

CENTRO DE INVESTIGACION  
CIENTIFICA Y DE  
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

FLUCTUACIONES POBLACIONALES DE  
DE PECES PELAGICOS EN  
EL GOLFO DE CALIFORNIA EN  
LOS ULTIMOS 250 ANOS

TESIS

MAESTRIA EN CIENCIAS

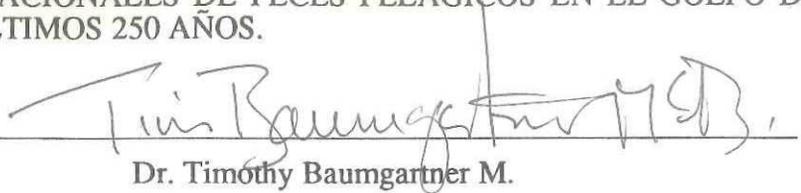
DIEGO TUCAPEL HOLMGREN URBA

ENSENADA,BAJA CALIFORNIA,MEXICO.JUNIO DE 1993.

RESUMEN de la tesis de Diego Tucapel Holmgren Urbá, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOLOGIA con opción en ECOLOGIA MARINA. Ensenada, Baja California, México. Febrero de 1993.

FLUCTUACIONES POBLACIONALES DE PECES PELAGICOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA EN LOS ULTIMOS 250 AÑOS.

Resumen aprobado por



Dr. Timothy Baumgartner M.

Director de tesis

Se examinó con una resolución de 10 años, la depositación de escamas de peces epi y mesopelágicos en los sedimentos laminados anóxicos del talud frente a Guaymas, Golfo de California entre 1734 y 1978.

Se preparó un catálogo fotográfico de referencia de las escamas en el que se incluyeron las especies epi y mesopelágicas más comunes del Golfo de California.

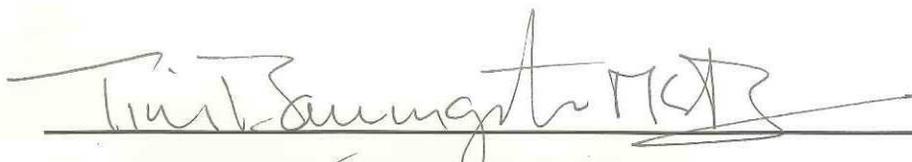
El flujo promedio de escamas de la anchoveta norteña, *Engraulis mordax* (4.5 escamas/1000cm<sup>2</sup>/año) fué mayor que el de la sardina monterrey, *Sardinops sagax* (1.0), macarela, *Scomber japonicus* (1.4) y merluza, *Merluccius* sp. (0.5). Dos especies de mictófidios tropicales: *Diogenycthis laternatus* y *Bentosema panamense*, representaron el 70 % de los mesopelágicos.

En todas las especies se observaron cambios en la tasa de depositación de escamas de gran magnitud (C.V. entre 110 y 255 %). Entre 1800 y 1920 no hay registros de sardina monterrey, mientras que la anchoveta alcanza los valores más altos de abundancia.

Las fluctuaciones de estas dos especies parecen estar asociadas a cambios climáticos globales, la anchoveta fué más abundante en el siglo pasado, un período frío, mientras que la sardina lo fué a partir de la década de 1920, cuando se inició un calentamiento global.

Las series de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta norteña y la sardina monterrey en el talud frente a Guaymas no estuvieron muy correlacionadas con sus contrapartes de la cuenca de Santa Bárbara y cuenca de Soledad (valores de r menores a 0.4 en el retraso cero). Una relación débil (r menores a 0.2 en el retraso cero) también se observó entre el flujo de escamas de la macarela, merluza y el grupo de los mictófidios entre las dos primeras cuencas.

TESIS DEFENDIDA POR: DIEGO TUCAPEL HOLMGREN URBA  
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITE:



**DR. TIMOTHY BAUMGARTNER MCBRIDE.-** Director del Comité



**DR. LUIS EDUARDO CALDERON AGUILERA.-** Miembro de Comité



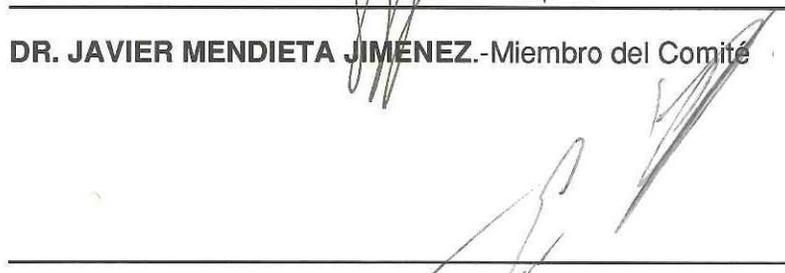
**M.C. GREGORY HAMMANN KUPPERSTEIN.-** Miembro del Comité



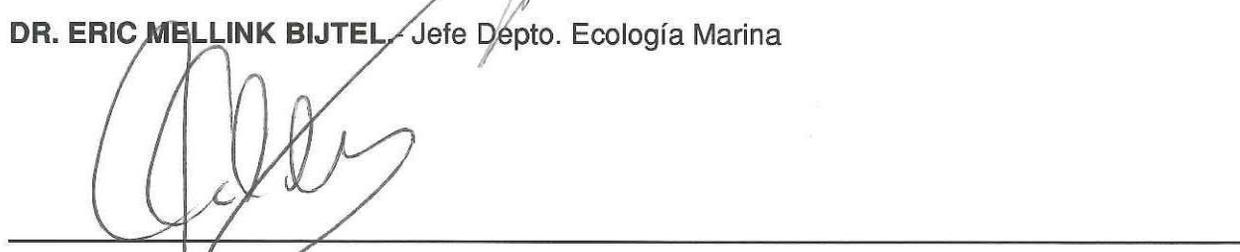
**M.C. VICENTE FERREIRA BARTRINA.-** Miembro del Comité



**DR. JAVIER MENDIETA JIMENEZ.-** Miembro del Comité



**DR. ERIC MELLINK BIJTEL.-** Jefe Depto. Ecología Marina



**DR. LUIS EDUARDO CALDERON AGUILERA.-** Director de Estudios de Posgrado

22 DE FEBRERO DE 1993

**CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE  
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA.**

**DIVISION DE OCEANOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**

**FLUCTUACIONES POBLACIONALES DE PECES PELAGICOS EN EL  
GOLFO DE CALIFORNIA EN LOS ULTIMOS 250 AÑOS**

**TESIS**

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

**DIEGO TUCAPEL HOLMGREN URBA**

**Ensenada, Baja California, Febrero de 1993.**

## DEDICATORIA

A los puros, al Migue, la Mile,  
a todos los amigos y

...al último desLiz.

## AGRADECIMIENTOS

Sección que debí escribir poco a poco, para no caer en "el se me fué". Ahí va:

A los sobrevivientes de la isolumpa de la 17: a la Maru, al Tavo, Enrique, Beto, Lilia, Julio, Güero, Claras, Juanita, Astrid y al que nos amaba a todos, y por supuesto a la Dra.,

A todos los amigos del cerro, a los viejos Maestros (Robepa, Cristóbal, la Güerita), y a los nuevos Troesmas por su hospitalidad, a Salvador por eso mismo y por su nombre, a ?,

a los de la Metro,

Al Chente, por su camaradería en los detallitos y detallotes,

A las bibliotecarias por su constante ayuda en las labores de rescate de información

Al Yico por todas las facilidades y comentarios en la fase oscura de la tesis,

A los miembros del Comité de Tesis: Gregory, Javier, Luis, Vicente y Tim por sus comentarios y sugerencias,

A los miembros del Laboratorio de Pesquerías por su apoyo logístico,

Al los curadores de la colección ictiológica de Scripps por los ejemplares y las escamas recibidas,

A ...Andy Soutar por facilitarme su colección de escamas, pero también por su sencillez,

y también al Cicese, por el apoyo económico durante mis estudios y realización de la Tesis.

y por último al César por lograr este punto.

**... a todos gracias,**

**Chaito,**

**El Tuca.**

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1.	Batimetría del talud frente a Guaymas, con la localización de los cinco sitios en que se tomaron núcleos para reconstruir la cronología de las varvas (Baumgartner <i>et al.</i> , 1991). El núcleo 1305 (negro) se submuestreó para describir las tasas de depositación de escamas de los epi- y mesopelágicos más abundantes entre 1734 y 1978. Las profundidades se dan en metros.	3
2.	Nucleador de caja con ventila abierta que se utilizó para tomar el núcleo 1305 en el talud frente a Guaymas, a una profundidad aproximada de 650 m.	7
3.	Radiografía compuesta del núcleo 1305. Las líneas discontinuas entre el frente y el lado del núcleo indican el pliegue entre los planos (tomado de Baumgartner <i>et al.</i> 1991).	8
4.	Cronología maestra reconstruida de diferentes segmentos de los núcleos. La columna de la izquierda está compuesta por segmentos de radiografía; la derecha lo está por fotografías de la misma secuencia. Las barras horizontales a lo largo de los márgenes de las columnas de las radiografías y las fotografías marcan la posiciones cada lámina oscura. Las láminas equivalentes de la radiografía y la fotografía están conectadas por líneas. Los núcleos del cual provienen los segmentos aparecen a la izquierda. El sombreado indica áreas en que el ajuste no es bueno entre los segmentos de los diferentes núcleos (tomado de Baumgartner <i>et al.</i> 1991).	9
5.	Fotografía del núcleo 1305. Las líneas discontinuas indican los límites de los intervalos. El sombreado representa áreas en donde la secuencia de láminas no es clara.	11
6.	Series de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y el grupo de los mictófidios en el talud frente a Guaymas, Golfo de California entre 1734-1978, del núcleo 1305 (Fig.1). La cronología utilizada en estas reconstrucciones tiene una precisión estimada de $\pm$ cinco años.	19
7.	Series de la tasa de depositación de escamas de las especies mesopelágicas más abundantes (Tabla II) en el núcleo 1305 del talud frente a Guaymas, Golfo de California.	20
8.	Log. natural de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y el grupo de los mictófidios de los datos de la Fig. 6.	22
9.	Autocorrelaciones de las series originales y datos transformados (log. natural) de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y mictófidios en el talud frente a Guaymas, Golfo de California entre 1734-1978.	23

## LISTA DE FIGURAS (continuación)

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
10.	Correlaciones cruzadas entre las series de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y mictófidios en el talud frente a Guaymas, Golfo de California entre 1734-1978.	24
11.	Correlaciones cruzadas entre las series del logaritmo natural de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y mictófidios en el talud frente a Guaymas, Golfo de California entre 1734-1978.	25
12.	Localización geográfica de la cuenca de Santa Bárbara (California), cuenca Soledad (Baja California) y cuenca de Guaymas (Golfo de California), en donde se ha estudiado la depositación de escamas en los sedimentos laminados (Soutar y Isaacs, 1969, 1974 y este estudio).	28
13.	Comparación entre las series de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta en la cuenca de Santa Bárbara S.B.), C. Soledad (Soutar e Isaacs, 1969) y en el talud continental frente a Guaymas. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre las series correspondientes.	29
14.	Comparación entre las series de la tasa de depositación de escamas de la sardina en la cuenca de Santa Bárbara (S.B.), C. Soledad (Soutar e Isaacs, 1969) y en el talud continental frente a Guaymas. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre las series correspondientes.	30
15.	Comparación entre las series de la tasa de depositación de escamas de la macarela y la merluza en la Cuenca Santa Bárbara (S.B.) (Soutar e Isaacs, 1974) y en el talud continental frente a Guaymas. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre las series correspondientes.	31
16.	Comparación entre las series de la tasa de depositación de escamas de los mesopelágicos en la Cuenca Santa Bárbara (S.B.) (Soutar, datos no publicados) y los mictófidios en talud continental frente a Guaymas. A la derecha se muestra la correlación cruzada entre las dos series.	32
17.	Serie de anomalías de las temperaturas globales de todo el planeta entre 1854 y 1978 (Jones y Wigley, 1990).	33
18.	Comparación entre las anomalías de las temperaturas globales de todo el planeta (mod. de Jones y Wigley, 1990) y las tasas de depositación de escamas (t.d.e.) de anchoveta en la cuenca de Santa Bárbara, cuenca Soledad (Soutar e Isaacs, 1974) y en el talud continental frente a Guaymas de 1850-1970. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre la serie de anomalías de temperatura con la de t.d.e..	34

## LISTA DE FIGURAS (Continuación)

<b><u>Figura</u></b>		<b><u>Página</u></b>
19.	Comparación entre las anomalías de las temperaturas globales de todo el planeta (mod. de Jones y Wigley, 1990) y las tasas de depositación de escamas (t.d.e.) de sardina en la cuenca de Santa Bárbara, cuenca Soledad (Soutar e Isaacs, 1974) y en el talud continental frente a Guaymas de 1850-1970. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre la serie de anomalías de temperatura con la de t.d.e.	35
20.	Biomasa de anchoveta y sardina (reproductores) en el Golfo de California estimadas a partir del flujo de escamas sobre el talud continental frente a Guaymas y utilizando las ecuaciones de regresión obtenidas por Baumgartner <i>et al.</i> (1992). Abajo a la derecha se presentan también las estimaciones de biomasa de reproductores de sardina basados en la captura entre 1973 y 1987 (Cisneros <i>et al.</i> , manuscrito)	42

## LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I	Número de escamas por muestra (cifra en grueso oscuro) y tasa de depositación (t.d.) anual (# escamas/1000cm <sup>2</sup> /año) de anchoveta, sardina, macarela, merluza y mictófidus en el talud continental frente a Guaymas. Todos los intervalos de muestreo abarcan 10 años, excepto en 1734-39: 6 años, 1820-29: 4 años, 1940-49: 6 años y 1970-78: 7.5 años. Los años en cursivas indican que las t.d. se interpolaron linealmente (Rohlf y Sokal, 1981).	17
II	Número de escamas por décadas y tasa de depositación (t.d.) anual (# escamas/1000cm <sup>2</sup> /año) de las especies más abundantes de los mesopelágicos en el talud continental frente a Guaymas. Todos los intervalos de muestreo abarcan 10 años, excepto en 1734-39: 6 años, 1820-29: 4 años, 1940-49: 6 años y 1970-78: 7.5 años. Los años en cursivas indican que las t.d. se interpolaron linealmente (Rohlf y Sokal, 1981).	18
III	Correlaciones cruzadas entre las series del logaritmo natural de la tasa de depositación de las especies en el talud frente a Guaymas.	26
IV	Comparación de los valores promedio, mínimo, máximo y desviación estándar de las tasas de depositación de escamas de anchoveta y sardina en las cuencas de Santa Bárbara, California; Soledad, Baja California (Soutar e Isaacs, 1969) y en el talud continental frente a Guaymas, Golfo de California entre 1740 y 1970.	40

## CONTENIDO

		página
I	INTRODUCCION	1
II	OBJETIVOS	5
III	MATERIALES Y METODOS	6
	III.1 Núcleos de sedimentos.	6
	III.2 Cronología.	6
	III.3 Procesamiento del núcleo.	10
	III.4 Colección de escamas de referencia.	15
	III.5 Determinación de las especies por escamas.	15
	III.6 Conservación de las escamas.	16
	III.7 Determinación de las especies por vértebras.	16
	III.8 Reconstrucción de las tasas de depositación de escamas.	16
	III.9 Análisis de los datos de abundancia de escamas	21
	III.10 Comparación entre la tasa de depositación de las escamas de los peces epi y mesopelágicos de la cuenca de Santa Bárbara (California), cuenca Soledad (Baja California) y del talud continental frente a Guaymas (Golfo de California).	27
	III.11 Relación de la abundancia de escamas con el clima.	27
IV	RESULTADOS	36
	IV.1 Conservación de las escamas.	36
	IV.2 Las tasas de depositación de las escamas de los peces epi- y mesopelágicos en el talud frente a Guaymas.	
	IV.3 Comparación entre la tasa de depositación de las escamas de los peces epi y mesopelágicos de la cuenca de Santa Bárbara (California), cuenca Soledad (Baja California) y del talud continental frente a Guaymas (Golfo de California).	40
	IV.4 Estimación de la biomasa de la sardina monterrey y la anchoveta norteña a partir de los datos de la tasa de depositación de escamas.	41
	IV.5 Relación de la tasa de depositación de escamas con el clima.	43
V	DISCUSION	44
	V.1 Conservación de las escamas.	44
	V.2 Abundancia de los peces epipelágicos.	45
	V.2.1 Anchoveta norteña y sardina monterrey.	45
	V.2.2. Macarela, merluza y mictófidios.	51
	V.3 Relación con el clima	53
VI	CONCLUSIONES	57

CONTENIDO (continuación)

	página
REFERENCIAS	58
ANEXO	67
Catálogo de escamas de peces pelágicos del Golfo Central de California.	67

# FLUCTUACIONES POBLACIONALES DE PECES PELAGICOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA EN LOS ULTIMOS 250 AÑOS.

## I. INTRODUCCION

La captura de peces pelágicos menores conforma una parte importante (30 %) del volumen total de las pesquerías en México; el 80 % de ella proviene del Golfo de California (Anónimo, 1988). Desde sus inicios, la pesquería se ha caracterizado por fluctuaciones notables en las poblaciones de sardina monterrey, *Sardinops sagax caeruleus* (Lluch-Belda *et al.* 1986), como la caída en la captura de 294,095 t en la temporada 1988/89 a 109,942 t en 1989/90 (Cisneros *et al.*, manuscrito); así como la reciente (1985-86) e inesperada aparición de anchoveta norteña, *Engraulis mordax* (Hamman y Cisneros-Mata, 1989). Para la planeación y administración de la pesquería sería muy útil poder estimar la magnitud y frecuencia de los cambios en el tamaño de las poblaciones. También es importante conocer el origen de estos cambios, si son características propias de la comunidad (*e.g.* las relaciones de competencia y depredación entre anchoveta y sardina), o son cambios climáticos que alteran o desplazan el hábitat preferencial de la especie dominante, o bien son el resultado de un esfuerzo pesquero demasiado intenso.

Una manera de describir la naturaleza de estos cambios, especialmente cuando son de baja frecuencia, es analizando el comportamiento de registros naturales como el de los sedimentos laminados anaeróbicos, como lo hicieron Soutar e Isaacs (1974) para la cuenca de Santa Bárbara, California. Estos sedimentos conservan un archivo natural del flujo hacia el fondo de los restos de los organismos, como las escamas de peces, formando una memoria secuencial y cronológica de los cambios en la disponibilidad de la población en la región que permite inferir sobre la abundancia poblacional. Esta información es la única fuente para extender nuestros conocimientos hacia el pasado y previo al período de la pesquería. En

particular, proporciona un marco de los cambios a largo plazo en la escala de varias décadas y permite comparar el comportamiento de las poblaciones antes y después del inicio de la pesquería en la región.

Soutar e Isaacs (1974) encontraron que la abundancia de escamas de sardina monterrey y anchoveta norteña en los sedimentos laminados de la cuenca de Santa Barbara frente a California (E.U.A) refleja las fluctuaciones en la biomasa que los biólogos pesqueros habían estimado desde la década de los treinta con métodos más directos. Esta forma de validación les permitió analizar, en retrospectiva, las fluctuaciones poblacionales de ambas especies aproximadamente de 1820 a 1970, con una resolución de cinco años.

Bajo esta perspectiva, en el presente trabajo se utilizaron técnicas similares para estudiar las fluctuaciones poblacionales en un período de aproximadamente 250 años, que termina en la década de los setentas. Se investigaron las principales especies de peces pelágicos menores en el Golfo de California, utilizando submuestras con intervalo aproximado de 10 años de un núcleo proveniente de la pendiente continental frente a Guaymas, Sonora (Fig. 1).

En la zona central del Golfo de California (así como en la cuenca de Santa Bárbara) se reúnen una serie de condiciones que permiten la formación y conservación de los sedimentos laminados, a saber:

i) Un patrón anual de vientos que induce cambios estacionales en la producción primaria: en invierno, los vientos que soplan del noroeste contribuyen a la formación de zonas de intensa surgencia (Badán *et al.*, 1985), las cuales permiten una alta producción, tanto en esta estación como en primavera. Al predominar las diatomeas en los restos que llegan al fondo forman una lámina clara (Calvert, 1966). En verano, los vientos predominantes del sureste provocan surgencias débiles en la costa occidental y convergencia en la costa oriental. Baumgartner, Ferreira-Bartrina y Moreno-Hentz (1992) proponen que en verano, el material terrígeno es

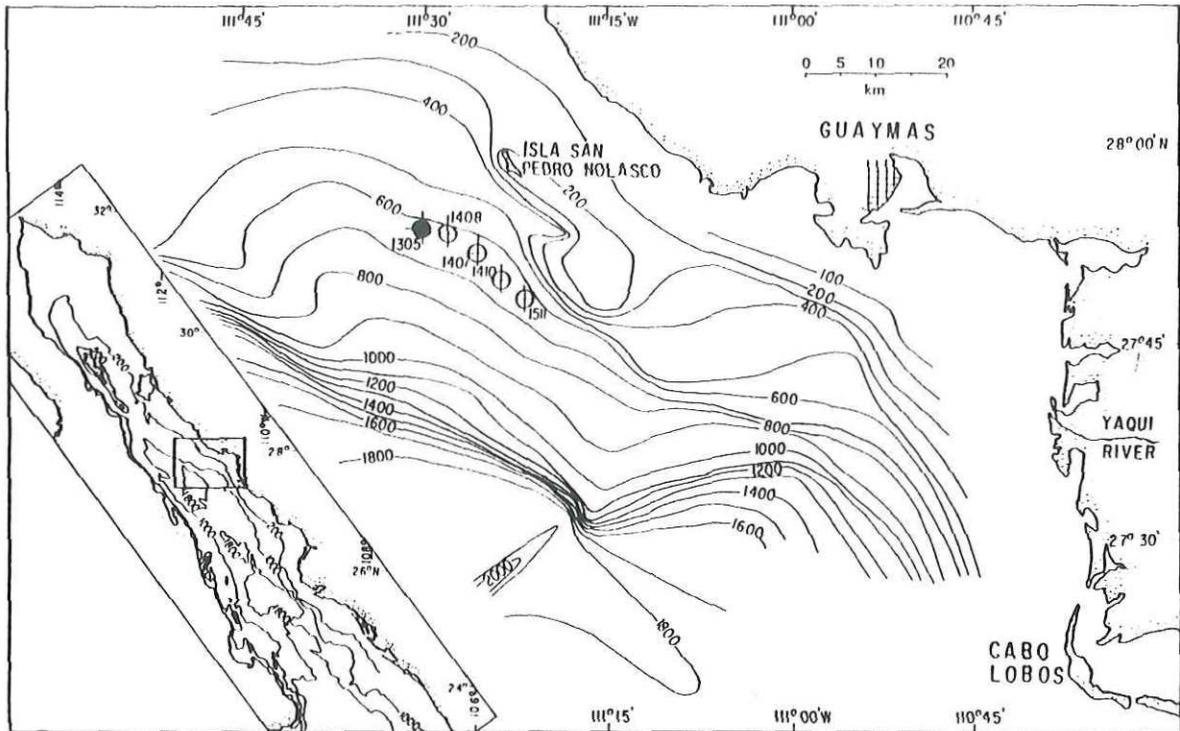


Fig. 1. Batimetría del talud frente a Guaymas, con la localización de los cinco sitios en que se tomaron núcleos para reconstruir la cronología de las varvas (Baumgartner *et al.*, 1991). El núcleo 1305 (negro) se submuestreó para describir las tasas de deposición de escamas de los epi- y mesopelágicos más abundantes entre 1734 y 1978. Las profundidades se dan en metros.

aportado del desierto continental por transporte eólico, formándose una lámina oscura. Estas dos láminas de color y composición contrastante forman una "varva" y representan un año de depositación.

*ii)* una capa mínima de oxígeno (concentraciones menores a 0.5 ml/l) entre los 400 y 800 m de profundidad, bien definida en el golfo central y golfo sur (Calvert, 1964) que intersecta a la interfase agua-sedimento, impide el establecimiento de especies bénticas que destruirían la estructura primaria de las láminas estacionales (Baumgartner *et al.*, 1991), en la que ha quedado registrada la depositación secuencial de los restos del plancton y del necton de la columna de agua.

## II. OBJETIVOS

1.- Formar un catálogo de escamas de las especies de peces pelágicos del Golfo de California que aparecieron en los sedimentos laminados.

2.- Reconstruir series de tiempo del flujo de escamas a los sedimentos laminados en el talud de Guaymas, mediante el conteo de escamas presentes en paquetes de 10 años de sedimentos.

3.- Comparar las series de tiempo del flujo de escamas en el Golfo de California con las series disponibles de la cuenca de Santa Bárbara y la cuenca Soledad.

4.- Comparar y analizar las fluctuaciones en la abundancia de las especies de peces y su posible relación con cambios climáticos a largo plazo (*i. e.*, anomalías de la temperatura superficial del mar y atmosférica).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### III.1 Núcleos de sedimentos.

Cinco núcleos de caja se tomaron en la pendiente continental frente a Guaymas en julio de 1978, durante un crucero a bordo del B/O M. Matamoros (Fig. 1). Se utilizó un nucleador de ventila abierta de 30x30x100 cm (Fig. 2). La posición de los núcleos fué cercana a los 650 m de profundidad, en una región de pendiente suave y relativamente constante que intersecta la capa mínima de oxígeno. Los núcleos se congelaron inmediatamente en un baño de hielo seco y alcohol isopropílico y permanecieron en éste por 24 horas. Los núcleos se sacaron del nucleador, se envolvieron en plástico y se mantuvieron congelados. Posteriormente se cortaron losas verticales (aprox. 1 cm de espesor) de las caras exteriores. A estas secciones se les tomaron radiografías y fotografías para facilitar la delimitación de las láminas y poder submuestrear los núcleos (Baumgartner, Ferreira-Bartrina, Cowen y Soutar 1992). El núcleo denominado 1305 (Fig. 3) se dividió en cuatro bloques longitudinales, uno de los cuales se utilizó en este estudio. El bloque muestreado representa aproximadamente 200 cm<sup>2</sup> de área de depositación.

