

Fe de errata: En este trabajo la palabra rayo de la aleta se utilizó como un anglicismo de radio de la aleta.

RESUMEN de la Tesis de Reina Castro Longoria presentada como requisito parcial para la obtención del grado de DOCTOR EN CIENCIAS en ECOLOGÍA MARINA. Ensenada, Baja California, México. Marzo de 1995.

ANÁLISIS DE EDAD, CRECIMIENTO Y MADUREZ DEL RECURSO PESQUERO DEL PEZ ESPADA, *Xiphias gladius*, EN EL PACÍFICO MEXICANO.



Resumen aprobado por:

Dr. Oscar Sosa Nishizaki.
Director de Tesis.

El pez espada, *Xiphias gladius*, es una especie cosmopolita. Su edad, crecimiento y reproducción son poco comprendidos. Con la finalidad de estudiar dichos aspectos, se realizó la presente investigación basándose en el análisis de muestreos de la pesca comercial del recurso en Baja California durante 1992/93. La edad se cuantificó por marcas o anillos de crecimiento en la *sagitta* y en rayos de la primera aleta anal. Con las lecturas de anillos diarios, se logró datar a los peces jóvenes de hasta dos años de edad. Esto estuvo en concordancia con las lecturas de las marcas de crecimiento anual de ese intervalo en los rayos con una similitud máxima 86%. Se propone que la temporalidad de las marcas de crecimiento en los rayos son eventos anuales, validando indirectamente la lectura en los rayos. La lectura del segundo rayo de la primera aleta anal dió una estructura de edad entre 0+ y 9+ años en hembras, con longitud ojo-furca de 100 a 206 cm, y en machos fue de 0+ a 7+, con longitudes de 79 a 168 cm. La moda de edad en ambos sexos fue de 3+ años.

Las marcas de crecimiento anual en los rayos permitieron efectuar un retrocálculo para el ajuste al modelo de crecimiento de longitud-edad de von Bertalanffy ($p < 0.001$): en hembras $L_t = 263.7 (1 - e^{-0.1162(t+4.05)})$ y en machos $L_t = 273.2 (1 - e^{-0.077(t+5.50)})$. La tasa de crecimiento en hembras fue mayor que en machos. La relación peso-longitud, en hembras $W = 1.37 \times 10^{-5} L^{3.04}$ y en machos $W = 6.62 \times 10^{-6} L^{3.19}$, se ajustaron al modelo de crecimiento isométrico.

La proporción de sexos en el pez espada resultó ser de 0.30 machos por hembra durante el período de estudio. El Índice Gonádico (IG) y los análisis histológicos, en hembras demostraron que el pez espada se encontró reproductivamente inactivo en Baja California. Los valores de IG fueron bajos (2.17) comparados con lo reportado para hembras a punto de desovar (12). Histológicamente, se observaron hembras al sur de la península en estado avanzado de vitelogénesis: estadio III (escala I-VI) durante invierno (12%) y primavera (6%).

El análisis histológico de los testículos de 61 machos presentó evidencia de ovocitos dentro del tejido testicular en un 15% del total analizados. Esto constituye la evidencia de



hermafroditismo en el pez espada lo cual no había sido reportado para la especie, ni para ningún otro pez del grupo de los picudos.

ABSTRACT.

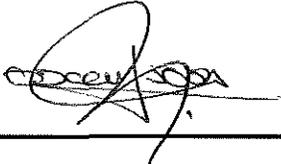
The swordfish, *Xiphias gladius*, is a widely cosmopolitan distributed species of the oceans. Its age, growth and reproduction are still poorly understood. With the aim of studying these aspects, analyzed the Baja California fishery commercial catches during 1992/93 of. Age analysis was determined counting growth rings in both *sagitta* and second ray of the first anal fin. Ageing was successful for fishes less than two years old, counting daily rings in the *sagittae*. This result verified the readings of annual bands in that range in fin ray, with an 86% maximum similarity. It is suggested that the temporality of growth marks in rays are annual events, and this enable us to indirect validate the readings. The age structure obtained was composed of 0+ to 9+ years old females with the eye-fork length of 100-206 cm. For males, the age structure was 0+ to 7+ years old (range of 79-168 cm).

Backcalculation of length was carried out using the measurement of annual growth bands, and the von Bertalanffy age-length model was fitted. For females the model was $L_t = 263.7(1 - e^{-0.1162(t+4.09)})$ while for males was $L_t = 273.2(1 - e^{-0.077(t+5.50)})$. Females had the highest growth rates. The length-weight relationship was fitted to the allometric growth model. Females: $W = 1.37 \times 10^{-5} L^{3.04}$; males $W = 6.62 \times 10^{-6} L^{3.19}$. The length exponents are in the range reported for fishes with isometric growth.

Sex proportion in the swordfish was 0.30 male to female in the period of study. Gonadic Index (GI) and histological analysis in females showed that the organisms were reproductively inactive in Baja California. GI values were low (2.35) comparing the reports for females in spawning condition (12). Females in advanced vitellogenesis, stage III in a scale of I-VI, in the southern part of Baja California were observed during winter (12%) and spring (6%).

The testicular tissues in 15%, of 61 male analyzed by histology, showed evidence of oocytes in the range of 73-124 μ . This constitutes the first observations of hermaphroditism in the swordfish not reported before in billfishes.

TESIS DEFENDIDA POR: REINA CASTRO LONGORIA
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITE:



DR. OSCAR SOSA NISHIZAKI.- Director del Comité



DR. HORACIO DE LA CUEVA SALCEDO.-Miembro del Comité



DR. SAUL ALVAREZ BORREGO.- Miembro del Comité



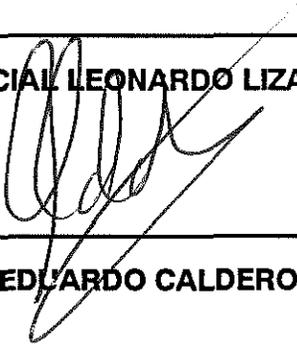
DR. CARLOS FRANCISCO FLORES LUNA.- Miembro del Comité



DR. ROBERTO ENRIQUEZ ANDRADE.- Miembro del Comité



DR. MARCIAL LEONARDO LIZARRAGA PARTIDA.- Jefe del Depto. de Ecología



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

31 DE MARZO DE 1995

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE
EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA.

DIVISIÓN DE OCEANOLOGÍA.
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA.

ANÁLISIS DE EDAD, CRECIMIENTO Y MADUREZ DEL RECURSO PESQUERO DEL
PEZ ESPADA, *Xiphias gladius*, EN EL PACÍFICO MEXICANO.

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para
obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS presenta:
REINA CASTRO LONGORIA.

Ensenada, Baja California, México. Marzo de 1995.



DEDICATORIA.

Con todo mi amor a mis hijas:

JESSICA

y

MARISOL

AGRADECIMIENTOS.

Deseo hacer patente mi agradecimiento a la Universidad de Sonora por el impulso y soporte económico recibido, sin el cual no hubiese sido posible alcanzar ésta meta.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico recibido.

Al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) por darme la oportunidad de ingresar al programa de Doctorado.

Al Dr. Oscar Sosa Nishizaki por aceptar ser mi director de tesis, el apoyo y los conocimientos recibidos.

A los miembros de mi comité de tesis, por sus sugerencias y comentarios: Dr. Norman Bartoo (National Marine Fisheries Service, la Jolla California), Dr. Saúl Álvarez Borrego, Dr. Horacio de la Cueva Salcedo, Dr. Carlos Francisco Flores Luna y Dr. Roberto Enríquez Andrade (Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas).

A la Cámara Nacional de la Industria Pesquera, Sección Especializada en Pesca del Pez Espada, por el apoyo recibido para la toma de muestras en las embarcaciones.

A los Señores Rubén de la Rosa Pacheco y Gilberto Parroquín quienes con su entusiasta participación, hicieron posible la toma de muestras.

A la QFB Nury López Fraga (responsable del laboratorio de Ecología Pesquera) por su valiosa ayuda en el análisis de muestras en el laboratorio. Gracias, además, por su

amistad y entusiasmo dedicado a los análisis de laboratorio que consumieron gran tiempo y esfuerzo.

