de degradación en el testigo B0506-14. a) escamas de anchoveta, b) índice de integridad de escamas enteras de anchoveta, c) índice de cobertura de hongos sobre las escamas de anchoveta, d) índice de cobertura de hongos en las vértebras de anchoveta, e) razón escamas/ vértebras de todas las especies, f) razón escamas/ vértebras de anchoveta, g) razón escamas de todas las especies/ todos los restos óseos y h) razón escamas de todas las especies/fragmentos de escamas. La línea discontinua representa el cambio sedimentológico y biogeoquímico reportado por Gutiérrez et al. (2006b)

#### IV.4.2 Grado de cobertura por hongos

Las fisuras observadas en las escamas de los testigos B0405-6 y B0506-13 fueron encontradas también en las escamas y restos óseos en los testigos de caja utilizados en este trabajo (ver Figura 23) y fueron identificadas como hongos (Dr. Chandralata Raghukumar, National Institute of Oceanography, India comunicación personal). Las escamas y espinas con hongos fueron colocadas en un medio de PDA (Potate Dextrose Agar) e incubadas a temperatura ambiente en el Laboratorio de microbiología del CICESE con la ayuda de la Dra. Meritxell Riquelme, con la finalidad de identificar los hongos. Los hongos no crecieron en el medio de PDA por lo que no pudieron ser identificados.

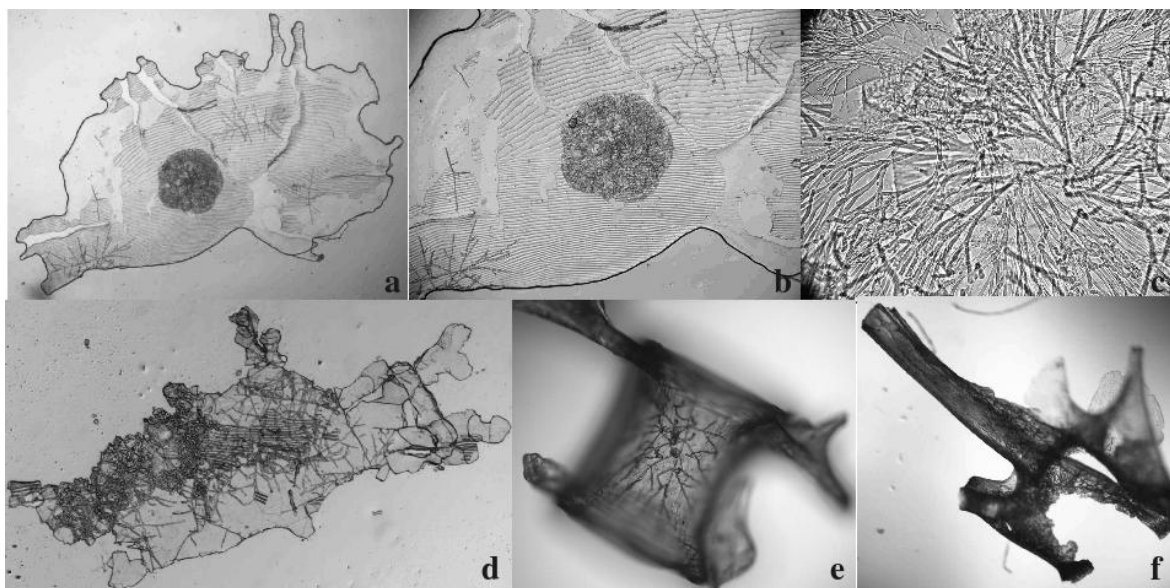


Figura 23. Restos ictiológicos con presencia de hongos en el testigo de caja B0506-14 colectado a 301 metros de profundidad. a) Escama de anchoveta con presencia de hongos: colonia circular al centro de la escama y filamentos sobre la escama, b) y c) ampliación de la colonia de hongos en forma circular mostrada en a), d) parte de una escama de anchoveta muy deteriorada con presencia de hongos, e) vértebra de anchoveta con hongos y f) hueso no identificado con presencia de hongos en la sección inferior izquierda.

##### IV.4.2.1 Abundancia de escamas de anchoveta con hongos de acuerdo al grado de cobertura

El testigo B0506-14 presentó un mayor porcentaje de escamas con presencia de hongos sobre su superficie que en el testigo B0506-13 ( $X^2$ ,  $p = 0.01$ ). En el testigo B0506-13 el grado de cobertura por hongos en las escamas enteras y las mitades de escamas fueron muy

similares (ver Tabla VI). El testigo B0506-14 las escamas enteras presentaron un mayor porcentaje de escamas con grado de cobertura 2 que en las mitades de escamas.

Tabla VI. Número y porcentaje de escamas de anchoveta (*Engraulis ringens*) de acuerdo al grado de cobertura de hongos en las escamas enteras y en las mitades de escamas en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14.

Grado de cobertura por hongos	B0506-13				B0506-14			
	Escamas enteras		Mitades de escamas		Escamas enteras		Mitades de escamas	
	Número de escamas	Porcentaje	Número de escamas	Porcentaje	Número de escamas	Porcentaje	Número de escamas	Porcentaje
1	1471	89.3	1501	89.1	1275	75.4	2557	82.1
2	106	6.4	105	6.2	223	13.2	269	8.6
3	47	2.9	53	3.1	136	8.0	160	5.1
4	23	1.4	26	1.5	57	3.4	129	4.1
Total	1647	100	1685	100	1691	100	3115	100

El índice de cobertura de hongos de las escamas de anchoveta a lo largo del testigo B0506-13 no presenta una tendencia clara, sin embargo en el testigo B0506-14 se observan mayores valores antes del cambio sedimentológico (ver Figura 20 y 21). La baja abundancia de escamas de anchoveta en el testigo B0506-14 antes del cambio sedimentológico esta asociada con un mayor índice de cobertura de hongos. En el testigo B0506-13 la baja abundancia de escamas de anchoveta antes del cambio sedimentológico no permite tener un índice de cobertura de hongos comparable con el periodo después del cambio sedimentológico.

#### IV.4.2.2 Abundancia de vértebras de anchoveta con hongos de acuerdo al grado de cobertura

En contraste con la cobertura de hongos sobre la superficie de las escamas, el testigo B0506-14 presentó un menor porcentaje de vértebras con hongos que el testigo B0506-13 ( $X^2$ ,  $p = 0.048$ ) (ver Tabla VII).

Tabla VII. Número y porcentaje de vértebras de anchoveta (*Engraulis ringens*) de acuerdo al grado de cobertura de hongos en las vértebras enteras y en las mitades de escamas en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14.

Índice de cobertura	B0506-13				B0506-14			
	Vértebras enteras		Mitades de vértebras		Vértebras enteras		Mitades de vértebras	
	Abundancia	%	Abundancia	%	Abundancia	%	Abundancia	%
1	130	79.8	7	77.8	172	90.1	23	88.5
2	20	12.3	1	11.1	8	4.2	3	11.5
3	6	3.7	1	11.1	2	1.0	0	0.0
4	7	4.3	0	0.0	9	4.7	0	0.0
Total	163	100	9	100	191	100	26	100

El índice de cobertura de hongos de las vértebras de anchoveta a lo largo del testigo B0506-13 muestra altos valores tanto después como antes del cambio sedimentológico (ver Figura 21). En el testigo más profundo se observa una ligera tendencia a valores mayores antes del cambio sedimentológico (ver Figura 22).

#### IV.4.3 Razón: escamas/restos óseos

La razón escamas/vértebras de todas las especies en ambos testigos muestra una disminución a partir de 40 cm hacia la base del testigo. Sin embargo, el testigo B0506-14 muestra un ligero aumento en la base del testigo. La disminución entre ~40 a ~55 cm de profundidad se debe a la escasez de escamas y a la relativa abundancia de vértebras no identificadas en este periodo (ver Figura 21 y 22).

La razón escamas/vértebras de anchoveta muestra una mayor variabilidad a lo largo de los testigos en comparación a la razón escamas/vértebras, especialmente en el testigo B0506-14 (ver Figura 21 y 22). Los valores de 0 entre ~40 a ~55 cm de profundidad se debe a la ausencia y/o baja abundancia de escamas y vértebras de anchoveta. Hay una clara diferencia en la razón escamas/vértebras de anchoveta en el periodo después y antes del cambio sedimentológico en el testigo B0506-13. Sin embargo esta diferencia no es tan clara en el testigo B0506-14.

Las razones escamas/restos óseos y escamas/ (espinas + otros huesos) muestran tendencias similares en ambos testigos (ver Figura 21 y 22). En los primeros ~13 cm del registro los valores de las razones aumentan considerablemente en comparación al resto del registro. No se observa una tendencia clara en el resto de los testigos aunque los valores de las razones son ligeramente menores en el periodo antes del cambio sedimentológico.

#### IV.4.4 Otras características en las escamas que sugieren una posible degradación: índice compuesto

La variabilidad del índice de degradación compuesto a lo largo de la sección D de ambos testigos se muestra en la Figura 24. El índice de degradación compuesto no muestra una tendencia de aumentar con el tiempo en ambos testigos. Si comparamos las muestras (sin agrupar) de acuerdo a los paquetes estratigráficos estimados en el capítulo 4.2 se pueden observar diferencias entre los dos testigos. El índice de degradación en el paquete estratigráfico VI es similar en los testigos (U de Mann-Whitney,  $p = 0.523$ ), mientras que el índice de degradación de escamas en el paquete estratigráfico VII del testigo B0506-14 es significativamente menor que en el testigo B0506-13 (U de Mann-Whitney,  $p = 0.009$ ).

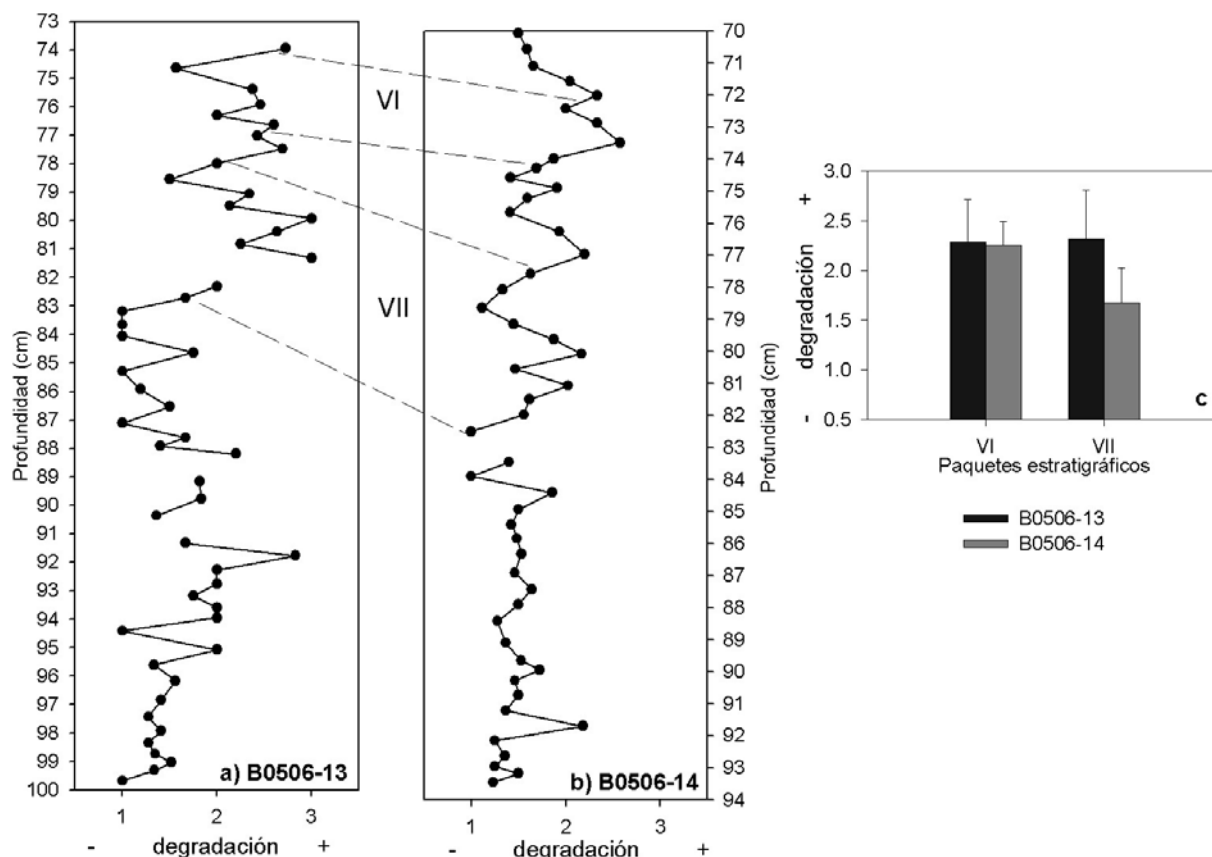


Figura 24. Índice de degradación compuesto en los testigos B0506-13 (a) y B0506-14 (b) donde 1 significa ausencia de señales de degradación y 4 mayor presencia de señales de degradación. Las características de degradación tomadas en cuenta fueron: presencia de hongos, escamas de coloración amarillenta, fisuras distintas a los hongos, ausencia de capa orgánica, escamas blandas, escamas enrolladas y presencia de hoyos en las escamas. c) Índice de degradación promedio y desviación estándar en una parte del paquete estratigráfico VI (el resto de muestras se encuentran en la sección C) y todo el paquete estratigráfico VII.

#### IV.5 Cambios en la abundancia y degradación de escamas utilizando los paquetes estratigráficos

##### IV.5.1. Cambios después y antes del cambio sedimentológico

Debido a los pocos paquetes estratigráficos establecidos en los testigos no es posible realizar pruebas estadísticas confiables para encontrar diferencias entre después y antes del cambio sedimentológico. Sin embargo se observan diferencias entre después (paquetes I al IV) y antes del cambio sedimentológico (paquetes V al VII) en los dos testigos analizados

(Figura 25). Las abundancias de escamas de todas las especies y de anchoveta en los testigos B0506-13 y B0506-14 muestran una disminución antes del cambio sedimentológico. Las abundancias de vértebras de todas las especies muestran una disminución antes del cambio sedimentológico sin embargo no se observan grandes diferencias en la abundancia de vértebras de anchoveta. Las abundancias de restos óseos muestran una clara tendencia a disminuir hacia la base del testigo. La razón de escamas de anchoveta/ vértebras de anchoveta es ligeramente menor antes del cambio sedimentológico y el índice de integridad de las escamas es ligeramente mayor (mayor cantidad de escamas de anchoveta enteras del tipo solo centro). La presencia de hongos sobre escamas es mayor en los paquetes VI y VII de ambos testigos y la presencia de hongos sobre vértebras es mayor en los paquetes VI y VII pero solo en el testigo B0506-13.