#### III.2 Cronología.

Debido a que algunas secciones estaban incompletas (*i.e.* no tenían toda la secuencia de láminas) Baumgartner *op. cit.* (1992) construyeron una cronología *maestra* comparando los cinco núcleos (Fig. 4). También dataron con Pb<sub>210</sub> para verificar que la secuencia realmente terminaba en 1978 y que el registro no tenía hiatos. La secuencia de láminas del núcleo 1305 se comparó con la cronología *maestra*, así fué posible identificar el año de 1955. En el bloque que se utilizó en este estudio se identificaron dos discordancias en todo el lapso. Una en 1944, al parecer de dos años, y otra aproximadamente en 1824, a la cual se le asignaron cinco años

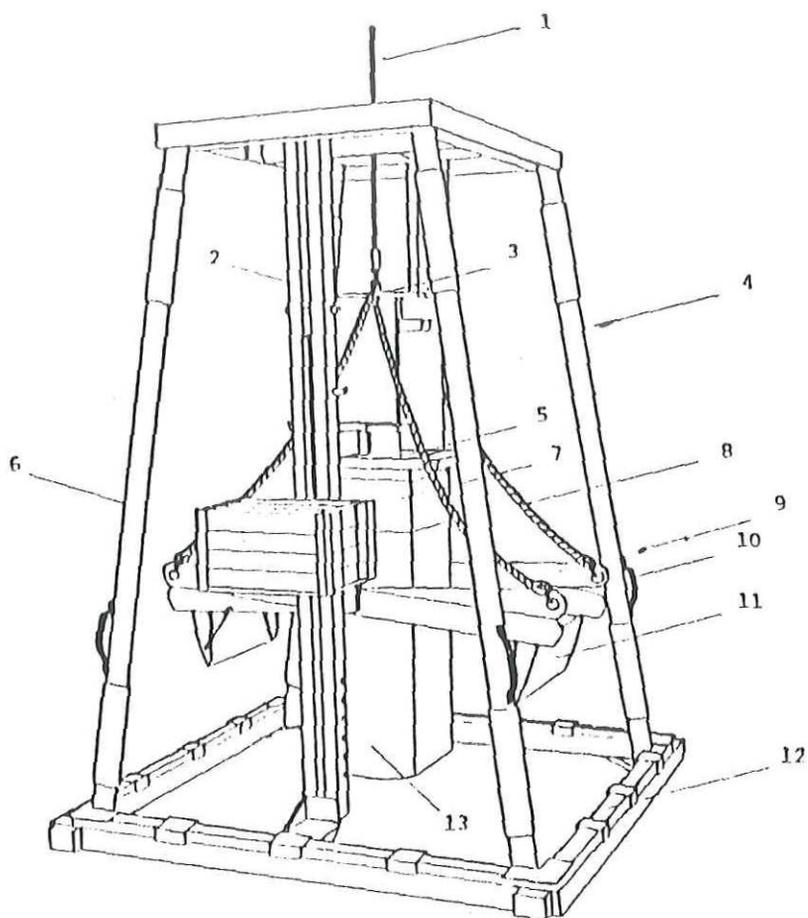


Fig. 2. Nucleador de caja con ventila abierta que se utilizó para tomar el núcleo 1305 en el talud frente a Guaymas, a una profundidad aproximada de 650 m.

## 7807-1305

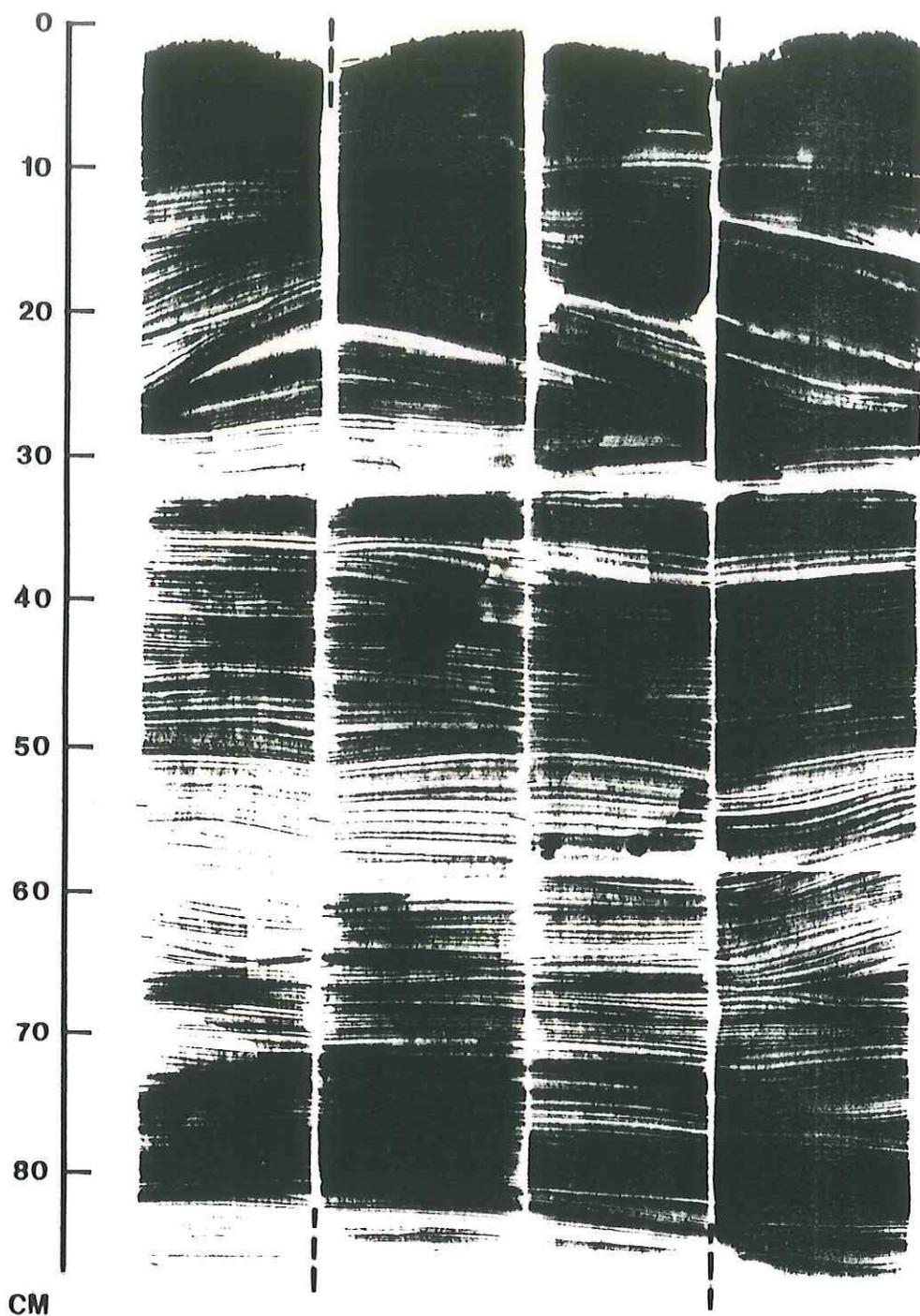


Fig. 3. Radiografía compuesta del núcleo 1305. Las líneas discontinuas entre el frente y el lado del núcleo indican el pliegue entre los planos (tomado de Baumgartner *et al.* 1991).

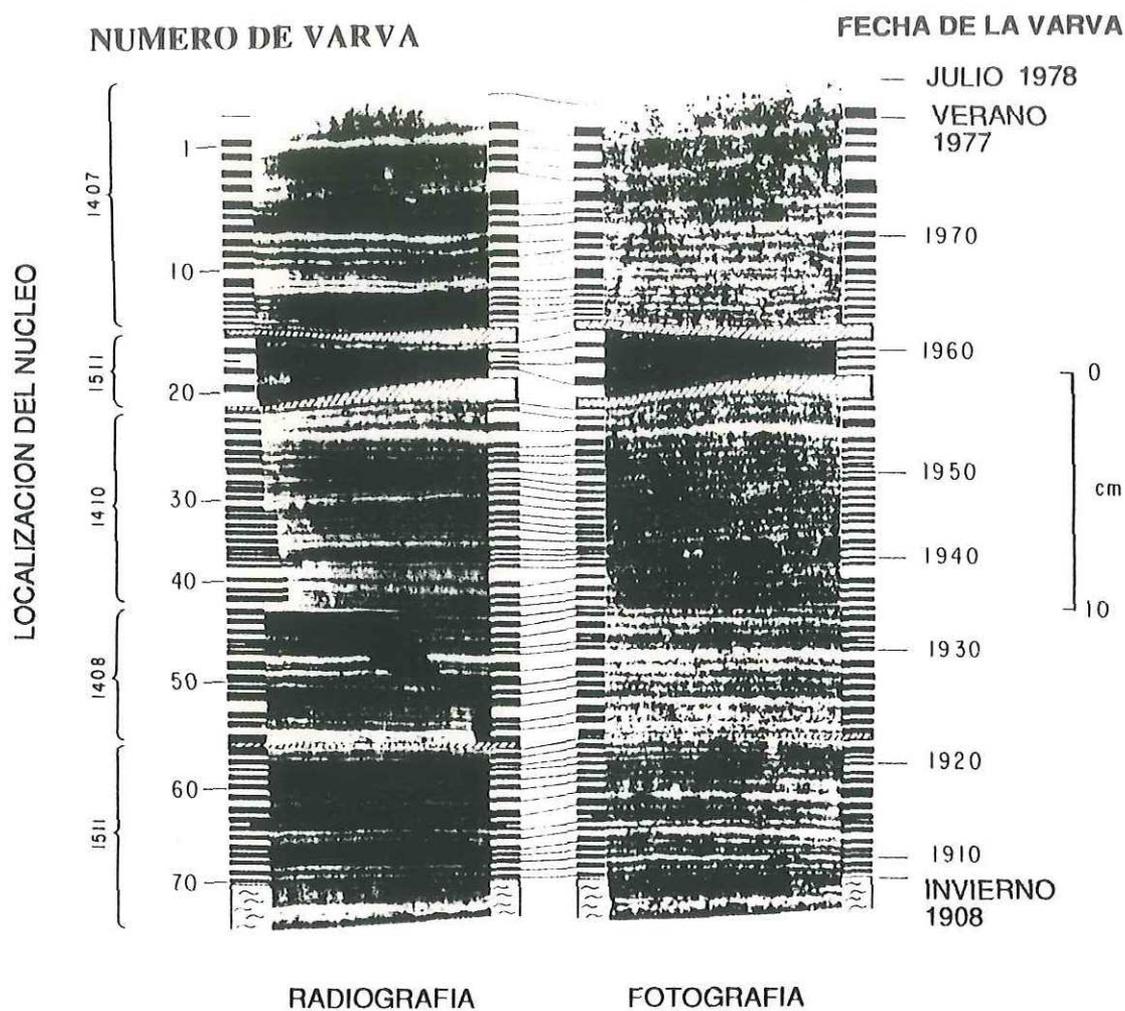


Fig. 4. Cronología maestra reconstruida de diferentes segmentos de los núcleos. La columna de la izquierda está compuesta por segmentos de radiografía; la derecha lo está por fotografías de la misma secuencia. Las barras horizontales a lo largo de los márgenes de las columnas de las radiografías y las fotografías marcan la posición de cada lámina oscura. Las láminas equivalentes de la radiografía y la fotografía están conectadas por líneas. Los núcleos del cual provienen los segmentos aparecen a la izquierda. El sombreado indica áreas en que el ajuste no es bueno entre los segmentos de los diferentes núcleos (tomado de Baumgartner *et al.* 1991).

de duración (por el grosor de la capa, Fig.5) La cronología abarca los 244 años previos a la toma de los núcleos, es decir hasta 1734, suponiendo que la segunda discordancia no enmascare más de dos años.

### III.3 Procesamiento del núcleo.

Como el núcleo no se había conservado en perfectas condiciones (las láminas estaban inclinadas por el congelamiento) el muestreo se realizó cada diez años, como estudio piloto y para lograr un inventario más rápido que cada dos o cinco años (Baumgartner *et al.*, en prensa). Por estudios anteriores (ver Soutar e Isaccs, 1974) se sospechaba además, que la tasa de sedimentación de las escamas, especialmente la de clupeidos era baja, por lo que el número de ellas en una varva (un año) hubiese sido muy pequeño. En las muestras que abarcaban una discordancia, se optó por hacer el corte en ella, y así reiniciar el conteo de diez varvas. En el caso de la discordancia de 1944, la muestra por arriba tiene seis varvas (hasta 1950), en la segunda discordancia la muestra tiene 11 años. En la última muestra sólo restaban seis varvas. Una vez cortada la muestra (por lo general de 10 varvas), se dibujó su base para la ulterior determinación del área.

Las losas que abarcaban los 25 períodos que comprenden el intervalo se descongelaron y se cernieron por una luz de malla de 0.5 mm, 0.25 mm, 0.125 mm, 0.063 mm y 0.025 mm. Para el conteo de escamas se analizaron las fracciones de 0.5 y 0.25 mm. A continuación, los restos se lavaron y enjuagaron con jabón fotográfico (Photo-flo) para dispersarlos y así poder separar los ictiorestos más fácilmente. Estos se conservaron en etanol al 60%.

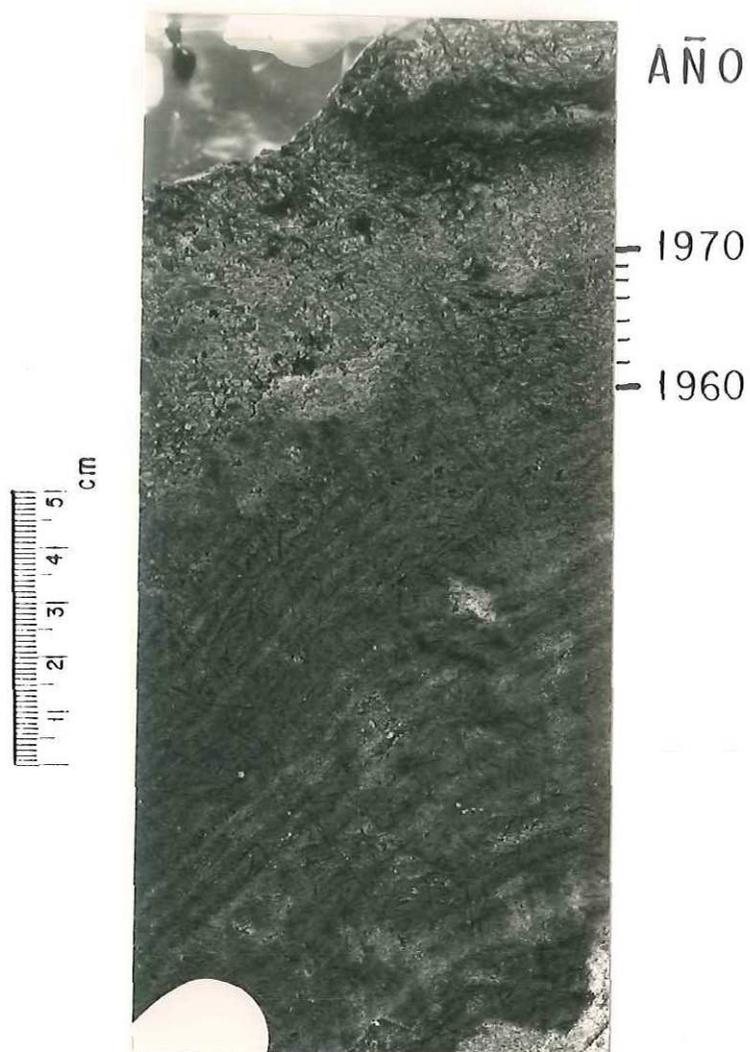
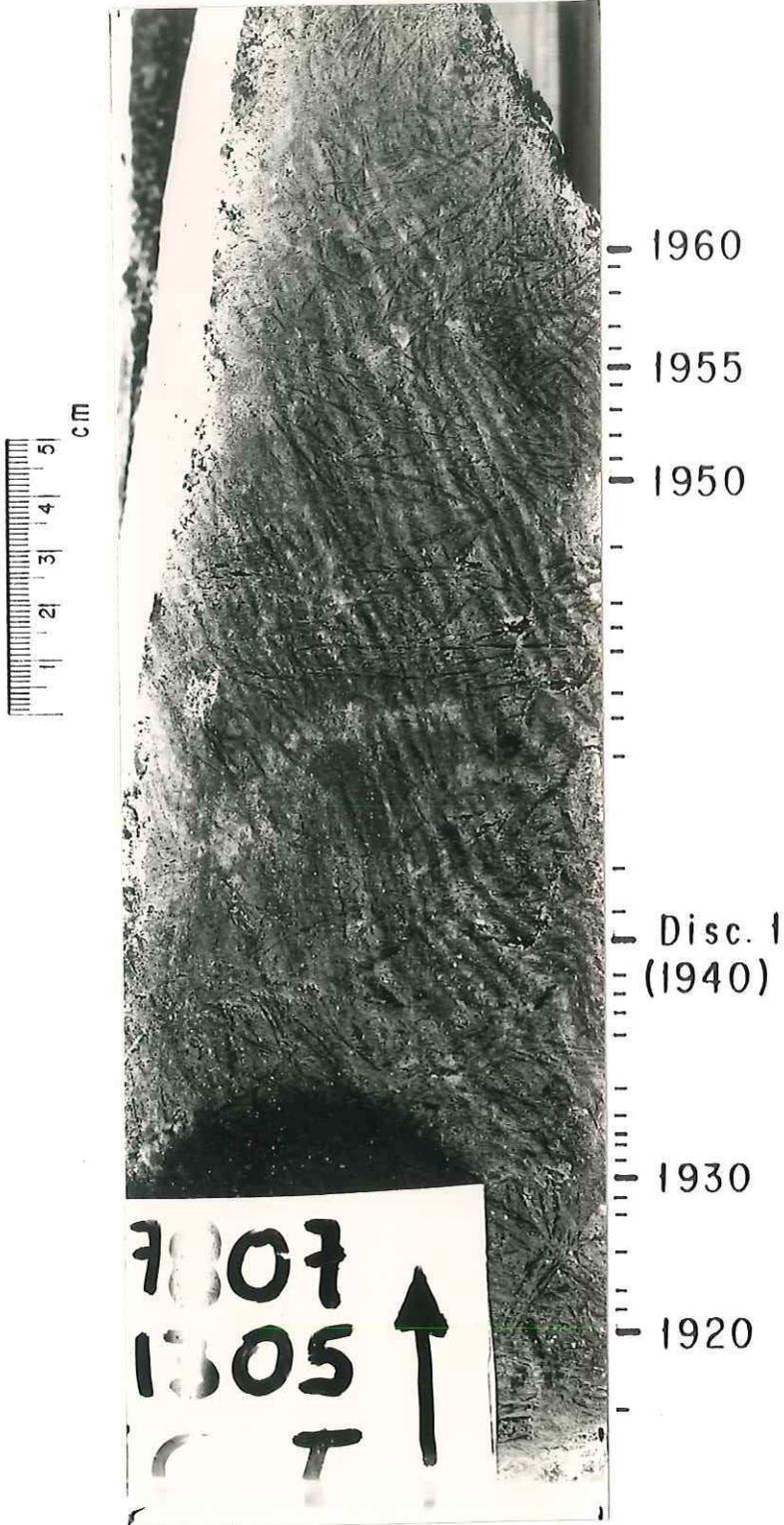
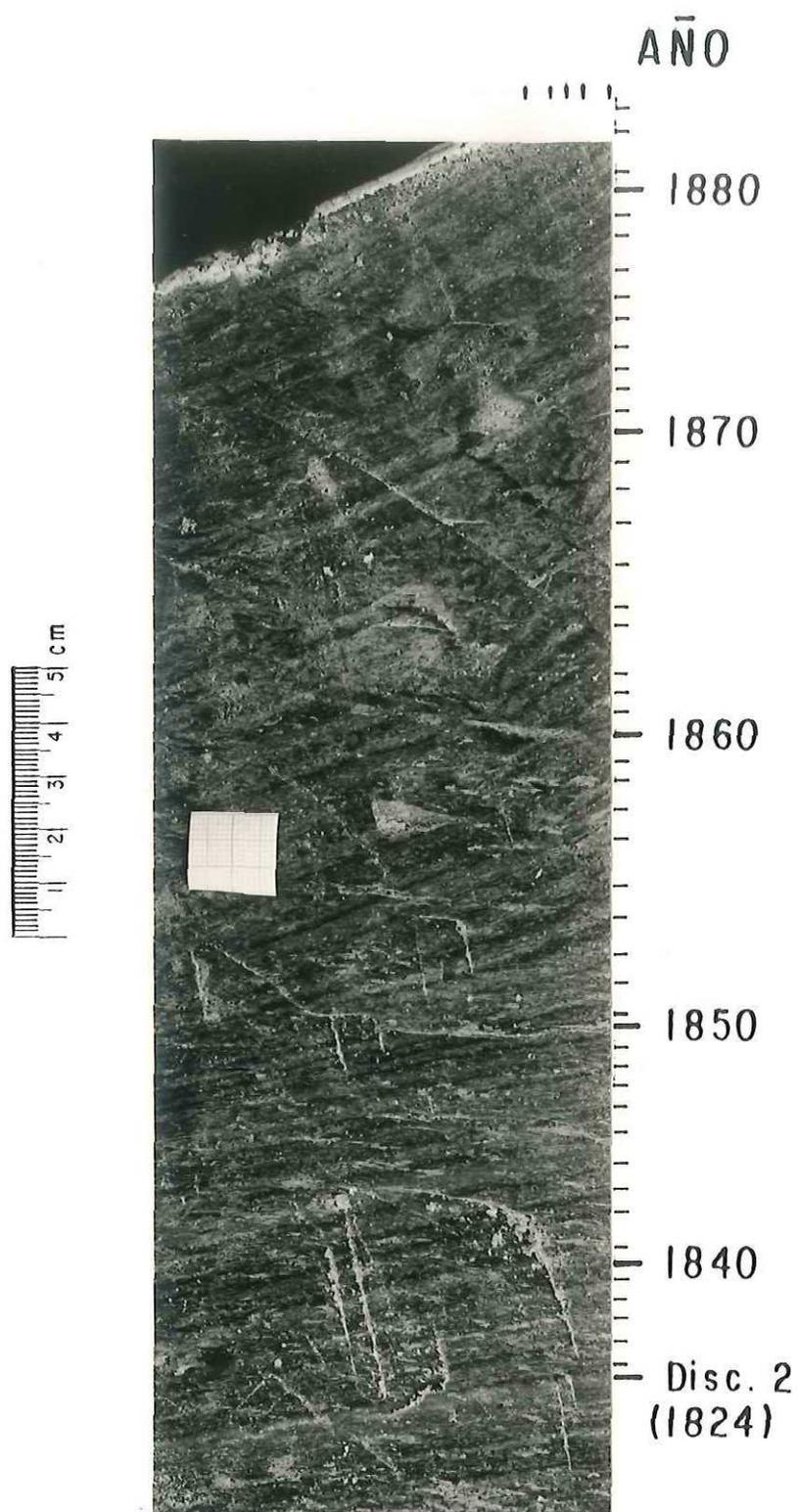


Fig. 5. Fotografía del núcleo 1305. Las líneas discontinuas indican los límites de los intervalos. El sombreado representa áreas en donde la secuencia de láminas no es clara.

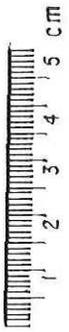
AÑO





(continuación de la Fig. 5)

# AÑO



Disc. 2 (1824)  
1820  
1810  
1800  
Homogéneo  
1790  
1780  
1770  
1760  
1750  
1740  
1734

(continuación de la Fig. 5)

### III.4 Colección de escamas de referencia.

Para facilitar la determinación de las especies epi y mesopelágicas que según Moser *et al.* (1973) y Lavenberg y Fitch (1966) son más frecuentes en el Golfo de California (*Lampanyctus sp.*, *Triphotorus mexicanus*, *Diogenichthys laternatus*, *Benthoosema panamense*, *Vinciguerria lucetia*, *Sardinops sagax caeruleus*, *Cetengraulis mysticetus*, *Opisthonema spp.*, *Scomber japonicus.*, *Cololabis saira*, *Merluccius sp.* y *Pneumatophorus japonicus diego*), se preparó una colección de escamas de referencia antes del análisis y conteo de la muestras (ver Apéndice). Con este fin, se montaron en portaobjetos todas las escamas de algunos ejemplares de peces tomados *in vivo* o provenientes de colecciones científicas (CICESE y Scripps Institution of Oceanography). Los ejemplares de mictófididos se determinaron según Fraser-Brunner (1948). De las escamas más pequeñas (*i e.*: macarela, mictófididos y *V. lucetia*), se elaboraron fotografías en blanco y negro tomadas con un microscopio estereoscópico Wild y objetivo 25 y 50 x; y para las especies con escamas de mayor tamaño se hicieron ampliaciones en fotocopias tomadas con una impresora de microfichas Cannon. Es conveniente señalar que en algunas especies, principalmente de mictófididos, no se incluyen todos los tipos de escamas que se supone tienen, ya que los ejemplares habían perdido gran número de ellas. La descripción de las características diagnósticas de las escamas de las especies principales y sus imágenes de foto o fotocopias se encuentran en el Apéndice de la tesis.

### III.5 Determinación de las especies por escamas.

La determinación de la anchoveta norteña, sardina monterrey, macarela (*Scomber japonicus*), merluza (*Merluccius sp.*) no representó ningún problema al compararla con la colección de referencia. Sin embargo, en el caso de los mictófididos, la semejanza entre ciertas escamas de *B. panamense*, *D. laternatus* y *D. atlanticus* dificultó su determinación a nivel de especie (ver Apéndice).

### **III.6 Conservación de las escamas.**

Para evaluar un posible efecto de disolución del medio ácido característico del fondo del talud de Guaymas indicado por la falta de conservación del carbonato (Baumgartner, com. pers.), escamas de sardina monterrey y anchoveta norteña se sometieron a varios pH (2.0, 3.5, 5.0 y 6.5). Las soluciones fueron de HCL y NaOH. Para cada pH se tenían cuatro recipientes, cada uno de los cuales guardó tres escamas de sardina y cinco de anchoveta.