A la M. en C. Olivia Tapia Vázquez del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP-Ensenada y Facultad de Ciencias-UABC) por los conocimientos recibidos sobre histología y al Biólogo Pesquero Julián Castro González (CRIP y Centro de Diagnóstico Patológico, Ensenada, B. C.) por el apoyo en la verificación de los análisis histológicos de los machos del pez espada.

A Darlene Ramon del National Marine Fisheries Service, la Jolla California, por compartir su experiencia sobre la madurez del pez espada y por la verificación de los análisis histológicos de los machos del pez espada.

Al Sr. Jorge Ballesteros Grijalva, por permitir la toma de muestras a bordo del Tlaloc II. Al M. en C. Unai Markaida Aburto, por participar en la toma de pesos del pez espada. A Cesar Almeda Jauregui por el apoyo sobre los paquetes de computación. Al Ing. Israel Gradilla del Instituto de Física de la UNAM (Ensenada, B.C.), por el apoyo brindado para el uso del Microscopio Electrónico de Barrido. Al M. en C. Vicente Ferreira por la asesoría en algunos aspectos de fotografía.

A la Bióloga Sarita de la Campa de Guzmán, por su compañerismo y palabras de ánimo, también por compartir sus experiencias de su larga carrera académica.

A mi esposo, Dr. José Manuel Grijalva Chon, por toda la fortaleza, apoyo y constante impulso recibido.

Finalmente quiero agradecer a mi familia, especialmente a la Sra. Ernestina Longoria, mi madre, y al Sr. Jaime Castro Longoria, mi hermano, el entusiasmo y apoyo que siempre me brindaron.

CONTENIDO.

	<u>Página</u>	
I	INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.	1
	I.1 Descripción de la especie.	2
	I.2 Estructuración del recurso en el Pacífico.	4
	I.3 Estado de explotación del recurso.	5
	I.4 Origen de la pesquería Mexicana.	5
	I.5 Objetivos.	7
II	ESQUEMA DE MUESTREO.	9
	II.1 Descripción del área de estudio.	9
	II.2 Método de muestreo.	10
III	EDAD Y CRECIMIENTO.	13
	III.1 Introducción.	13
	III.2 Materiales y métodos.	15
	III.2.1 Rayos de la primera aleta anal.	15
	III.2.2 Otolitos.	16
	III.2.3 Estadísticas de la edad.	21
	III.2.4 Análisis de crecimiento	22
	III.3 Resultados.	29
	III.3.1 Longitudes de los organismos.	29
	III.3.2 Edad en los rayos.	29

CONTENIDO (Continuación)

	<u>Página</u>
III.3.3 Peso y longitud de otolitos.	32
III.3.4 Edad determinada por otolitos.	32
III.3.5 Verificación de la edad.	35
III.3.6 Crecimiento.	38
III.3.7 Análisis de peso-longitud.	43
III.4 Discusión.	49
IV ANÁLISIS DE MADUREZ.	56
IV.1 Introducción.	56
IV.2 Materiales y métodos.	58
IV.3 Resultados.	63
IV.3.1 Madurez mediante el índice gonádico (IG) en hembras y machos.	63
IV.3.2 Variación temporal del IG _A .	65
IV.3.3 Comparación de metodologías en la evaluación del IG.	65
IV.3.4 Proporción de sexos.	68
IV.3.5 Análisis histológico de la madurez.	68
IV.3.5.1 Análisis del diámetro de los ovocitos.	68
IV.3.5.2 Descripción del estado de madurez.	72
IV.3.5.3 Madurez en los machos.	81
IV.4 Discusión.	83

CONTENIDO (Continuación)

	<u>Página</u>
V CONSIDERACIONES FINALES.	97
LITERATURA CITADA.	101

LISTA DE FIGURAS.

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Pez espada, <i>Xiphias gladius</i> Linnaeus, 1758.	3
2	Localización del los lances de pesca para la obtención de las muestras.	11
3	Otolitos del pez espada: a) <i>sagitta</i> ; b) <i>lapillus</i> y c) <i>asteriscus</i> . La barra representa 0.5 mm.	17
4	Patrón de anillos diarios en el plano rostral de la <i>sagitta</i> del pez espada, observados con microscopio compuesto y luz transmitida. La barra representa 8 μ .	19
5	<i>Sagitta</i> del pez espada. f = foco, r = rostrum, a = antirostrum, pd = porción distal del rostrum, f-pd = plano de conteo de anillos diarios. La barra representa 500 μ .	20
6	Sección transversal del rayo de la primera aleta anal del pez espada, mostrando las bandas de crecimiento hialinas y opacas. Esta estructura corresponde a un macho de 2+ años de edad y longitud ojo-furca de 138 cm. El radio de esta estructura es de 2.86 cm. f=foco b=borde. La barra representa 1.5 mm.	24
7	Análisis exploratorio de cajas de la regresión entre la longitud ojo-furca y el radio de la sección transversal del segundo rayo de la primera aleta anal del pez espada.	25
8	Análisis exploratorio de cajas de los residuos de la regresión entre la longitud ojo-furca y el radio del segundo rayo de la primera aleta anal del pez espada.	27
9	Frecuencia de los tamaños de clase de las longitudes (ojo-furca) del pez espada en Baja California. Machos n=77 y hembras n=280.	30
10	Frecuencia de edad (años) para el pez espada, estimada a partir de lecturas en radios de la primera aleta anal en hembras (n=173) y machos (n=61).	31
11	Frecuencia de pesos de los otolitos del pez espada, en machos (n=28) y hembras (n=92).	33

LISTA DE FIGURAS (Continuación).

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
12	Relación entre el peso del otolito y la longitud del pez espada en hembras (n=89) y machos (n=28).	34
13	Frecuencia (N) y similitud (%) entre las estimaciones de edad obtenidas a partir de otolitos y rayos en el pez espada.	36
14	Coincidencia entre las edades determinadas (años) con otolitos y rayos de la aleta anal. La pendiente representa el 100% de coincidencia y los números arriba de los puntos representa el número de observaciones.	37
15	Regresión entre la longitud ojo-furca y el radio de la sección transversal del segundo rayo de la primera aleta anal del pez espada. A) Hembras; B) Machos. Ver residuales en métodos.	40
16	Curvas de crecimiento para ambos sexos del pez espada a partir de la relación longitud ojo-furca con la edad. Los puntos representan los valores de retrocálculo y las líneas muestran el ajuste al modelo de von Bertalanffy.	45
17	Relación entre el peso total corporal y la longitud del pez espada en A) hembras (n=77) y B) machos (n=29).	47
18	Relación entre el Índice Gonádico y la longitud en A) hembras y B) machos del pez espada.	64
19	Índice gonádico promedio del pez espada durante las estaciones de los años 1992/93 en A) hembras y B) machos. Las barras representan las desviaciones estándar y los números sobre las barras representan el número de peces analizados.	66
20	Frecuencia del diámetro de los ovocitos en las hembras del pez espada durante invierno (n=32 peces) y primavera (n=14) de 1992.	70
21	Frecuencia del diámetro de los ovocitos en las hembras del pez espada durante verano (n=36) y otoño (n=8) de 1992.	71
22	Frecuencia del diámetro de los ovocitos de las hembras del pez espada durante invierno (n=7), verano (n=3) y otoño (n=43) de 1993	73

LISTA DE FIGURAS (Continuación).