#### IV.5.2 Comparación entre testigos

A partir de la comparación entre los testigos utilizando todos los paquetes estratigráficos (sin diferenciar entre los periodos después y antes del cambio sedimentológico) solo se encontraron diferencias significativas en la cobertura de hongos en las escamas de anchoveta (U de Mann-Whitney,  $p = 0.018$ ). Las abundancias de escamas de todas las especies y de anchoveta son ligeramente menores en el testigo B0506-13 que en el testigo B0506-14 (Figura 25). Las abundancias de escamas de todas las especies y de anchoveta en el testigo B0405-6 (paquetes estratigráficos V, VI y VII) son más similares en magnitud al testigo B0506-13 que al testigo B0506-14, con excepción del paquete V. Las abundancias de restos óseos también muestran valores mayores en el testigo B0506-14. La razón de escamas/fragmentos de escamas es mayor en el testigo B0506-13 en 6 de 7 paquetes. Las razones escamas/restos óseos no muestran grandes diferencias, con excepción a un ligero aumento de la razón escamas/vértebras de anchoveta en el testigo B0506-14. En la razón escamas/restos óseos se omitió el primer paquete estratigráfico debido a la poca cantidad de restos óseos. La cobertura de hongos en las escamas es mayor en el testigo B0506-14 sin embargo la cobertura de hongos en las vértebras es mayor en el testigo B0506-13



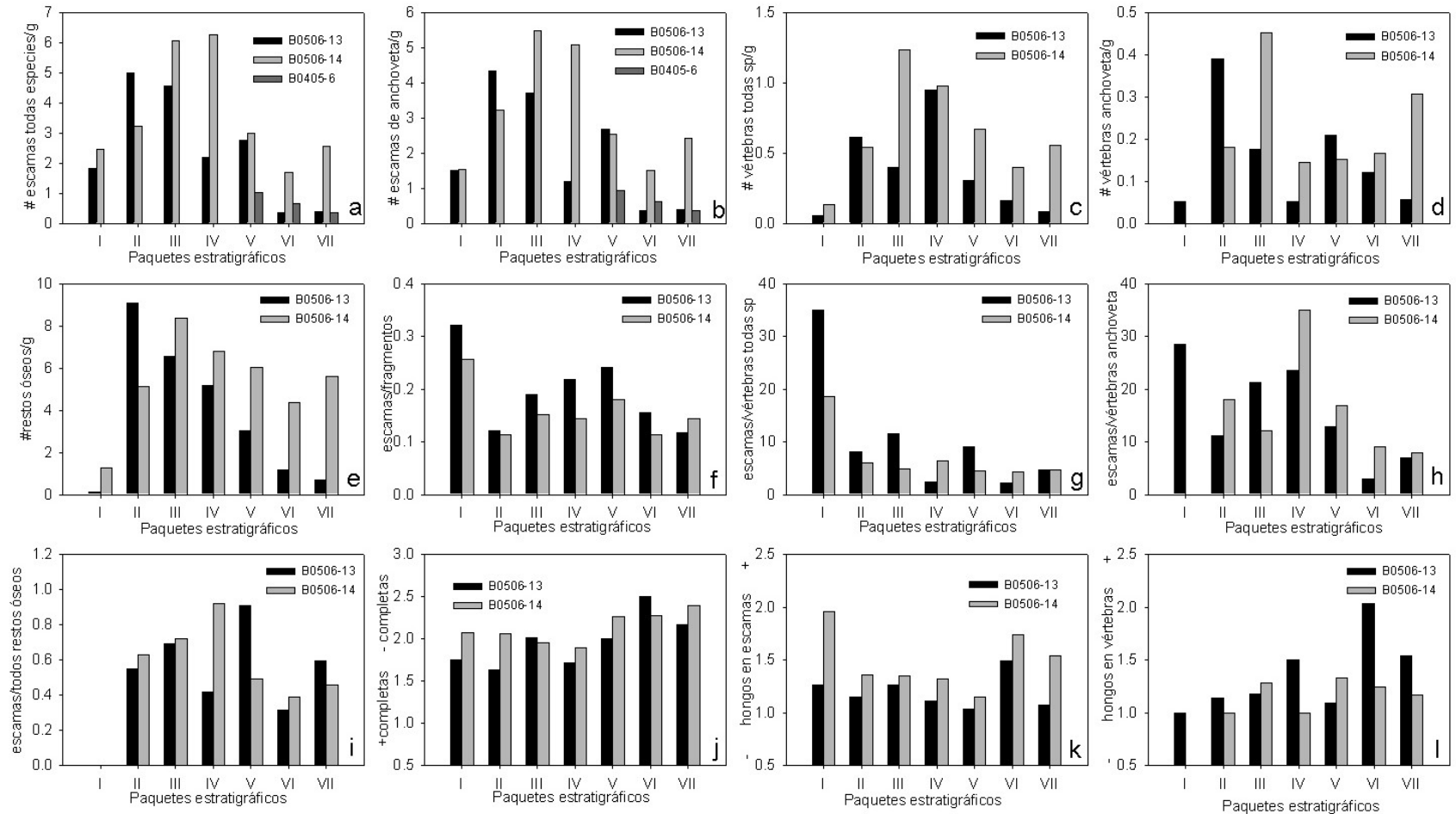


Figura 25. Agrupación de las muestras en los testigos B0506-13 y B0506-14 de acuerdo a los paquetes estratigráficos. a) escamas de todas las especies/g incluyendo el testigo B0405-6, b) escamas de anchoveta/g incluyendo el testigo B0405-6, c) vértebras de todas las especies/g, d) vértebras de anchoveta, e) todos los restos óseos/g, f) (espinas + otros huesos)/g, g) razón escamas/ vértebras de todas las especies, h) razón escamas de anchoveta/ vértebras de anchoveta, i) razón escamas/ vértebras de todas las especies, j) razón escamas/ (huesos + espinas), k) índice de integridad de las escamas enteras de anchoveta y l) índice de cobertura de hongos en las escamas de anchoveta. En i), y j) no se consideró el primer paquete estratigráfico debido al probable efecto de la pesquería en los flujos de restos óseos.

#### IV.6 Cambios en la abundancia y degradación de escamas agrupando cada 10 muestras

La mayor cantidad de grupos obtenidos a partir de la agrupación de cada 10 muestras permiten separar los testigos en antes y después del cambio sedimentológico y hacer las pruebas estadísticas respectivas. La Figura 26 muestra las abundancias de escamas y vértebras de anchoveta, así como también los índices de degradación agrupados cada 10 muestras en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14. A diferencia de los datos sin agrupar, en la Figura 26 sí se observan tendencias en algunos índices de degradación. Las primeras tres muestras en esta nueva agrupación, y en especial en el testigo B0506-13, muestran altos valores en las razones de escamas/restos óseos que sugiere una posible influencia de la pesquería en los flujos de restos óseos. Para probar si existen diferencias entre los periodos: después y antes del cambio sedimentológico no se tomaron en cuenta las tres primeras muestras de cada testigo. Algunos índices, como por ejemplo la razón escamas/vértebras de anchoveta y la presencia de hongos sobre las escamas y vértebras de anchoveta, a pesar de la agrupación de 10 muestras siguieron presentando una baja cantidad de restos óseos. En particular el periodo entre ~40 a 55 cm en los dos testigos presentó esta situación. Para observar específicamente la degradación de escamas en anchoveta, no se tomaron en los dos testigos tres grupos a esta profundidad debido a la escasa o nula presencia de escamas de anchoveta.

##### IV.6.1 Cambios después y antes del cambio sedimentológico

Las abundancias, las razones entre escamas/restos ictiológicos y los índices de degradación de las escamas de anchoveta separados en después y antes del cambio sedimentológico en el testigo B0506-13 se muestran en la Figura 27. La abundancia de todos los restos óseos, de las escamas de todas las especies y de las escamas de anchoveta son mayores después del cambio sedimentológico (U de Mann-Whitney,  $p = 0.002$  en los tres casos) Las abundancias de vértebras de todas las especies son ligeramente mayores después del cambio sedimentológico mientras que las vértebras de anchoveta son similares en ambos periodos. La razón escamas/ fragmentos de escamas son similares en ambos periodos. Las

razones de escamas/vértebra de todas las especies y de anchoveta son menores antes del cambio sedimentológico (U de Mann-Whitney,  $p = 0.028$  y  $0.001$  respectivamente). La razón escamas/restos óseos es ligeramente menor antes del cambio sedimentológico pero no se observan diferencias significativas. El índice de integridad de escamas enteras de anchoveta es mayor antes del cambio sedimentológico (U de Mann-Whitney,  $p = 0.003$ ). El índice de cobertura de hongos en escamas y vértebras de anchoveta es ligeramente mayor antes del cambio sedimentológico pero no se encontraron diferencias significativas.

En el testigo B0506-14 (ver Figura 28) al igual que en el testigo B0506-13, las abundancias de escamas de todas las especies y de anchoveta son mayores después del cambio sedimentológico (U de Mann-Whitney,  $p = 0.008$  y  $0.005$  respectivamente). De manera similar al testigo B0506-13, las abundancias de vértebras de todas las especies son ligeramente mayores después del cambio sedimentológico mientras que las vértebras de anchoveta son similares en ambos periodos. En contraste con el testigo más somero, en el testigo B0506-14 no se observa una disminución significativa de los restos óseos. La razón todas las escamas/fragmentos de escamas es ligeramente menor antes del cambio sedimentológico pero no existen diferencias significativas. La razón de escamas/vértebras de todas las especies no mostraron diferencias entre los dos periodos y la razón escamas/vértebras de anchoveta fue menor antes del cambio sedimentológico (U de Mann-Whitney,  $p = 0.021$ ). Los valores de las razones de escamas/todos los restos óseos muestran una clara y significativa reducción antes del cambio sedimentológico así como también el índice de integridad. El índice de cobertura de hongos en las escamas es mayor antes del cambio sedimentológico sin embargo la cobertura de hongos en las vértebras es similar en ambos periodos.

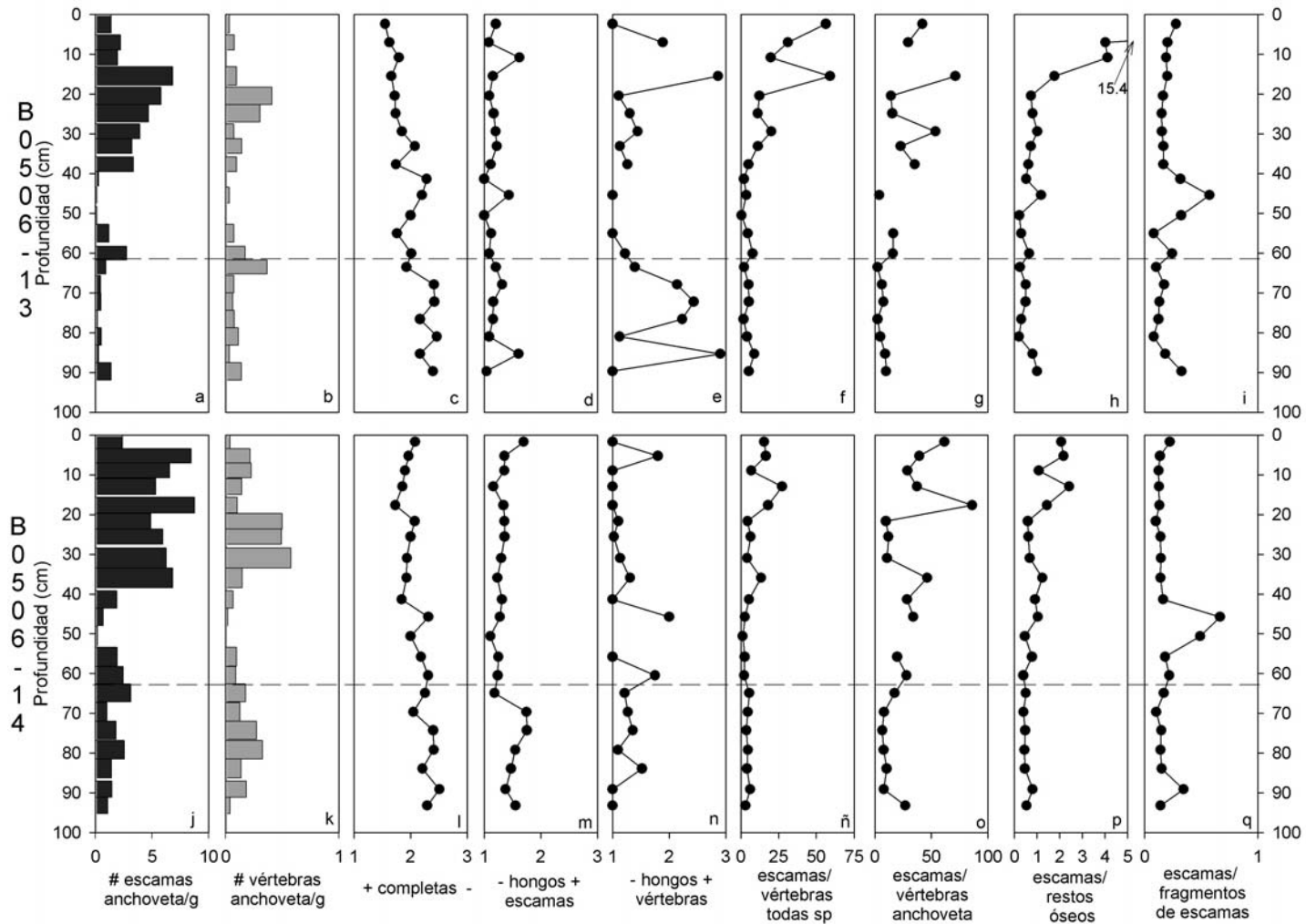


Figura 26. Datos agrupados cada 10 muestras en los testigos B0506-13 y B0506-14. a) y j) escamas de anchoveta/g, b) y k) vértebras de anchoveta/g, c) y l) índice de integridad de escamas, d) y m) cobertura de hongos en las escamas de anchoveta, e) y n) cobertura de hongos en las vértebras de anchoveta, f) y ñ) razón escamas/vértebras de todas las especies, g) y o) razón escamas/vértebras de anchoveta, h) y p) razón escamas/todos los restos óseos, i) y q) razón escamas/fragmentos. La línea discontinua representa el cambio sedimentológico y biogeoquímico reportado por Gutiérrez et al. (2006b). Las primeras 3 muestras corresponden al periodo de pesquería ( $p < 0.05$ ).