### **III.7 Determinación de las especies por vértebras.**

Como no se tenía una colección de referencia, los conteos se hicieron en base a tipos de vértebras a medida que aparecían en las fracciones analizadas. Al finalizar las observaciones, se compararon estos tipos de vértebras con fotografías e ilustraciones publicadas (Casteel, 1976; Chapman 1944; Clothier, 1950 y Phillips, 1942) y con algunas osamentas de colecciones ictiológicas (Scripps). Sin embargo, la incertidumbre en la determinación de las vértebras impidió realizar un análisis comparativo como el de las escamas. En vista que las escamas en los sedimentos están en buen estado, la determinación de las especies por sus vértebras, las cuales se conservan mejor, no resultó crítico en este estudio.

### **III.8 Reconstrucción de los valores de las tasas de depositación de escamas.**

Para cada muestra se estimó la tasa de depositación de escamas en proporción al número de años y a su área de depositación: el área se midió de los dibujos de las bases de cada muestra con un planímetro Lasico XE. En los paquetes en que la cronología no correspondió al inicio de una década, el valor de la tasa de depositación (t.d.) se interpoló linealmente (Rohlf y Sokal, 1981). Las tasas de depositación se expresaron en número de escamas/1000cm<sup>2</sup>/año (Tablas I,II y Figs. 6 y 7) para facilitar la comparación con otros estudios (Soutar y Isaacs,

Tabla I. Número de escamas por muestra (cifra en grueso oscuro) y tasa de depositación (t.d.) anual (# escamas/1000cm<sup>2</sup>/año) anchoveta, sardina, merluza, macarela y mictófidios. Todos los intervalos de muestreo abarcan 10 años excepto 1734-39: 6 años, 1820-29: 4 años, 1940-49: 6 años y 1970-78: 7.5 años. Los años en cursivas indican que las t. d. se interpolaron linealmente (Rohlf y Sokal, 1981). El área representa la superficie superior de cada muestra.

Intervalo de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	anchoveta		sardina		merluza		macarela		mictófidios	
		#	t.d	#	t.d	#	t.d.	#	t.d.	#	t.d.
1734-39	197.8	4	3.4	0	0	1	0.8	2	1.7	40	33.7
1740-49	197.8	7	3.5	0	0	2	0	1	0.5	100	50.5
1750-59	197.8	2	1.0	0	0	1	0.5	0	0	14	7.1
1760-69	214.0	5	2.3	0	0	0	0	0	0	3	1.4
1770-79	204.2	5	2.4	2	1.0	0	0	0	0	69	33.8
1780-89	197.5	4	2.0	1	0.5	0	0	13	6.6	118	59.7
1790-99	184.0	1	0.9	4	5.0	0	0	10	9.1	262	237.3
1800-09	205.6	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3.9
1810-19	197.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	99	50.1
1820-29	203.6	2	2.5	0	0	0	0	0	0	55	67.5
1830-39	216.2	5	2.1	0	0	0	0	0	0	17	7.1
1840-49	192.2	0	0	0	0	0	0	0	0	15	7.8
1850-59	224.9	20	8.9	0	0	3	1.3	0	0	30	13.3
1860-69	206.9	21	10.1	0	0	1	0.5	1	0.5	54	26.1
1870-79	194.7	114	58.5	0	0	3	1.5	4	2.1	69	35.4
1880-89	202.7	7	3.5	0	0	1	0.5	0	0	67	33.1
1890-99	192.5	10	5.2	0	0	2	1.0	0	0	44	22.9
1900-09	175.9	7	4.0	0	0	1	0.6	0	0	94	53.4
1910-19	168.4	3	1.8	0	0	4	2.4	6	3.6	64	38.0
1920-29	222.2	0	0.4	1	0.3	1	0.9	8	3.6	454	165.9
1930-39	177.1	0	0	4	1.7	0	0.1	2	1.9	119	108.3
1940-49	186.3	0	0	13	12.1	3	1.9	1	1.0	58	56.5
1950-59	186.3	0	0	3	1.6	1	0.5	2	1.1	95	51.0
1960-69	61.3	0	0	2	3.3	1	1.6	3	4.9	25	40.8
1970-78	61.3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8.7
<b>TOTAL</b>		<b>218</b>		<b>30</b>		<b>25</b>		<b>53</b>		<b>1977</b>	

Tabla II. Número de escamas por décadas y tasa de depositación (t.d.) anual (# escamas/1000cm<sup>2</sup>/año) de las especies más abundantes de los mesopelágicos. Todos los intervalos abarcan 10 años excepto 1734-39: (6 años), 1820-29: (4 años), 1940-49: (6 años) y 1970-78: (7.5 años). Los años en cursivas indican que las t. d. se interpolaron linealmente (Rohlf y Sokal, 1981). El área representa la superficie superior de cada muestra.

Intervalo de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	<i>D. laternatus</i>		<i>B. panamense</i>		<i>V. lucetia</i>	
		#	t.d	#	t.d	#	t.d
1734-39	197.8	12	10.1	7	5.9	0	0.0
1740-49	197.8	32	16.2	16	8.1	8	4.0
1750-59	197.8	6	3.0	1	0.5	0	0.0
1760-69	214.0	3	1.4	0	0.0	0	0.0
1770-79	204.2	21	10.3	22	10.8	1	0.5
1780-89	197.5	63	31.9	34	17.2	2	1.0
1790-99	184.0	98	53.3	79	42.9	4	2.2
1800-09	205.6	4	1.9	1	0.5	0	0.0
1810-19	197.5	59	29.9	20	10.1	11	5.6
1820-29	203.6	19	23.3	9	11.0	1	1.2
1830-39	216.2	10	4.2	4	1.7	1	0.4
1840-49	192.2	6	3.1	0	0.0	0	0.0
1850-59	224.9	17	7.6	5	2.2	0	0.0
1860-69	206.9	9	4.3	15	7.2	0	0.0
1870-79	194.7	26	13.4	8	4.1	2	1.0
1880-89	202.7	27	13.3	17	8.4	1	0.5
1890-99	192.5	22	11.4	3	1.6	0	0.0
1900-09	175.9	22	12.5	22	12.5	0	0.0
1910-19	168.4	24	13.9	22	12.9	2	0.9
1920-29	222.2	211	70.7	85	30.7	8	2.9
1930-39	177.1	69	55.8	25	21.4	0	1.1
1940-49	186.3	25	28.4	17	14.8	0	0.0
1950-59	186.3	51	27.4	19	10.2	3	1.6
1960-69	61.3	6	9.8	4	6.5	2	3.3
1970-78	61.3	0	0.0	3	6.1	1	2.0
<b>Total</b>		<b>842</b>		<b>438</b>		<b>47</b>	

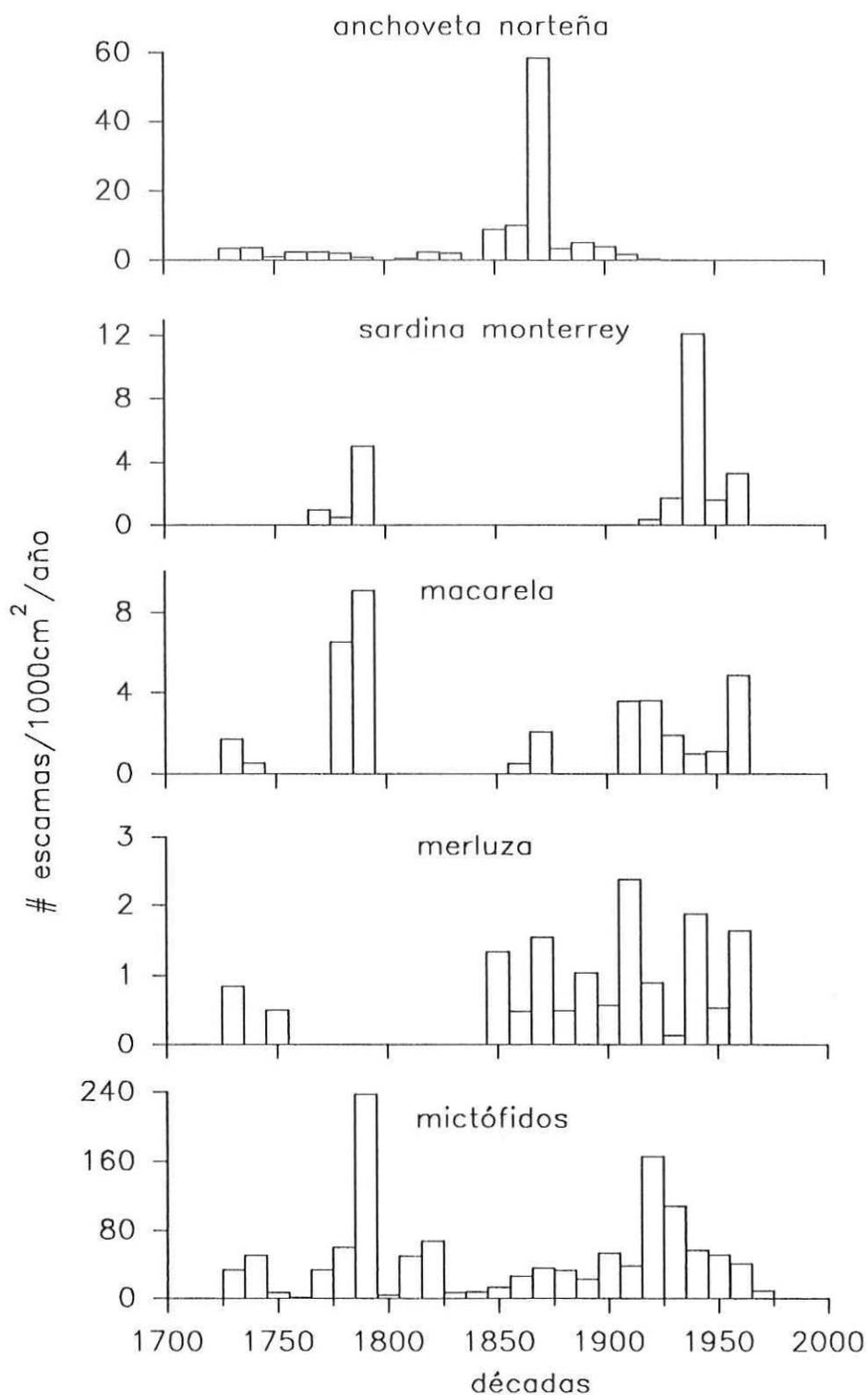


Fig. 6. Series de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y el grupo de los mictófidios en el talud frente a Guaymas, Golfo de California entre 1734-1978, del núcleo 1305 (Fig. 1). La cronología utilizada en estas reconstrucciones tiene una precisión estimada de  $\pm$  cinco años.

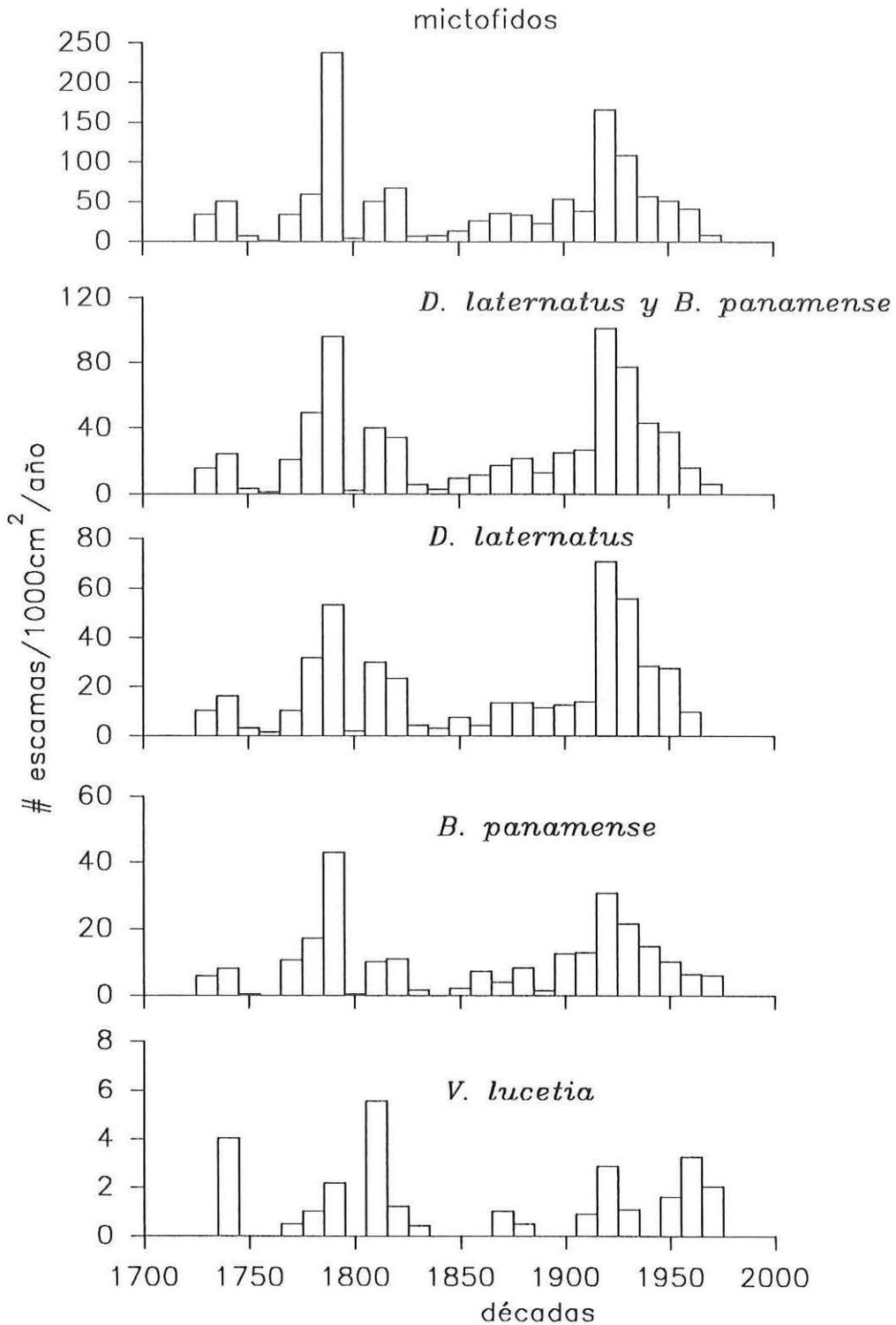


Fig. 7. Series de la tasa de depositación de escamas de las especies mesopelágicas más abundantes (Cuadro II) en el núcleo 1305 del talud frente a Guaymas, Golfo de California.

1969 y 1974; Baumgartner, Soutar y Ferreira-Bartrina 1992). Los valores de la tasa de depositación de escamas se transformaron a su logaritmo natural, para resaltar las tendencias generales en las fluctuaciones de la abundancia de escamas (Fig. 8).

### III.9 Análisis de los datos de abundancia de escamas.

Con el propósito de describir en forma eficaz la variación en las series de la Fig. 6 y 8 se hicieron autocorrelogramas para cada especie (Fig. 9). Los autocorrelogramas nos ayudan a elucidar las características en las series de tiempo, indicando si existen períodos de repetición a lo largo de una secuencia de datos. Es importante hacer notar que las series son cortas en comparación a los períodos y no permiten una estimación de la significancia de las variaciones señaladas por las autocorrelaciones. Sin embargo, se pueden utilizar como herramientas para describir las series. Normalmente, para probar la significancia de una autocorrelación se requiere una serie más larga que  $n=50$ , y el número de retrasos calculados no debe exceder  $n/4$ . En el presente trabajo se calcularon los coeficientes de correlación hasta 12 retrasos en una serie de  $n=25$ .

Este análisis permite comparar una secuencia consigo misma en posiciones de retrasos sucesivas, en este caso cada 10 años (ver Davis, 1973). En la Fig. 9 se presentan las secuencias de las autocorrelaciones. El cálculo de los autocorrelogramas se realizó con el paquete estadístico Statgrafics (Statistical Graphics Corp, 1989).

Para poder comparar las características de la variación entre las diferentes especies, se hicieron correlaciones cruzadas con los datos originales de la tasa de depositación y con los transformados a su logaritmo natural (Figs. 10, 11 y Tabla III). Los correlogramas indican los valores de los coeficientes de correlación que resultan del movimiento de una serie relativo a la otra. En general, la información de las correlaciones de los datos originales es similar a la de los transformados, sólo la forma de los correlogramas de los últimos es más suave y

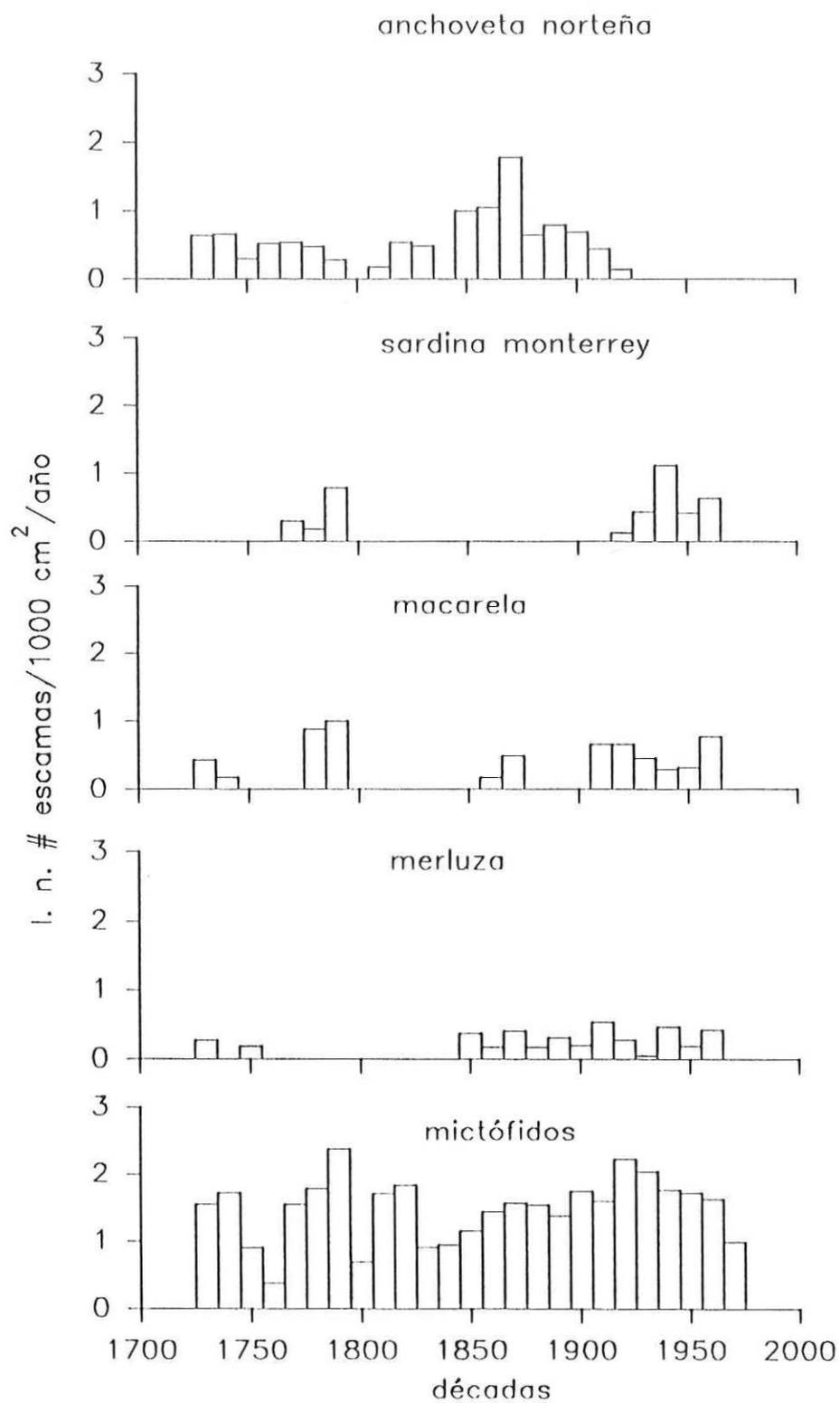


Fig. 8. Log. natural de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y el grupo de los mictófidios de los datos de la Fig. 6.

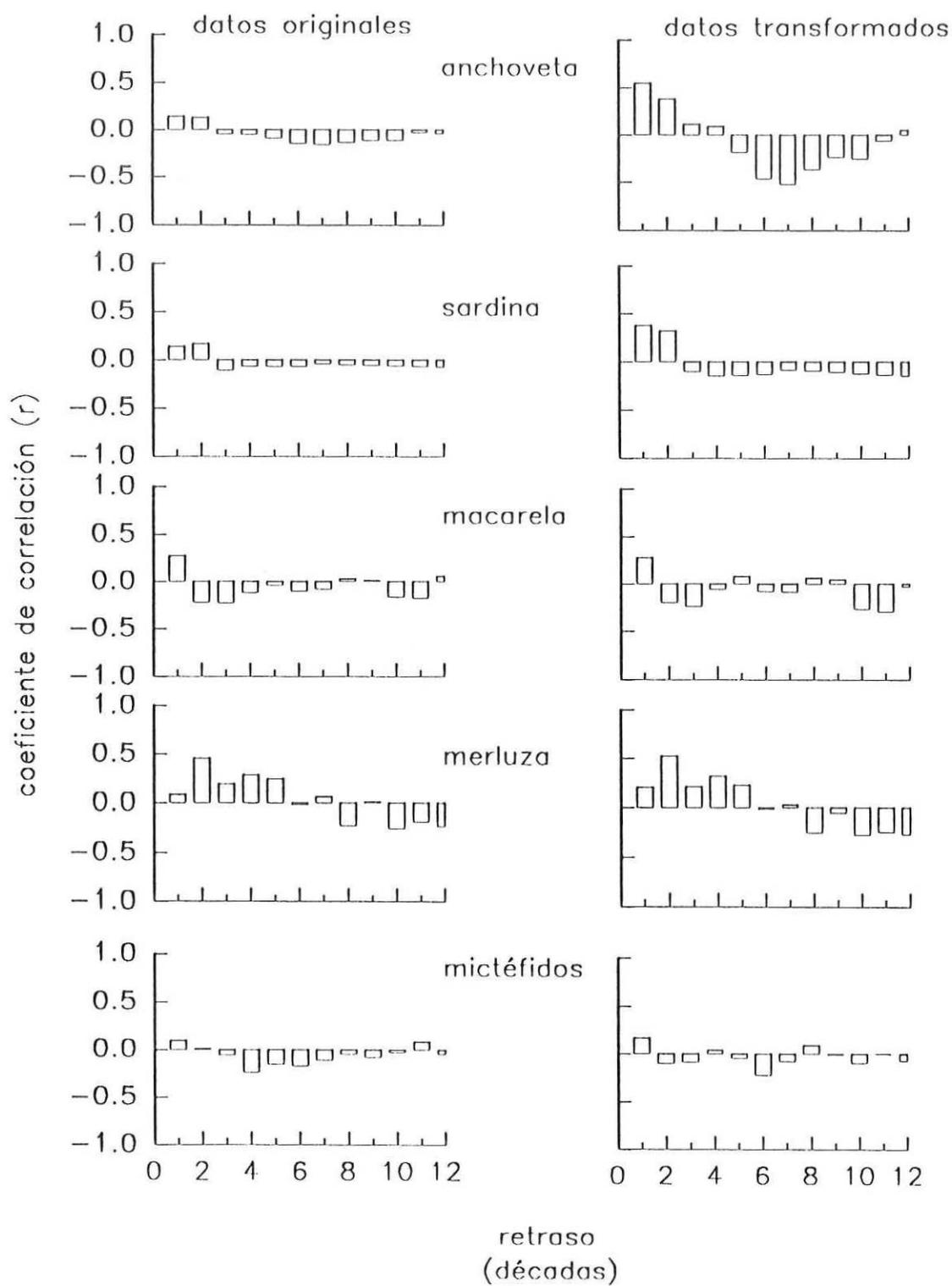


Fig. 9. Autocorrelaciones de las series originales y datos transformados (log. natural) de la tasa de depositación de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y mictéfidos en el talud frente a Guaymas, Golfo de California entre 1734-1978.

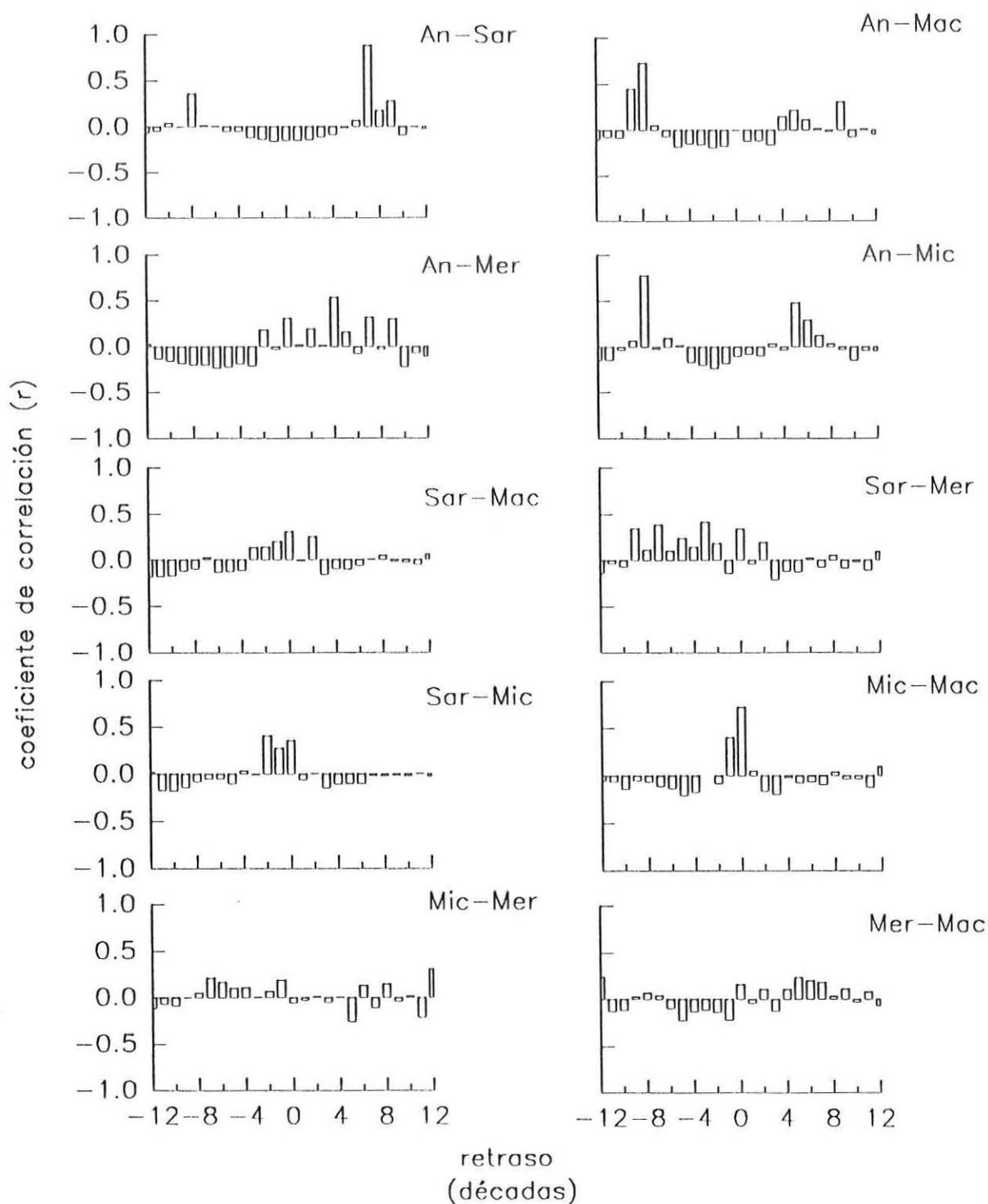


Fig. 10. Correlaciones cruzadas entre las series de la tasa de deposición de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y mictófidos en el talud frente a Guaymas, Golfo de California entre 1734-1978.