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
23	Frecuencia estacional (%) de los estadios de madurez, determinada histológicamente en hembras del pez espada en Baja California durante 1992/93. I=inmaduras, II=vitelogénesis, III=maduras y VI=hidratadas en proceso de reabsorción. n=número de hembras analizadas, A) 1992 y B) 1993.	74
24	Sección transversal de un ovario de pez espada en estado avanzado de madurez (III). gv = gránulos de vitelo, vl = vesículas lipídicas, zr = zona radiata, e = estroma, ef = epitelio folicular. La barra representa 100 μ .	75
25	Sección transversal de un ovario inmaduro (I) del pez espada, mostrando ovocitos en etapas de desarrollo inicial. nv = ovocito no vitelado, n = núcleo, nu = nucleolos, e = estroma, cs = células sanguíneas. La barra representa 50 μ .	77
26	Sección transversal de un ovario mostrando ovocitos hidratados en proceso de reabsorción. La barra representa 400 μ .	78
27	Detalle de un ovocito hidratado del pez espada en proceso de reabsorción. La barra representa 100 μ .	79
28	Representación del número de machos inmaduros (I), intermedios (II) y maduros (III) en los diferentes intervalos de longitud ojo-furca, (n=60).	82
29	Sección transversal del testículo de un pez espada, de 142 cm de longitud, mostrando la presencia de ovocitos dentro de las estructuras lobulares. es = espermatogonia, o = ovocitos, p = paredes lobulares del testículo, l = lumen de la estructura lobular. La barra representa 200 μ .	84
30	Detalle de la figura 29 con la presencia de es = espermatogonias, e = esperma y p = pared lobular. La barra representa 100 μ .	85
31	Sección transversal del testículo de un pez espada de 138 cm de longitud mostrando la presencia de o = ovocitos, e = espermatozoides y p = pared lobular. La barra representa 100 μ .	86

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
32	Porcentaje de fecha de nacimiento para ambos sexos del pez espada por retrocálculo. Se utilizó la edad determinada de la lectura de crecimiento diario en otolitos para edades no mayores de tres años durante 1992. n=38.	90

LISTA DE TABLAS.

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I	Análisis de varianza de la regresión entre el radio de la sección transversal del segundo rayo de la primera aleta anal con la longitud ojo-furca del pez espada.	39
II	Análisis de covarianza para la comparación entre sexos de las líneas de regresión del radio de la sección transversal del rayo de la aleta anal con la longitud ojo-furca del pez espada.	41
III	Longitudes ojo-furca promedio (cm) en hembras y machos del pez espada, basadas en el retrocálculo.	42
IV	Análisis de varianza del ajuste al modelo de crecimiento de von Bertalanffy para el pez espada.	44
V	Tasa de crecimiento del pez espada como una función de la edad, determinada de las curvas de crecimiento de von Bertalanffy.	46
VI	Análisis de varianza del modelo alométrico de crecimiento, peso-longitud, para el pez espada.	48
VII	Comparación de longitudes mandíbula inferior-furca (cm) del pez espada con datos del Atlántico y de este estudio, calculadas con el modelo de von Bertalanffy. Datos del Atlántico [1-3] tomados de Berkeley y Houde (1983).	54
VIII	Análisis del IG de los datos tomados de Kume y Joseph (1969): Longitud ojo-furca y peso de ovarios. Para estimar el peso en las hembras (PEH) se utilizó el modelo alométrico de crecimiento $W=1.37 \times 10^{-5} L^{3.04}$, basado en el análisis del peso total de 77 peces espada hembras capturadas en Baja California, ver capítulo III.	67
IX	Número de organismos por sexo y la proporción macho:hembra del pez espada, agrupados estacionalmente.	69

LISTA DE TABLAS (Continuación).

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
X	Intervalos de los diámetros de los ovocitos y longitudes ojo-furca, correspondientes a cada estadio de desarrollo en hembras del pez espada.	80
XI	Fecha de captura y longitud ojo-furca (cm) de los machos del pez espada con presencia de ovocitos en las secciones histológicas de los testículos.	87

ANÁLISIS DE EDAD, CRECIMIENTO Y MADUREZ DEL RECURSO PESQUERO DEL PEZ ESPADA, *Xiphias gladius*, EN EL PACÍFICO MEXICANO.

I INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

El recurso pez espada ha sido explotado desde mediados del siglo pasado en el Atlántico, donde los primeros registros estadísticos datan de principios del presente siglo (Tibbo *et al.*, 1961; Berkeley, 1989). En el Pacífico, la explotación masiva se originó por los japoneses a principios de los años cincuentas (Ueyanagi *et al.*, 1989; Sosa-Nishizaki y Shimizu, 1991). De los registros de capturas comerciales, se sabe que la distribución latitudinal del pez espada en el Pacífico Oriental se extiende desde los 50°N hasta los 45°S, mientras que en el Pacífico Este se encuentra desde 50°N hasta los 35°S, desde Oregon hasta Talcahuano, Chile (Nakamura, 1985; Palko *et al.*, 1981; Sakagawa, 1989). En relación con la abundancia del recurso, se sabe que *X. gladius* se concentra mayormente en aguas costeras (Nakamura, 1983).

La pesquería del pez espada se originó incidentalmente en el Pacífico Oriental tropical en 1957 por la flota palangrera japonesa, que tenía como objeto de pesca el atún. De esta manera, para 1963 las operaciones de pesca se extendieron en casi toda el área tropical y subtropical (Squire y Au, 1990). Así, la explotación de este recurso se desplazó hacia prácticamente toda su distribución geográfica (Ueyanagi *et al.*, 1989; Sosa-Nishizaki y Shimizu, 1991) ocupando aguas mexicanas frente a Baja California, donde las capturas eran de las más altas durante todo el año (Kume y James, 1966).

L1 Descripción de la especie.

El pez espada se conoce desde hace aproximadamente 2400 años, cuando Aristóteles lo nombró *Xiphias* y posteriormente con la nomenclatura binomial, Linnaeus lo nombró *Xiphias gladius* en 1758 (Tibbo *et al.*, 1961; Nakamura, 1985).

Nakamura (1985) agrupa los picudos en dos familias: Istiophoridae y Xiphiidae, siendo el pez espada es el único miembro de la familia Xiphiidae. Recientemente, Nelson (1994) agrupa todos los peces picudos dentro de una sola familia, la Xiphiidae, dadas las características que comparten entre sí. De esta manera, *X. gladius* quedó agrupado dentro de la subfamilia Xiphinae y el resto de los picudos en la subfamilia Istiophorinae. Sin embargo, Finnerty y Block (1995) siguen la agrupación propuesta por Nakamura (1985).

Las características más notorias del pez espada que lo hace diferente de los otros picudos son: ausencia de aletas pélvicas, pico aplanado y ojos muy grandes, cuerpo cilíndrico y robusto (figura 1), además de alcanzar pesos hasta de 550 kg (Palko *et al.*, 1981; Nakamura, 1983, 1985). Al igual que los otros picudos, el pez espada realiza grandes movimientos migratorios tanto horizontales como verticales, por lo que es tolerante a un amplio intervalo de temperaturas. Se ha demostrado, mediante experimentos de marcado, la capacidad termoreguladora del cerebro en esta especie cuando realiza grandes movimientos verticales (Carey, 1990). Dicha capacidad de regulación térmica se debe a un órgano calentador que posee en los músculos de los ojos (Block, 1990).

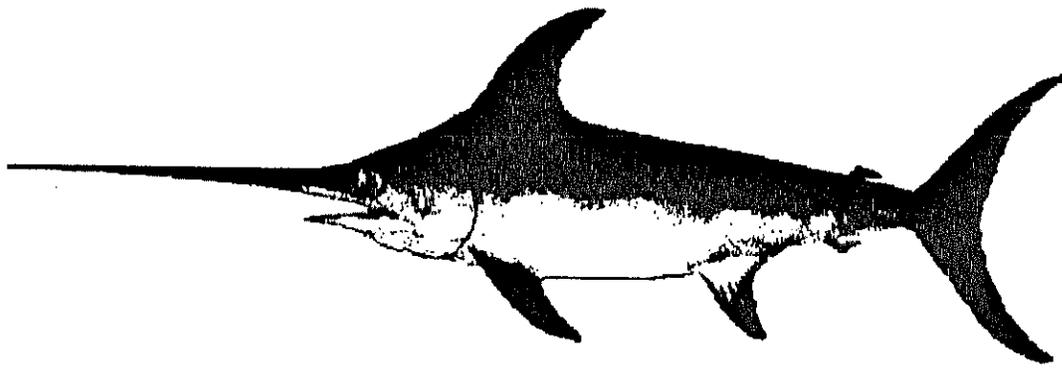


Figura 1.- Pez espada, *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758.

I.2 Estructuración del recurso en el Pacífico.