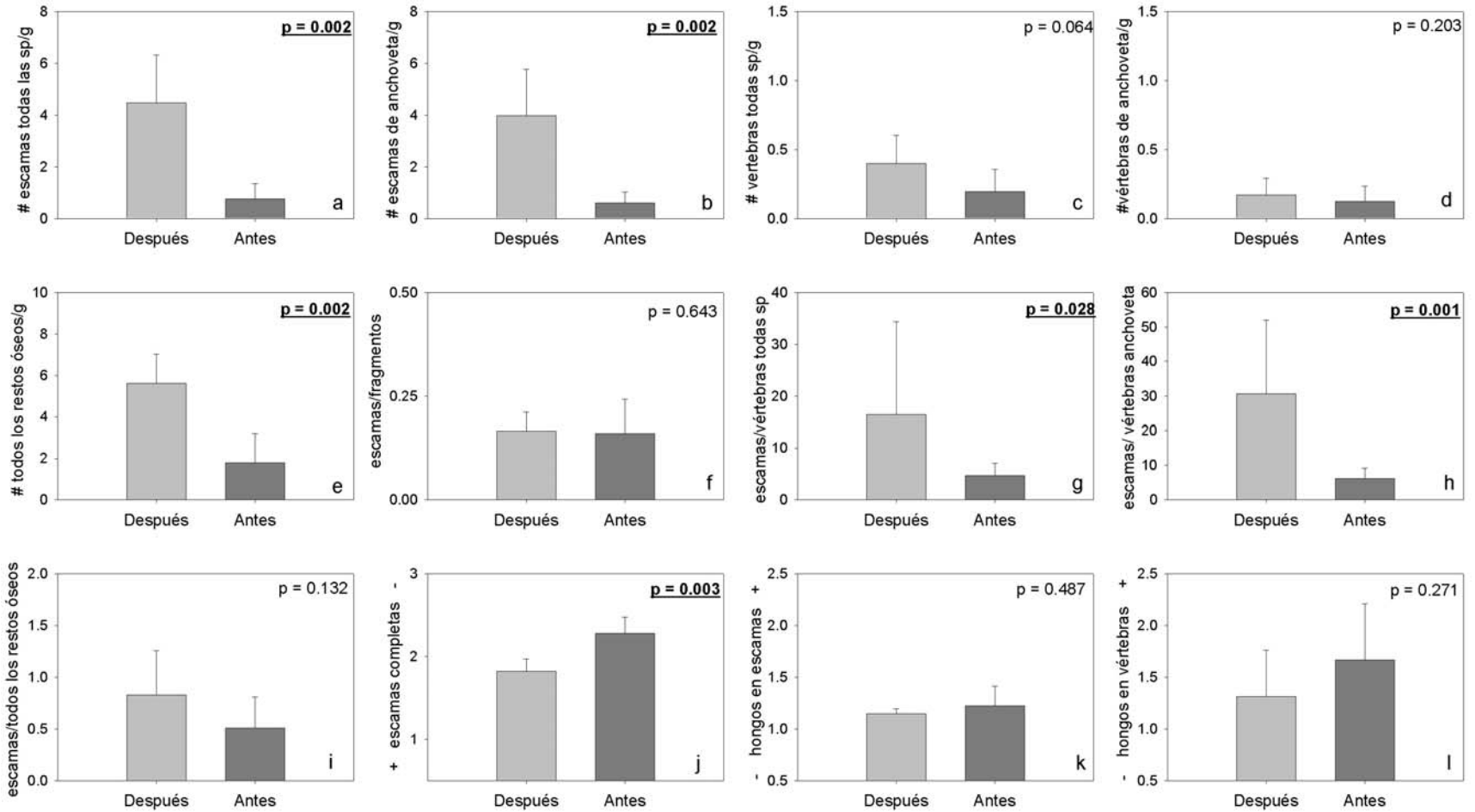


Figura 27. Testigo B0506-13: Comparación entre el promedio y desviación estándar en el periodo después y antes del cambio sedimentológico en base al agrupamiento de cada 10 muestras de las abundancias de restos ictiológicos y posibles índices de degradación. a) escamas de todas las especies/g, b) escamas de anchoveta/g, c) vértebras de todas las especies/g, d) vértebras de anchoveta/g, e) todos los restos óseos/g, f) razón escamas/fragmentos de escamas, g) razón escamas/todos los restos óseos, h) razón escamas/vértebras de anchoveta i) razón escamas/todos los restos óseos, j) índice de integridad de las escamas enteras de anchoveta, k) índice de cobertura de hongos en las vértebras de anchoveta y l) índice de cobertura de hongos en las escamas de anchoveta. El valor p corresponde a la prueba U de Mann-Whitney y se subrayaron los valores significativos ( $p < 0.05$ ).

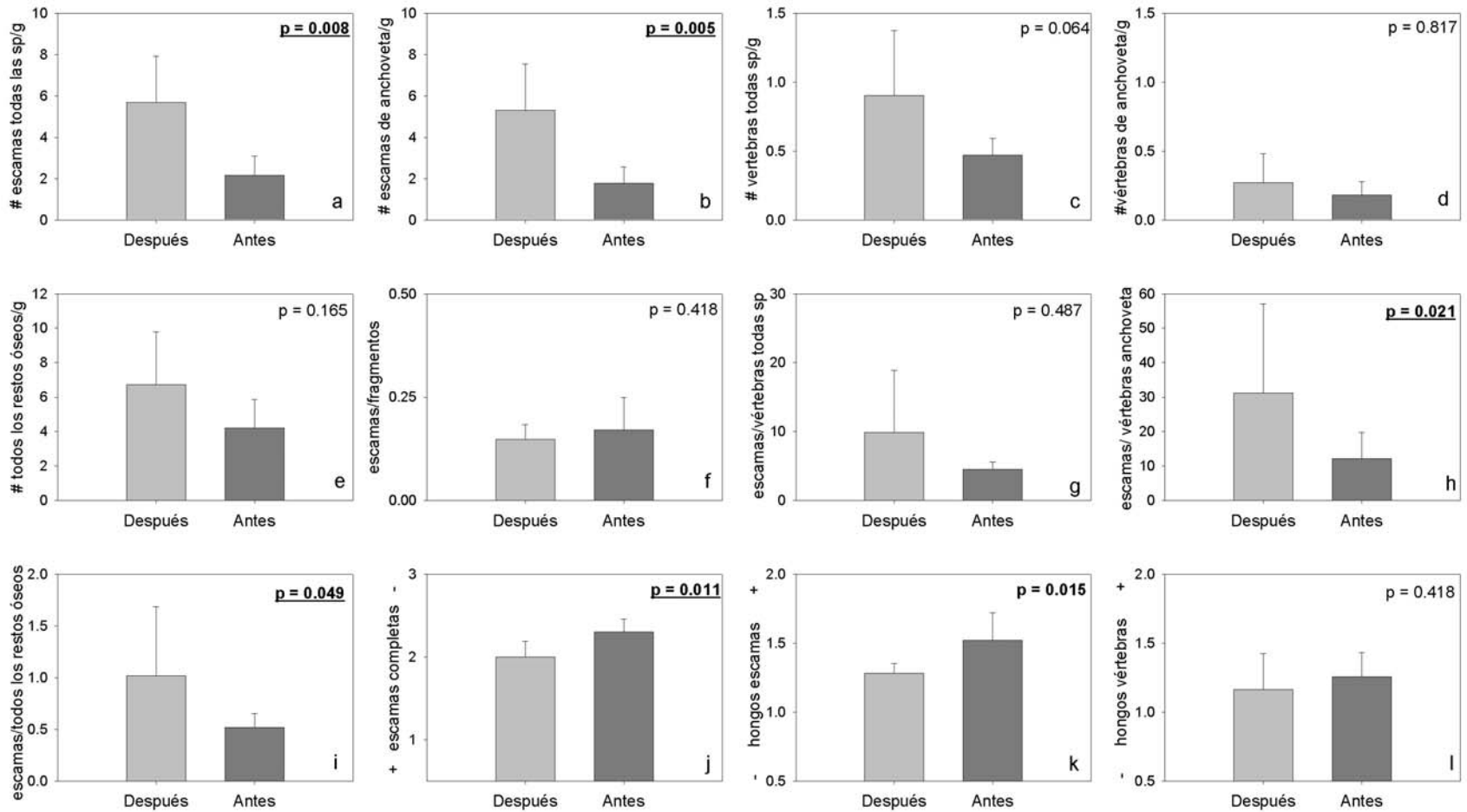


Figura 28. Testigo B0506-14: Comparación entre el promedio y desviación estándar en el periodo después y antes del cambio sedimentológico en base al agrupamiento de cada 10 muestras de las abundancias de restos ictiológicos y posibles índices de degradación. a) escamas de todas las especies/g, b) escamas de anchoveta/g, c) vértebras de todas las especies, d) vértebras de anchoveta, e) todos los restos óseos/g, f) razón escamas/fragmentos de escamas, g) razón escamas/todos los restos óseos, h) razón escamas/vértebras de anchoveta i) razón escamas/todos los restos óseos, j) índice de integridad de las escamas enteras de anchoveta, k) índice de cobertura de hongos en las vértebras de anchoveta y l) índice de cobertura de hongos en las escamas de anchoveta. El valor p corresponde a la prueba U de Mann-Whitney y se subrayaron los valores significativos ( $p < 0.05$ ).

#### IV.6.2 Comparación entre testigos

La comparación entre los testigos después del cambio sedimentológico (ver Figura 29) nos muestra que únicamente las abundancias de vértebras de todas las especies y el índice de cobertura de hongos en escamas fueron significativamente mayores en el testigo B0506-14 (U de Mann-Whitney,  $p = 0.016$  y  $0.002$  respectivamente). Las abundancias de escamas de todas las especies y de anchoveta, las vértebras de anchoveta y los restos óseos fueron mayores en el testigo B0560-14 pero no se detectaron diferencias significativas. Las razones de escamas/ restos óseos, escamas/fragmentos de escamas, el índice de integridad y la cobertura de hongos sobre las vértebras fueron similares en ambos testigos.

Antes del cambio sedimentológico sí se observan diferencias entre los dos testigos (ver Figura 30). Las abundancias de escamas de todas las especies, escamas de anchoveta, vértebras de todas las especies y restos óseos fueron significativamente mayores en el testigo B0506-14. No se encontraron diferencias significativas en la abundancia de vértebras de anchoveta entre los dos testigos. La razón escamas/vértebras de todas las especies fue similar en los dos testigos mientras que la razón escamas/vértebras de anchoveta fue menor en el testigo más somero (U de Mann-Whitney,  $p = 0.048$ ). Al igual que en el periodo después del cambio sedimentológico, los valores de las razones de escamas/todos los restos óseos no son significativamente diferentes entre los testigos. El índice de integridad es similar en ambos testigos en este periodo. El índice de cobertura de hongos en las escamas es significativamente mayor en el testigo B0506-14, sin embargo la cobertura de hongos en las vértebras es mayor en el testigo B0506-13 (aunque no se encontraron diferencias significativas).

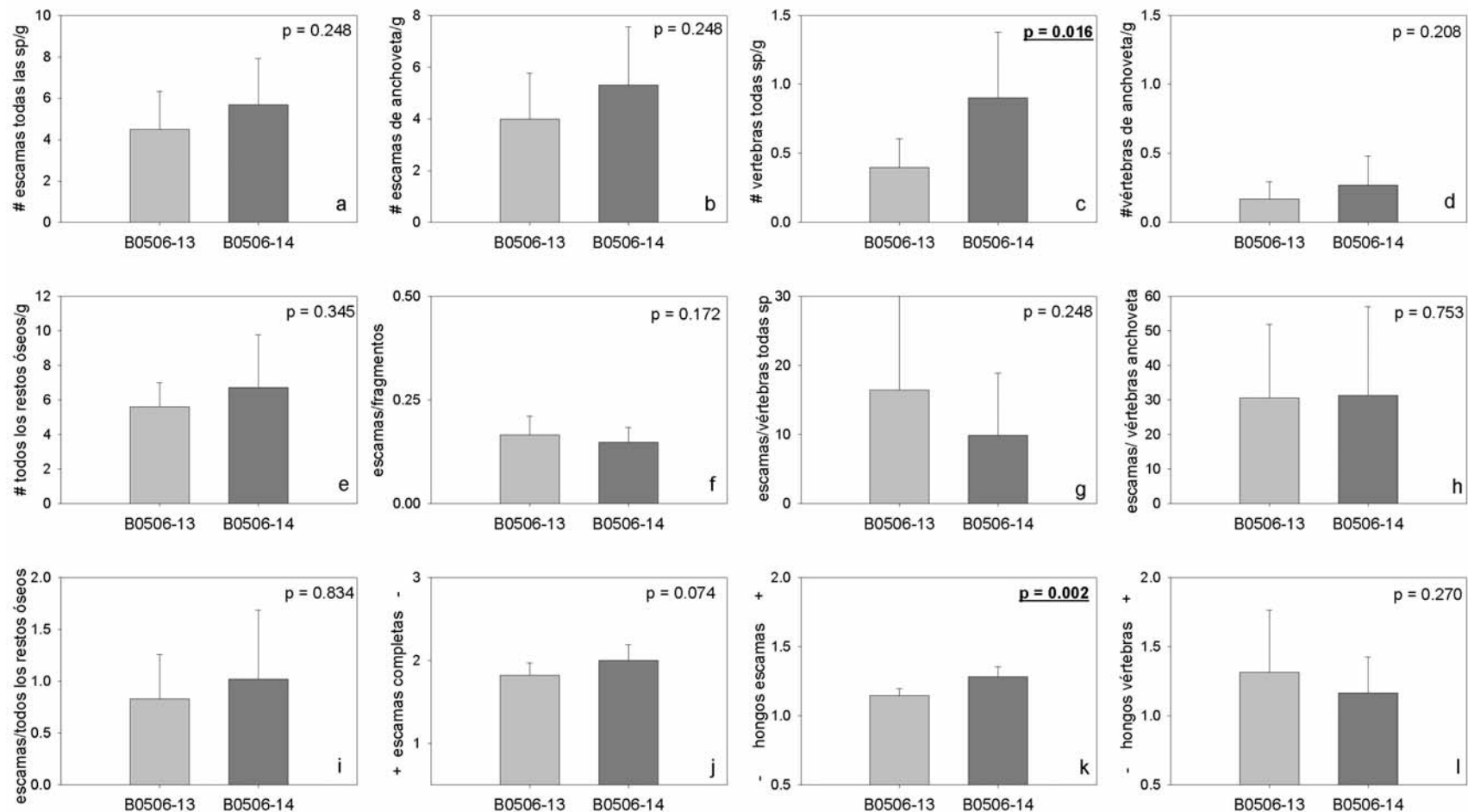


Figura 29. Comparación del promedio y desviación estándar entre los testigos B0506-13 (n=8) y B0506-14 (n=8) en base al agrupamiento de cada 10 muestras de las abundancias de restos ictiológicos y posibles índices de degradación en el periodo después del cambio sedimentológico. a) escamas de todas las especies/g, b) escamas de anchoveta/g, c) vértebras de todas las especies, d) vértebras de anchoveta, e) todos los restos óseos/g, f) razón escamas/fragmentos de escamas, g) razón escamas/todos los restos óseos, h) razón escamas/vértebras de anchoveta i) razón escamas/todos los restos óseos, j) índice de integridad de las escamas enteras de anchoveta, k) índice de cobertura de hongos en las vértebras de anchoveta y l) índice de cobertura de hongos en las escamas de anchoveta. El valor p corresponde a la prueba U de Mann-Whitney y se subrayaron los valores significativos ( $p < 0.05$ ).