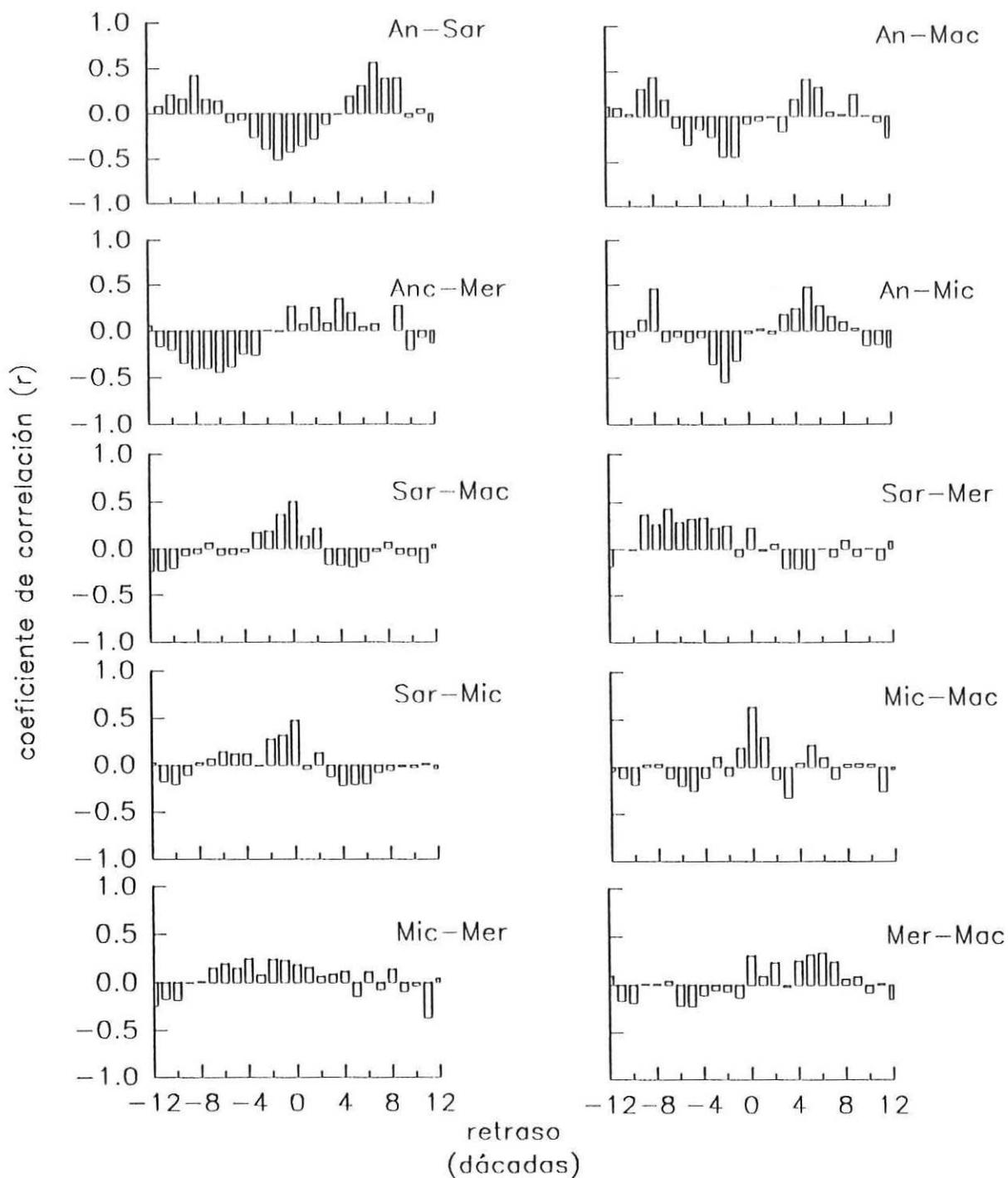


Fig. 11. Correlaciones cruzadas entre las series del logaritmo natural de la tasa de deposición de escamas de la anchoveta, sardina, macarela, merluza y mictófidos en el talud frente a Guaymas, Golfo de California entre 1734-1978.

Tabla III. Correlaciones cruzadas entre las series del logaritmo natural de la tasa de depositación de escamas de las especies en el talud frente a Guaymas.

	sardina	merluza	macarela	mictófidios
<b>sin retraso</b>				
anchoveta	-0.43	0.26	-0.09	-0.03
sardina		0.22	0.50	0.47
merluza			0.30	0.18
macarela				0.72
<b>máximo 'r' (retraso)</b>				
anchoveta	0.56(7)	0.44(-6)	0.44(-1,-2)	0.55(-2)
sardina		0.43(-7)	0.50(0)	0.47(0)
merluza			0.33(6)	-0.36(-11)
macarela				0.63(0)

coherente, lo que facilita las comparaciones. Por eso es conveniente hacer las comparaciones entre las series de las diferentes especies a la luz del análisis con los datos transformados. Una limitante de estas series es que son de muy pocas observaciones (25 décadas), por lo que sólo se pueden apreciar uno o dos ciclos en las abundancias de escamas. Por esta razón se consideró más conveniente no tanto calcular los niveles absolutos de significancia (para lo cual se debe eliminar el efecto de la autocorrelación), sino estudiar lo que nos indican sobre las características de la estructura de las series de tiempo en la Fig. 6. Así la correlación cruzada se convierte en otra herramienta heurística para hacer las comparaciones entre las series.

### **III.10 Comparación entre la tasa de depositación de las escamas de los peces epi- y mesopelágicos de la cuenca de Santa Bárbara (California), cuenca Soledad (Baja California) y el talud frente a Guaymas (Golfo de California).**

Se compararon las series de flujo de escamas de anchoveta norteña y sardina monterrey entre la cuenca de Santa Bárbara, California (1740-1970), la cuenca Soledad, Baja California (1780-1960) (datos de Soutar e Isaacs, 1969) y la cuenca de Guaymas (1740-1970, Fig. 12, 13 y 14). En las correlaciones cruzadas, el número de décadas que se compararon fué con respecto a la serie más corta (Fig. 13 y 14). En el caso de macarela, merluza y los mictófidós, se compararon sólo las series de la cuenca de Santa Bárbara y la cuenca de Guaymas entre 1810 y 1970 (Fig. 15 y 16).

### **III.11 Relación de la abundancia de escamas con el clima.**

Jones y Wigley (1990) construyeron una serie de anomalías de temperatura global del planeta desde 1854 a 1988 (Fig. 17). Se escogió esta serie porque abarcaba un periodo más largo que otras series. Por ejemplo, la serie de anomalías de temperatura superficial del agua de la corriente de California sólo llega hasta 1917, por lo que una correlación con la serie de depositación de escamas hubiese sido entre muy pocas observaciones, sólo seis décadas (de 1920 a 1970) y únicamente en un período cálido. A la serie original de Jones y Wigley (1990) se calcularon los valores promedios por década, y ésta nueva serie se correlacionó con la serie de depositación de escamas de la cuenca de Santa Bárbara, cuenca Soledad (Soutar e Isaacs, 1969) y del talud frente a Guaymas (este estudio, Figs. 18 y 19).



Fig. 12. Localización geográfica de la cuenca de Santa Bárbara (California), cuenca Soledad (Baja California) y cuenca de Guaymas (Golfo de California), en donde se ha estudiado la depositación de escamas en los sedimentos laminados (Soutar y Isaacs, 1969, 1974 y este estudio).

## anchoveta

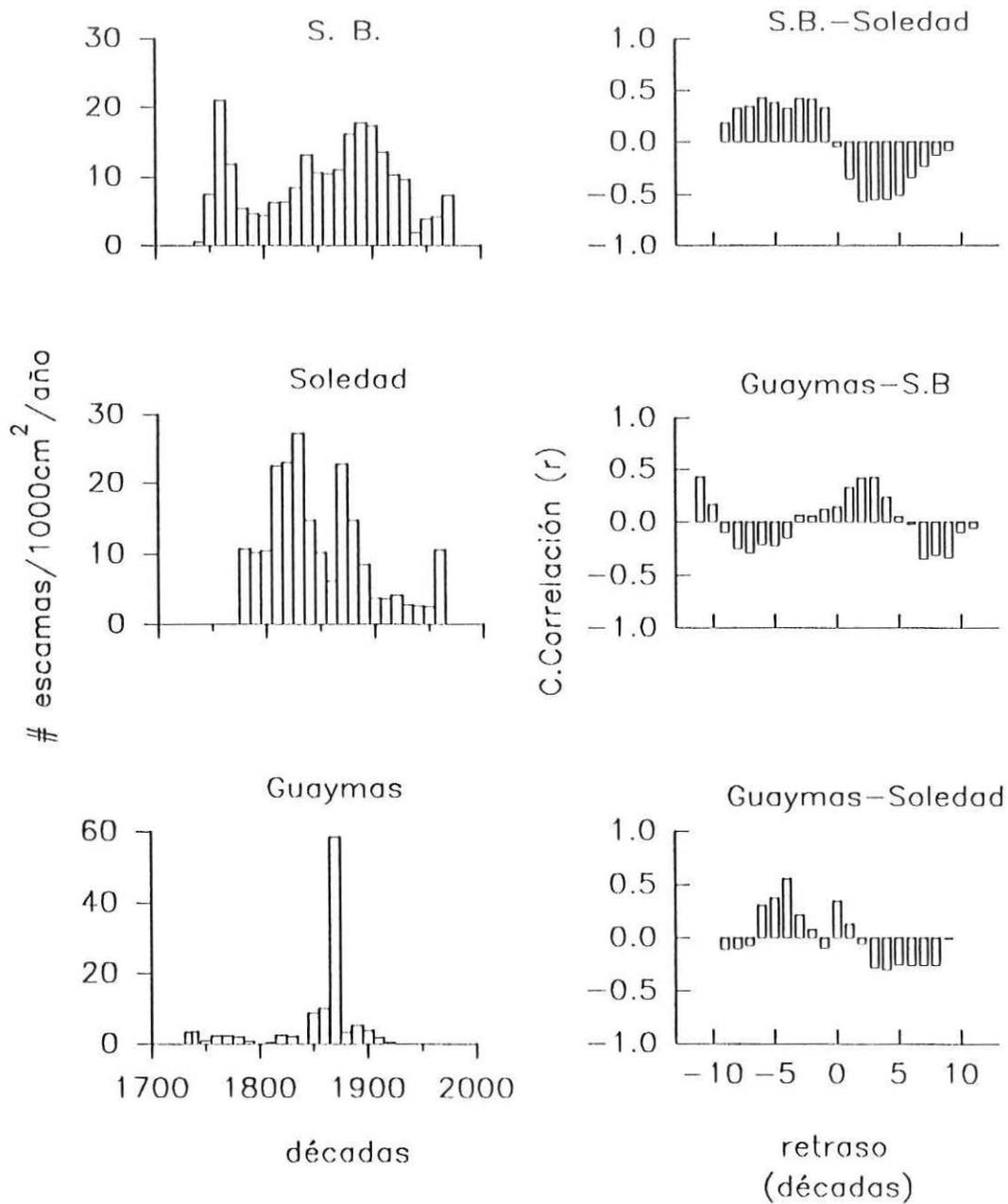


Fig. 13. Comparación entre las series de la tasa de deposición de escamas de la anchoveta en la cuenca de Santa Bárbara (S.B.), C. Soledad (Soutar e Isaacs, 1969) y en el talud continental frente a Guaymas. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre las series correspondientes.

## Sardina

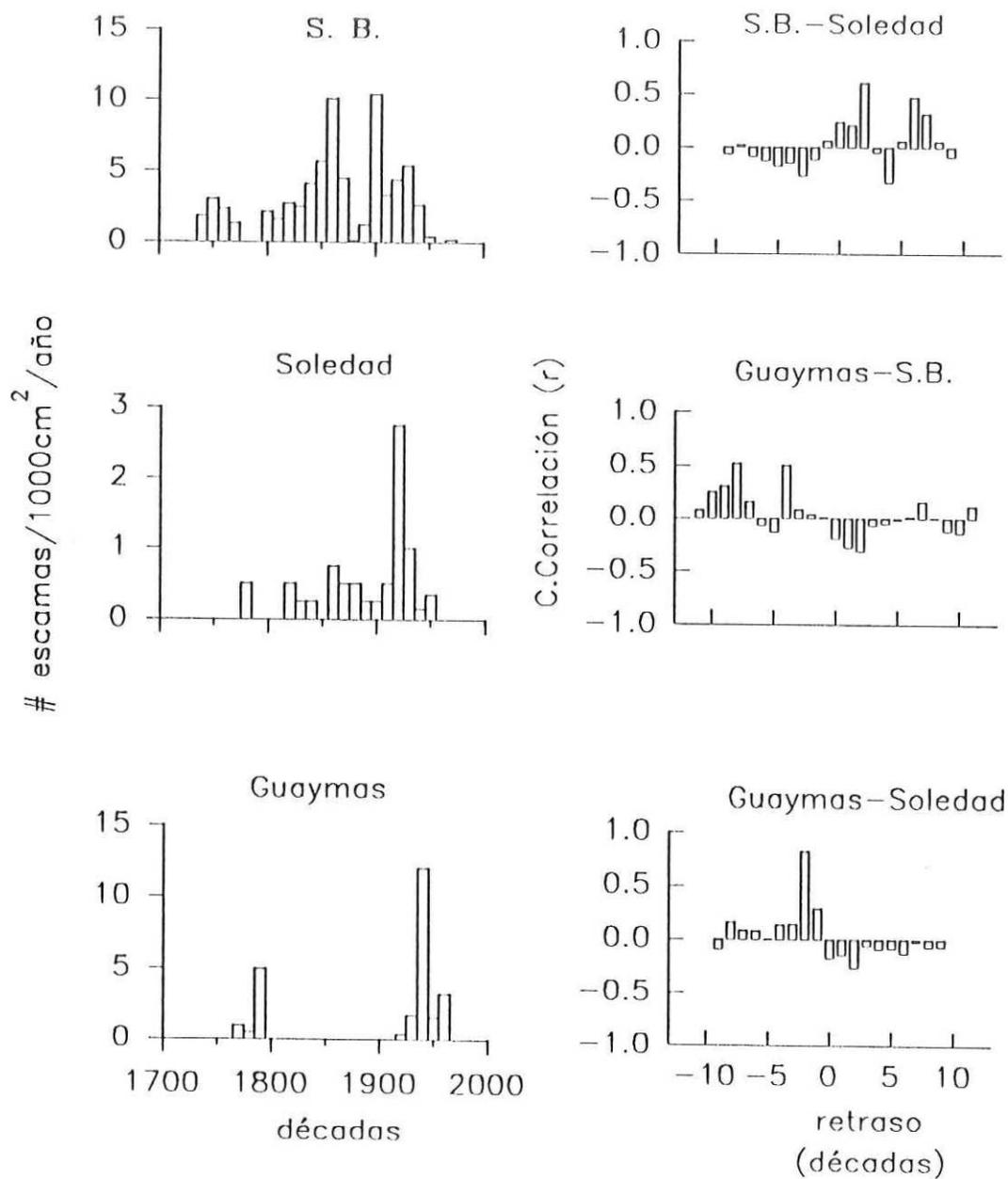


Fig. 14. Comparación entre las series de la tasa de deposición de escamas de la sardina en la cuenca de Santa Bárbara (S.B.), C. Soledad (Soutar e Isaacs, 1969) y en el talud continental frente a Guaymas. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre las series correspondientes.

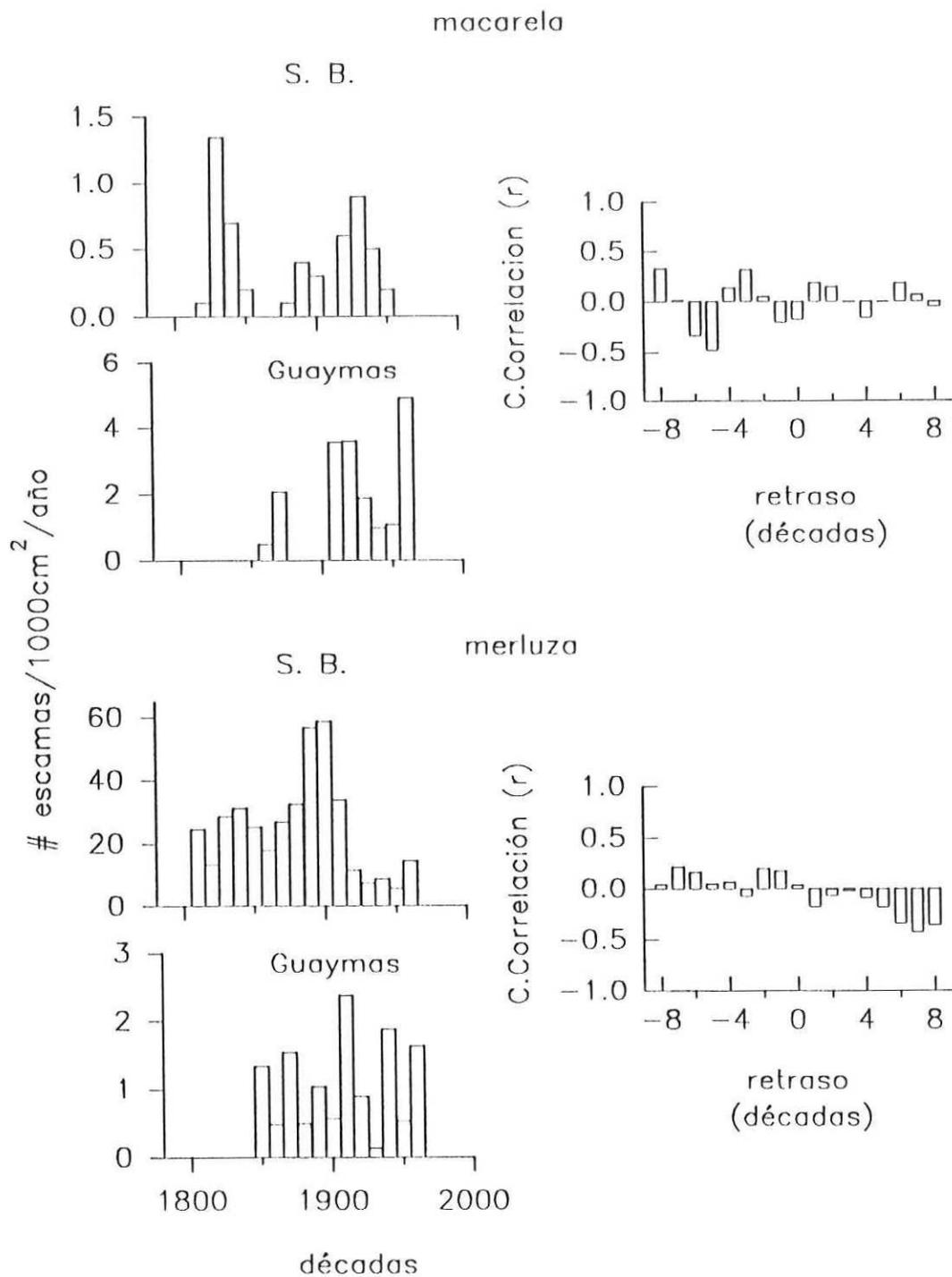


Fig. 15. Comparación entre las series de la tasa de deposición de escamas de la macarela y la merluza en la Cuenca Santa Bárbara (S.B.) (Soutar e Isaacs, 1974) y en el talud continental frente a Guaymas. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre las series correspondientes.

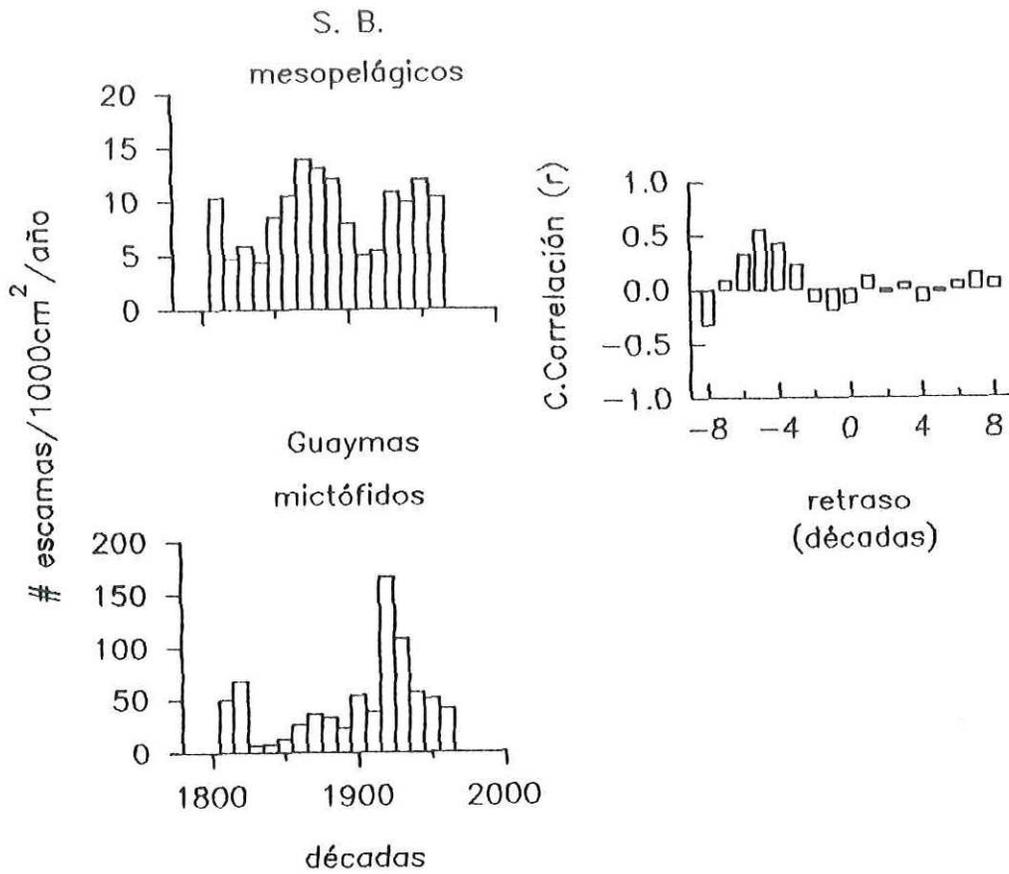


Fig. 16. Comparación entre las series de la tasa de deposición de escamas de los mesopelágicos en la Cuenca Santa Bárbara (S.B.) (Soutar, datos no publicados) y los mictófidios en talud continental frente a Guaymas. A la derecha se muestra la correlación cruzada entre las dos series.

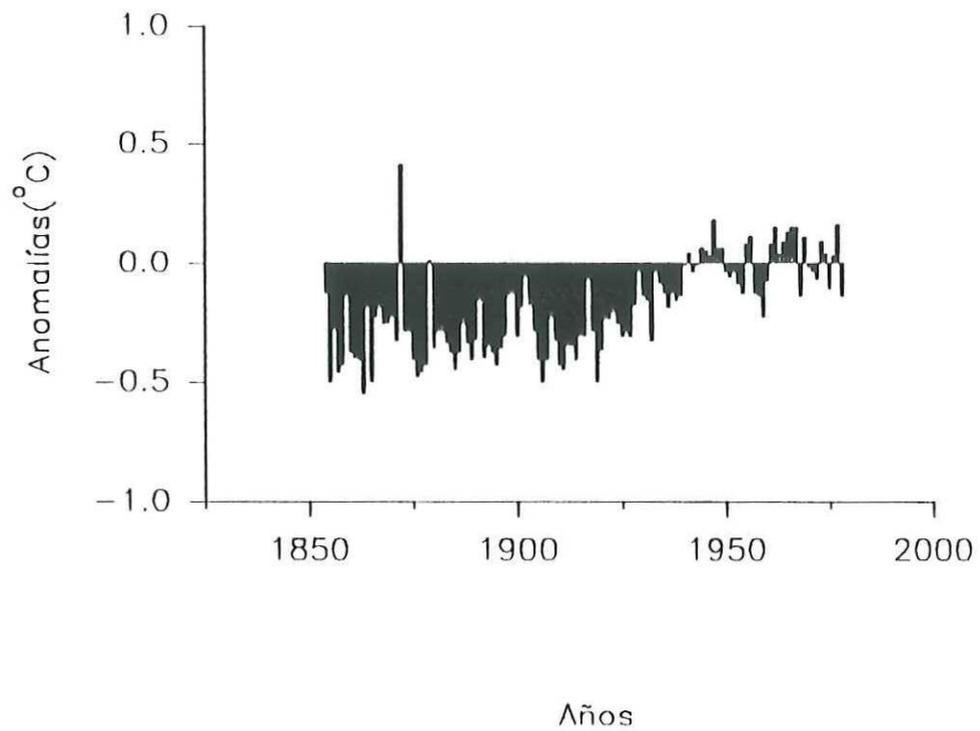


Fig. 17. Serie de anomalías de las temperaturas globales de todo el planeta entre 1854 y 1978 (Jones y Wigley, 1990).