La población del pez espada en el Pacífico representa una estructuración muy compleja. Mediante el análisis de capturas se ha observado que los núcleos de abundancia se expanden y se contraen (Sosa-Nishizaki y Shimizu, 1991). Bartoo y Coan (1989) llevaron a cabo un análisis pesquero partiendo de dos hipótesis: la existencia de una y tres poblaciones explotables. Skillman (1989) apoya la hipótesis de una sola población en todo el Pacífico. Sosa-Nishizaki y Shimizu (1991) proponen cuatro unidades de explotación, localizadas frente a Japón, en el Pacífico noroeste con extensión hasta el Pacífico central, frente a Baja California, frente a las costas de Sudamérica y el último en aguas de Australia y Nueva Zelanda.

Investigaciones recientes indican que en el Pacífico Norte existe un nivel de complejidad genética elevada de la población. Grijalva-Chon (1995) ha demostrado que el pez espada en el Pacífico Norte está constituido de una sola población, lo cual contrapone las hipótesis que consideraban la existencia de varias poblaciones en el Pacífico.

El conocimiento biológico de esta especie y en general de los peces conocidos como picudos es escaso y debe ser afrontado (Strasburg, 1970; Bedford y Hagerman, 1983; Hanan *et al.*, 1993). Los esfuerzos deberán dirigirse hacia la investigación biológica de las poblaciones susceptibles de explotación y de esa manera poder comprender en que medida se adecúan esquemas de manejo tendientes a la buena utilización del recurso.

1.3 Estado de explotación del recurso.

En el Pacífico se han realizado evaluaciones objetivas del recurso mediante las capturas de la flota palangrera japonesa. Bartoo y Coan (1987) concluyen que a nivel del Océano Pacífico el recurso no está sobre explotado y que la población se encuentra estable. Las capturas mundiales del pez espada desde 1972 hasta 1991 han fluctuado entre las 27,000 y 67,142 tm anuales (Nakamura, 1985; Sakagawa, 1989; FAO, 1993). Para el Océano Pacífico, en 1972 la captura fue de 12,600 tm, esta cantidad se incrementó hasta 21,000 tm en 1986 (Sakagawa, 1989). FAO (1993) reporta que en 1991 para el Pacífico se capturaron 29,245 tm. De dicho volumen de captura, los países con mayores registros fueron Japón (33.88%), Chile (24.81%), Estados Unidos de América (15.72%) y Filipinas 10.74%. El 2.94% correspondió a México, y el resto se repartió entre otros países.

En el Pacífico Noreste, Estados Unidos y México explotan el recurso principalmente con red agallera de deriva. En aguas frente a California la explotación se inició a finales de 1970, y en Mexico en 1987. En la pesquería de California, las capturas han fluctuado entre las 321 y 1536 tm anuales de 1981 hasta 1991 (Hanan *et al.*, 1993). En la pesquería mexicana los volúmenes de captura son menores, y han variado desde 100 hasta 700 toneladas métricas anuales, en el período comprendido desde 1988 hasta 1992 (Sosa-Nishizaki *et al.*, 1992).

1.4 Origen de la pesquería Mexicana.

La pesquería palangrera mexicana para la explotación de los picudos empezó a desarrollarse a finales de 1979, con una flota de 27 embarcaciones y como una actividad

conjunta entre mexicanos y japoneses (Polanco Jaime *et al.*, 1989). En esos años, la pesca deportiva en aguas del Pacífico mexicano atribuyó el declinamiento de los picudos a la pesquería palangrera, creandose un conflicto entre ambos intereses. A raíz de dicha problemática se estableció la regulación de la pesquería para los picudos y en 1983 los marlín, peces vela y pez espada fueron declarados especies exclusivas de pesca recreativa dentro de una franja costera de 50 mn. En 1990 la Secretaría de pesca canceló los permisos para la pesquería de palangre (Squire y Au, 1990). Por otro lado, desde 1987 ha venido operando la pesquería comercial del pez espada con red agallera de deriva fuera de las 50 mn. Esta pesquería ha alcanzado niveles de captura desde 100 tm en 1988, hasta 700 tm en 1993 (Sosa-Nishizaki *et al.*, 1992).

Actualmente la pesquería mexicana del pez espada, con su base en Ensenada, tiene 22 embarcaciones cuya operación es a lo largo de la península de Baja California, desde los 21°30'N, hasta los 32°20'N. Las embarcaciones utilizan artes de pesca llamadas redes agalleras de deriva controlada y están catalogadas como de pesca múltiple, incluyendo barcos camareros y atuneros con adaptaciones propias para esta pesquería, (Sosa-Nishizaki *et al.*, 1992).

La captura del pez espada en Baja California se realiza generalmente durante todo el año, aunque en los meses de verano la movilización de la flota es mínima. Las mayores corridas de pesca se dan desde los meses de septiembre a enero cuando el recurso aparece en cantidades mayores.

El éxito de captura depende en gran parte de la experiencia del patrón de pesca y del equipo a bordo para recibir información de las temperaturas superficiales que ayudan a

localizar el recurso. Sin embargo, no todos los barcos están equipados con sistemas de captación de dicha información. Aparentemente la mayor actividad pesquera se localiza al sur de Punta Eugenia, hasta los 23°N y al norte, desde los 30°N hasta la frontera con Estados Unidos de Norteamérica.

El tiempo de maniobra dura entre 14 y 17 horas, desde que comienza el largado del arte de pesca durante las primeras horas de la tarde hasta el cobrado durante la mañana del día siguiente. El número de piezas capturadas es variable, entre cero y 25 peces por lance. La captura en total está representada por varios grupos de especies entre las cuales destacan tiburones (25%), atunes (19%), pez sol (19%) y pez espada (12%), el restante 25% está compuesto de otras especies sin importancia comercial (Sosa-Nishizaki *et al.*, 1992).

Del pez espada capturado en Baja California se aprovecha un 75% en carne, pues el resto lo componen las vísceras, cabeza, aletas y pico. El producto de la captura de la flota se exporta mayormente hacia los Estados Unidos, y es pagado a menor precio que el que se pesca en la pesquería propia y otros países (Sakagawa, 1994). La textura de la carne, su sabor y los cortes en forma de medallón hacen que este producto sea muy codiciado en el mercado.

1.5 Objetivos.

Debido a que la pesquería del pez espada en Baja California con red agallera de deriva es relativamente joven, no existe un verdadero esquema de manejo, ni la información científica sobre la dinámica del recurso en aguas mexicanas. La determinación del estado biológico de peces expuestos a un régimen pesquero es un elemento básico e importante para

implementar un buen manejo (Skillman, 1989). Actualmente los programas de manejo dependen del más completo conocimiento de los parámetros de historia de vida que caracterizan dichas poblaciones tales como edad, crecimiento, mortalidad y estado de madurez (Radtke y Shepherd, 1991).

El interés por entender nuestros recursos y tener una mejor comprensión científica para una explotación racional, ha hecho que el presente trabajo tenga como objetivo analizar los parámetros de edad, crecimiento y estado de madurez del pez espada en aguas de Baja California.

II. ESQUEMA DE MUESTREO.

II.1 Descripción del área de estudio.

Las aguas frente a Baja California, donde se desarrolla la pesquería mexicana del pez espada, están comprendidas dentro del sistema de la Corriente de California. Husby y Nelson (1982) describen la oceanografía de este sistema. Las características, en términos generales de temperatura y salinidad, se definen de la siguiente forma: las aguas del extremo norte de la Corriente de California, frente al Estado de Washington, en los 100 m superficiales, están caracterizadas por bajas salinidades y temperaturas, 32.5‰ y ~10°C respectivamente. Dichas masas de agua se ven modificadas fuera de costa hacia el sur. Al sur de California se incrementa la temperatura y salinidad hasta 33.0-33.5‰ y ~15°C por la mezcla al oeste con aguas subtropicales y además por las surgencias a lo largo del margen costero.

Al sur de Punta Eugenia, Baja California, se establece la influencia de la contracorriente ecuatorial entre los 200 y 500 m de profundidad, donde las salinidades y temperaturas son mayores. La influencia de dicha corriente se da todo el año (Norton *et al.*, 1985). Las surgencias costeras en la Corriente de California ocurren todo el año. En las costas del sur de California son de mayor intensidad en comparación con las registradas en las costas de Baja California, donde las surgencias se presentan de marzo a junio con mayor intensidad (Bakun y Nelson, 1977; Mann y Lazier, 1991).