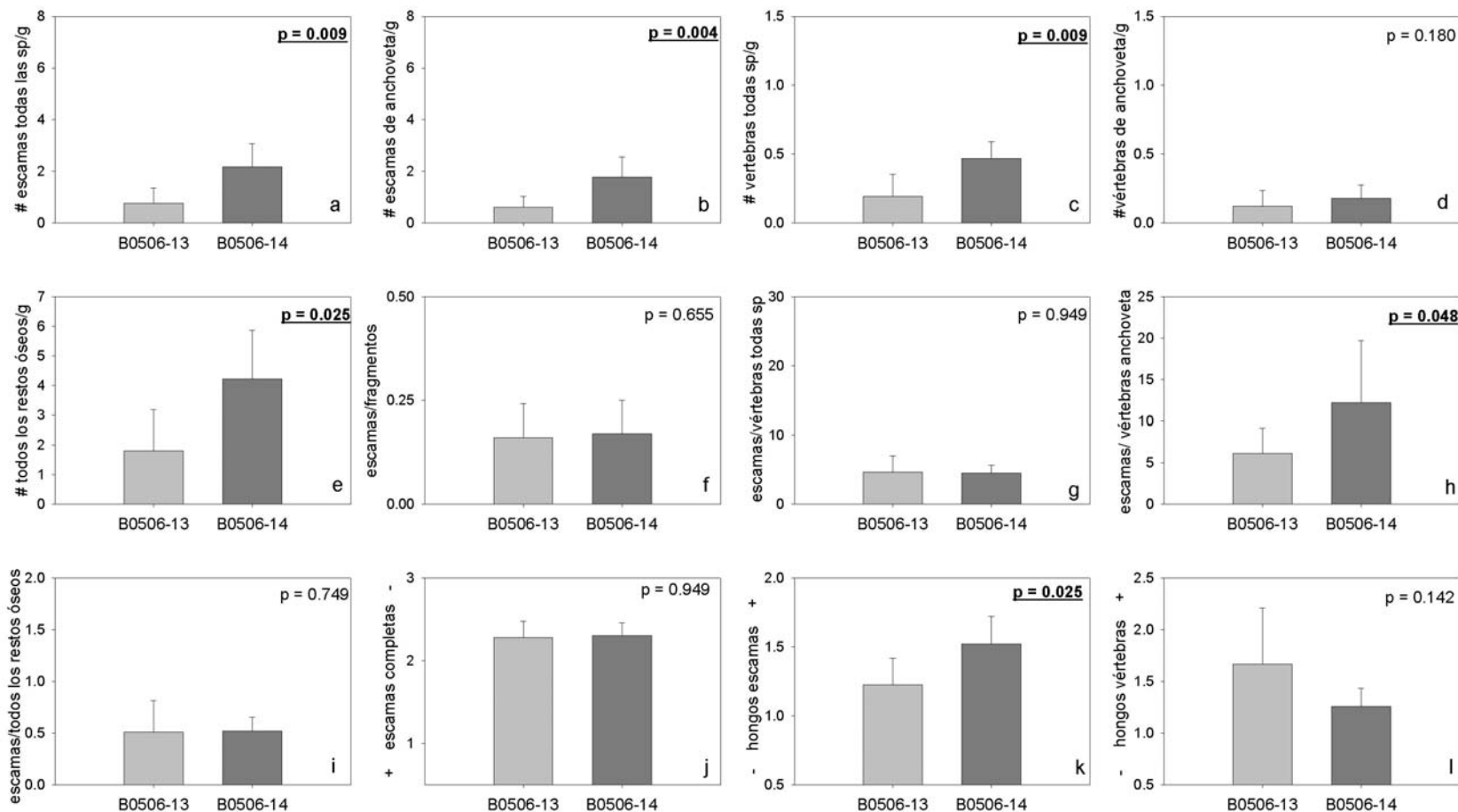


Figura 30. Comparación del promedio y desviación estándar entre los testigos B0506-13 (n=7) y B0506-14 (n=7) en base al agrupamiento de cada 10 muestras de las abundancias de restos ictiológicos y posibles índices de degradación en el periodo antes del cambio sedimentológico. a) escamas de todas las especies/g, b) escamas de anchoveta/g, c) vértebras de todas las especies, d) vértebras de anchoveta, e) todos los restos óseos/g, f) razón escamas/fragmentos de escamas, g) razón escamas/todos los restos óseos, h) razón escamas/vértebras de anchoveta i) razón escamas/todos los restos óseos, j) índice de integridad de las escamas enteras de anchoveta, k) índice de cobertura de hongos en las vértebras de anchoveta y l) índice de cobertura de hongos en las escamas de anchoveta. El valor p corresponde a la prueba U de Mann-Whitney y se subrayaron los valores significativos (p<0.05).

Un diagrama X e Y entre las muestras agrupadas de los dos testigos sugiere una mayor degradación en el testigo más somero después del cambio sedimentológico basándonos en la razón escamas/vértebras de anchoveta y el índice de integridad. La Figura 31 muestra que en ambos testigos las abundancias de escamas de anchoveta son mayores en el testigo B0506-14 y después del cambio sedimentológico. El índice de integridad de escamas es claramente mayor antes del cambio sedimentológico y no se observan grandes diferencias entre testigos. Los valores de la razón escamas/vértebras de anchoveta son menores antes del cambio sedimentológico y en este periodo el testigo B0506-14 presenta valores ligeramente mayores. La cobertura de hongos en las vértebras de anchoveta no muestra un patrón claro entre los testigos ni entre los periodos establecidos, sin embargo la cobertura de hongos en las escamas es mayor en el testigo B0506-14 y también antes del cambio sedimentológico.

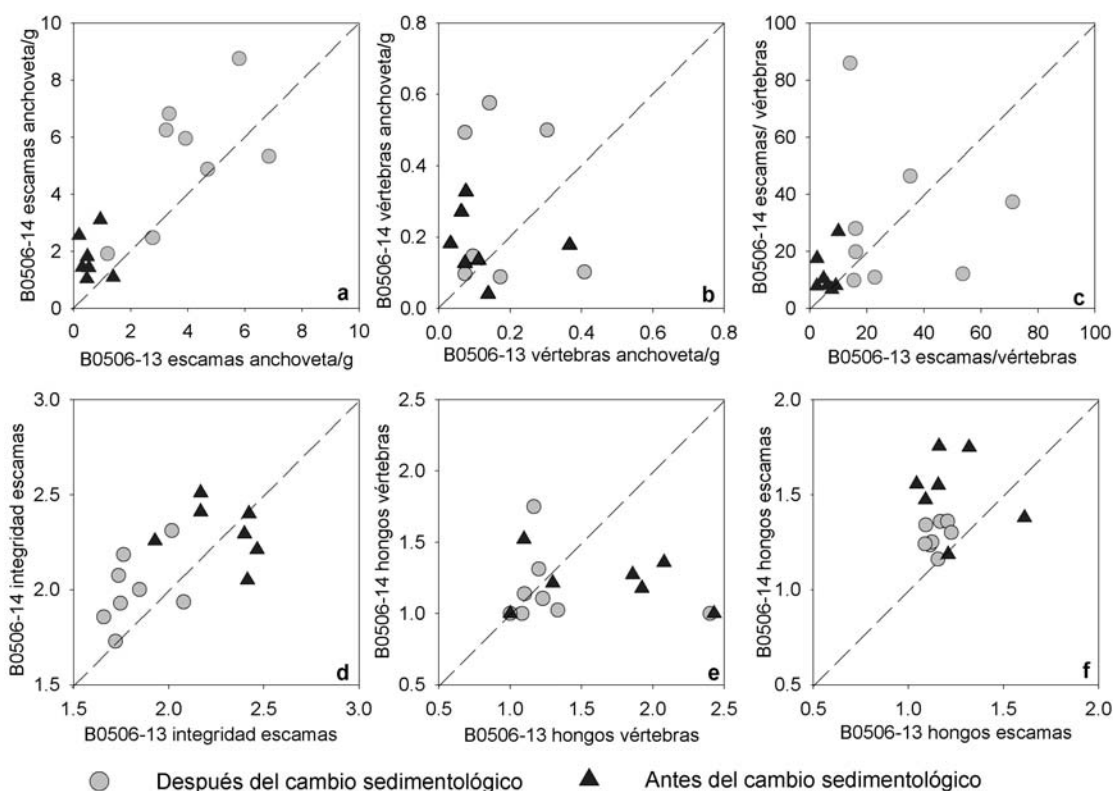


Figura 31. Diagrama X e Y de los datos agrupados cada 10 muestras entre los testigos B0506-13 y B0506-14. a) abundancia de escamas de anchoveta/g, b) índice de integridad de las escamas enteras de anchoveta, c) razón escamas/vértebras de anchoveta, d) índice de cobertura de hongos en las escamas de anchoveta y e) índice de cobertura de hongos en las vértebras de anchoveta. En c) d) y e) no se consideró las muestras que corresponden a la disminución de la abundancia de escamas de anchoveta (aproximadamente entre 40 y 55 cm de profundidad).

Una manera de determinar el efecto de la degradación de las escamas de anchoveta a lo largo del testigo es estimar la cantidad de escamas de anchoveta a partir del número de vértebras de anchoveta y comparar esta estimación con la abundancia de escamas contadas. Después del cambio sedimentológico la razón escamas/vértebras de anchoveta en los testigos B0506-13 y B0506-14 fue de  $30.606 \pm 21.271$  y  $31.28 \pm 25.77$  respectivamente. Antes del cambio sedimentológico la razón escamas/ vértebras de anchoveta fue significativamente menor. Utilizando la razón escamas/vértebras del periodo más reciente para estimar la abundancia de escamas en todo el registro, se puede observar que antes del cambio sedimentológico la abundancia de escamas de anchoveta estimada en los dos testigos es solo ligeramente menor al periodo más reciente (ver Figura 32). Las escamas contadas antes del cambio sedimentológico en el testigo B0506-13 solo representa el 16% de la escamas estimadas mientras que en el testigo más profundo las escamas contadas representan el 32% de las escamas estimadas.

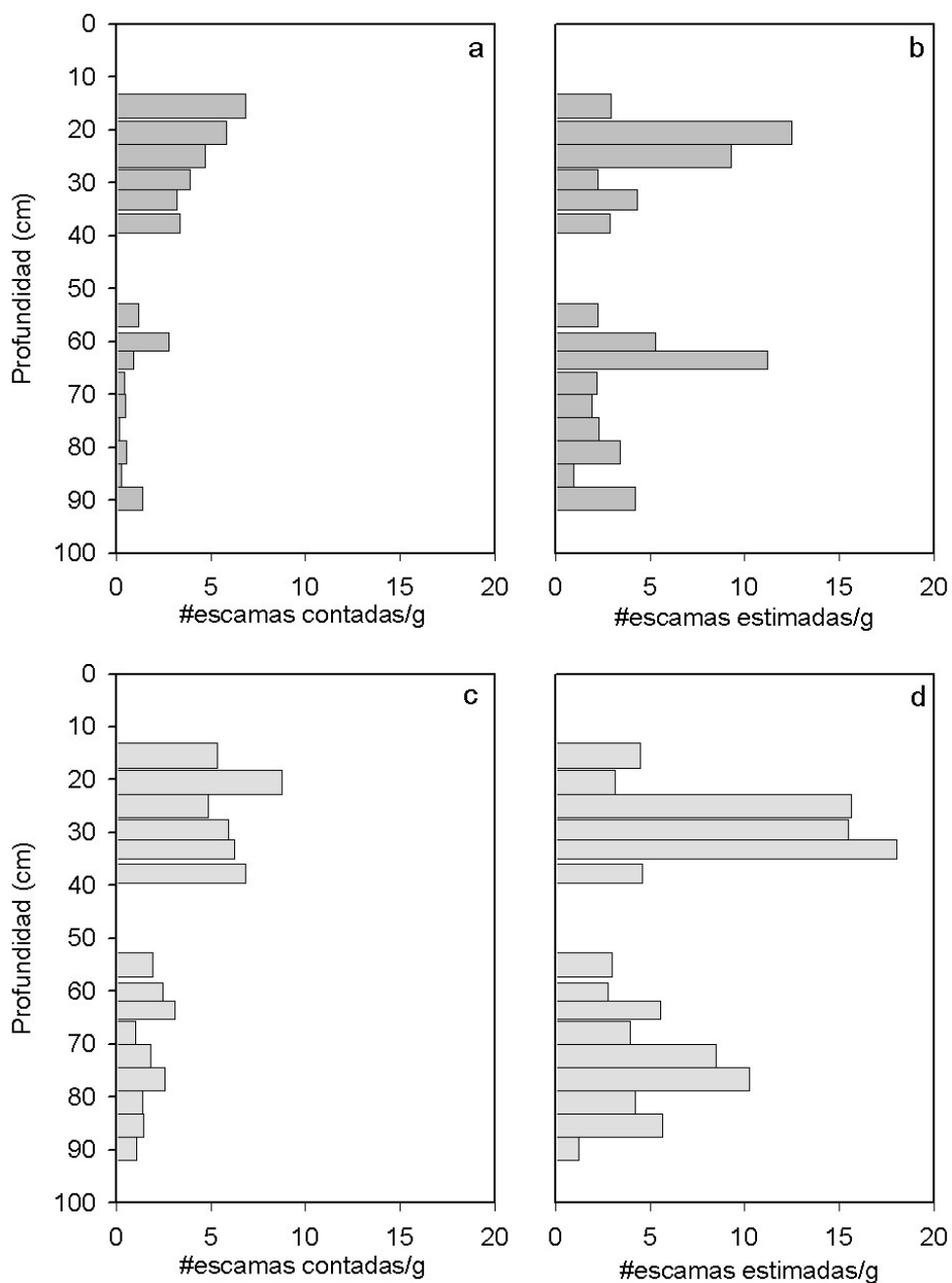


Figura 32. Escamas de anchoveta contadas y estimadas a partir de la razón escamas/vértebras de anchoveta en el periodo después del cambio sedimentológico en los testigos B0506-13 (arriba) y B0506-14 (abajo). a) escamas contadas en el testigo B0506-13, b) escamas estimadas en el testigo B0506-13, c) escamas contadas en el testigo B0506-14 y d) escamas estimadas en el testigo B0506-14. No se utilizaron los tres primeros grupos de diez muestras debido al probable efecto de la pesquería sobre los restos óseos