## Anchoveta

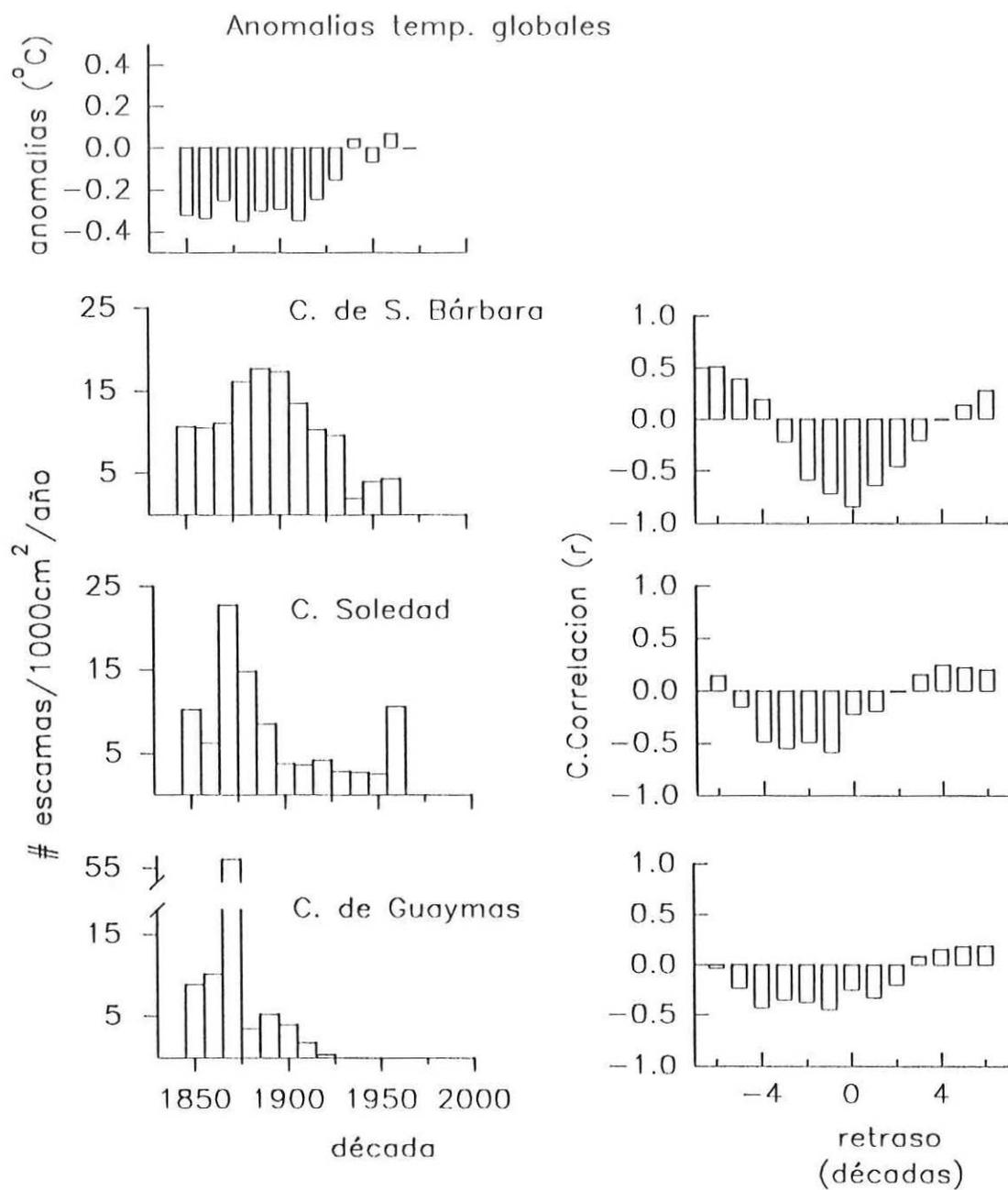


Fig. 18. Comparación entre las anomalías de las temperaturas globales de todo el planeta (mod. de Jones y Wigley, 1990) y las tasas de deposición de escamas (t.d.e.) de anchoveta en la cuenca de Santa Bárbara, cuenca Soledad (Soutar e Isaacs, 1974) y en el talud continental frente a Guaymas de 1850-1970. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre la serie de anomalías de temperatura con la de t.d.e..

## Sardina

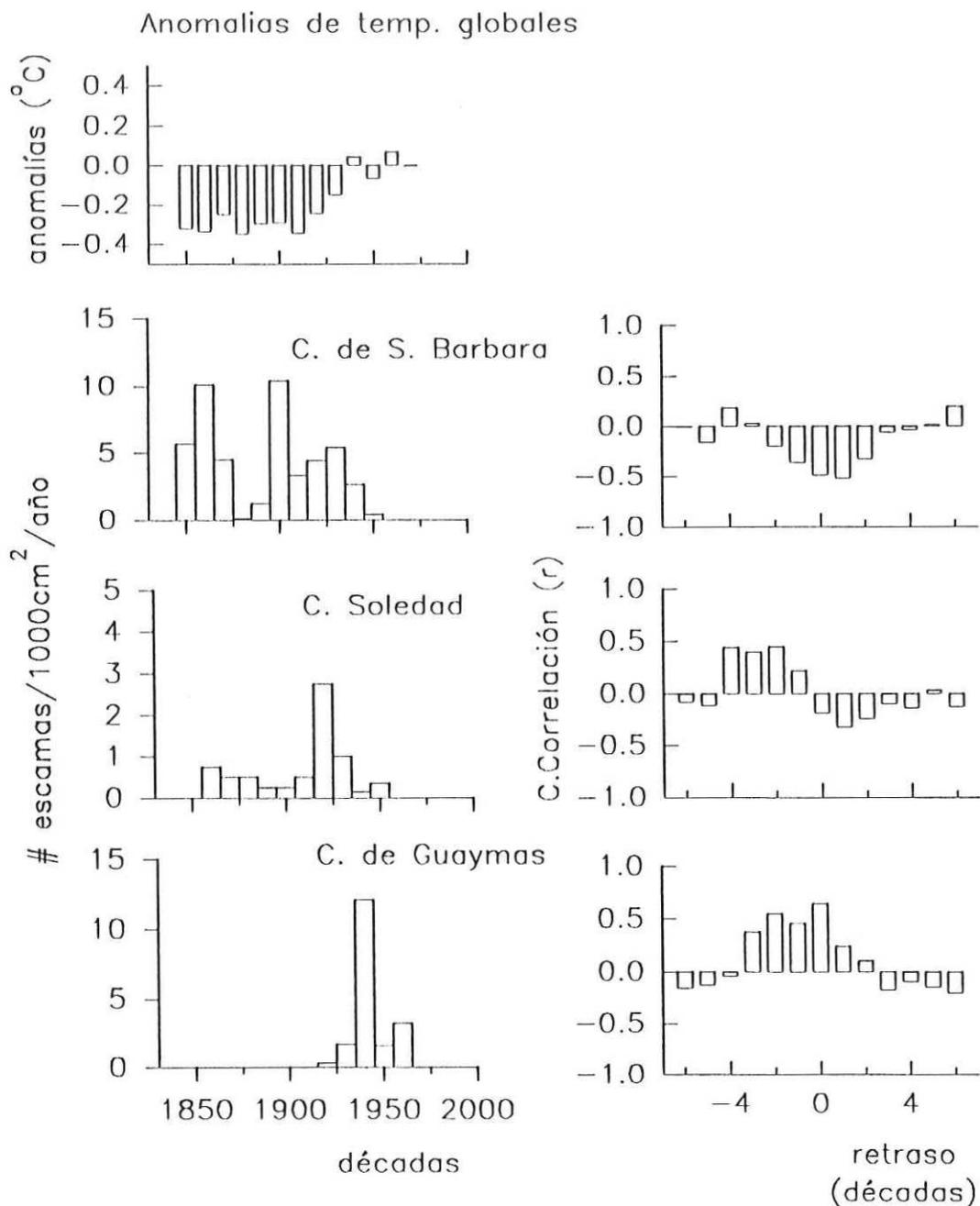


Fig. 19. Comparación entre las anomalías de las temperaturas globales de todo el planeta (mod. de Jones y Wigley, 1990) y las tasas de deposición de escamas (t.d.e.) de sardina en la cuenca de Santa Bárbara, cuenca Soledad (Soutar e Isaacs, 1974) y en el talud continental frente a Guaymas de 1850-1970. A la derecha se muestran las correlaciones cruzadas entre la serie de anomalías de temperatura con la de t.d.e.

## IV. RESULTADOS

### IV.1 Conservación de las escamas.

A los dos meses de montado el experimento, ya se notó una notable disolución de las escamas a pH 2.0. A los seis meses, las escamas a éste pH estaban casi disueltas (translúcidas). En las escamas a pH 3.5 sólo se notó un aclaramiento del borde, pero de unos pocos circuli. En los pH de 5.0 y 6.5 las escamas no sufrieron cambios.

En los sedimentos, por lo general las escamas se encontraron en buen estado, aún en las varvas de 1760's. Sin embargo, en las muestras que representan los períodos de 1910-1920, 1900-1910, 1890-1900, 1840-1850, las escamas eran quebradizas y parcialmente disueltas. En estos casos, la identificación de las escamas fué más difícil, o bien fué imposible en algunos casos de mictófidios.

### IV.2 Las tasas de depositación de las escamas de los peces epi- y mesopelágicos en el talud frente a Guaymas.

La Tabla I resume los datos pertinentes a cada muestra en los que se basaron los cálculos de las tasas de depositación para la anchoveta norteña, sardina monterrey, merluza, macarela y el grupo no-diferenciado de los mictófidios. La secuencia comienza con la muestra asignada a los años 1734-1739 y termina con la muestra de 1970-1978. La anchoveta norteña fué la especie epipelágica más representada en los sedimentos, tanto en el número total de escamas como en las diferentes décadas. En cambio las escamas de sardina monterrey, merluza y macarela fueron mucho menos abundantes.

La Fig. 6 muestra las series de tiempo de las tasas de depositación tabuladas en la Tabla I. La Fig. 8 aparecen las gráficas de éstas tasas de depositación transformadas a su logaritmo natural. La transformación logarítmica del flujo de escamas resta importancia a los máximos

extremos. Particularmente en el caso de la anchoveta norteña y la sardina monterrey da un aspecto más coherente y suave a la variación de las tasas de depositación, enfatizando las tendencias de largo plazo.

Se nota de la figura 6 que las escamas de anchoveta norteña estuvieron presentes casi en forma continua desde el comienzo de la serie hasta la década de 1930. A partir de ésta, no aparecen escamas de anchoveta norteña en los sedimentos. La sardina monterrey sólo se registró en ocho décadas. Desde comienzos de 1800 hasta la década de 1920 no se encontraron escamas de sardina monterrey. Después de esta fecha apareció en forma continua hasta los 60's con su máximo de abundancia en los 40's. No se encontraron escamas de sardina monterrey en el último intervalo de muestreo (1970-78).

La merluza se observó casi en forma continua desde 1850 hasta los 1960's, aunque en menor abundancia respecto a la anchoveta norteña y la macarela. Esta última se presentó en diferentes períodos de la serie, pero sólo durante un par de décadas (1730-50, 1780-1800 y 1860-1880). A partir de los 1920's su registro fué continuo hasta el final de la serie.

Los mictófididos estuvieron presentes en todos los intervalos, con ligeras variaciones a corto y largo plazo. Las tasas de depositación son mucho mayores que las otras gráficas por la suma de cinco o más especies.

En cuanto a las especies mesopelágicas, las escamas identificables más abundantes fueron de *Diogenichthys laternatus* (42 %) y *Bentosema panamense* (21 %). En cambio, *Triphotorus mexicanus* y *Diaphus pacificus* juntos no representaron ni el 1 % del total de los mictófididos. El 27 % de las escamas restantes de la familia no pudieron determinarse a nivel de especie o género, aunque sí fué posible diferenciarlas como mictófididos. De *Vinciguerria lucetia* (Photichthyidae) sólo se encontraron 47 escamas. La Tabla II resume los datos de las especies *D. laternatus*, *B. panamense* y *V. lucetia* cuyas escamas se pudieron identificar. La Fig. 7 compara las gráficas de dichas especies en forma separada de la gráfica del total de los

mictófidis; además se presenta la serie de la suma de *D. laternatus* y *B. panamense*.

En el autocorrelograma de la anchoveta norteña se nota un mínimo a los 70 años. Este es la distancia entre el máximo de 1870-79 y el mínimo de la década de 1800-10. La serie transformada (Fig.8) aunado con su autocorrelograma en la figura 9 indican claramente una variación coherente, no abrupta y con un período medio de 70 años, aunque el período de repetición (140 años) no es significativo estadísticamente.

En el caso de la sardina monterrey, los valores de autocorrelación son muy bajos y rápidamente se acercan a cero. En la Fig. 6 se nota que la mayoría de las observaciones (17 décadas de un total de 25) fueron ceros, y un posible período de 140 años que no aparece en el autocorrelograma por ser la serie muy corta.

La curva del autocorrelograma de la macarela inmediatamente cae, y tiende a oscilar alrededor de cero, reflejo de las varias apariciones y desapariciones de la especie en el registro de las escamas.

La merluza estuvo más correlacionada en el retraso de dos décadas, lo cual se aprecia muy claramente a partir de 1850.

El autocorrelograma del grupo de los mictófidis se caracteriza por valores de autocorrelación muy bajos. Esto refleja las variaciones pequeñas (nótese en la Fig.6) entre cada una de las décadas.

En cuanto a la relación entre las diferentes especies, una comparación de gran interés es entre la anchoveta norteña y la sardina monterrey (Fig. 10, 11 y Tabla III). La correlación cruzada entre estas dos especies enfatiza una relación completamente inversa (correlación negativa), siendo el mejor ajuste en una década de desfase (sardina monterrey precediendo a la anchoveta norteña).

El aspecto general de la función de correlación cruzada semeja una función seno con una longitud entre los dos máximos (correlaciones positivas) a los retrasos de +70 y -80 años. Estos máximos reflejan la coincidencia del máximo de anchoveta norteña alrededor de 1870 con los dos máximos de sardina monterrey separados por 150 años.

Nótese que las funciones de correlación cruzada (Fig. 11) para la anchoveta norteña y la macarela, y la anchoveta norteña con el grupo de los mictófidios también tienen la misma forma general del seno que tiene la relación entre la sardina monterrey y la anchoveta norteña. Las diferencias consisten en una menor persistencia en los valores de correlación, así como cambios ligeros en las posiciones de los máximos y mínimos de correlación. Esta similitud en las correlaciones cruzadas es una señal de las estructuras comparables de las series de la sardina monterrey, macarela y el grupo de los mictófidios que, contrastan con las series de merluza y anchoveta norteña. Así, encontramos que las dos funciones de las correlaciones cruzadas entre la sardina monterrey y la macarela es una imagen especular frente a las correlaciones entre la anchoveta norteña y la sardina monterrey, macarela y mictófidios.

La buena relación entre la macarela y los mictófidios ( $r = 0.65$  en el retraso "0"), aunado con las correlaciones entre estos dos y la sardina monterrey también señalan la semejanza general en la estructura (fase y amplitud) de las series de la sardina monterrey, macarela y mictófidios.

Mientras que la anchoveta norteña está claramente en contrafase a la sardina monterrey, macarela y los mictófidios, la merluza tiene una correlación cruzada intermedia con las demás especies. Con respecto a su fase, es la serie que más difiere respecto a las demás. Además es la serie con la tasa de depositación de escamas más baja.

### IV.3 Comparación entre la tasa de depositación de las escamas de los peces epi- y mesopelágicos en la cuenca de Santa Bárbara (California), cuenca Soledad (Baja California) y en el talud frente a Guaymas (Golfo de California).

El flujo de escamas de anchoveta norteña fué menor y mucho más variable en la cuenca de Guaymas (Tabla IV y Fig. 13). Las series entre las tres cuencas no estuvieron muy correlacionadas. Sin embargo, el mayor flujo de escamas en Guaymas corresponde a uno de los valores más altos en la cuenca Soledad y la cuenca de Santa Bárbara. Las tendencias generales que se observan en las tres series es el aumento progresivo a partir de 1800-1820, y un descenso paulatino que culmina con la desaparición en Guaymas en los 1930's y una recuperación parcial en las décadas de los 40 y 50's, en Santa Bárbara y Soledad respectivamente. Es interesante que la mayor correlación en el retraso "cero" es entre Guaymas y Soledad.

Tabla IV. Comparación de los valores promedio, mínimo, máximo y desviación estándar de las tasas de depositación de escamas de anchoveta y sardina en las cuencas de Santa Bárbara (California), Soledad (Baja California) y Guaymas (Golfo de California) entre 1740 y 1970.

	<u>anchoveta</u>			<u>sardina</u>		
	S.B	Sol.	Guay.	S.B.	Sol.	Gua.
$\mu$	9.3	11.1	4.5	2.9	0.4	1.02
mínimo	0.6	0.7	0	0	0	0
máximo	21.0	32.2	58.5	10.4	3.7	12.1
D.E.	5.2	8.0	11.5	2.8	0.7	2.60
C.V.	56	72	255	97	175	255

Al igual que la anchoveta norteña, el flujo de escamas de sardina monterrey en Guaymas fué menor y más variable que en Santa Bárbara, pero mayor que en Soledad. La sardina monterrey en Guaymas está en contrafase con las de Santa Bárbara y Soledad, particularmente

en el período de 1750-1920 (Fig. 14). Aunque los coeficientes de correlación ( $r$ ) son bajos en los retrasos 'cero' y de pocas décadas, al menos son negativos entre la serie de Guaymas con las otras series. En cambio entre Santa Bárbara y Soledad los valores de  $r$  son positivos y mayores. Sin embargo a partir de 1930, se nota una mayor correspondencia entre las series, aunque la sardina monterrey en Santa Bárbara pareciera anteceder a Soledad y ésta a la de Guaymas por algunas décadas. Nótese que los máximos ocurren en 1900, 1920 y 1940 respectivamente y en los valores altos de  $r$  cuando Soledad sucede a Santa Bárbara por 20 años (0.60) y cuando Soledad antecede a Guaymas por igual lapso (0.821).

En cuanto a las correlaciones cruzadas entre las series del flujo de escamas de macarela, merluza y mictófidios de la Cuenca de Guaymas y la de Santa Bárbara (Fig. 15 y 16). En estos casos fueron muy bajos los  $r$ , indicando una relación débil entre la abundancia de cada una de las especies de la Cuenca de Guaymas con su contraparte en la Cuenca de Santa Bárbara.

#### **IV.4 Estimación de la biomasa de la sardina monterrey y la anchoveta norteña a partir de los datos de la tasa de depositación de escamas.**

A manera de ejercicio, se utilizaron las ecuaciones de regresión obtenidas por Baumgartner, Soutar y Ferreira-Bartrina (1992) para expresar las fluctuaciones poblacionales de sardina monterrey y anchoveta norteña del Golfo de California en unidades de biomasa (Fig. 20).

Se observa que la biomasa de la sardina monterrey es ligeramente mayor que la de anchoveta norteña, a pesar de que en las series de la tasa de depositación de escamas la anchoveta norteña era mucho más abundante que la sardina monterrey. Esto nos recuerda que la tasa de depositación de escamas no es proporcional entre las especies, ni tampoco su equivalencia en términos de biomasa, por lo que las comparaciones interespecíficas basadas en flujo de escamas deben hacerse con cautela.

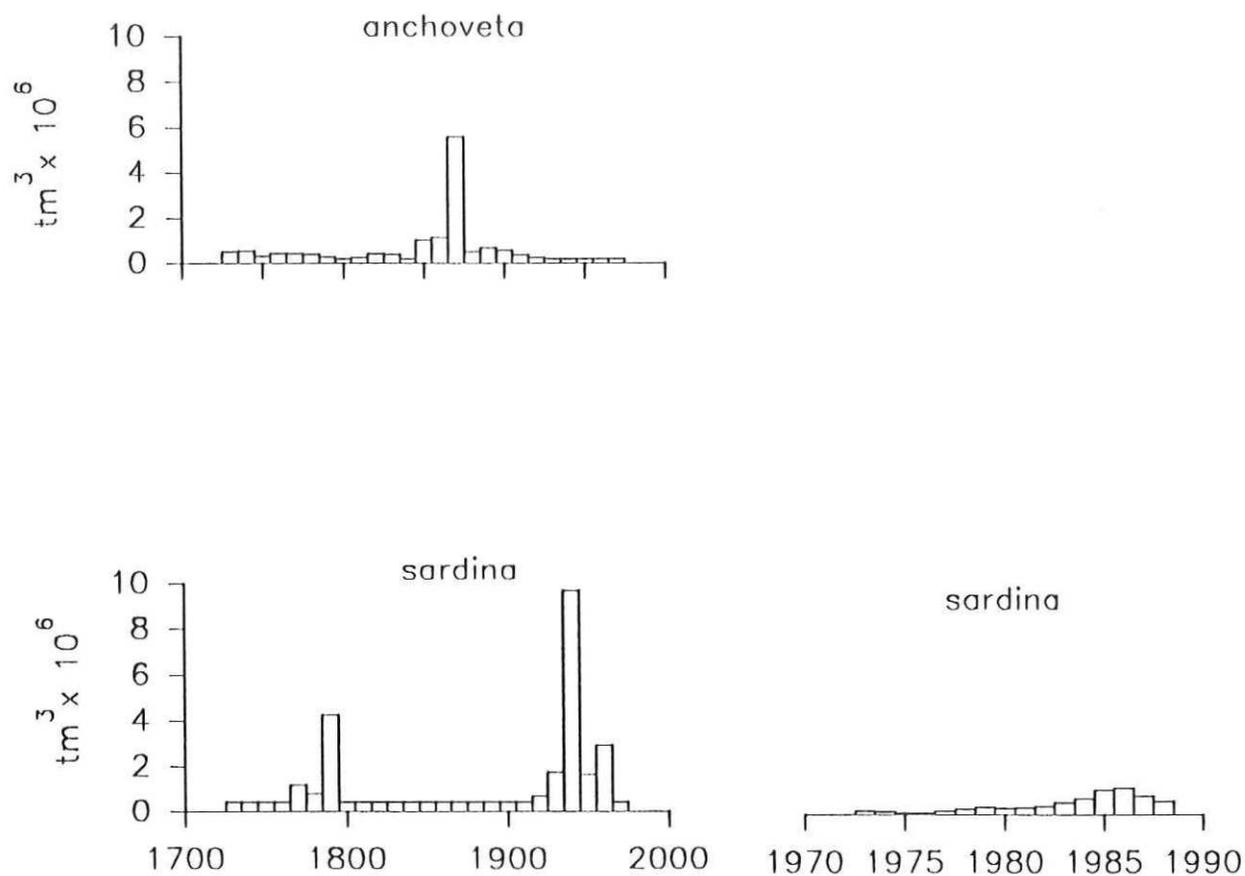


Fig. 20. Biomasa de anchoveta y sardina (reproductores) en el Golfo de California estimadas a partir del flujo de escamas sobre el talud continental frente a Guaymas y utilizando las ecuaciones de regresión obtenidas por Baumgartner *et al.* (1992). Abajo a la derecha se presentan también las estimaciones de biomasa de reproductores de sardina basados en la captura entre 1973 y 1987 (Cisneros *et al.*, manuscrito)

En la Fig. 20 se comparan los valores de biomasa de sardina monterrey estimados a partir del flujo de escamas con estimaciones de biomasa de reproductores basados en la captura de la especie de 1973 a 1987 (Cisneros *et al.*, manuscrito). Desde el comienzo de la pesquería hasta 1985 se observó un aumento continuo de la biomasa. En los dos años siguientes ésta disminuye, aunque los valores permanecen relativamente altos.

#### IV.5 Relación de la tasa de depositación de escamas con el clima.

En la Fig 17 se aprecia que el siglo pasado se caracterizó por pequeñas fluctuaciones con ciclos de 20 años, pero siempre fueron temperaturas bajas en relación a las de este siglo. Durante los 1920's se nota un calentamiento que persiste hasta el final de la serie.

En el Golfo de California, la anchoveta norteña, después de encontrarse casi en forma continua desde 1740, desapareció de los sedimentos en la década de los 1930's, ya en un período de calentamiento (Fig. 20). La correlación entre la serie del flujo de escamas y la de anomalías de temperatura global del planeta (Jones y Wigley, 1990) fué baja, pero negativa en la mayor parte de los retrasos. Esto mismo se observa en las series de la cuenca de Santa Bárbara y Soledad. En la primera la correlación fué negativa en los primeros retrasos, y más alta en el retraso "cero" ( $r = 0.843$ ).

La sardina monterrey del Golfo de California, a diferencia de la anchoveta norteña, estuvo más correlacionada con los cambios en la temperatura, y además ésta relación fué positiva,  $r = 0.64$  en el retraso 'cero'. Sin embargo, estos valores hay que tomarlos con precaución, ya que siete de los 13 valores comparados de la serie de depositación de escamas son ceros.

## V. DISCUSION

### V.1 Conservación de las escamas.

Las escamas son una intermezcla de apatita cristalina y una matriz orgánica de colágeno-ictiolepidina (Wallin, 1957). Se esperaría por lo tanto que se disolvieran a pH bajos y degradaran por actividad microbiana.

En el experimento que se montó, sólo se disolvieron notablemente las escamas expuestas a pH muy bajo (2.0), y en menor grado a pH 3.5. Estos valores están muy por debajo de los esperados para los sedimentos laminados anóxicos de la Cuenca de Guaymas (aprox. pH 5.0). Aunque el experimento sólo duró ocho meses, estos resultados preliminares indican que existe un pH umbral (cercano a 3.5) bajo el cual las escamas comienzan a diluirse.