La oceanografía de la Corriente de California es muy compleja, las interacciones físicas provocan una alta variabilidad a escalas diferentes de espacio y tiempo que dificultan la comprensión del funcionamiento del sistema en su totalidad (Reid, 1988). Tendencias en

los patrones de productividad primaria y secundaria demuestran que existe una disminución de norte a sur (Bernal, 1981) y que la producción de biomasa zooplanctónica está dominada por la advección a gran escala y no por las surgencias locales (Chelton, 1981; Mann y Lazier, 1991).

Cambios océano-atmosféricos a gran escala como El Niño afectan grandemente las condiciones oceanográficas de la Corriente de California, principalmente el nivel del mar y la temperatura superficial. Como consecuencia, disminuyen los niveles de productividad y abundancia de los recursos. De esta forma, la detección de El Niño 1991-92 ha sido documentada para la Corriente de California (Hayward, 1993). En ese período se encontraron bajos niveles de clorofila y productividad primaria, asociados con las anomalías de temperatura del mar, frente a la Jolla, California.

II.2 Método de muestreo.

El diseño de muestreo estuvo en función de la operación de la flota pesquera y la disponibilidad de los patrones de pesca que permitieron el acceso a sus embarcaciones. De esta forma, en este estudio se muestreó en 7 diferentes barcos de la flota comercial que opera en las costas de Baja California, durante 12 campañas de pesca, cubriéndose prácticamente toda la península (figura 2).

La toma de muestras se realizó por dos observadores a bordo durante dos períodos. El primero durante 1992 con intervalos de tiempo aproximadamente mensual, con excepción de mayo y parte de junio por el cese de actividades pesqueras.

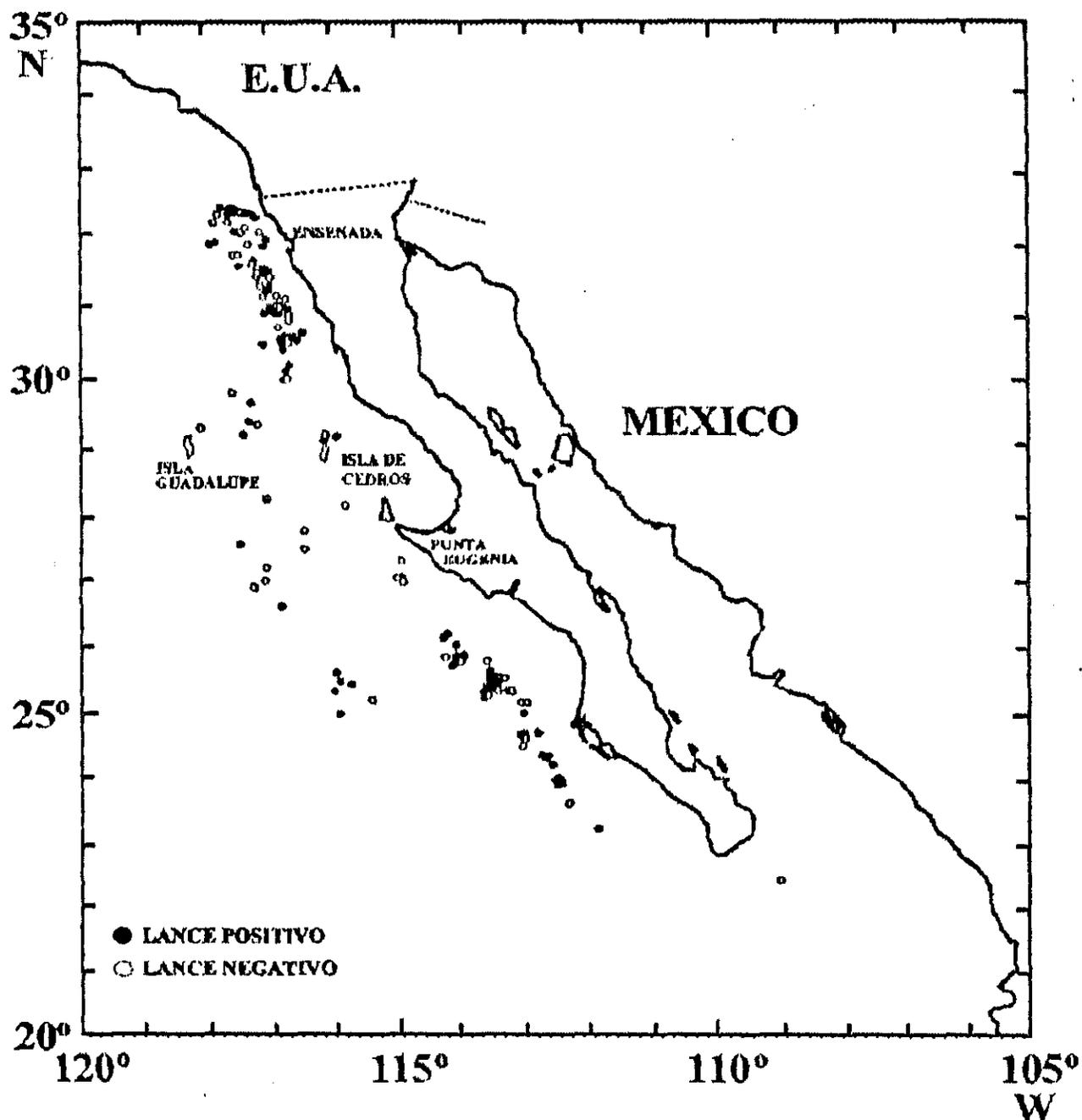


Figura 2. Localización de los lances de pesca para la obtención de las muestras.

El segundo período de muestreo fue en la temporada de máxima pesca, de octubre a diciembre en 1993, en un sólo barco. En este período, sólo se muestreó la parte norte de Baja California, 30°N y 32°N, donde operó la embarcación durante tres viajes de pesca.

Los muestreos a bordo consistieron de mediciones de longitud ojo-furca de los peces, registro de pesos, obtención de gonadas, cortado de cabezas y aletas. Estas muestras fueron transportadas en hielo al laboratorio para su posterior análisis, con excepción de las gonadas que fueron a bordo fijadas en formalina al 5%, para propósitos histológicos. La cantidad de organismos muestreados varió en los viajes de pesca ya que dependiendo de la captura se obtuvieron desde 10 hasta 50 peces. En total, para ambos períodos se midieron 357 peces.

El registro de los pesos ,de 160 peces, fue sólo durante el segundo período. Para esto se utilizó una báscula electrónica digital, modelo Scale Master (West Weigh) con capacidad de 1000 kg y sensibilidad de 1 kg. Se registró el peso total y en tronco (sin cabeza, vísceras ni aletas).

En el laboratorio se llevaron a cabo las metodologías y análisis propios de cada uno de los temas propuestos en esta investigación, lo cual será descrito posteriormente en cada capítulo.

III. EDAD Y CRECIMIENTO.

III.1 Introducción.

El conocimiento sobre la composición de edad y descripción del crecimiento de un recurso sujeto a explotación, es necesario para diseñar un buen programa de manejo. Con esta información se podrá determinar la longevidad de los peces así como su tasa de crecimiento (Everhart y Youngs, 1981). El análisis de edad y crecimiento en peces con movimientos transoceánicos, como los picudos, no ha sido una tarea sencilla. Particularmente, las estimaciones absolutas de edad, o validación, forman un hueco en el conocimiento de su biología y por ende, el ciclo de vida en la mayoría de estas especies es poco comprendido (Radtko y Shepherd, 1991).

Existen tres métodos para la determinación de edad en peces: a) distribución de frecuencia de tallas; b) observaciones directas, mediante recobrado de peces marcados y control en estanquerías y c) interpretación de los patrones de crecimiento en partes óseas. Los dos primeros métodos son poco usados, mientras que el último se aplica más rutinariamente (Royce, 1984; Everhart y Youngs, 1981). Mediante la técnica de marcado y recaptura es factible validar las edades de éstos peces, por ejemplo Prince *et al.*, (1986) lograron la validación de edad en el pez vela del Atlántico con ésta técnica.

A pesar de que el pez espada, ha sido explotado por varios países tanto en el océano Atlántico como en el Pacífico, la comprensión de su biología es muy limitada (Palko *et al.*, 1981; Hanan *et al.*, 1993). En particular, se necesita un mayor impulso a la investigación para lograr la validación de su edad, puesto que de esto depende la estimación de su crecimiento.