#### IV.7 Efecto de la pesquería en los flujos de restos ictiológicos

##### IV.7.1 Ancho de las escamas de anchoveta

Los histogramas de frecuencias de los anchos de las escamas X de anchoveta durante y antes de la pesquería en ambos testigo y juntando los datos de los dos testigos se muestran en la Figura 33. En el periodo antes de la pesquería en los testigos B0506-13 y B0506-14 los datos presentan una aparente distribución normal aunque la prueba de  $X^2$  de bondad de ajuste no fue significativa ( $p = 0.07$  y  $0.24$  para cada testigo respectivamente). Las transformaciones de los datos a  $\ln(\text{ancho})$  y  $\ln(\text{ancho} + 1)$  mostraron que solo los anchos de las escamas en el testigo B0506-13 presentaron una distribución normal ( $p < 0.0001$ ). En el periodo durante la pesquería los datos ni las transformaciones presentan una distribución normal con excepción de la transformación  $\ln(\text{ancho} + 1)$  en el testigo B0506-14. Esto podría deberse al bajo número de escamas medidas.

No se encontraron diferencias significativas en el promedio del ancho de las escamas enteras tipo X antes y durante la pesquería. El promedio del ancho de las escamas en el testigo B0506-13 durante la pesquería ( $5.97 \pm 1.3$ ) fue ligeramente menor al periodo antes de la pesquería ( $6.14 \pm 1.24$ ) pero no significativamente (U de Mann-Whitney,  $p = 0.33$ ). El promedio del ancho de las escamas en el testigo B0506-14 durante la pesquería ( $6.39 \pm 1.41$ ) y antes de la pesquería ( $6.38 \pm 1.10$ ) fueron muy similares y no se encontraron diferencias significativas (U de Mann-Whitney,  $p = 0.99$ ). La agrupación de los datos de los dos testigos (durante la pesquería es de  $6.19 \pm 1.37$  y antes de la pesquería  $6.24 \pm 1.19$ ) tampoco mostraron diferencias significativas (U de Mann-Whitney,  $p = 0.61$ ).

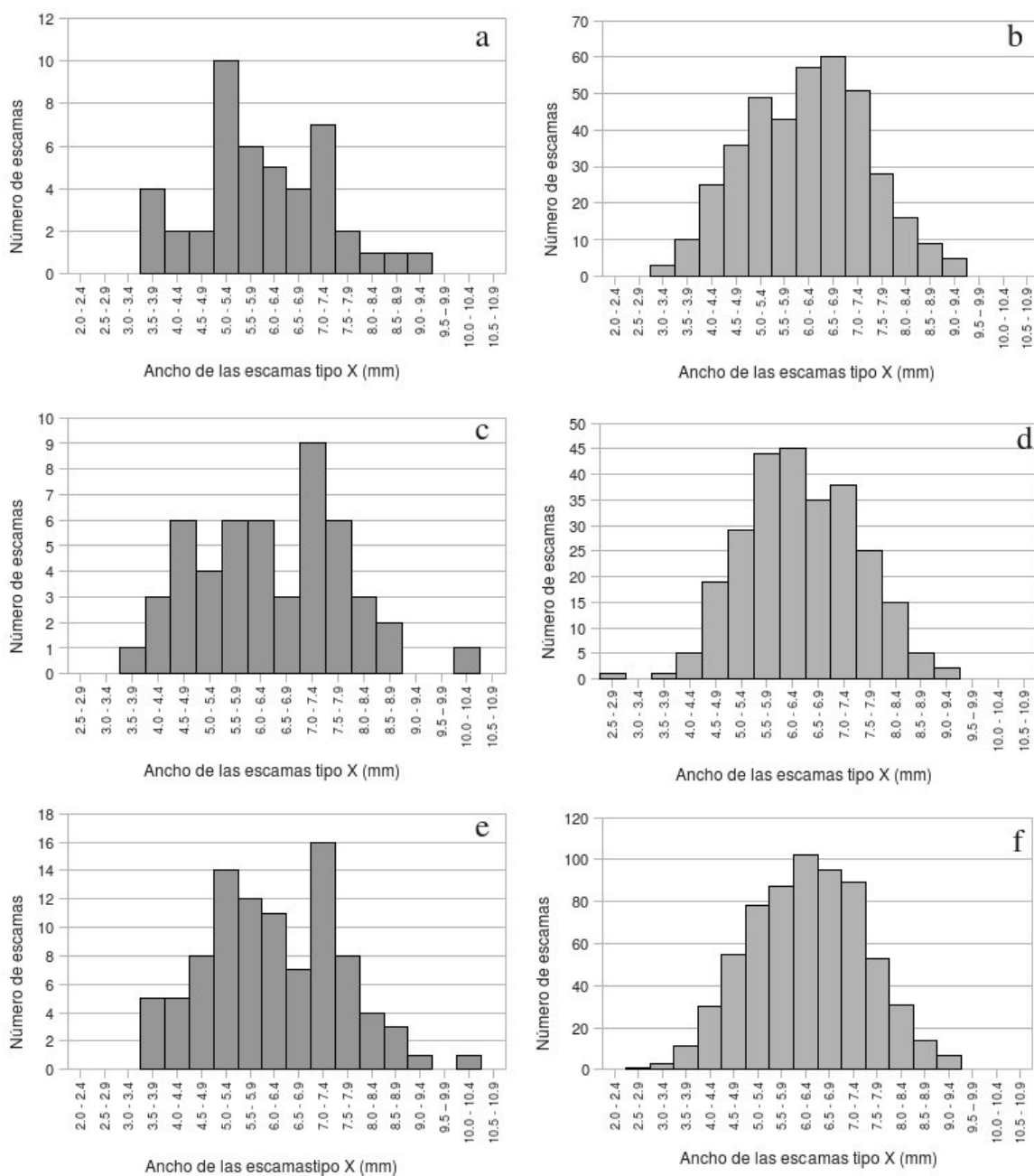


Figura 33. Histograma de frecuencias para los anchos de las escamas de anchoveta tipo X en los testigos B0506-13 y B0506-14. a) durante la pesquería B0506-13 (n=45), b) antes de la pesquería B0506-13 (n=392), c) durante la pesquería B0506-14 (n=50) d) antes de la pesquería B0506-14 (n=264), e) durante la pesquería B0506-13 y B0506-14 (n=95), y f) antes de la pesquería B0506-13 y B0506-14 (n=656).

Cambios en la cronología, por ejemplo un aumento en la tasa de sedimentación a 4mm/año no cambia los resultados mencionados. Sin embargo al aplicar una tasa de sedimentación de 2 mm/año, los anchos promedios en el testigo B0506-13 durante la pesquería ( $5.71 \pm 1.14$ ) son menores que el periodo antes de la pesquería ( $6.16 \pm 1.25$ ) (U de Mann-Whitney,  $p = 0.04$ ) pero el número de escamas utilizadas disminuye notablemente ( $n = 38$  vs  $n = 399$ ).

En el promedio de los anchos de las escamas entre testigos si se encontraron diferencias significativas. El promedio de los anchos de todas las escamas del tipo X en el testigo B0506-13 ( $6.12 \pm 1.25$ ) es significativamente menor que en el testigo B0506-14 ( $6.38 \pm 1.16$ ) (U de Mann-Whitney,  $p < 0.01$ ). A partir de la relación talla del pez vs. ancho de las escamas tipo X obtenido a partir de solo 5 individuos ( $y = 0.71x - 2.25$ ), se calcularon las tallas promedios en cada testigo. En el testigo B0506-13 la talla promedio fue de 11.79 cm mientras que en el testigo mas lejano a la costa fue de 12.15 cm.

En el testigo B0506-13 no existen diferencias significativas después ( $6.14 \pm 1.25$ ) y antes ( $6.04 \pm 1.24$ ) del cambio sedimentológico (U de Mann-Whitney,  $p = 0.599$ ). Sin embargo, en el testigo B0506-14 el promedio de las escamas tipo X es mayor después ( $6.44 \pm 1.14$ ) que antes del cambio sedimentológico ( $6.01 \pm 1.18$ ) (U de Mann-Whitney,  $p = 0.045$ ).

#### IV.7.2 Cambios en las abundancias de los restos óseos

Las razones de todas las escamas/todos los restos óseos en los testigos B0506-13 y B0506-14 agrupadas cada 10 muestras presenta un claro y significativo aumento en los primeros ~12 cm del registro en comparación al resto del testigo (U de Mann-Whitney,  $p = 0.007$  y  $p = 0.02$ ). Las razones entre escamas de todas las especies y vértebras de todas las especies mostraron un claro aumento en los primeros ~12 cm (U de Mann-Whitney,  $p = 0.02$  y  $p = 0.044$ ). La razón entre escamas de anchoveta y vértebras de anchoveta también mostraron un claro aumento en los primeros ~12 cm en ambos testigos pero dicho aumento no fue significativo (U de Mann-Whitney,  $p = 0.12$  y  $p = 0.0502$ ).

### IV.7.3 Cambios en el tipo de escama de anchoveta

El tipo de escamas de anchoveta identificadas en los testigos de caja B0506-13 y B0506-14 antes y durante el periodo de la pesquería se muestra en la Tabla. VIII. Ni el testigo B0506-13 ni el B0506-14 muestran diferencias significativas entre el tipo de escamas X y los otros tipos de escamas comparando los periodos durante la pesquería y antes del periodo de la pesquería ( $X^2$ ,  $p = 0.202$   $p = 0.469$  para los testigos B0506-13 y B0506-14 respectivamente). Sin embargo si se observan diferencias entre los dos testigos durante el periodo de la pesquería entre las escamas tipo X (78% y 92%, B0506-13 y B0506-14 respectivamente) y el resto de escamas (22% y 8%, B0506-13 y B0506-14 respectivamente) ( $X^2$ ,  $p = 0.006$ )

Tabla VIII. Tipo de escama de anchoveta en los testigos B0506-13 y B0506-14 durante la pesquería y antes de la pesquería.

Tipo de escama	B0506-13				B0506-14			
	Durante la pesquería		Antes de la pesquería		Durante la pesquería		Antes de la pesquería	
	N	%	N	%	N	%	N	%
X	107	78	1288	85	229	91.6	1288	89.4
R	25	18	77	5	4	1.6	48	3.3
Y	4	3	139	9	15	6.0	101	7.0
S	1	1	1	0	0	0.0	1	0.1
L	1	1	0	0	1	0.4	0	0.0
x	0	0	1	0	0	0.0	1	0.1
t	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0
NN	0	0	3	0	1	0.4	2	0.1
Total	138	100	1509	100	250	100	1441	100

La comparación de los tipos de escamas después y antes del cambio sedimentológico muestran una reducción de escamas no típicas en el periodo más antiguo (ver Tabla IX). En el testigo B0506-13 hay una reducción significativa de las escamas no típicas antes del cambio sedimentológico ( $X^2$ ,  $p = 0.009$ ). En el testigo más profundo hubo también una reducción pero sin ser significativamente diferentes ( $X^2$ ,  $p = 0.23$ )



Tabla IX. Tipo de escama de anchoveta en los testigos B0506-13 y B0506-14 después y antes del cambio sedimentológico.

Tipo de escama	B0506-13				B0506-14			
	Después del cambio		Antes del cambio		Después del cambio		Antes del cambio	
	N	%	N	%	N	%	N	%
X	1072	82	323	94	1075	88.5	442	92.86
R	95	7	7	2	39	3.2	13	2.73
Y	128	10	15	4	96	7.9	20	4.2
S	2	0	0	0	1	0.1	0	0
L	1	0	0	0	1	0.1	0	0
x min	1	0	0	0	1	0.1	0	0
t	0	0	0	0	0	0.0	0	0
NN	3	0	0	0	2	0.2	1	0.21
Total	1302	100	345	100	1215	100	476	100

## V. Discusión

### V.1 Estratigrafía

Las correlaciones estratigráficas entre testigos colectados en una misma zona siempre presentan dificultades debido a eventos de transporte lateral de sedimentos (slump), cambios en las tasas de depositación, variación en el tamaño de las bandas o láminas, entre otros factores (Baumgartner et al. 1991, O'Connell y Tunnicliffe, 2001). Estas dificultades se encuentran aún en zonas en donde el registro sedimentario presenta laminaciones a lo largo de la mayor parte de los testigos como frente a Guaymas (Baumgartner et al. 1991) o en Saanich Inlet (O'Connell y Tunnicliffe, 2001). En Perú los testigos colectados frente a Pisco, utilizados en este trabajo, son los que presentan una mayor cantidad de laminaciones en comparación con otros testigos colectados en la costa peruana (de Pisco hacia el norte). No se han colectado aún testigos que presenten finas laminaciones en la mayor parte del testigo como en Guaymas, Santa Bárbara o Saanich Inlet. Los cambios en intensidad de la ZMO, la elevada pendiente y la gran sismicidad que existe frente a Pisco podrían ser factores que influyan en la mezcla de los sedimentos y la pérdida de continuidad estratigráfica. Por otro lado la ausencia de láminas puede deberse a una falta de alternancia de los sedimentos debido a una dominancia en los flujos de materia orgánica cuando existe una mayor tasa de sedimentación. A pesar de la escasez de laminaciones en los testigos colectados frente a Pisco se identificaron 7 paquetes estratigráficos que pueden ser utilizados para correlacionar otros testigos colectados frente a Pisco.