La matriz orgánica es improbable que se degrade en medios anaeróbicos (Kaplan y Rittenberg, 1963). La sola existencia de los sedimentos laminados bien definidos sugiere que la capa mínima de oxígeno no se desplazó verticalmente durante estos años, lo que impidió la colonización de los sedimentos por crustáceos, poliquetos y moluscos, que habrían mezclado las láminas de sedimento y deteriorado los ictiorestos.

La mera presencia de fluctuaciones en cada una de las especies y en su conjunto indica al menos que la pérdida de escamas en los sedimentos no ha sido suficiente para enmascarar tales cambios en la abundancia. Además los niveles de mayor abundancia no concuerdan entre las diferentes especies. Es muy improbable que períodos de "mala conservación" para una especie sean "buenos" para otra. Es notable también la presencia continua de los mictófidios a lo largo de 250 años.

Las evidencias anteriores apoyan la suposición de que las escamas depositadas desde 1734 hasta el sondeo en 1978 se han conservado de igual forma.

## V.2 Abundancia de los peces epipelágicos.

### V.2.1 Anchoqueta norteña y sardina monterrey.

La presencia de escamas de anchoqueta norteña en los sedimentos fué sorprendente, más aún cuando ésta se remonta hasta la década de 1730, por haber sido más continuo su registro y mucho mayor el flujo de escamas respecto a los demás epipelágicos (sardina monterrey, merluza y macarela), aunque en términos de biomasa la relación no se mantiene necesariamente (Baumgartner, Soutar y Bartrina 1992).

La anchoqueta norteña es susceptible a las artes de pesca utilizadas para la sardina. Desde 1971 se inició la pesca masiva de sardina en el Golfo de California (Arvizu-Martinez, 1987), sin embargo sólo hasta 1985/86 se registró la anchoqueta norteña entre la captura de la flota (Hamman y Cisneros-Mata 1989).

La mayor abundancia de anchoqueta norteña en las décadas del siglo pasado contrasta con la ausencia total de la sardina monterrey en el registro de escamas, incluso se observa una alternancia con fronteras no mayores a 10 años (década de 1930). Este fenómeno ha sido una de las mayores interrogantes de los estudios poblacionales y pesqueros en sistemas altamente productivos.

Los mecanismos que se han propuesto para explicar la alternancia de las especies de estos dos géneros básicamente son dos:

- el desplazamiento competitivo de una especie por otra (ver Murphy, 1966).
- el efecto de algún cambio en una variable ambiental de mediano o largo plazo sobre el reclutamiento y/o la distribución de la población desovante.

En cuanto al primer mecanismo, el hecho que la anchoqueta y la sardina compartan el mismo nivel trófico (ambos son planctófagos) sólo es una evidencia circunstancial y no puede considerarse *per se* una prueba de competencia. Santander *et al.* (1983) sí demostraron una interacción directa: ambos son depredadores mutuos de huevos y larvas. Butler (1991)

encontró que los factores bióticos -más que los abióticos- parecieron afectar la mortalidad de la sardina monterrey; las tasas de mortalidad de las larvas menores a 20 días de edad estuvieron positivamente correlacionadas con la biomasa adulta de la anchoveta norteña, y en menor grado con la abundancia de zooplancton. Esto -según el autor- sugiere que las dos especies interactúan por depredación. En cambio, no encontró relación alguna con la temperatura, la estabilidad de la columna de agua, las surgencias, el transporte de larvas, las anomalías de la salinidad y la abundancia de macarela.

El segundo mecanismo general propuesto ha recibido mucha atención en los últimos años, y es al parecer, el más aceptado por la comunidad científica.

Por ejemplo, MacCall (1986) apuntó que el tamaño medio de las anchovetas en el sistema de California ha declinado drásticamente desde mediados de los 70's y no exclusivamente por efecto de la pesca. La población de sardina monterrey mostró signos de recuperación en este período, pero a un nivel insignificante en la cadena trófica, que no explicaría la disminución en el tamaño de las anchovetas. El autor concluyó que estos eventos deben ser independientes, y sugiere que son resultado de cambios ambientales.

La simultaneidad y alta correlación entre las fluctuaciones de especies pelágicas (sardina especialmente) que ocupan el mismo nicho ecológico entre varios sistemas productivos *i.e.*: California, Humboldt y Japón, han apoyado la hipótesis que las especies responden a variables climáticas que operan en una escala global (Kawasaki, 1983 y 1991; Luch-Belda, Hernández-V y Schwartzlose, 1991 y Crawford, *et al.* 1989 y 1991).

En este sentido, se compararon las series de flujo de escamas de tres sistemas productivos de la zona de California: la cuenca de Santa Bárbara, California, la cuenca Soledad, Baja California (datos de Soutar e Isaacs, 1969) y la cuenca de Guaymas, Figs. 11, 12, 13 y 14).

Aunque las series no estuvieron muy correlacionadas, es interesante que en la anchoveta norteña por ejemplo, la mayor correlación en el retraso "cero" es entre Guaymas y Soledad.

Esto sugiere que el comportamiento de la población de anchoveta norteña entre el Golfo de California y la cuenca Soledad es más parecido que entre ésta y la C. de Santa Bárbara. Es probable que los cambios en la población del golfo, así como su recolonización se expliquen por expansiones y contracciones geográficas de la población de la región de la cuenca Soledad.

El desfase entre las series de abundancia de sardina monterrey entre Guaymas y las dos cuencas del sistema de la "Corriente de California" pudiera explicarse por un desplazamiento en el área de desove de la sardina monterrey del Golfo de California. En los sedimentos laminados de la cuenca de Santa Bárbara y Soledad la mayor parte de las escamas de anchoveta norteña y sardina monterrey corresponden a individuos menores a los dos años. De hecho, éstas cuencas pueden llegar a ser centros dominantes de productividad de peces pelágicos (Soutar y Isaacs, 1974). Mientras que en el área de la cuenca de Guaymas sólo se encuentran sardinias adultas-desovantes (y únicamente en los meses de desove), y no juveniles o subadultos (ver Sokolov, 1974). Por esto, el registro del flujo de escamas en la Cuenca de Guaymas podría ser sensible a cambios en la ruta migratoria y/o en las áreas e intensidad de desove. En los mapas de distribución de huevos y larvas de sardina monterrey en el sistema de la Corriente de California (Kramer, 1970) desde 1951 a 1966, se observa que en los años con cambios drásticos de temperatura, la distribución de huevos y larvas cambia notablemente. Por ejemplo, en los años en que ocurren eventos del Niño (1957-1958) las áreas de desove se encuentran mucho más al norte y dispersas.

Lluch-Belda *et al.* (1986) sugirieron que las fluctuaciones en la captura de sardina monterrey podrían reflejar cambios en la distribución de la población desovante, y por lo tanto de la susceptibilidad del stock. El desove, como suponen Lluch *et al.* (1991) debe tener un rango de temperatura óptimo más estrecho y crítico que en el resto del ciclo de vida de la sardina monterrey. Hamman (1991) confirmó que el desove ocurre principalmente en la zona central del Golfo (entre 17.75 y 20.0 °C), pero no limitado a las zonas de surgencias en la costa

y sugirió que las intrusiones de aguas cálidas pueden afectar el reclutamiento al constreñir la población adulta en el norte, reduciendo el hábitat disponible para el desove, así como su duración. En estas condiciones el canibalismo se podría incrementar, la competencia por alimento entre los juveniles afectaría su mortalidad, tasa de crecimiento y su fecundidad futura (Hammann *et al.* 1988). El efecto de cambios climáticos se percibe al parecer, en las etapas más críticas del reclutamiento, como el desove.

Es posible que cambios en las corrientes, frentes, así como en la intensidad, localización y área de las zonas de surgencia significarían cambios en la calidad y extensión de los hábitats disponibles, *p. e.* en el área de desove de sardina monterrey en el golfo central. Terazaki (1989) anotó que paralelo a las fluctuaciones de largo plazo de la sardina japonesa (*Sardinops melanosticata*) en el sistema de Kuroshio han ocurrido cambios notables en las áreas de desove y cría. En los períodos de mayor abundancia la temperatura de las aguas donde los juveniles se alimentaron y desarrollaron fué más baja. La disminución de la población se atribuyó a una mortalidad masiva de larvas por inanición, al ser arrastradas hacia aguas más pobres por meandros de la corriente de Kuroshio, que persistieron por 10 años. En el sistema de Benguela también se han observado cambios de largo plazo en la distribución de las áreas de desove de la sardina (*Sardinops ocellatus*), que se reflejaron en cambios en la distribución de las capturas (Crawford, Shannon y Chelton, 1989).

Parrish *et al.* (1989) anotaron que las sardinias tienen migraciones extensas y cambian su distribución geográfica en asociación no sólo con perturbaciones medioambientales sino con la propia fluctuación poblacional *i. e.*: las áreas de desove son abandonadas cuando los niveles de la población son bajos. Esta cualidad, la selección densodependiente del hábitat, también la comparte la anchoveta (ver MacCall, 1983)

Estudios comparativos sobre la variabilidad genética de la sardina monterrey han sugerido también, una gran capacidad migratoria. Hedgecock *et al.* (1989) encontraron que

las poblaciones de Guaymas, Son., Bahía Magdalena, BCS, y tres zonas de California: Southern Bight, Monterey Bight, y Tomales Bight eran virtualmente idénticas en los 32 loci examinados. El que las sardinas en localidades tan separadas tengan los mismos alelos raros sugiere que se ha dado un flujo genético importante entre las poblaciones actuales. De hecho, la baja variabilidad genética entre poblaciones es característica de las especies con alta capacidad migratoria. Esta capacidad le pudo permitir a la sardina monterrey, recolonizar el Golfo de California después de varias décadas de ausencia.

Sin embargo, Hedgecock (1991) no descarta que la baja variabilidad se deba a un cuello de botella de la población, como los que podrían haber ocurrido en los hiatos de sardina monterrey que se registraron en los sedimentos laminados (Soutar e Isaacs, 1969). Otra posibilidad que consideran es la reciente colonización de la región de California por un número reducido de sardinas.

Las fluctuaciones de períodos largos encontradas para sardina monterrey y anchoveta norteña se han observado en el sistema de la "Corriente de California" (Soutar e Isaacs, 1969 y 1974 y Baumgartner, Soutar y Ferreira-Bartrina 1992) y en la cuenca Soledad (Soutar e Isaacs, 1974).

Estos últimos encontraron que en la cuenca de Santa Bárbara, durante los 1850 años previos a su estudio, la sardina monterrey aparecía en promedio cada 80 años (rango de 20 a 200 años) y que perduraba de 20 a 150 años. Baumgartner, Soutar y Ferreira-Bartrina (1992) calcularon que el tiempo promedio de recuperación fué de 30 años y que fluctuó en alta frecuencia con un período de 60 años y en baja frecuencia, a 480 años. Aunque la abundancia de escamas de anchoveta norteña también fluctuó, éstas nunca desaparecieron del registro; de hecho las fluctuaciones fueron de menor frecuencia: de 100 años y 680 años. En la cuenca Soledad no se observa esta mayor persistencia y menor variabilidad en el registro de anchoveta norteña respecto a la sardina monterrey (*cf* Fig. 13 y 14).

Baumgartner, Soutar y Ferreira-Bartrina (1992) compararon el flujo de escamas con estimaciones de la biomasa. En el caso de la sardina monterrey, estas estimaciones comprendían el período entre 1932-44 (Murphy, 1966) y 1945-1965 (MacCall (1979) y representan la biomasa de adultos desovante de dos años o más entre Punta Baja (Baja California) y Monterey (California), que corresponde al "stock" del norte (Radovich, 1981). Las estimaciones de la biomasa de anchoveta norteña abarcan de 1940 a 1969 (Smith, 1972) incluyen los "stocks" del centro y sur, como los define Vrooman *et al.* (1981), es decir, la biomasa adulta que se encuentra entre San Francisco (California) y Cabo San Lucas (Baja California). Las ecuaciones de regresión que Baumgartner, Soutar y Ferreira-Bartrina (1992) calcularon, les permitió convertir los datos de flujo de escamas a valores de biomasa.

Un análisis similar no es posible realizarlo para el Golfo de California ya que no se tienen datos para un mismo período del flujo de escamas ni de biomasa. Sería necesario tener información del flujo de escamas a partir de 1970 pero con una resolución, idealmente, de uno a dos años.

Como se mencionó anteriormente, éstas ecuaciones de regresión se utilizaron para expresar las fluctuaciones de sardina monterrey y anchoveta norteña del Golfo de California en unidades de biomasa (Fig. 20)

Una tasa de depositación de escamas igual a cero (como en todo el siglo pasado) corresponde a 0.41 millones de toneladas métricas (tm) de sardina monterrey y es comparable a la biomasa de los años 1978 a 1981 (según Cisneros *et al.*, manuscrito). Los valores entre 1940 y 1970 (exceptuando la década de 1950) serían comparables a los de mayor biomasa en los últimos años (1984-1986). El máximo de la década de 1950 podría parecer desorbitado, de hecho, conviene reiterar que las ecuaciones derivadas por Baumgartner, Soutar y Ferreira-Bartrina (1992) lo fueron para el "stock" del norte, con una área de distribución mayor a la del Golfo de California. La similitud entre los valores de las tasas de depositación de

escamas entre ambas cuencas no sugiere que el "stock" del Golfo de California estuviera más concentrado sobre la zona en que se tomó el núcleo a comparación del de la Cuenca de Santa Bárbara.

Las estimaciones para la anchoveta norteña deben tomarse también con cautela. Las poblaciones de esta especie se ha visto que tienen importantes fluctuaciones tanto en frecuencia alta como baja (Baumgartner, Soutar y Ferreira-Bartrina, 1992). En el Golfo de California, apenas en 1985 se tienen evidencias de su presencia (Hammann y Cisneros-Mata, 1989). En los últimos años se ha notado un incremento en las capturas de anchoveta norteña (18 000 tm en la temporada 89-90), aunque siguen siendo mucho menores que las de sardina monterrey (casi 110 000 tm para la misma temporada, Cisneros *et al.*, manuscrito).

#### V.2.2 Macarela, merluza, y mictófidios.

Aunque los valores de  $r$  entre las series del flujo de escamas entre las diferentes especies fué bajo, es interesante que mientras por un lado sardina monterrey y anchoveta norteña estuvieron negativamente correlacionadas, la sardina monterrey con las demás especies tuvo una relación positiva, incluso con sus depredadores: la macarela y la merluza (Fig. 10, 11 y Tabla III).

La correlación de la sardina monterrey con los mictófidios sugiere que las temperaturas cálidas que pudieron ser favorables para la sardina monterrey también lo fueron para los mictófidios, los cuales estuvieron representados en su mayor parte por especies tropicales como *D. laternatus* y *B. panamense* (Brewer, 1973 y Gjoseter y Kawaguchi, 1980).

Parrish *et al.* (1983) consideran que los mesopelágicos pudieran competir con los epipelágicos por alimento. Ellos compararon las abundancias relativas de larvas de anchoveta, merluza y mesopelágicos en el sistema del Perú, California y Benguela. En Perú, donde justo debajo de la termoclina los niveles de oxígeno son muy bajos, los mesopelágicos y la merluza se encuentran con un hábitat muy reducido. Estos sólo llegan a representar el 4.1 y 0.37 % de

las larvas, mientras que la anchoveta (*Engraulis ringens*) alcanza un 92 %. En California -en cambio- donde el hábitat disponible es mucho más extenso, las larvas de los mesopelágicos y la merluza llegan a representar el 22 y 17 % respectivamente, mientras que la anchoveta norteña comprende sólo el 37 %.

Ware (1991) encontró que en las aguas del sur de British Columbia (Canadá), las oscilaciones en la fuerza de la clase anual (FCA) de la sardina monterrey no estuvo relacionada ni con la merluza ni la macarela; de hecho, ésta última tendió a colapsar en fase con la sardina. Parrish y MacCall (1978) anotan que para la región de la Corriente de California, la FCA de la macarela tuvo una correlación positiva con la intensidad de las surgencias durante la estación de desove. MacCall *et al.* (1985) apuntaron que posiblemente el decremento en la biomasa desovante de anchoveta norteña entre 1970 (dos millones t) y 1984 (300 000 t) se deba a la predación por *Scomber japonicus*.

Loeb y Rojas (1988) notaron cambios en la comunidad ictioplanctónica de las aguas del norte de Chile entre un período frío y de baja salinidad (mayor influencia de aguas subantárticas), y uno con influencia de aguas subtropicales. En el primero, la comunidad estuvo dominada, entre otras, por la anchoveta y *Lampanyctus parvicauda*, mientras que en el segundo predominaron la sardina, *D. laternatus*, *V. lucetia* y otros semipelágicos. Serra (1991) interpretó estos resultados como una evidencia que apoya la hipótesis de la modulación mediambiental a gran escala y plazo.

Las series del flujo de escamas de macarela, merluza y mictófidos de la Cuenca de Guaymas y la de Santa Bárbara estuvieron poco correlacionadas (Fig. 15 y 16), indicando una relación débil entre la abundancia de cada una de las especies de la Cuenca de Guaymas con su contraparte en la Cuenca de Santa Bárbara.

Es interesante, sin embargo notar la gran diferencia que existe entre el flujo de escamas de la merluza y los mictófidos entre estas dos cuencas. La merluza de la Corriente de California,

atraviesa la Cuenca de Santa Bárbara en sus migraciones de las áreas de alimentación a las de desove. De la población del Golfo de California, se conoce muy poco, de hecho no existe una pesquería establecida. Es probable que el flujo de escamas mucho mayor en la Cuenca de Santa Bárbara refleje las mismas diferencias en biomasa.

En cuanto a los mictófididos, la relación fué inversa. En el Golfo de California el flujo de escamas fué mucho mayor. Los mictófididos del golfo, debido a la topografía, bien pudieran estar más constreñidos al área de la cuenca de Guaymas y aprovechar las condiciones de alta productividad. Mientras que en la cuenca de Santa Bárbara, la cual es mucho más extensa, los mictófididos pudieran estar más dispersos. En los mapas de distribución de larvas de mictófididos (Ahlstrom, 1972) se observa que de las seis especies de mictófididos más importantes en la Corriente de California sólo tres (*Stenobranchius leucopsarus*, *Leuroglossus stilbius* y *Bathylagus wesethi*) parecen desovar en el área donde fueron tomados los núcleos de Santa Bárbara. Ni *Vinciguerria lucetia* ni *Triphotorum mexicanus* están representados en esta área. Este hecho podría explicar también la diferencia entre las tasas de depositación de escamas en la cuenca Santa Bárbara y la cuenca de Guaymas.

### **V.3 Relación con el clima.**

Las fluctuaciones de largo plazo que se observan en las series de abundancia de escamas de las diferentes especies de peces pelágicos menores sugiere que los mecanismos que controlan el tamaño de las poblaciones son climáticos, particularmente en el caso de estas especies de ciclo de vida corto (menores a 10 años).

En el Golfo de California, la anchoveta norteña, después de encontrarse casi en forma continua desde 1740, desapareció de los sedimentos en la década de los 1930's, ya en un período de calentamiento (Fig. 18). La correlación entre la serie del flujo de escamas y la de anomalías de temperatura global del planeta (Jones y Wigley, 1990) fué baja, pero negativa

en la mayor parte de los retrasos. Esto mismo se observa en las series de la cuenca de Santa Bárbara y Soledad. En la primera la correlación fué negativa en los primeros retrasos, y más alta en el retraso "cero" ( $r = 0.843$ ).

Hamman y Cisneros-Mata (1989) sugieren que la anchoveta norteña pudo haber entrado al Golfo de California durante períodos en que la temperatura del agua era al menos 2 °C más baja que la normal, lo cual sucede a menudo en los períodos de recobramiento posterior a "Niños" fuertes. Lluch-Belda *et al.* (1991) compararon el desove de sardina monterrey y anchoveta norteña en relación a la temperatura superficial del mar e intensidad de las surgencias y concluyeron que la anchoveta norteña es estenotérmica, aunque pueden desovar tanto en zonas de surgencias débiles o fuertes.

Dorsey *et al.* (1991) encontraron que anchoveta dominó las zonas de surgencias en ambos hemisferios durante los períodos de enfriamiento más fuertes. Cuando se hundió la isoterma de 14 °C la sardina dominó en ambos, aunque en el Hemisferio sur la respuesta de la población fué más fuerte.

Smith y Eppley (1982) encontraron que la abundancia de larvas de anchoveta monterrey en la región de la gran Bahía del Sur de California estuvo positivamente correlacionada a los niveles de zooplancton del verano previo y con la producción primaria en la misma estación. Aunque las series a largo plazo en la biomasa de anchoveta norteña y la producción primaria mostraron una relación baja, ambos fueron bajos en los años cálidos de 1957 y 1958.

La sardina monterrey del Golfo de California, a diferencia de la anchoveta norteña, estuvo más correlacionada con los cambios en la temperatura, y además ésta relación fué positiva,  $r = 0.64$  en el retraso 'cero'. Sin embargo, estos valores hay que tomarlos con precaución, ya que siete de los 13 valores comparados de la serie de depositación de escamas son ceros.

Lluch-Belda *et al.* (1991) encontraron que las sardinas prefieren desovar en aguas más cálidas que las anchovetas y que se comportan como euritérmica.

El resurgimiento de la sardina monterrey en los sedimentos de Guaymas en la década de 1920 coincide con el inicio de un calentamiento global. En los sistemas de Japón, California y Humboldt se observa un aumento en las capturas de sardina (ver Kawasaki, 1991). La pesquería de la sardina monterrey en California colapsó en los años 40's, atribuido a un esfuerzo pesquero muy intenso combinado con un fracaso en el reclutamiento (MacCall, 1979). En los sedimentos de la cuenca de Guaymas también se nota una una disminución abrupta, aunque en los años 50.

Contrario a lo observado en los sedimentos de la cuenca de Guaymas, en Santa Bárbara y Soledad se observó una correlación negativa (aunque no es alta en los retrasos "cero") entre la abundancia de sardina monterrey y las anomalías de temperatura. Es posible que estos tres sistemas no perciban de igual forma las variaciones climáticas globales, además de que no son sistemas ecológicos estrictamente iguales. Como se mencionó anteriormente, el esfuerzo pesquero sobre el "stock" de California fué muy intenso, precisamente en los años en que ocurría un calentamiento global, período en el cual se hubiese esperado un aumento en las poblaciones de sardina. Otro hecho que no hay que pasar por alto, es la gran diferencia clinal que existe entre los diferentes 'stocks' de la sardina monterrey. Las diferencias bien pudieran ser, además del tamaño, en las condiciones requeridas para el desove.

A pesar de las numerosas evidencias que apoyan la relación entre los cambios climáticos y los cambios regionales (*i. e.*: distribución y abundancia de los pelágicos), el pronóstico de futuros cambios en las poblaciones es por el momento especulativo. Sharp (1991) expresó la necesidad de conocer los mecanismos causales que afectan a las poblaciones de pelágicos, no sólo mediante regresiones de la temperatura superficial del mar con la Captura por Unidad de Esfuerzo. Smith y Moser (1988) enfatizaron que no se conoce como los fuertes controles

medioambientales interactúan con los débiles controles poblacionales, además en que parte del ciclo de vida y sobre cuales procesos toman lugar estas interacciones. Otra deficiencia del análisis de la variabilidad en el reclutamiento ha sido la incapacidad de incluir dentro de los modelos, otras fuentes de variabilidad que provienen de otros sistemas y durante otros períodos de tiempo. Por ejemplo, la anchoveta es presa de peces, aves y mamíferos marinos que migran desde el Artico y el Pacífico Occidental. Varias especies, con ciclos de vida desde semanas hasta décadas, depredan sobre diferentes estadíos de la anchoveta y la sardina.

La escala de este estudio permitió describir las grandes fluctuaciones que han tenido los pelágicos del Golfo de California en 250 años. Los resultados sugieren que algunas de estas podrían explicarse por cambios climáticos, pero sólo en tendencias generales *i.e.*: largos períodos de enfriamiento. Sería ideal en el futuro disponer de otros núcleos de caja en el área, para comparar la variabilidad espacial del flujo de escamas en la cuenca de Guaymas. Los mecanismos causales de los cambios poblacionales deberán explicarse -además- con estudios a una escala temporal menor y en las fases más críticas del reclutamiento.

## VI. CONCLUSIONES

1.- La anchoveta norteña es una especie que se encuentra en el Golfo de California, por lo menos, desde hace 240 años.

2.- Las poblaciones de anchoveta norteña, sardina monterrey, merluza, macarela y los mictófidios del Golfo de California han tenido fluctuaciones de gran magnitud y largo plazo desde 1730.

3.- En este mismo período, la tasa de depositación de escamas de anchoveta norteña fué la mayor entre los peces epipelágicos.

4.- La anchoveta norteña estuvo desfasada respecto a la sardina monterrey, macarela y los mictófidios.

5.- Las correlaciones entre la tasa de depositación de escamas de peces epi- y mesopelágicos de la Cuenca de Guaymas con la Cuenca de Santa Bárbara y Soledad (sistema de la "Corriente de California") son bajas.

6.- Hay un desfase progresivo de 20 años entre la tasa de depositación de escamas de sardina monterrey en la cuenca de Santa Bárbara, la cuenca Soledad y la cuenca de Guaymas

7.- Las fluctuaciones de las poblaciones de sardina monterrey y anchoveta norteña correspondieron a cambios climáticos de largo plazo, pero sólo en tendencias generales: la presencia de anchoveta norteña esta asociada a períodos en que la temperatura es baja, mientras que la sardina monterrey lo está a períodos cálidos.

8.- El método de escamas, aunque indirecto, resultó adecuado para describir las fluctuaciones de largo plazo de las especies de peces pelágicos más abundantes en el Golfo de California. En estudios futuros sería recomendable verificar las señales de la cronología en mas núcleos, así como estudiar la variabilidad espacial en el registro de la depositación de escamas. Estos núcleos, podrían abarcar una serie más larga (quizás hasta dos mil años) y sería conveniente analizarlos con una resolución de 5-10 años.