Las investigaciones más importantes en relación con la edad del pez espada han sido realizadas en peces del Océano Atlántico. Berkeley y Houde (1983) analizaron la edad de dicha especie usando secciones de las espinas¹ de las aletas anales. Los patrones de bandeo en esas estructuras fueron propuestos como marcas anuales, y fueron utilizadas para la asignación de edad. Radtke y Hurley (1983) analizaron la topografía superficial de la *sagitta* y observaron formaciones a manera de “cordilleras”. Los autores propusieron que dichas formaciones podrían representar marcas anuales en los otolitos. Wilson y Dean (1983) analizaron las características microestructurales internas de los otolitos, contando anillos diarios dentro de una zona hialina propusieron que dicha zona podría ser tomada como indicadora de marcas anuales.

Actualmente no existen estudios conclusivos para la validación de la edad del pez espada. Las formaciones diarias en otolitos ofrecen un alto potencial para tratar de resolver dicho problema. Generalmente las comparaciones de lecturas entre estructuras (espinas, vertebras, opérculos y otolitos) son consideradas como verificación de edad en peces (Casselman, 1983). Sin embargo, el datado de peces jóvenes mediante conteo de anillos diarios en otolitos es una estimación precisa de la temporalidad de dichas formaciones (Brothers, 1981). Lo anterior al ser verificado con otras estructuras, debiera ser considerado como una validación indirecta de edad.

Con el objetivo de aportar nuevos elementos para la estimación de edad del pez espada, en este estudio se propone la lectura diaria en otolitos y lectura en radios de las aletas. Se plantea la hipótesis de que la microestructura interna, anillos diarios en los

¹ En el presente estudio se tomó el criterio de Nakamura (1983, 1985) para designar los elementos de la aleta anal como rayos.

otolitos, podrían verdaderamente tener un significado temporal en términos de marcas anuales en los rayos. De esta manera, mediante la obtención de la edad del pez espada podrán ser evaluados los parámetros de crecimiento del recurso en la pesquería de Baja California. Los objetivos específicos del presente estudio fueron: a) Efectuar una validación indirecta de las marcas anuales en los rayos por medio de lecturas diarias en otolitos; b) Analizar la edad de las capturas comerciales del pez espada y c) Obtener los parámetros de crecimiento.

III.2 Materiales y métodos.

El análisis de edad del pez espada se dividió en dos etapas: Lectura de rayos y de otolitos, por cada organismo muestreado. El total de estructuras de los peces se leyeron separadamente de acuerdo con sus propias metodologías. Posteriormente se efectuaron comparaciones de los resultados de edad entre estructuras, y finalmente se analizó el crecimiento de la especie.

III.2.1 Rayos de la primera aleta anal.

Para la separación del segundo rayo de las aletas, estas se procesaron en baño maría en el laboratorio. Una vez separado el rayo, se dejó secar a temperatura ambiente, y con el objeto de estandarizar la distancia del corte, para fines comparativos, se midió la longitud total. Se realizó un corte transversal al 10% de la longitud total, partiendo de la base del cóndilo, donde fueron más claramente observados los patrones de crecimiento. Un total de 255 rayos de la segunda aleta anal fueron cortados con un espesor de 1.0 mm, con la cortadora de baja velocidad (CBV) modelo Isomet Buehler.

Para la interpretación de edad en los rayos, el patrón de bandeado fue observado en la superficie del corte: una zona opaca y una hialina fueron interpretados como un anillo anual (Wilson *et al.*, 1983). La primera zona, correspondiente al rápido crecimiento y la segunda a la zona de lento crecimiento (Casselman, 1983). Se asignó la edad a cada pez mediante el conteo bajo el microscopio estereoscópico con luz transmitida a una amplificación de 60x o 120x, dependiendo del tamaño de la estructura. Para asegurar que cada marca anual estuviera completa, se observó que apareciera la formación de la siguiente marca. Algunos organismos presentaron entre los anillos marcas falsas de crecimiento, mismas que no fueron cuantificadas siguiendo el criterio de Berkeley y Houde (1983).

Se hicieron tres lecturas independientes en los cortes y por sexos separados, espaciadas al menos por un mes para no tener sesgos por el conocimiento previo de la estructura. También el datado se realizó sin conocer la longitud de los peces. Con fines comparativos intervino un segundo lector y de manera independiente utilizó el mismo procedimiento.

III.2.2 Otolitos.

Para la extracción de los otolitos, se disectó el canal auditivo de la cavidad craneal del pez, mediante disección en el laboratorio. Estos fueron colocados en etanol al 95%. En varias ocasiones las cabezas de los peces proporcionadas por los pescadores no contuvieron el órgano auditivo y en otros casos sólo una porción de dicho órgano estuvo presente con alguno de los tres pares de otolitos: *sagitta*, *asteriscus* y *lapillus* (figura 3). Para propósitos de datado de peces la *sagitta* es más frecuentemente utilizada (Morales-

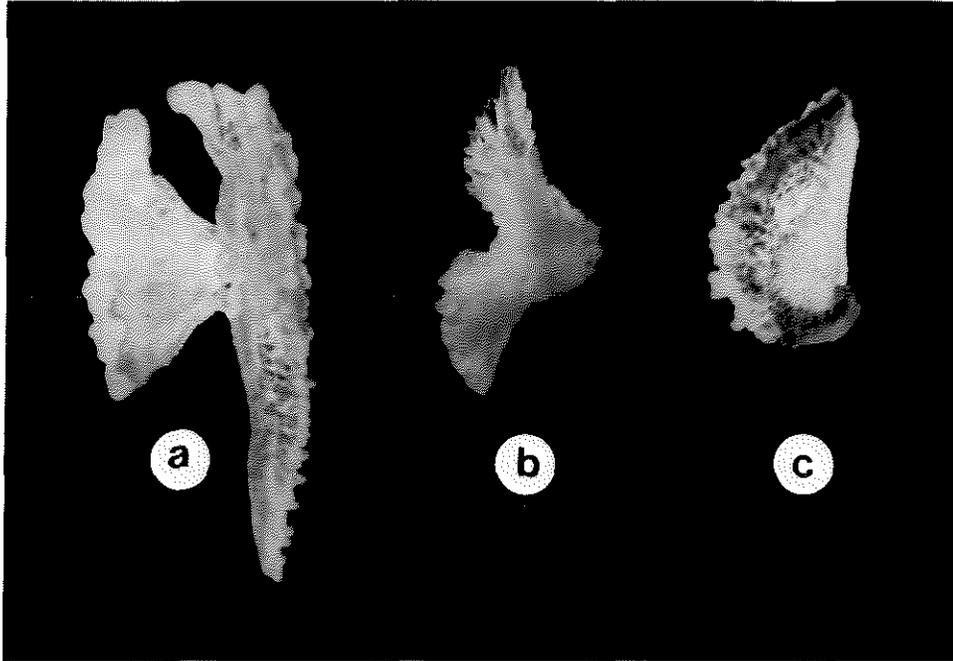


Figura 3. Otolitos del pez espada: a) *sagitta*; b) *lapillus* y c) *asteriscus*. La barra representa 0.5 mm.