En los testigos colectados frente a Pisco se observan dos periodos sedimentológicamente contrastantes: después y antes del cambio sedimentológico. En el periodo más reciente se observa una escasez de estructuras sedimentarias (en particular los primeros 30 cm) que dificultan las correlaciones estratigráficas. Los 4 paquetes estratigráficos identificados en este periodo no tendrían tanta certeza como los paquetes identificados antes del cambio sedimentológico. En el periodo más antiguo, se observan finas laminaciones que pueden ser distinguidas en los tres testigos analizados y los dos testigos colectados a 300 metros

presentan estructuras sorprendentemente similares. En este periodo también se observa en los tres testigos un gran deslizamiento de lodo (debajo del paquete estratigráfico VII) que puede ser utilizado como referencia en otros testigos. Otro deslizamiento de lodo (debajo del paquete estratigráfico VI en el testigo B0506-13) es un claro ejemplo de como se eliminan estructuras sedimentarias sin dejar rastro en el testigo. La pérdida de estructuras sedimentarias en un testigo refuerza la idea de que es necesario varios testigos en la misma zona para reconstruir una secuencia continúa que permita entender la variabilidad del ecosistema.

La presencia de estructuras sedimentarias a la misma profundidad en los testigos B0506-13 y B0506-14 sugiere, en forma general, una misma tasa de sedimentación en los dos testigos a pesar de que el testigo B0506-14 es 50% más profundo que el testigo más somero. Por debajo del cambio sedimentológico el testigo B0405-6 también presenta estructuras de similar espesor lo que sugiere que no hay diferencias significativas en la tasa de sedimentación. Si aplicamos una tasa de sedimentación de 1mm por año en el periodo antes del cambio sedimentológico (Gutiérrez et al. 2006d), la edad aproximada de los testigos B0506-13 y B0506-14 sería de aproximadamente 500 años.

La ausencia en el testigo B0405-6 de gran parte de las estructuras estratigráficas entre los paquetes estratigráficos IV y V observados en los testigos B0506-13 y B0506-14 indica una pérdida de 17 cm de lodo en este periodo que no puede ser explicado por una disminución en la tasa de sedimentación. Los 17 cm corresponderían a aproximadamente 58 años aplicando una tasa de sedimentación de 2.94 mm por año.

Las abundancias de escamas de anchoveta y la ausencia/presencia de escamas de sardina fueron consideradas en este trabajo para ayudar a establecer las correlaciones estratigráficas. Es posible que se puedan correlacionar más niveles estratigráficos entre los testigos mediante la variación en la composición de otros restos biológicos como diatomeas a lo largo de los testigos. Ante la escasa presencia de laminaciones en partes de los testigos, la utilización de una mayor cantidad de testigos, más y mejores radiografías, fechados con

$^{210}\text{Pb}$ , la composición de restos biológicos entre otros factores podrían ser utilizados para la construcción de una bio-crono-estratigrafía maestra frente a Pisco.

La continuidad lateral de secuencias de láminas entre los testigos colectados frente a Pisco, a pesar de estar 6 millas de distancia entre ellos, sugiere que los procesos que originan las estructuras sedimentarias son similares en la zona de estudio. Frente a Guaymas, testigos de caja colectados a casi 20 kilómetros de distancia entre ellos también muestran estructuras similares (Baumgartner et al. 1991). Por lo que de manera similar a lo que ocurre frente a Guaymas, los procesos responsables de la formación de las estructuras sedimentarias en Pisco serían similares en una gran área.

## V.2 Evidencias de degradación en las escamas

### V.2.1 Índices de degradación

El índice de integridad de las escamas enteras de anchoveta indicó una mayor degradación de escamas en el periodo antes del cambio sedimentológico (Figura 26) y si se utilizara más sedimento por muestra podríamos obtener un índice de degradación a una mayor resolución temporal. Debido al distinto diseño de las escamas entre especies es complicado y a veces poco informativo el uso de este índice para otras especies. Por ejemplo la gran mayoría de las escamas de merluza no se encuentran completas en los sedimentos o a veces es difícil determinar si una escama de mictófido o de caballa está completa o no.

Otro factor que indica una mayor degradación antes del cambio sedimentológico es el aumento de las mitades de escamas tipo R en comparación con las escamas enteras (Tabla IX). Las escamas tipo R, S y L presentan líneas longitudinales desde un extremo al otro, por lo que se fracturarían fácilmente por algún movimiento mecánico como por ejemplo durante la preparación de las muestras. Los fragmentos de escamas retenidos en el tamiz de 350 micras también tendrían un origen similar, que tal vez no se deba exclusivamente a un proceso de degradación sino más bien a que las escamas se fragmentan mecánicamente por

ejemplo durante el tamizado.

La presencia de hongos sobre la superficie de los restos ictiológicos nos estaría indicando un mecanismo por el cual se degradan los restos ictiológicos y que ocurre a lo largo de todo el testigo. La diferencia en la estructura y composición de las escamas y vértebras podría indicar una mayor resistencia por parte de las vértebras a la degradación por hongos. Durante la identificación de restos ictiológicos se observó que las escamas con hongos por toda su superficie (grado de cobertura 4) se fragmentaban durante la identificación y manipulación, sin embargo las vértebras con hongos por toda su superficie en general no estaban tan frágiles como las escamas.

Una posible causa de la presencia de estos hongos sobre las escamas y restos óseos fue que crecieron durante el almacenaje de los testigos en refrigeración. Esta posibilidad fue descartada al observar escamas con hongos un día después de coleccionar un testigo frente a Callao por lo que la degradación de escamas por hongos es un proceso que ocurre en los sedimentos marinos. La identificación de los hongos observados sobre los restos ictiológicos podría brindarnos información acerca de las condiciones ambientales, por ejemplo niveles de oxígeno, necesarios para la supervivencia de los hongos y que podrían ser utilizados para entender el proceso de degradación de las escamas.

Las razones de escamas entre restos óseos fueron examinadas en este trabajo como indicadores de procesos post-degradacionales suponiendo diferencias en la degradación entre estos dos tipos de restos ictiológicos. En especial la razón escamas/vértebras de la misma especie nos proporciona información específica de degradación de los restos ictiológicos de la especie por lo que es importante una correcta identificación de todas las vértebras. Debido a la gran cantidad de escamas de anchoveta frente a Pisco, se necesitaría mucho lodo por muestra para construir razones de escamas/vértebras de otras especies como por ejemplo de sardina. Es posible que las vértebras no identificadas en este trabajo se traten de peces cuyas escamas no se vean reflejadas en la muestra por lo que la razón escamas/todas las vértebras presentarían aparentemente un sesgo. Una posibilidad es que

las escamas no sean retenidas por el tamiz de 350 micras o se degraden fácilmente.

Las otras características que sugieren degradación en las escamas en la sección D de cada testigo también sugieren una menor preservación de las escamas en el testigo más somero. Estas características que sugieren degradación tendrán que ser tomadas en cuenta para un futuro estudio de preservación de las escamas. Quizás la combinación de varias características de degradación en un solo índice compuesto sería un fuerte indicador de degradación de las escamas. La gran variedad de características que sugieren degradación de las escamas indicaría que existen varios procesos involucrados en la preservación de las escamas. Los procesos de degradación de las escamas tendrán que ser estudiados experimentalmente para entender el proceso de degradación de los restos ictiológicos.

La ausencia y/o presencia de las escamas por especie a lo largo de los testigos también podrían sugerir degradación de las escamas. Por ejemplo, las escamas de los mictófidios son las más pequeñas y estarían más propensas a procesos degradativos mientras que las escamas de jurel al ser más gruesas resistirían más algún proceso de degradación.

#### V.2.2 Evidencias de degradación en los testigos B0506-13 y B0506-14

El mecanismo por el cual las escamas y los huesos llegan a los sedimentos es diferente. Los peces que forman cardúmenes como la anchoveta y sardina son deciduos por naturaleza, es decir pierden sus escamas durante su vida. Experimentos en cautiverio han mostrado que los peces pierden más escamas cuando están enfermos y más aún cuando son atacados por otros peces (O'Connell y Tunnicliffe, 2001; Lozano-Montes, 1997 y Salvattecí et al., 2004). Para que los huesos de un pez (vértebras, espinas u otros) lleguen al fondo marino el pez tiene que morir y lo más probable es que lleguen al fondo marino en forma de pellets fecales. La anchoveta y sardina son presas de depredadores como el jurel, caballa, aves marinas y pinnípedos entre otros. Se ha observado que la degradación de los huesos y las escamas en el sistema digestivo de los peces es distinto (O'Connell y Tunnicliffe, 2001), por lo que razones escamas/restos óseos en los sedimentos podría verse afectada por

posibles diferencias en la digestión de escamas (DeVries & Percy 1982, O'Connell y Tunnicliffe, 2001). Una disminución de depredadores del sistema, como por ejemplo la extracción del jurel y la caballa podría alterar la razón escamas/restos óseos en los sedimentos disminuyendo el flujo de restos óseos al fondo marino. Sin embargo si las condiciones son similares una disminución de las escamas en relación a los restos óseos podría indicar procesos de degradación de las escamas.

La comparación de abundancias, razones de escamas/ huesos e índices de degradación a partir de los paquetes estratigráficos entre testigos debiera ser la mejor forma de comparar la magnitud de la degradación de las escamas porque estamos comparando las mismas secuencias estratigráficas. Lamentablemente no se pudieron obtener una mayor cantidad de paquetes estratigráficos para realizar pruebas estadísticas confiables. La correlación estratigráfica entre los testigos B0506-13 y B0506-14 mostró que ambos testigos presentan aparentemente la misma tasa de sedimentación por lo que la comparación por grupos de cada 10 muestras nos acercaría a la comparación entre los paquetes estratigráficos. Además estamos utilizando la información obtenida en todo el testigo y no solo una porción del testigo como en el caso de los paquetes estratigráficos. La razón de agrupar muestras proviene en conseguir un mayor número de restos ictiológicos (en particular vértebras) en algunas muestras para tener confianza en las razones estimadas. La agrupación de muestras resta resolución temporal al trabajo por lo que sería recomendable una mayor cantidad de lodo por muestra (Tunnicliffe et al., 2001, O'Connell y Tunnicliffe, 2001), específicamente utilizar mínimo dos losas de cada testigo para el conteo e identificación de restos ictiológicos.

La comparación entre los periodos antes y después del cambio sedimentológico en los testigos B0506-13 y B0506-14 indicarían una mayor degradación de escamas de anchoveta en el periodo más antiguo (Figuras 27 y 28). Debido a que puede haber menores tasas de depositación antes del cambio sedimentológico, hay que examinar otros índices a parte de las abundancias de restos óseos/g. Por ejemplo, la razón escamas de anchoveta/vértebras de anchoveta y el índice de integridad de las escamas de anchoveta indicaron una menor

conservación de las escamas en el periodo más antiguo.

Valores mayores del índice de cobertura de hongos sobre las vértebras en el testigo B0506-13 en comparación con el testigo B0506-14 antes del cambio sedimentológico (Figura 26), podría sugerir que el mayor índice de cobertura de hongos sobre las escamas en el testigo B0506-14 se debe a que las escamas con hongos en el testigo más somero ya se degradaron. Un mayor conocimiento acerca de la biología de los hongos y su relación con la ZMO podrían ayudar a esclarecer este aspecto.

El significativo aumento en las escamas del tipo X antes del cambio sedimentológico (Tabla IX) también podría haber resultado por mayor degradación de escamas en este periodo. Las escamas del tipo R son aparentemente más delgadas que las escamas tipo X por lo que se podrían degradar con mayor facilidad. Por otro lado la disminución en el ancho de las escamas del tipo X antes del cambio sedimentológico indica que no existiría una preferencia de degradación en las escamas tipo X más pequeñas.

La similitud entre los dos testigos después del cambio sedimentológico nos indicaría que las condiciones durante el periodo más reciente fueron similares en los dos sitios. En este periodo la mayor abundancia de vértebras no identificadas en el testigo B0506-14 (Figura 19) sugiere la presencia de una mayor abundancia de especies asociadas a un hábitat más lejano a la costa.

En el periodo antes del cambio sedimentológico la disminución significativa de la razón escamas/vértebras de anchoveta en el testigo B0506-13, indicaría que la degradación de escamas en el periodo más antiguo fue menos intensa en el testigo más profundo y más intensa en el más somero. Esto nos podría sugerir que la degradación estaría activada por un mecanismo dependiente de ligeras variaciones en la concentración de oxígeno. La mayor degradación en el testigo más somero no podría haber sido activada por fuertes cambios en la concentración de oxígeno por debajo del cambio sedimentológico porque no se hubieran formado finas laminaciones en este periodo.



Sedimentos colectados frente a Pisco (B0405-6) y Callao (B0405-13) muestran que después del cambio sedimentológico, la concentración de oxígeno y la productividad aumentaron (Sifeddine et al., en revisión; Gutiérrez et al., en preparación). El menor índice de integridad de las escamas de anchoveta y el aumento de la razón escamas/vértebras de anchoveta en este periodo indican que la mejor preservación de las escamas es favorecida por las condiciones más disóxicas en el periodo más reciente.

La ausencia de escamas de anchoveta entre ~40 a ~55 cm en los testigos estudiados en este trabajo (B0506-13 y B0506-14) no se debe a una degradación de escamas de anchoveta, debido a la ausencia de vértebras de anchoveta y la presencia de vértebras no identificadas pequeñas y delgadas. Esta ausencia de escamas de anchoveta se debe a un cambio en el ecosistema de afloramiento hacia una mayor presencia de peces de aguas más cálidas. Sin embargo la gran disminución de escamas por debajo del cambio sedimentológico tanto en los testigos B0506-13 y B0506-14 como en los testigos de Callao (B0405-13) y Pisco (B0405-6) si tendrían una fuerte señal de degradación porque los resultados de este trabajo sugieren una mayor degradación de escamas por debajo del cambio sedimentológico.