## REFERENCIAS

- Ahlstrom, E.H. 1972. Distributional atlas of fish larvae in the California Current region: six common mesopelagic fishes - *Vinciguerria lucetia*, *Triphoturus mexicanus*, *Stenobranchius leucopsarus*, *Leuroglossus stilbius*, *Bathylagus wesethi*, and *Bathylagus ochotensis*, 1955 through 1960. CALCOFI Atlas No. 17. 306 pp.
- Anónimo, 1988. Anuario estadístico de pesca 1987. Sepesca. Dirección General de Informática, Estadística y Documentación. 351 p .
- Arvizu-Martínez, J. 1987. Fisheries activities in the Gulf of California, México. CALCOFI Rep. 28:32-36
- Badan-Dangon, A., C.J. Koblinsky y T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanol. Acta* 8(1):13-22.
- Baumgartner, T., V. Ferreira-Bartrina, J. Cowen y A. Soutar. 1992. Reconstruction of a 20<sup>th</sup> century varve chronology from the Central Gulf of California, p. 603-616. En: *The Gulf and Peninsular Province of the Californias* (J.P. Dauphin y B. Simonet, eds.). Amer. Assoc. Petrol. Geol., Memoir 47, Chap. 29.00
- Baumgartner, T., V. Ferreira-Bartrina, y P, Moreno-Hentz. 1992. Varve formation in the central Gulf of California: a reconsideration of the dark laminae from the 20<sup>th</sup> century varve record, p. 617-635. En: *The Gulf and Peninsular Province of the Californias* (J.P. Dauphin y B. Simonet, eds.). Amer. Assoc. Petrol. Geol., Memoir 47, Chap. 30.
- Baumgartner, T., J. Michaelsen, L.G. Thompson, G.T. Shen, A. Soutar y R. Casey. 1991. The recording of interannual climatic change by high-resolution natural

- systems: tree-rings, coral bands, glacial ice layers, and marine varves *En: Aspects of Climate Variability in the Pelagic and Western Americas* (Ed. D. Peterson) American Geophysical Union, Geophysical Monograph 55:1-14
- Baumgartner, T., A. Soutar y V. Ferreira-Bartrina. 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. *CALCOFIREp.*, Vol 33: 24-40.
- Brewer, G.D. 1973. Midwater fishes from the Gulf of California and the adjacent Eastern Tropical Pacific. *Contributions in Science No. 242. Nat. Hist. Mus. Los Angeles County.* 47 pp.
- Butler, J.L. 1991. Mortality and recruitment of pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*, larvae in the California Current. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48:1713-1723.
- Calvert, S.E. 1964. Factors affecting distribution of laminated diatomaceous sediments of the Gulf of California, *En: Marine Geology of the Gulf of California* (Tj.H. van Andel y G.G. Shor, Jr. eds.). *Mem. Am. Assoc. Pet. Geol.* 3:311-330.
- Calvert, S.E. 1966. Origin of diatom-rich, varved sediments from the Gulf of California. *J. Geol.* 76:546-565
- Casteel, R.W. 1976. *Fish remains in archaeology.* London. Academic Press. 180 p.
- Cisneros, M.A., M.O. Nevárez y M.G. Hammann. (en prensa). The rise and decline of th Pacific Sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, México.
- Clothier, C.R. 1950. A key to some southern California fishes based on vertebral characters. *Cal. Fish and Game Bull.* 79: 83p.

- Crawford, R.J.M., L.V. Shannon y P.A. Shelton. 1989. Characteristics and management of the Benguela as a large marine ecosystem, p. 169-219. En: Biomass yields and geography of large marine ecosystems (K. Sherman y L.M. Alexander, eds.). Westview Press, Inc., Boulder. 493 pp.
- Crawford, R.J.M., L.G. Underhill, L. V. Shannon, D. Lluch-Belda, W.R. Siegfried y C.A. Villacastin-Herrero. 1991. An empirical investigation of trans-oceanic linkages between areas of high abundance of sardine, p. 319-332. En: Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment (Kawasaki, T. S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi, eds.). Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989.
- Chapman, W.E. 1944. Comparative osteology of the herring-like fishes (Clupeidae) of California. *Fish and Game*. 30:6-21.
- Davis, J.C. 1986. *Statistics and data analysis in Geology*. 2<sup>nd</sup>. ed. J. Wiley & Sons, Inc. 646 p.
- DeVries, T.J. 1979. *Nekton Remains, Diatoms, and Holocene Upwelling off Perú*. M.S. Thesis, Oregon State University. 85p.
- Dorsey, K.T., G.D. Sharp y D. McLain. 1991. Climate and fisheries: cause and effect - ENSO and longer cycles, p. 387-390. En: Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment (Kawasaki, T. S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi, eds.). Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989.
- Fraser-Brunner, A. 1948. A classification of the fishes of the family Myctophidae. *Proc. Zool. Soc. Lond.* 118:1019-ojo
- Gjosaeter, J. y K. Kawaguchi. 1980. A review of the world resources of mesopelagic fish. *FAO Fish. Tech. Pap.* 193:151 pp.

- Hammann, M.G. 1991. Spawning habitat and egg and larval transport, and their importance to recruitment of pelagic sardine, *Sardinops sagax caeruleus*, in the Gulf of California, p. 271-278. En: Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment (Kawasaki, T. S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi, eds.). Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989.
- Hammann, M.G., T.R. Baumgartner y A. Badan-Bangon. 1988. Coupling of the Pacific Sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environment. CALCOFI Rep. 29:102-109.
- Hammann, M.G. y M.A. Cisneros-Mata. 1989. Range extension and commercial capture of the northern anchovy *Engraulis mordax* GIRARD 1856 in the Gulf of California, Mexico. Calif. Fish Game. 75(1):49-53.
- Hedgecock, D. 1991. Contrasting population genetic structures of pelagic clupeoids in the California Current, p. 199-207. En: Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment (Kawasaki, T. S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi, eds.). Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989.
- Hedgecock, D. W.S. Hutchinson, G. Li, F.L. Sly y K. Nelson. 1989. Genetic and morphometric variation in the Pacific Sardine, *Sardinops sagax caerulea*: comparisons and contrasts with historical data and with variability in the Northern Anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. Bull., U.S. 87:653-671.
- Jones, P.D. y T.M.L. Wigley. 1990. Global warming trends. Scientific American. 263(2):66-73.
- Kaplan, I.R. y S.C. Rittenberg. 1963. Basin Sedimentation and diagenesis, p. 583-619. En: The sea (M.N. Hill, ed.), Vol. 3. John Wiley and Sons, N.Y.

- Kawasaki, T. 1983. Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers? --Biological basis of fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology--. En: Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San Jose, Costa Rica, (G. Sharp y J. Csirke, eds.). FAO Fish. Rep. 291(3): 1066-1080.
- Kawasaki, T. 1991. Long-term variability in the pelagic fish populations, p. 47-60. En: Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment (Kawasaki, T. S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi, eds.). Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989.
- Kramer, D. 1970. Distributional atlas of fish eggs and larvae in the California Current region: Pacific Sardin, *Sardinops caerulea* (Girard), 1951 through 1966. CALCOFI Atlas No. 12. 277 pp.
- Lavenberg, R.J. y J.E. Fitch. 1966. Annotated list of fishes collected by mid-water trawl in the Gulf of California, March-April 1964. Cal. Fish and Game. 52(2):92-110.
- Loeb, V. y O. Rojas. 1988. Interannual variation of ichthyoplankton composition and abundance off northern Chile, 1964-1983. Fish Bull. 88(10):1-24.
- Lluch-Belda, D., S. Hernández-V y R.A. Schwartzlose. 1991. A hypothetical model for the fluctuation of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*), p. 293-300. En: Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment (Kawasaki, T. S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi, eds.). Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989.

- Lluch-Belda, D., F.J. Magallón y R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the Sardine fishery in the Gulf of California: possible causes. CALCOFI Rep. 27:136-140.
- Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S. Hernandez-Vazquez, C.A. Salinas-Zavala y R.A. Schwartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California Current System. CALCOFI Rep. 32:105-111.
- MacCall, A.D. 1979. Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. CALCOFI Rep. 20:72-82.
- MacCall, A.D. 1983. Population models of habitat selection, with application to the Northern Anchovy. PhD. thesis. UCSD. San Diego. 170 p.
- MacCall, A.D. 1986. Changes in the biomass of the California Current Ecosystem, p. 33-54. En: Variability and management of large marine ecosystems (K. Sherman y L.M. Alexander, eds.). AAAS Select. Symp. Ser., No. 99. 494 pp.
- MacCall, A. D., R.A. Klingbeil y R.D. Methot. 1985. Recent increased production and potential productivity of Pacific mackerel (*Scomber japonicus*). CALCOFI Rep. 26:119-129.
- Moser, H.G, E.H. Ahlstrom, D. Kramer y E.G. Stevens. 1973. Distribution and abundance of fish eggs larvae in the Gulf of California. CALCOFI Rep. 27: 112-128.
- Murphy, G. 1966. Population biology of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caerulea*). Proc. Calif. Acad. Sci. 4<sup>th</sup> Ser. 34(1):1-84.
- Parrish, R.H., A. Bakun, D.M. Husby y C.S. Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental processes in relation to eastern boundary current

- pelagic fish reproduction. En: Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San Jose, Costa Rica, (G. Sharp y J. Csirke, eds.). FAO Fish. Rep. 291(3):731-788.
- Parrish, R.H. y A.D. MacCall. 1978. Climatic variation and exploitation in the Pacific Mackerel Fishery. Fish. Bull. 167:110 pp.
- Parrish, R.H., R. Serra y W.S. Grant. 1989. The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:2019-2036.
- Phillips, J.B. 1942. Osteology of the sardine (*Sardinops caerulea*). J. Morph. 70(3):463-500.
- Radovich, J. 1981. The collapse of the California sardine fishery -what have we learned? En Resource management and environmental uncertainty (M.H. Glantz y J.D. Thompson, eds) Wiley series in advances in environmental science and technology, vol. 11. New York: Wiley-Interscience, pp. 107-136.
- Rohlf, J. y R.R. Sokal. 1981. Statistical Tables. W.H. Freeman and Company. 2<sup>nd</sup> ed. 219 p.
- Santander, H., J. Alheit, A. MacCall y A. Alamo. 1983. Egg mortality of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) caused by cannibalism and predation by sardines (*Sardinops sagax*). En: Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San Jose, Costa Rica, (G. Sharp y J. Csirke, eds.). FAO Fish. Rep. 291(3):557-1224.

- Serra, R. 1991. Long-term variability of the Chilean Sardine, p. 165-172. En: Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment (Kawasaki, T. S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi, eds.). Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989.
- Sharp, G.D. 1991. Climate and Fisheries: cause and effect - A system review, p. 239-258. En: Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment (Kawasaki, T. S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi, eds.). Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989.
- Shackleton, L.Y. y R.F. Johnson. 1988. Identification of and distinction between the scales of South African Pilchard *Sardinops ocellatus* and Cape Anchovy *Engrakulis capensis*. S. Afr. J. mar. Sci. 6:207-216.
- Smith, P.E. 1972. The increase in spawning biomass of northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish Bull, US 70:849-874.
- Smith, P.E. y R. W. Eppley. 1982. Primary production and the anchovy population in the Southern California Bight: comparison of time series. Limnol. Oceanogr. 27(1):1-17.
- Smith, P.E. y H.G. Moser. 1988. CALCOFI time series: an overview of fishes. CALCOFI Rep. 29:66-77.
- Sokolov, V.A. 1974. Investigaciones biológico pesqueras de los peces pelágicos del Golfo de California. CALCOFI Rep. 17:02-96.
- Soutar, A. y J.D. Isaacs. 1969. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. Calif. Mar. Res. Comm., CALCOFI 13:63-70.

- Soutar, A. y J.D. Isaacs. 1974. Abundance of pelagic fish during the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> centuries as recorded in anaerobic sediment off Californias. *Fish. Bull.* 72:257-273.
- Statistical Graphics Corp. 1989. *Statgraphics: a statistical-graphics system.*
- Terazaki, M. 1989. Recent large-scale changes in the biomass of the Kuroshio Current ecosystem. En: *Biomass yields and geography of large marine ecosystems.* pp. 37-65. (K. Sherman y L.M. Alexander. AAAS Selected Symposium 111, Westview Press, Boulder, Co. 493 pp.
- Vrooman, A.M., P.A. Paloma y J.R. Zweifel. 1981. Electrophoretic, morphometric and meristic studies of subpopulations of northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Calif. Fish Game* 67(1):39-51.
- Wallin, O. 1957. On the growth structure and developmental physiology of the scale of fishes. *Inst. Freshwater Res. Drottningholm, Rep.* 38:385-447.
- Ware, D.M. 1991. Climate, predators and prey: behaviour of a linked oscillating system, p. 279-291. En: *Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment* (Kawasaki, T. S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi, eds.). *Proc. Intern. Symp. Sendai, Japan, 14-18 Nov. 1989.*

**ANEXO:**  
**CATALOGO DE ESCAMAS DE PECES PELAGICOS**  
**DEL GOLFO CENTRAL DE CALIFORNIA**

El catálogo de escamas de pelágicos del Golfo de California que se presenta no es exhaustivo. Sólo se incluyeron las especies que son más abundantes en el Golfo Central.

En la primera parte se presentan las especies con escamas de mayor tamaño. Las imágenes se lograron con una amplificadora de microfichas y una reducción ulterior.

En el caso de la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), la sardina monterrey (*Sardinops sagax*), la anchoveta bocona (*Cetengraulis misticetus*) y la macarela (*Scomber japonicus*) y la sardina crinuda *Opistonema* sp. (Fig. A5), se obtuvieron varias escamas de diferentes partes del cuerpo. Esto permitió vislumbrar la enorme variabilidad en formas y tamaños, y así tener plena seguridad al momento de determinar la especie (Fig A1-A4).

En cambio, de los mictófididos no se pudieron obtener casi escamas, por lo que siempre quedó la incertidumbre sobre algunos tipos de escamas no estudiados, que potencialmente pudieran corresponder a diferentes especies. De la única especie que se conoció la variabilidad entre todas sus escamas fué *Diogenhyctis laternatus* (Fig. A6), gracias a un ejemplar intacto que apareció en una trampa de sedimento en las proximidades a la zona donde se tomó el núcleo.

No obstante, todas las especies son distinguibles entre sí, con cierta facilidad, excepto entre *D. laternatus*, *D. atlanticus* (Fig. A7) y *Bentosema panamense* (Fig. A8). Estas tres especies tienen algunas escamas que parecen ser características únicas de cada especie, aunque hay otras que pueden confundirse (cf A6a y A8a; A6c y A7a, A6f y A7b). Los mictófididos más abundantes fueron de estas especies, por lo que el análisis de la abundancia de los mictófididos por especie tiene un margen de error.

Las imágenes de las escamas más pequeñas (mictófididos y macarela) se tomaron en un microscopio estereoscópico Wild M5A con cámara fotográfica Zeiss a magnificaciones de 12 y 25 x.

Anchoveta norteña (*Engraulis mordax*).-

Del tipo cicloidea, la escama típica (Fig. A1a), se encuentra en una franja a lo largo de la línea lateral. Son ovales y marcadas por surcos profundos a lo largo del eje, a lo largo de los cuales es común que se fragmenten las escamas. Fué el tipo más común en los sedimentos. Arriba de la línea lateral las escamas no difieren mucho en forma, sino que tienen más surcos y éstos son más irregulares (Fig. A1b).

En las otras partes del cuerpo, las escamas son más irregulares en forma y tamaño (Figs. A1c-A1g). Sin embargo, en ningún caso hubo problemas en diferenciarlas de las otras escamas de pelágicos. Shakleton y Johnson (1988) determinaron escamas de anchoveta (*Engraulis capensis*) y sardina (*Sardinops ocellatus*) basados en un catálogo de referencia de todas las escamas de peces mantenidos en laboratorio. La mejor determinación fué del 82.5 %, con un 15.0 % no identificadas y 2.5 % errores.

Cuando la forma, o el número y disposición de los surcos no es suficiente para diferenciar entre *E. mordax* y *S. sagax*, la presencia de círculi finos en el ala de la escama permite definirla como anchoveta norteña.

Sardina monterrey (*Sardinops sagax*).-

Del tipo cicloidea, la escama típica (Fig. A2a), al igual que la anchoveta norteña y el resto de los pelágicos estudiados, se encuentra en la franja a lo largo de la línea lateral. Son rectangulares, con surcos transversales muy regulares y definidos. El ala de la escama es más estrecha que la de anchoveta norteña y no tiene los círculi finos. Las escamas próximas a la aleta caudal (A2b) y a la franja de la línea lateral (A2c) no son tan regulares, ni tan grandes; pero todavía mantienen el patrón general.

Las escamas de otras partes son más irregulares, con un mayor número de surcos, los cuales son muy irregulares (A2d). No obstante, ninguna de éstas escamas tienen círculi finos en el ala, característica que las diferencia de las de anchoveta norteña.

Anchoveta bocona (*Cetengraulis misticetus*).-

Del tipo cicloidea, la escama típica (Fig. A3a) es parecida a la de *E. mordax*, pero tienen un patrón de surcos muy regular en el ala, los cuales forman un enmallado muy característico de esta especie, incluso en las escamas de las otras partes del cuerpo (Fig. A3b-A3d). En los sedimentos no se encontró ninguna escama de esta especie.

Sardina crinuda (*Opistonema sp.*).-

Del tipo cicloidea, la escama típica es rectangular, con los círculos muy juntos (Fig. A4a y b). Presenta un número menor de surcos a comparación de *S. sagax*. Aunque no se obtuvieron muchas escamas (las pierden fácilmente), si se observó cierta variabilidad según la región del cuerpo (Fig. A4c-A4f). No se encontraron escamas en los sedimentos.

Macarela (*Scaber japonicus*).-

Del tipo cicloidea, las escamas de macarela son pequeñas y rectangulares (Fig. A5). Poseen unos "dientes" en la parte expuesta de la escama. Aunque se parecen a algunas escamas de mictófidios, es posible diferenciarlas. Por lo general las escamas de mictófidios son lobuladas y no tienen el borde aserrado como las de macarela.

Merluza (*Merluccius sp.*).-

No se consiguieron ejemplares, por lo que la determinación se basó en una foto presentada por De Vries (1979). La foto que se muestra en la Fig. A9 es de una escama conservada en los sedimentos laminados de Guaymas. Del tipo cicloidea, son escamas muy características, con círculos concéntricos. Es muy común que las escamas de los sedimentos se fragmenten a lo largo de alguno de estos círculos.

Mesopelágicos (escamas ctenoideas).

*B. panamense*.-

Las escamas del tipo A8a pudieron confundirse con *D. laternatus* (Fig A6a) y *D. atlanticus* (A7a13 g). Aunque entre estas fotos es posible establecer diferencias, muchas de las escamas que aparecían en los sedimentos eran versiones "intermedias", con características de las tres especies.

*D. laternatus*.-

La característica diagnóstica para la mayoría de las escamas es la presencia de un focus redondeado, de donde salen surcos que forman los lóbulos de las escamas (Fig. A6). El focus está rodeado por círculos concéntricos, muy regulares. Algunas escamas se pueden confundir con *B. panamense* o con *D. atlanticus*. Son las escamas más abundantes en los sedimentos laminados de Guaymas. El tamaño y forma de las escamas difiere de acuerdo a la región del cuerpo.

*D. atlanticus*.-

Las escamas son muy parecidas a *D. laternatus*., aunque los círculos no parecen ser tan regulares (Fig. A7a), lo cual puede deberse a que el ejemplar del cual provienen las escamas era muy pequeño (2.9 mm)

*Diaphus pacificus*.-

Las escamas carecen o casi no tienen lóbulos, los círculos están muy cercanos entre sí (A9a-A9c). La escama del tipo (A9a) se diferencia de la A8b (*B. panamense*) en que en la base de la escama (debajo del focus) se forma una invaginación. Son escamas raras en los sedimentos, pero fácilmente diferenciables.

*Hygophum atratum*.-

Escamas con lóbulos cortos y círculi que no rodean toda la escama, se desvanecen al acercarse a la base (Figs A9d-e). La escama A9c difiere de la A8b y A9a en que es puntiaguda y menos elongada. Son escamas poco abundantes.

*Triphotorum mexicanus*.-

Sus escamas son muy regulares, redondeadas, con los círculi muy finos y próximos entre sí (Figs 7d-e). Su determinación fué fácil.

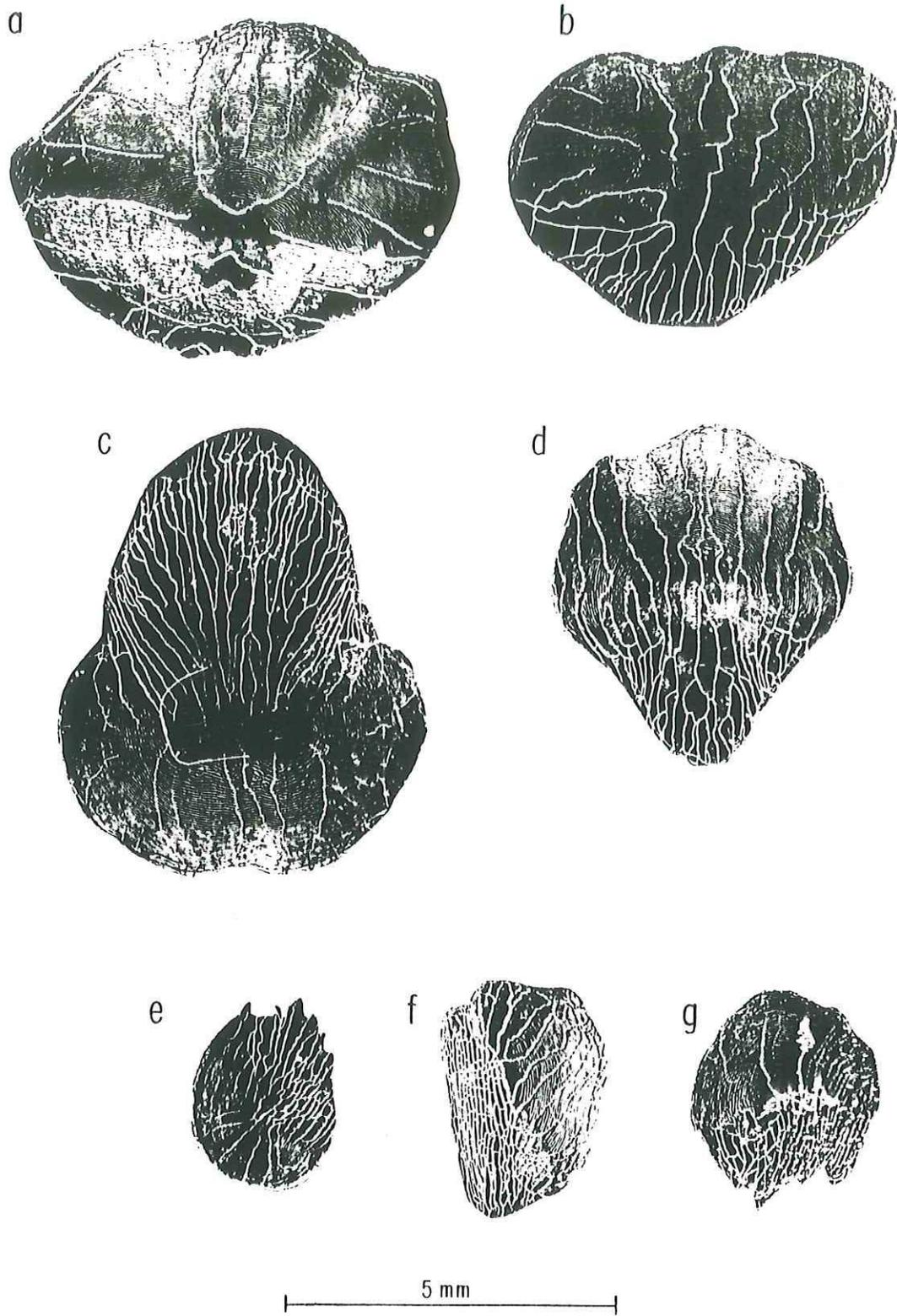


Fig. A1.- Escamas de anchoveta (*Engraulis mordax*).

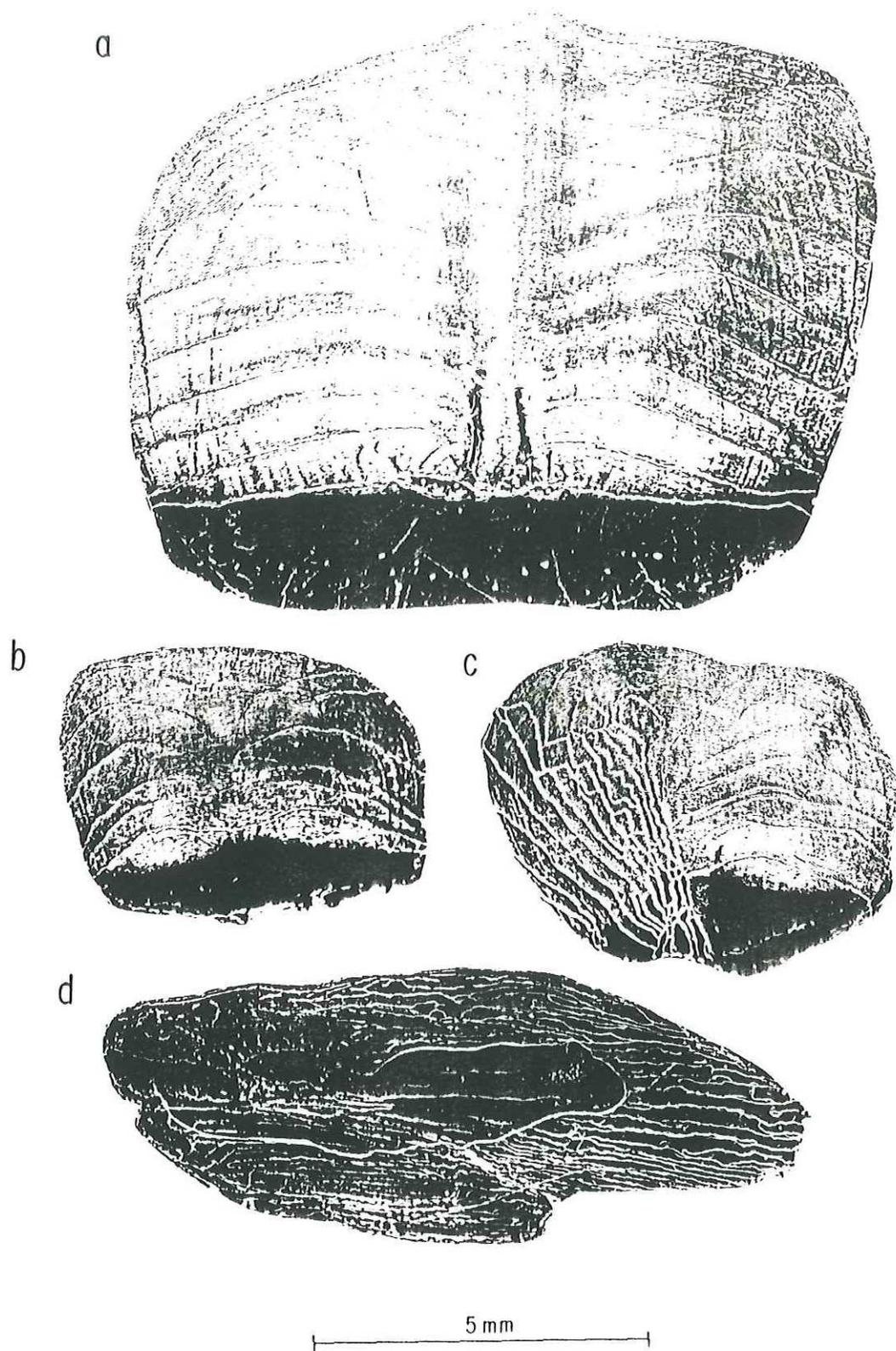


Fig. A2.- Escamas de Sardina Monterrey (*Sardinops sagax*).