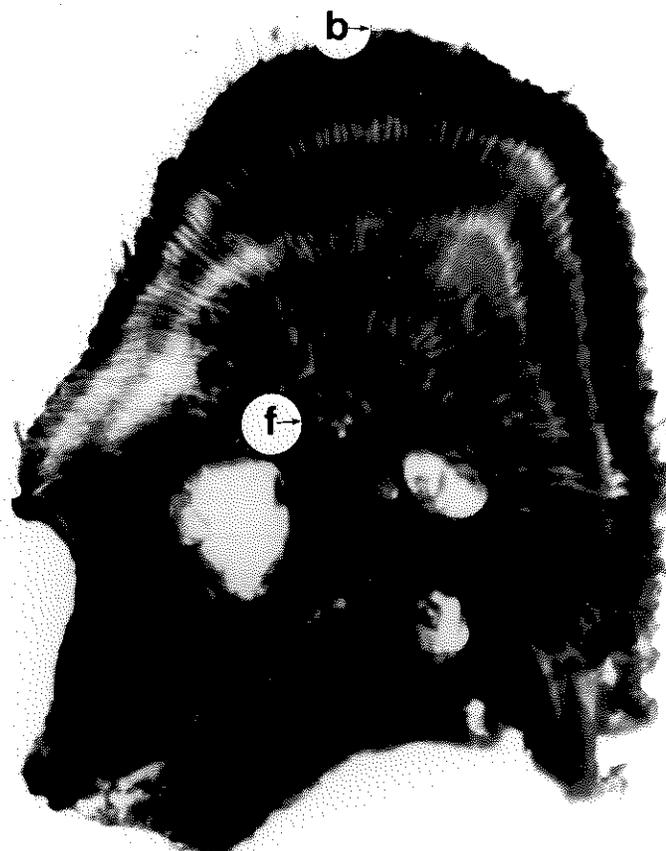


Figura 6. Sección transversal del rayo de la primera aleta anal del pez espada, mostrando las bandas de crecimiento hialinas y opacas. Esta estructura corresponde a un macho de 2+ años de edad y longitud ojo-furca de 138 cm. El radio de esta estructura es de 2.86 mm. *f* = foco, *b* = borde. La barra representa 1.5 mm.

Nin, 1991) debido a su mayor tamaño. Aunque para este estudio se exploró sobre la potencialidad de los tres otolitos, la *sagitta* la resultó la única factible de leerse.

Los otolitos obtenidos (n=132), las *sagittae* derechas o izquierdas, se limpiaron en hipoclorito de sodio al 5.25% (Wilson y Dean, 1983). Después se enjuagaron con agua destilada y se secaron en estufa a 40°C por 24 hrs para posteriormente pesarlos. Los pesos se registraron con el objeto de evaluar diferencias entre sexos y entre la estructura derecha e izquierda y analizar el crecimiento. Esto se realizó con una ultramicrobalanza electrónica Mettler UM3 con sensibilidad de 1 µg. Para ver buscar diferencias entre los pesos promedio de los otolitos derecho e izquierdo, así como entre los sexos, se aplicaron pruebas *t* pareada y no pareada, respectivamente (Zar, 1984).

Durante el manejo se dañaron 14 otolitos y sólo se trabajó con 118 *sagittae* izquierdas o derechas. Para detectar los anillos de crecimiento en la estructura, se incluyeron tres *sagittae* en resina epóxica y se seccionaron transversalmente con la CBV. Se observaron al microscopio y las lecturas con esta técnica no tuvieron éxito, pues no aparecieron patrones microestructurales indicativos de formaciones diarias. La forma tridimensional y el pequeño tamaño del otolito hicieron difícil obtener buenos cortes, además no apareció el foco del otolito en dicha sección.

Se efectuó un segundo intento para leer el otolito completo en aceite de inmersión sobre portaobjetos y mediante el uso de microscopía de luz se tuvieron buenos resultados. De esta manera, las formaciones microestructurales (figura 4) se detectaron a diferentes ampliaciones (100x, 400x y 1000x) a lo largo del rostrum de la *sagitta* (figura 5) y sin utilizar ningún medio de montaje. Los patrones de anillos de crecimiento rodearon el foco

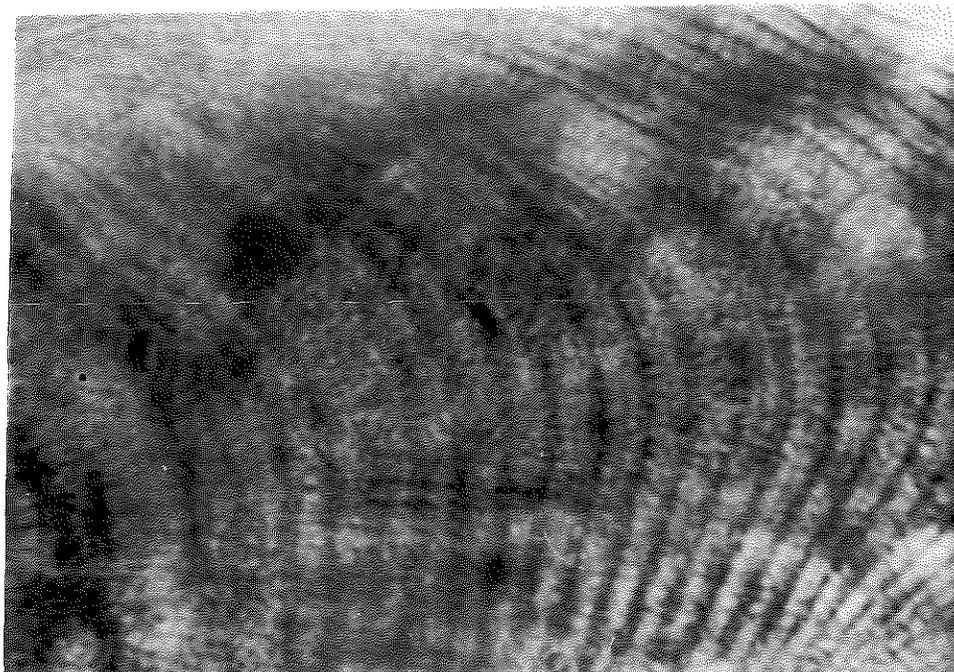


Figura 4. Patrón de anillos diarios en el plano rostral de la *sagitta* del pez espada, observados con microscopio compuesto y luz transmitida. La barra representa 8μ .

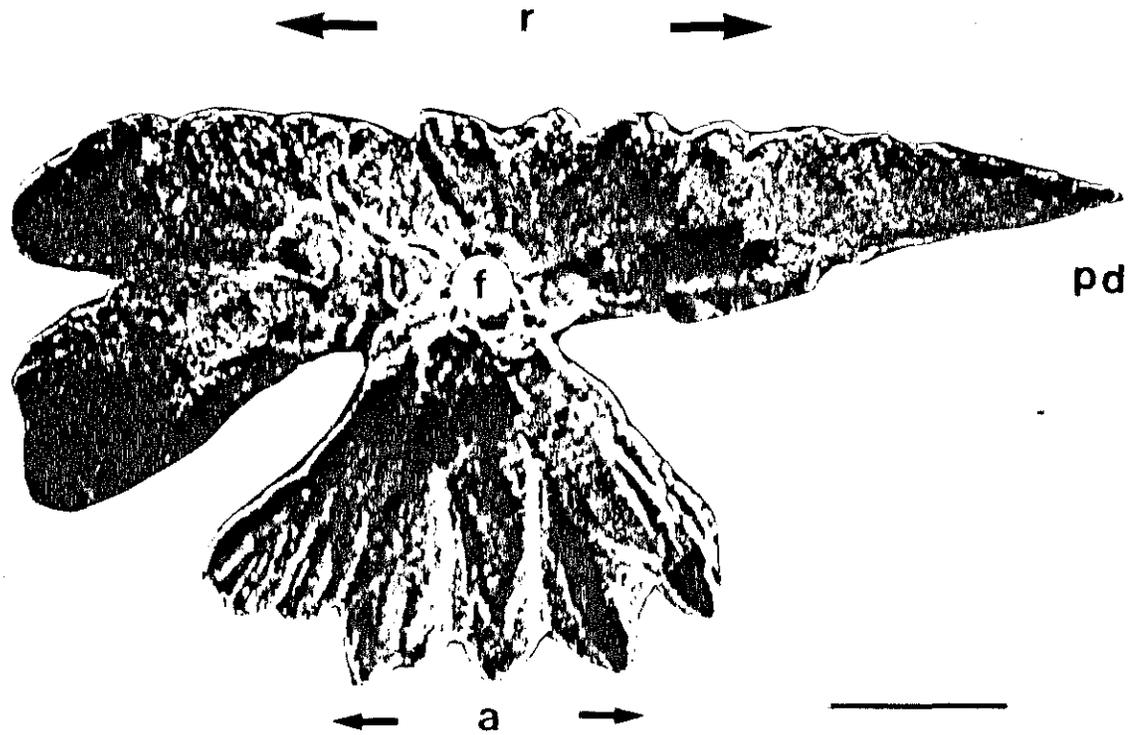


Figura 5. *Sagitta* del pez espada. f = foco, r = rostrum, a = antrirostrum, pd = porción distal del rostrum, f - pd = plano de conteo de anillos diarios. La barra representa 500 μ .

sobre toda la superficie interna del otolito y más claramente sobre el rostrum, por lo que se decidió contar los anillos en dicho plano, a partir del foco y hacia la porción distal de la estructura (figura 5). Todos los conteos en los otolitos fueron a una ampliación de 1000x. Los otolitos se midieron partiendo del foco hacia la porción distal del rostrum bajo el microscopio compuesto. Las lecturas de anillos diarios fueron convertidas a años, dividiendo por el número de días por año (365). Se leyeron por duplicado 54 otolitos con el propósito de efectuar pruebas estadísticas de lecturas.