### V.3 Efecto de la pesquería

Aunque no se observó un cambio en el ancho de las escamas de anchoveta en el periodo de la pesquería, si se encontró una ligera disminución en este periodo en el testigo más cercano a la costa, que podría ser explicado por estar más expuesto a los efectos de la pesquería en comparación con el testigo B0506-14. La baja cantidad de escamas medidas durante el periodo de la pesquería podría estar afectando el resultado. La metodología en la medición de los anchos de las escamas en los testigos de Pisco (B0405-6) y Callao (B0405-13), es diferente a la utilizada en este trabajo. En los testigos B0405-6 y B0405-13 se midieron todas las escamas sin considerar el tipo de las escamas, además el ancho de las escamas incompletas obtenido a partir de una aproximación no se diferenció de la medición realizada en las escamas completas. Por lo que no es posible una comparación de los anchos de las escamas obtenidos en los testigos B0405-6 y B0405-13 con los obtenidos en

este trabajo.

La mayor disminución en las abundancias de restos óseos en la etapa de pesquería en el testigo B0506-13 que en el testigo B0506-14 podría ser explicado por la cercanía a la costa y por consiguiente a las zonas de pesca. Este resultado sugiere que los restos óseos (en mayor proporción que las escamas) serían más afectados por la pesquería y terminarían como harina de pescado como ha sido sugerido por Gutiérrez et al. (2006a) y Salvattecí et al. (2006).

#### V.4 Cambios en las poblaciones de peces

##### V.4.1 Cambios temporales

La baja abundancia de escamas de anchoveta en Pisco (B0405-6) y Callao (B0405-13) antes del cambio sedimentológico sugieren una drástica disminución de la población de anchoveta en este periodo. Sin embargo los índices de degradación mostrados en este trabajo y en especial la razón escamas/ vértebras de anchoveta sugieren una fuerte degradación antes del cambio sedimentológico.

Por otro lado la ligera pero no significativa disminución de las vértebras de anchoveta antes del cambio sedimentológico, observados en los dos testigos estudiados en este trabajo, sugiere una posible disminución y/o un desplazamiento de la población de anchoveta si no hubo una mayor degradación de vértebras antes del cambio sedimentológico. Sin embargo la menor tasa de sedimentación en este periodo (1 mm por año) comparado con el periodo más reciente (2.2 mm por año) de acuerdo con Gutiérrez et al (2006d) indicaría que antes del cambio sedimentológico los flujos de restos ictiológicos/g disminuirían notablemente. Por ejemplo si usamos las tasas de sedimentación de Gutiérrez et al. (2006d), un intervalo de 5 cm después del cambio sedimentológico correspondería a ~23 años mientras que antes del cambio sedimentológico 5 cm correspondería a 50 años, por lo que al convertir el

número de escamas/g ó vértebras/g en flujos o tasas de depositación, los valores antes del cambio sedimentológico disminuirían notablemente.

Un mayor número de testigos colectados a lo largo del ecosistema de afloramiento peruano podría brindarnos información acerca de la posible disminución en la población de anchoveta inferida a partir de las vértebras. Posiblemente se debe a una disminución de la población de anchoveta en todo el ecosistema de afloramiento o que la población de anchoveta se concentró frente a Pisco en un periodo de baja abundancia de anchoveta.

En el ecosistema de afloramiento peruano, así como en otros ecosistemas de afloramiento se han observado alternancias en las poblaciones de anchoveta y sardina (Schwartzlose et al., 1989). Las abundancias de escamas de anchoveta y sardina en la etapa de la pesquería en los testigos colectados frente a Callao (B0405-13) y Pisco (B0405-6) estarían de acuerdo con este patrón. El fechado de los sedimentos a partir de  $^{210}\text{Pb}$  permitirá obtener conclusiones más precisas en los últimos 50 años para los testigos utilizados en este trabajo aunque la aparición de escamas de sardina fue similar en comparación con el testigo B0405-6.

Debido a que no hay evidencia de degradación de escamas de anchoveta entre ~40 a ~55 cm en los testigos B0506-13 y B0506-14, la disminución en la abundancia de escamas indica una disminución en la población de anchoveta. La disminución de escamas de anchoveta en este periodo está asociada primero con un aumento en la abundancia de escamas de jurel y caballa y luego por la aparición de escamas de sardina. Este patrón también se ha observado en los testigos de Callao (B0405-13) y especialmente en el testigo de Pisco (B0405-6).

Una de las preguntas que se plantean en torno a la alternancia entre estas dos especies, es si el cambio entre los periodos de abundancia de sardina a anchoveta es rápido o es gradual. En Perú, durante la pesquería, el cambio del ecosistema hacia una etapa dominada por sardina comenzó en 1969 (Alheit y Ñiquen, 2002), justo cuando fueron reportados los

máximos desembarques de anchoveta. Este cambio comenzó con un acercamiento a la costa de aguas subtropicales, la disminución de zooplancton entre otros factores (Alheit y Ñiquen, 2002). La población de sardina se incrementó notoriamente recién a finales de los 70s. La evidencia presentada en este trabajo también sugiere un patrón similar. Antes de la aparición de escamas de sardina (~40 a ~48 cm) en los testigos B0506-13 y B0506-14 se encontraron escamas de peces con preferencia al frente oceánico formado por las aguas costeras frías con las aguas subtropicales superficiales como el jurel y la caballa (Dioses, 1995). Sin embargo la transición de sardina a anchoveta aparentemente es más corto y drástico posiblemente explicado por una competencia entre especies en la cual la mayor tasa de crecimiento de la población de anchoveta en comparación con la población de sardina benefició a la anchoveta. Es conocido que las anchovetas pueden pasar de bajas biomazas a altas biomazas en cortos periodos cuando las condiciones son favorables, como se ha observado después del fenómeno El Niño de 1997-98 (Ñiquen y Bouchon, 2004).

Si aplicamos una tasa de sedimentación de 2.94 mm por año, el periodo de desaparición de la anchoveta (~40 a ~55 cm) correspondería entre ~1840 a ~1880. Vargas et al (2007), a partir de un testigo colectado frente a Mejillones, caracterizó al periodo desde 1820 a 1878 como de transición entre una etapa antigua caracterizada por bajos flujos en minerales líticos y carbono orgánico y una etapa moderna caracterizada por un aumento en los flujos de minerales líticos y de carbono orgánico. Las reconstrucciones históricas de los fenómenos El Niño indican que este periodo se caracterizó por una mayor frecuencia y duración de fenómenos El Niño del tipo débil o moderado (Ortlieb, 2002). Esto podría sugerir que las condiciones oceanográficas no fueron favorables para la anchoveta durante este periodo.

#### V.4.2 Cambios espaciales

El menor promedio de los anchos de las escamas de anchoveta tipo X en el testigo más cercano a la costa sugiere un mayor porcentaje de juveniles cerca de la costa. Este patrón ha sido observado a partir de los desembarques de la flota pesquera frente a las costas

peruanas y por los cruceros que realiza frecuentemente el IMARPE. La diferencia encontrada en el promedio del ancho de las escamas sugiere que a pesar de que los testigos se encuentran a 6 millas de distancia entre ellos es posible detectar cambios en la estructura de tallas en la población de anchoveta.

A lo largo de los testigos, el testigo más alejado de la costa presenta ligeramente más escamas de sardina, jurel, caballa y agujilla que el testigo más somero. Esta observación puede ser explicada debido a que el testigo más alejado estaría más expuesto a cambios en el frente oceánico formado por las aguas costeras frías con las aguas subtropicales superficiales habitado por algunas de estas especies (Swartzman et al. en prensa; Dioses, 1995).

La población de anchoveta, en periodos de baja abundancia o durante El Niño, tiende a concentrarse hacia la costa y cerca de áreas de afloramiento (Mathisen, 1989; Ñiquen & Bouchon, 2004). Los testigos colectados frente a Pisco están localizados cerca a una pluma de afloramiento que durante fenómenos El Niño tiende a presentar altos valores de nutrientes en comparación con otras áreas del litoral peruano (Barber & Chávez, 1983). Sin embargo la ausencia de escamas de anchoveta (entre ~40 a 55 cm) indicaría que aún frente a Pisco la población de anchoveta disminuyó notablemente. Los conteos de escamas de anchoveta en un testigo colectado cerca de la costa en bahía Mejillones en Chile, muestra que durante el periodo de abundancia de sardina (equivalente al periodo de sardina en los testigos de Pisco) se observaron un gran número de escamas de anchoveta (Valdés et al. en prensa). Esto podría sugerir que la anchoveta se desplazó al sur y se acercó a la costa en este largo periodo.

Los tres periodos observados en este trabajo: a) desde la base del testigo hasta ~1840 con una menor abundancia de anchoveta, b) desde ~1840 a ~1880 con dominancia de sardina, jurel y caballa y c) desde ~1880 a la fecha con una mayor abundancia de anchoveta, sugieren cambios en las condiciones oceanográficas que influyeron en el ecosistema de afloramiento peruano. Haciendo una comparación con la distribución espacial de la

anchoveta y sardina durante condiciones extremas como el Niño 1997-98, se podría sugerir que el periodo de menor abundancia de anchoveta (base del testigo hasta ~1840) se asemejaría a una etapa intermedia de El Niño con bajas abundancia de anchoveta (ver Figura 34b). El periodo desde ~1840 a ~1880 se asemejaría a la etapa final de El Niño (Figura 34c) pero más drástica en la disminución de la biomasa de anchoveta y con una mayor abundancia de sardina. Finalmente el periodo más moderno desde ~1880 a la fecha se asemejaría a la distribución mostrada en la Figura 34a con una mayor abundancia de anchoveta frente a la costa y la presencia de sardina en el norte de Perú.

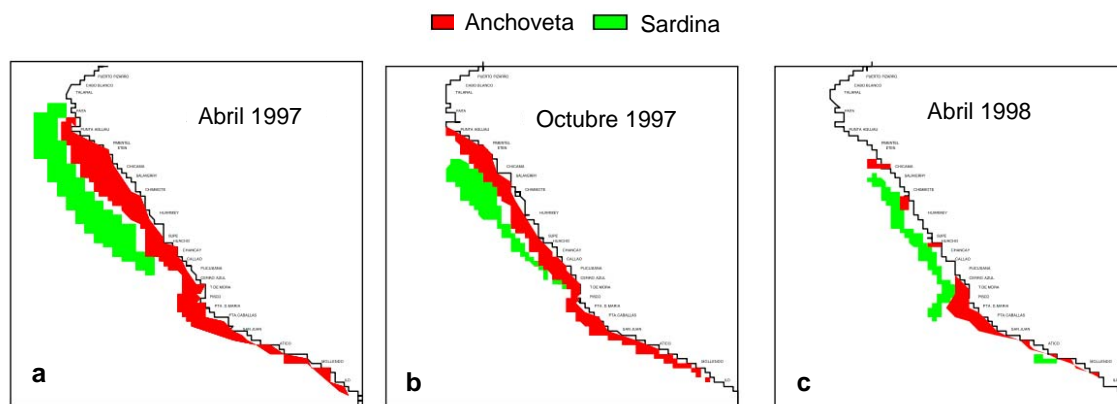


Figura 34. Cambios en la distribución espacial de la anchoveta y sardina durante condiciones extremas. a) Etapa inicial de El Niño, b) Etapa intermedia de El Niño y c) Etapa final de El Niño. Tomado de Ñiquen y Bouchon, 2004).

## VI. Conclusiones

Los patrones de conservación de escamas en los dos testigos analizados indican un debilitamiento y/o profundización de la ZMO durante el periodo caracterizado por una baja abundancia de escamas en los sedimentos (antes de aproximadamente ~1820); siendo las escamas del testigo más somero más afectadas por la degradación. Debido al efecto de la degradación sobre las escamas encontrado en los testigos estudiados en este trabajo durante el periodo caracterizado por la baja abundancia de escamas se infiere que las bajas abundancias de escamas en los testigos de Callao (B0405-13) y Pisco (B0405-6) también tendrían una fuerte señal de degradación durante este periodo. Por lo que la historia de la variabilidad de las poblaciones de anchoveta deberá ser reconstruida utilizando la razón escamas/vértebras, una mayor cantidad de lodo por muestra, y utilizando varios testigos colectados en el núcleo de la ZMO (si es posible) con la finalidad de evitar un sesgo por degradación de escamas y por falta de continuidad en los registros. Es importante resaltar que cada testigo debe contar con una geocronología de  $^{210}\text{Pb}$  bien registrada con la estratigrafía del testigo. Se construyó un nuevo registro corregido de escamas de anchoveta a partir de la razón escamas/ vértebras de anchoveta para quitar el sesgo por la degradación. Creemos que este nuevo registro reflejaría con una mayor fidelidad el cambio de la población de anchoveta (producción y/o desplazamiento) en la región de Pisco.

El registro de escamas presentó una alternancia significativa en las poblaciones de peces pelágicos: de una dominancia de anchoveta con una densidad poblacional relativamente baja entre la base del testigo hasta ~1840; y luego una dominancia de sardinas y otras especies de aguas más oceánicas y más cálidas hasta ~1880; y finalmente un retorno a una dominancia de anchoveta con mayores densidades poblacionales desde ~1880 hasta ~1970. Se postula que durante el periodo de abundancia de sardina frente a Pisco (~1840 a ~1880) la población de la anchoveta se desplazó hacia el sur y hacia la costa, con una disminución significativa en la densidad local poblacional.