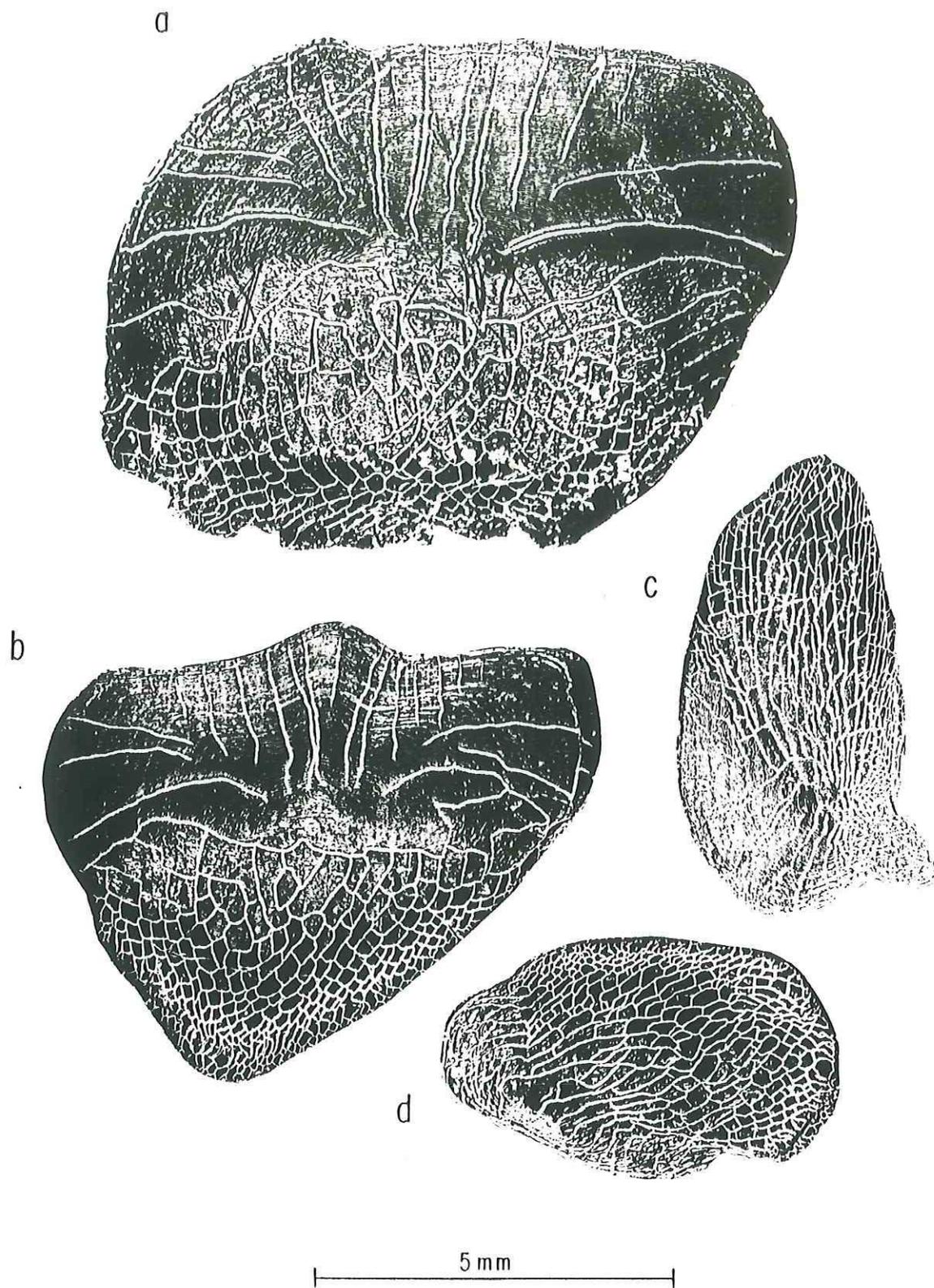


Fig. A3.- Escamas de Anchoveta Bucona (*Cetengraulis misticetus*).

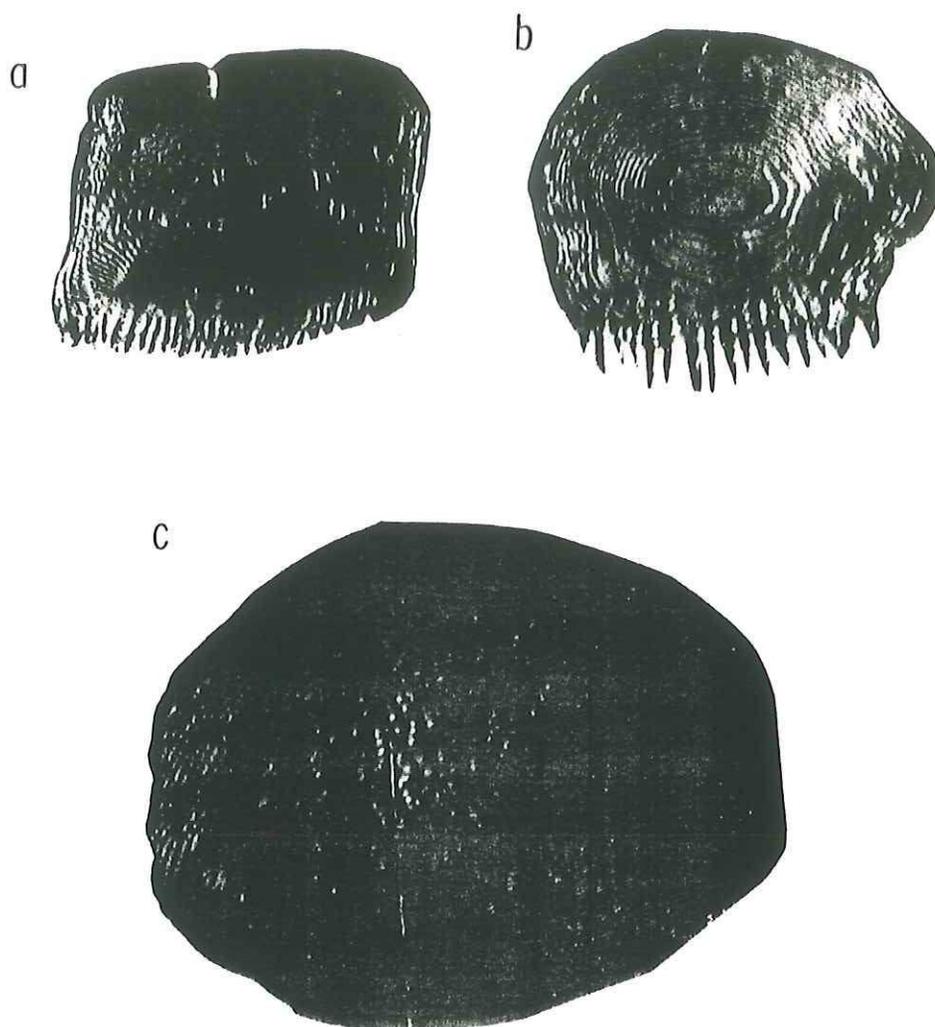


Fig. A4.- Escamas de Macarela (*Scomber Japonicus*, a y b) y Merluza (*Merluccius productus*, c).

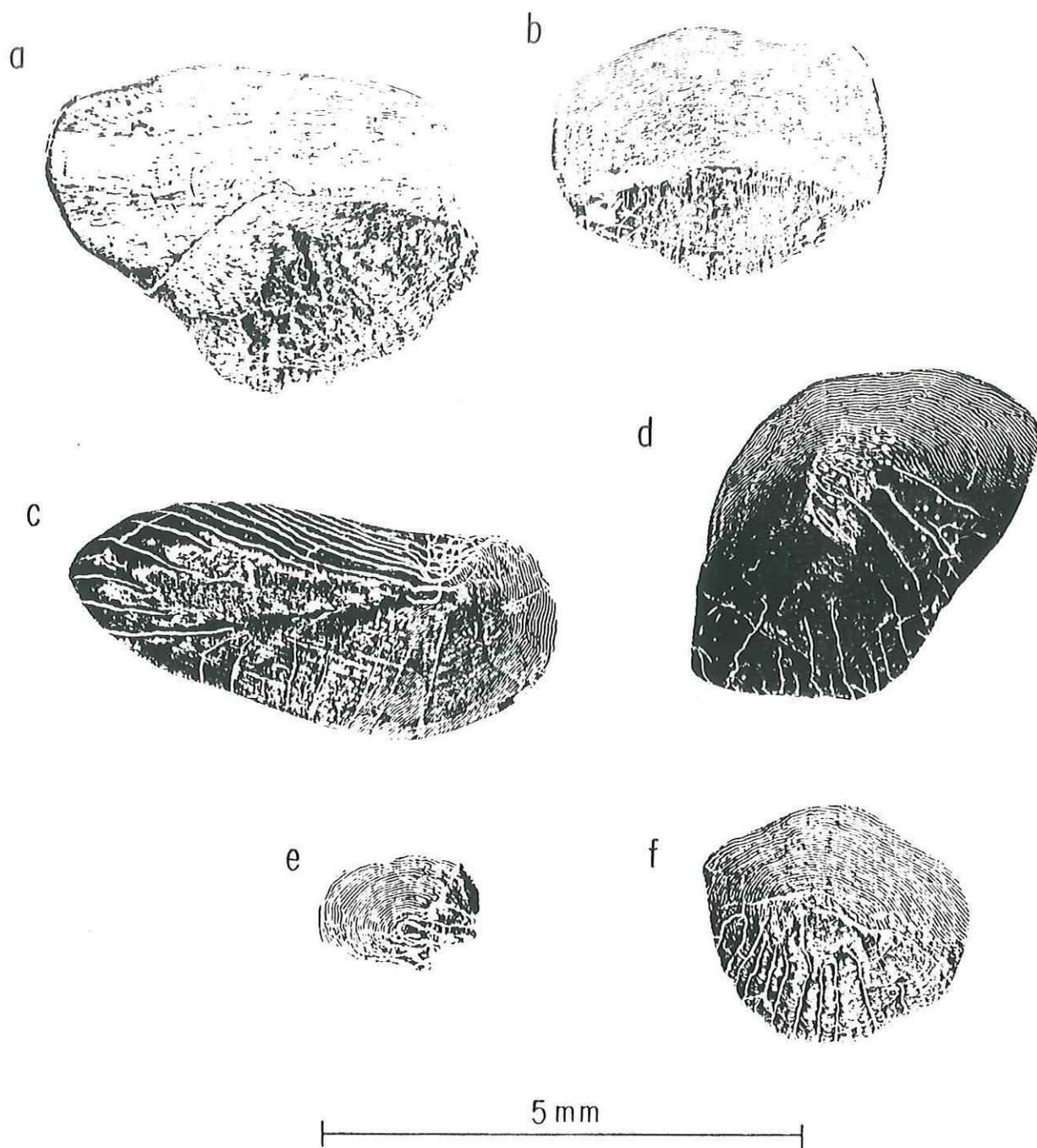


Fig. A5.- Escamas de Sardina Crinuda *Opistonema* sp.

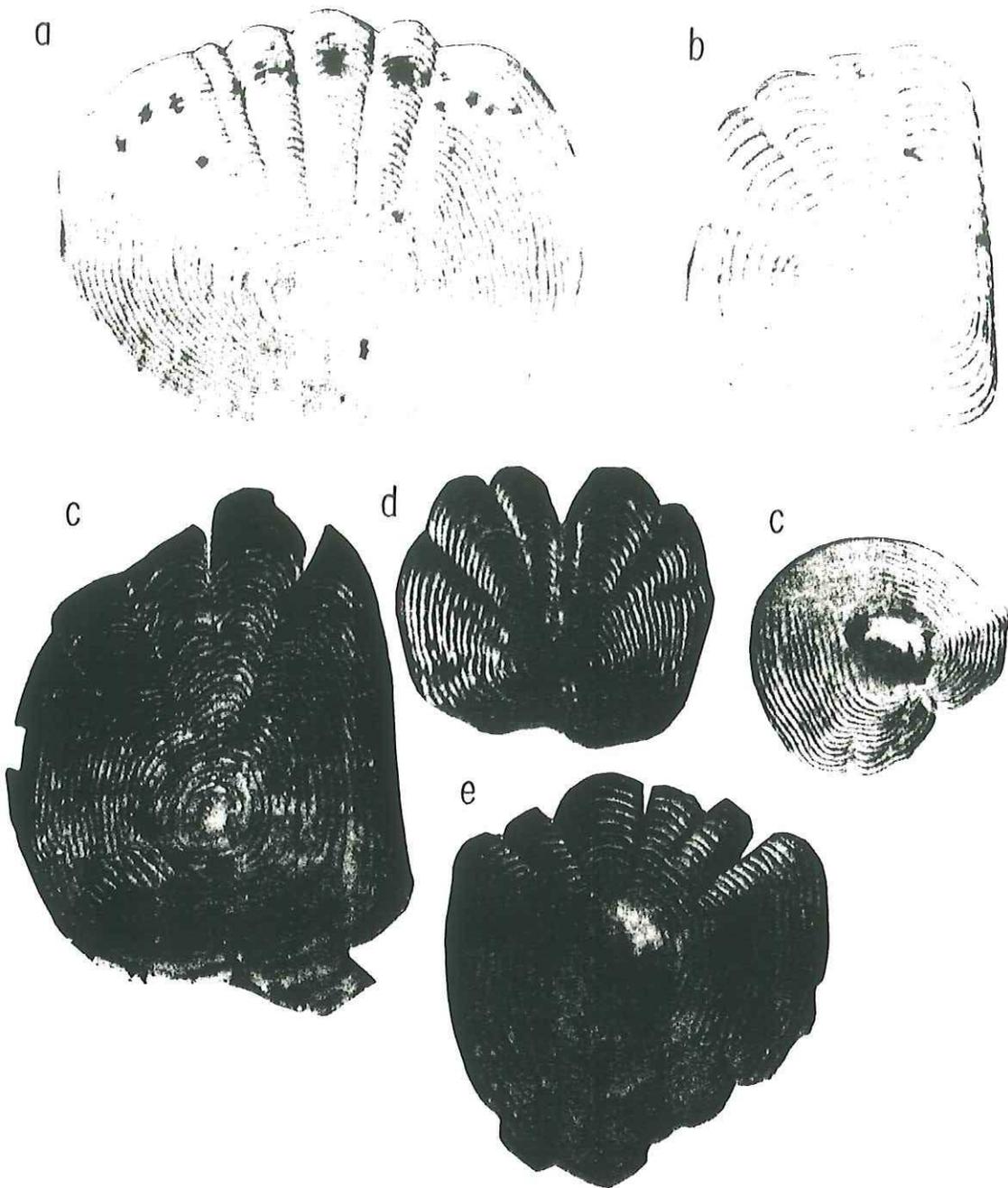


Fig. A6.- Escamas del mictófidio *Diogenycthis laternatus*.

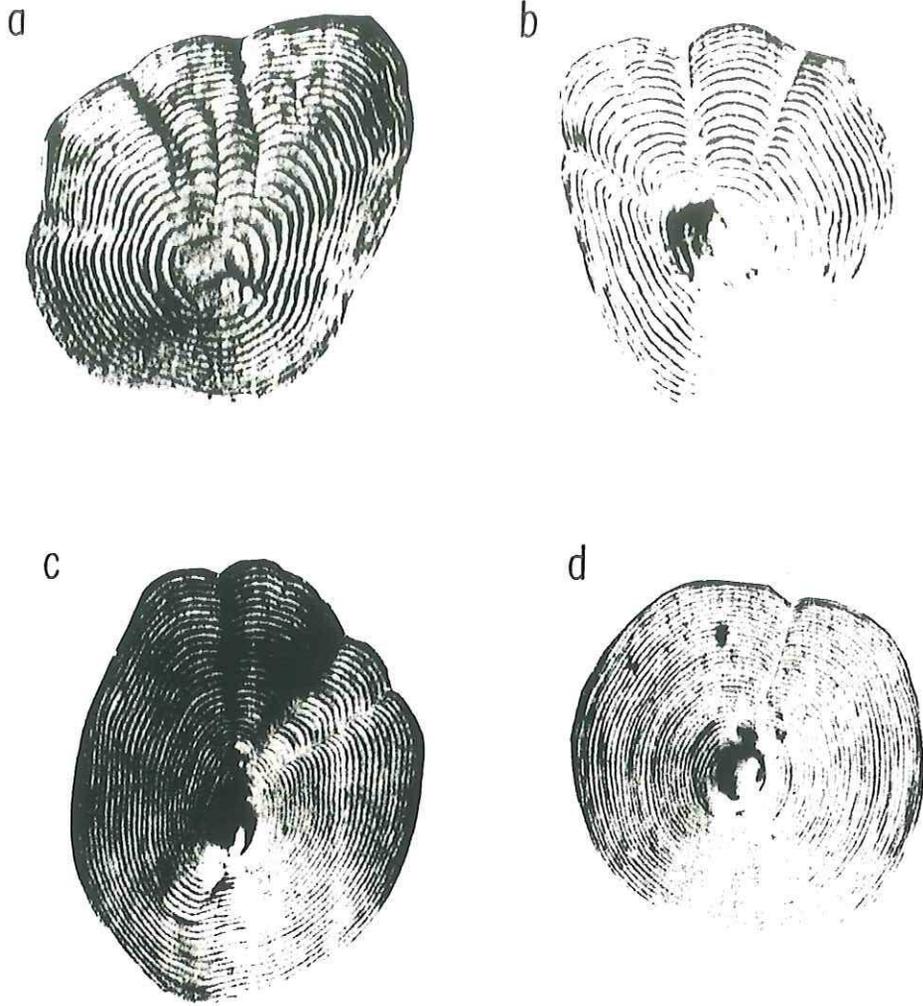


Fig. A7.- Escamas de los mictófidios *D. atlanticus* (a,b y c) y *Triphotorum mexicanus* (d y e).

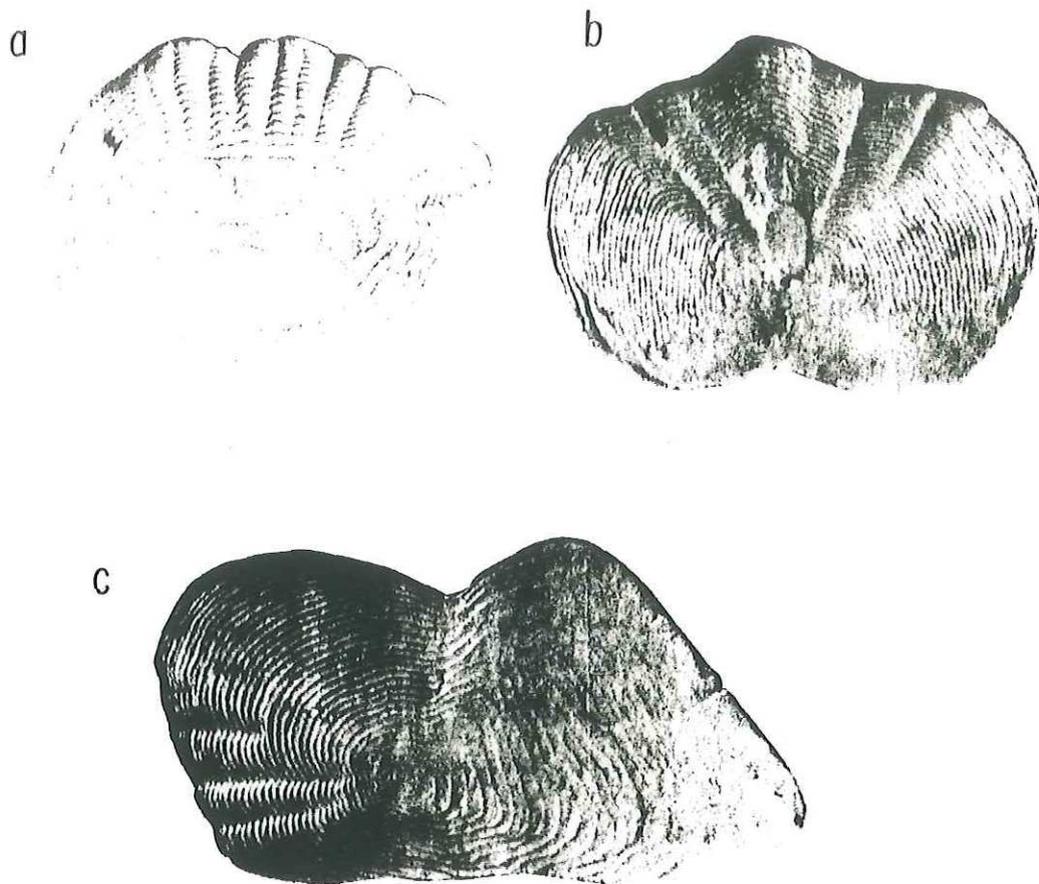


Fig. A8.- Escamas del mictófidio *Bentosema panamense*.

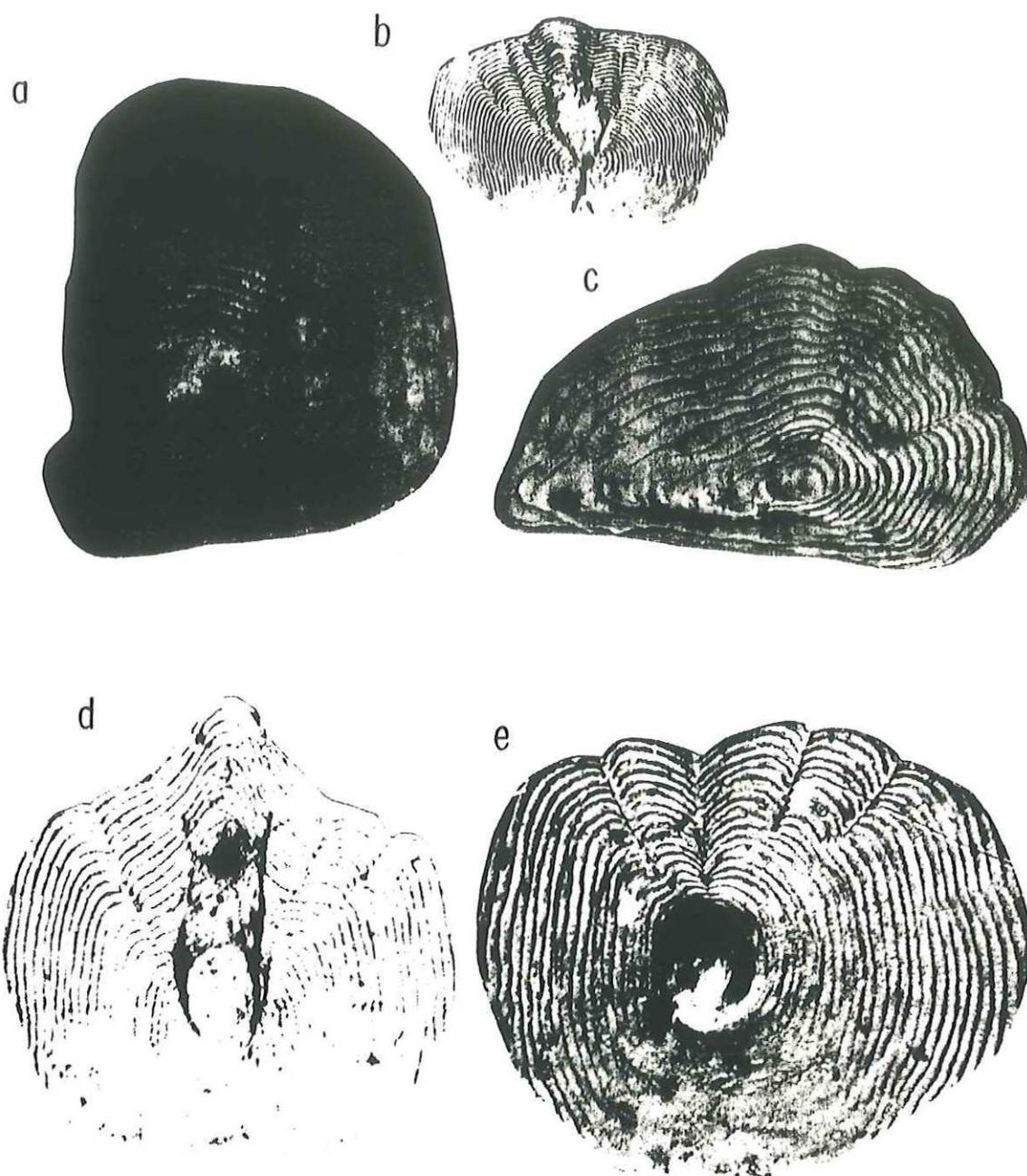


Fig. A9.- Escamas de los mictófidios *Diaphus pacificus* (a,b y c) y de *Hygophum atratum* (d y e)