## VII. Referencias Bibliográficas

- Alheit, J. & M. Ñiquen. 2004. Regime shifts in the Humboldt Current Ecosystem. *Progress in Oceanography* 60: 201-222.
- Anderson, C. N. K., C. H. Hsieh, S. A. Sandin, R. Hewitt, A. Hollowed, J. Beddington, R. M. May, & G. Sugihara. 2008. Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance. *Nature*, 452: 835-839
- Atlas, E., & R. M. Pytkowicz. 1977. Solubility behaviour of apatites in seawater. *Limnol. Oceanogr.* 22:290-300.
- Barber, R. T. & F. P. Chávez. 1983. Biological consequences of El Niño. *Science* 222: 1203-1210.
- Baumgartner, T. , Ferreira-Bartrina, V., Cowen, J., & A. Soutar. 1991. Reconstruction of a 20th century varve chronology from the central Gulf of California. In: *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*. J.P. Daupin and B. Simoneit (eds.). Monograph No. 47, Amer. Asoc. of Petrol. Geol., 29:603-616.
- 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.
- Carr, M. E..2002. Estimation of potential productivity in eastern boundary currents using remote sensing. *Deep-Sea Research II* 449: 59-80.
- Chávez, F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, E., & M. Ñiquen. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific ocean. *Science*, 299: 217-221.
- Csirke, J., R. Guevara-Carrasco, G. Cárdenas, M. Ñiquen & A. Chipollini, 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. Callao, 3 pp. Bol. Inst. Mar Perú – Callao.
- DeVries, T.J., & W.G. Percy. 1982. Fish debris in sediments of the upwelling zone off central Peru: a late Quaternary record. *Deep Sea Res.* 28:87-109.
- Dioses, T. 1995. Análisis de la distribución y abundancia de los recursos jurel y caballa frente a la costa peruana. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú* N° 03 Setiembre 1995.



- Espinoza, P. & A. Bertrand. 2006. Revising previous hypothesis on the trophic position and ecological role of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*). International Conference on The Humboldt Current System, November. 27 – December 1, 2006.
- Field, D.B., T.R. Baumgartner, V. Ferreira, D. Gutiérrez, H. Lozano-Montes, R. Salvattecí, & A. Soutar. (en prensa). Fish scales in marine sediments as indicators of variability in small pelagic fishes, Chpt. 4, *In* Climate Change and Small Pelagic Fish, Checkley, D.M., C. Roy, J. Alheit, and Y. Oozeki (Eds.), Cambridge University Press, in press.
- Froelich, P. N., M. L. Bender, N.A. Luedtke, G.R. Heath, & T. DeVries. 1982 The marine phosphorus cycle. *Am. J. Sci.* 282: 474-511.
- Gutiérrez, D., D. Field, A. Sifeddine, L. Ortlieb, G. Vargas, F. Velazco, V. Ferreira, P. Tapia, H. Boucher, R. Salvattecí, M. García, M. Morales, M. Mandeng Yogo, J. Valdés, J. L. Reyss, T. Baumgartner & F. Chávez. (en preparación) A modern centennial-scale regime shift in the biogeochemistry of the Peruvian upwelling system.
- Gutiérrez, D., Gallardo, V. A., Mayor, S., Neira, C., Vásquez, C., Sellanes, J., Rivas, M., Soto, A., Carrasco, F. & M. Baltazar. 2000. Effects of dissolved oxygen and fresh organic matter on the bioturbation potential of macrofauna in sublittoral bottoms off central Chile, during the 1997–98 El Niño. *Marine Ecology Progress Series* 202: 81–99.
- Gutiérrez D., D. Field, R. Salvattecí, T. Baumgartner, A. Soutar, J. Díaz Ochoa, F. Velazco, L. Ortlieb, A. Sifeddine, P. Tapia, C.B.Lange, V. Ferreira & G. Vargas, 2006a. Decadal to centennial variability of the Peruvian upwelling ecosystem during the last centuries as inferred from fish scale deposition rates of anchovy and other marine sediment records. International Conference on The Humboldt Current System, November. 27 – December 1, 2006.
- Gutiérrez, D., Sifeddine, A., Reyss, J.L., Vargas, G., Velazco, F., Salvattecí, R., Ferreira, V., Ortlieb, L., Field, D., Baumgartner, T., Boussafir, M., Boucher, H., Valdés, J., Marinovic, L., Soler, P. & P. Tapia. 2006b. 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.
- Gutiérrez, D., L. Quipúzcoa & E. Enríquez. 2006c. Oxygen deficiency and benthic communities in the Peruvian upper continental margin. *Gayana, Suppl.*, 70:29-36
- Gutiérrez, D., Vargas, G., Ortlieb, L., Reyss J. L., & A. Sifeddine. 2006d. Precise age models from recent laminated sediments of the Central Peruvian margin. XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú, p. 541-542

- Helly, J. & L. Levin. 2004. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep Sea Research I* 51:1159-1168.
- Holmgren, D. & T. Baumgartner. 1993. A 250-year history of pelagic fish abundances from the anaerobic sediments of the Central Gulf of California. *CalCOFI Rep.*, Vol. 34:60-68
- Hsieh, C. H., S. C. Reiss, J. R. Hunter, J. R. Beddington, R. M. May, & G. Sugihara. 2006. Fishing elevates variability in the abundance of exploited species. *Nature*. 443: 859-862.
- Kamykowski, D. & S. J. Zentara. 1990. Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep-Sea Research* 37: 1861–1874.
- Keller, G. 1981. Coastal upwelling, its influence on the geotechnical properties and stability characteristics of submarine deposits. In: *Coastal Upwelling, its sediment record. Part B: Sedimentary Records of Ancient Coastal Upwelling*. Edited by Thiede, J. & E. Suess. 1981. 181-199.
- Kemp, A. E. 1990. Sedimentary fabrics and variation in lamination style in Peru continental upwelling sediments, in: *Proceedings of the Ocean Drilling Project, Scientific Results, ODP*, edited by: Suess, E., Von Huene, R., Emeis, K., Bourgois, J., et. al., College Station, Texas, 112: 45-58, 1990.
- Levin, L. A., D. Gutiérrez, A Rathburn, C. Neira, J. Sellanes, P. Muñoz, V. A. Gallardo & M. Salamanca. 2002. Benthic processes on the Peru Margin: A transect across the oxygen minimum zone during the 1997-98 El Niño. *Progress in Oceanography*, 53:1-27.
- Levin, L.A. 2003. Oxygen Minimum Zone Benthos: Adaptation and Community Response to Hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 41: 1-45
- Liebes, S.M. 1992. *An introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley & Sons, 734p.
- Lozano, Hector. 1997. Análisis del uso de escamas fósiles de la cuenca de Santa Bárbara, California, para reconstruir variaciones en abundancia y estructura de las poblaciones de sardina y anchoveta. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Mathisen, O. A. 1989. Adaptation of the anchoveta (*Engraulis ringens*) to the Peruvian upwelling system, p. 220-234. In D. Pauly, P. Muck, J. Mendo and I. Tsukayama (eds.)

The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18, 438 p. Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GMBH, Eschborn, Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.

Morales, M., D. Field, S. Mayor, D. Gutiérrez, A. Sifeddine, L. Ortlieb, V. Ferreira, R. Salvatelli, & F. Velasco. 2006. Variaciones de foraminíferos de los últimos 460 años en sedimentos laminados de la plataforma continental peruana. Boletín Sociedad Geológica del Perú. 101:5-18.

Morón O. 2000. Características del ambiente marino frente la costa peruana. En Trabajos expuestos en el taller internacional sobre la anchoveta peruana (TIAP). 9-12 mayo 2000 vol. 19/Nos. 1 y 2 diciembre 2000 IMARPE

Muck, P. 1989. Major trends in the pleagic ecosystem of Peru and their implications for management. *In* D. Pauly, P. Muck, J. Mendo and I. Tsukayama (eds.) The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18, 438 p. Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GMBH, Eschborn, Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.

Nemliher, J., T. Kallaste & I. Puura. 1997. Hydroxyapatite varieties in recent fish scales. Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 46: 187-196.

Newesly, H. 1989. Fossil bone apatite. Appl. Geochem. 4:233-245.

Ñiquen, M., & M. Bouchon. 2004. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters, Deep-Sea Research, II, 51: 563-574.

Ñiquen, M., Espino, M., & M. Bouchon. 2000. Análisis de la Población de Anchoveta Peruana durante el período 1961 – 1999. En Taller Internacional de la Anchoveta Peruana (TIAP). 9 -12 mayo 2000. 204 pp. Bol. Inst. Mar Perú – Callao.

O'Connell, J. M. & V. Tunnicliffe, 2001. The use of sedimentary fish remains for interpretation of long-term fish population fluctuations, Marine Geology, 174: 177-195.

Ortlieb, L., Vargas, G. & A.-M. Hocquenghem. 2002. ENSO reconstruction based on documentary data from Ecuador, Perú and Chile. Pages News. Vol. 10, N° 3 – Dec. 2002.

- Palomares, M.L., P. Muck, J. Mendo, E. Chuman de Flores, O. Gómez & D. Pauly. 1987. Growth of the Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*), 1953 to 1982, p. 117-141. *In* D. Pauly and I. Tsukayama (eds.). The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM Studies and Reviews 15.
- Pauly, D. & I. Tsukayama. 1987. On the implementation of management – oriented fishery research: the case of the Peruvian anchoveta, p.1 – 13. *In* D. Pauly and I. Tsukayama (eds.) The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM Studies and Reviews 15, 351 p, Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GMBH, Eschborn, Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.
- Pauly, D., A. Jarre, S. Luna, V. Sambilay, Jr., B. Rojas de Mendiola & A. Alamo. 1989. On the quantity and types of food ingested by Peruvian anchoveta, 1953 to 1985, 9. 109 – 124. *In* D. Pauly, P. Muck, J. Mendo and I. Tsukayama (eds.) The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18, 438 p. Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GMBH, Eschborn, Federal Republic of Germany; and International Center for living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.
- Posner, A.S., N.C. Blumenthal & F. Betts. 1984. Chemistry and structure of precipitated hydroxyapatites, p. 330-350. *In* J. O. Nriagu, and P. B. Moore [eds], Phosphate minerals. Springer
- Salvatteci, R., D. Gutiérrez, 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. Octubre 2006
- Salvatteci, R., F. Velazco, D. Gutiérrez, V. Vera & C. Espinoza. 2004. Determinación de las variedades de escamas de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) y sus tasas de desprendimiento bajo condiciones experimentales. Reunión científica del ICBAR. Abril 2004
- Salvatteci, R; Field, D.; Gutiérrez, 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.

- Sánchez, G., R. Calienes & S. Zuta. 2000. The 1997-98 El Niño and its effects on the coastal marine ecosystem off Peru. CALCOFI Rep. 41: 62-86.
- Schenau, S. J. & G. J. De Lange. 2000. A novel chemical method to quantify fish debris in marine sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 45 (4), 2000, 963-971
- Schwartzlose, R. A., Alheit, J., Bakun, A., Baumgartner, T. R., Cloete, R., Crawford, R. J. M., Fletcher, W. J., Green-Ruiz, Y., Hagen, E., Kawasaki, T., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, S. E., MacCall, A. D., Matsuura, Y., Nevarez-Martinez, M. O., Parrish, R.H., Roy, C., Serra, R., Shust, K. V., Ward, M. N., & J. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *South African Journal of Marine Science*, 21: 289–347.
- Shackleton, L.Y. & R. F. Johnson. 1988. Identification of and distinction between the scales of south african pilchard *Sardinops ocellatus* and cape anchovy *Engraulis capensis*. *S. Afr. J. mar. Sci.* 6:207-216.
- Shackleton, L.Y. 1987. A comparative study of fossil fish scales from three upwelling regions. *S. Afr. J. mar. Sci.* 5:79-84.
- Sifeddine, A., Gutiérrez, D., Ortlieb, L., Boucher, H., Velazco, F., Field, D., Vargas, G., Boussafir, M., Salvattecí, R., Ferreira, V., García, M., Valdés, J., Caquineau, S., Mandeng Yogo, M., Cetin, F., Solis, J., Soler, P. & T. Baumgartner. (en revision). Laminated sediments off the Central Peruvian Coast record changes in terrestrial runoff, water mass oxygenation and upwelling productivity over recent centuries. *Progress in Oceanography*.
- Singh, D. & R. Sharma. 1995. Age and growth of a Himalayan teleost *Schizothorax richardsonii* (Gray) from the Garhwal Hills (India). *Fisheries Research* Volume 24, Issue 4:321-329
- Soutar, A. & J.D. Issacs. 1969. History of fish population inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. *Calif. Mar. Res. Comm. CalCOFI*, 13:63-70
- Soutar, A. & J.D. Issacs. 1974. Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the Californias. *Fish. Bull.* 72: 257-273.
- Soutar, A., 1967. The accumulation of fish debris in certain California coastal sediments, *CalCOFI Reports*, 11, 136-139.

- StatSoft, Inc. 2005. STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Strub, P., Mesias, J., Montecinos, V., Rutlant, J. & S. Salinas. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. In: *The Sea*, Vol. 11 (eds. Robinson, A. & Brink, K.), 273-313 (John Wiley Sons, New York, 1998)
- Swartzman, G. Bertrand, A., Gutiérrez, M. & S. Bertrand. (en prensa). The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 – 2005. *Progress in Oceanography*
- Tapia, P., Chang, F., Sanchez, S., Gutiérrez, D., Vargas, G., Sifeddine, A., Ortlieb, L., Field, D., Salvatelli, R. & F. Velasco. 2006 High resolution diatom biostratigraphy and paleoproductivity for the past 300 years from the Lima and west Pisco basins, Perú. International Conference on The Humboldt Current System, November. 27 – December 1, 2006
- Tarazona, J., Gutiérrez, D., Paredes, C. & A. Indacochea. 2003. Una revisión y desafíos para la investigación en Biodiversidad Marina en Perú. *Gayana (Concepc.)*, 2003, vol.67, no.2, p.206-231. ISSN 0717-6538.
- Tunicliffe, V., O'Connell, J. M. & M. R. McQuoid 2001. A Holocene record of marine fish remains from the Northeastern Pacific. *Mar. Geol.* 174, 197–210.
- Tyson, R. V. & T. H. Pearson. 1991. Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview. In *Modern and ancient continental shelf anoxia*, R.V. Tyson & T.H. Pearson (eds). Geological Society Special Publication No. 58. London: Geological Society, 1–24.
- Valdés, J., Ortlieb, L., Marinovic, L., Gutiérrez, D., Vargas, G. & A. Sifeddine. (en prensa). A 250 years-sediment record of sardine and anchovy scale deposition in a coastal oxygen deficient environment of the Humboldt ecosystem (Mejillones bay, 23°S, northern Chile). *Progress in Oceanography*
- Vargas, G., Pantoja, S., Rutlant, J. Lange, C. & L. Ortlieb 2007. Enhancement of coastal upwelling and interdecadal ENSO-like variability in the Peru-Chile Current since late 19th century. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L13607, doi:10.1029/2006GL028812
- Zuta y Guillén. 1970. Oceanografía de las Aguas Costera del Perú, Dpto de Oceanografía. *Boletín IMARPE*, Vol. 2 N° 5, Callao, Perú, pág. 193-196, 1970.