Radtke (1983) y Radtke y Hurley (1983) mencionaron que el uso del microscopio electrónico de barrido (MEB) para el datado de los picudos proporciona otra fuente de información. Así, la topografía en forma de “cordilleras”, propuesta por estos autores como marcas anuales fue barrida con el MEB. Para identificar dichas marcas se observaron diez sagitas de varios pesos.

III.2.3 Estadísticas de la edad.

Con el fin de evaluar posibles diferencias en los conteos, las lecturas de edad por duplicado en los otolitos fueron comparadas mediante una prueba *t* pareada (Zar, 1984). Otra manera de estimar el error de lecturas de edad fue por medio del porcentaje promedio de error (PPE), propuesto por Beamish y Fournier (1981).

La ecuación es de la forma siguiente:

$$PPE = \frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{j=1}^R \frac{|x_{ij} - x_j|}{x_j} \right] \right)$$

donde:

N =Número de peces datados.

R =Número de réplicas de lectura.

X_{ij} =La i -ésima determinación para el j -ésimo pez.

\bar{X}_j = Es el promedio de edad para el j -ésimo pez.

Este índice fue aplicado tanto a la lectura de los otolitos, como a la lectura de los rayos.

La comparación entre los resultados de las lecturas de los otolitos con las respectivas de sus rayos se realizó mediante el análisis de similitud, S :

$$S = \frac{2C_i}{A_i + B_i} (100)$$

donde:

S = Similitud entre lecturas de otolitos y rayos.

C_i = Número de peces con la misma clase de edad i tanto en otolitos como rayos.

A_i = Número de peces para la clase de edad i en el otolito.

B_i = Número de peces para la clase de edad i en el rayo.

III.2.4 Análisis de crecimiento.

El crecimiento fue analizado mediante a) el análisis de las mediciones de las marcas anuales en los rayos. y b) con el ajuste de relación alométrica de crecimiento peso-longitud de los peces. Para el primer análisis, en cada pez se midieron bajo el microscopio los tamaños de las marcas anuales a partir del foco de la estructura en los

rayos. Además se midió el radio de la sección transversal del rayo desde el foco hasta el borde de la estructura (figura 6). Estos datos fueron analizados con el procedimiento de retrocálculo para ajustar la curva de crecimiento de von Bertalanffy.

Para el retrocálculo se hicieron varios análisis partiendo de que la relación entre la longitud de los peces y el tamaño de la estructura utilizada para su datado está dada por una regresión rectilínea (Busacker *et al.*, 1990). La relación entre ambas variables fue analizada mediante el procedimiento propuesto por Fry (1993). El primer requisito fue la observación de la tendencia en los puntos graficados de la longitud (variable dependiente) y tamaño de rayo (variable independiente). Después se probó la homogeneidad de los datos mediante análisis exploratorio de cajas de las variables independiente (longitud de los peces) y dependiente (radio de los rayos) (figura 7).

El análisis exploratorio de cajas se llevo a cabo utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS. Esto es una forma efectiva de mostrar gráficamente el resumen estadístico de los datos y detectar comportamiento asimétrico. La caja central agrupa el 50% de los valores centrales entre los cuartiles inferior y superior. Los “bigotes” se extienden hasta los extremos (valores mínimo y máximo), mientras que la línea central es la mediana. Los puntos extremos que sobrepasan 1.5 veces la longitud de la caja (rango intercuartil) son graficados como puntos extremos. Como el análisis exploratorio de cajas no mostró evidencia de asimetría en el comportamiento de los datos, se realizaron las regresiones entre la longitud corporal y el tamaño (radio) del corte del rayo sin la necesidad de transformación en los datos. Los análisis se hicieron en machos y hembras separadamente. El análisis exploratorio de cajas también fue aplicado a los residuos de

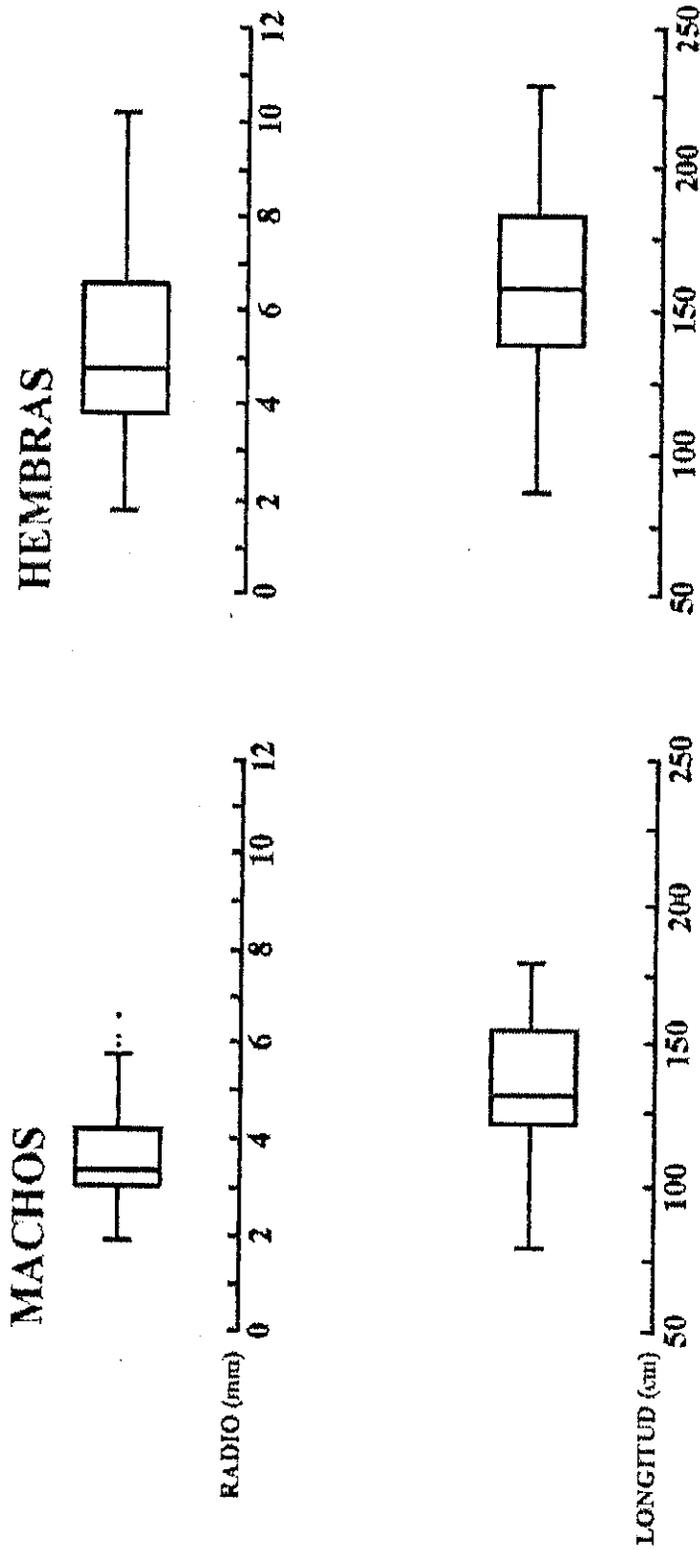


Figura 7. Análisis exploratorio de cajas de la regresión entre la longitud ojo-furca y el radio de la sección transversal del segundo rayo de la primera aleta anal del pez espada.

las regresiones (figura 8). Se obtuvieron las pruebas de significancia en las regresiones mediante ANOVAS (Zar, 1984). Para analizar las diferencias intersexuales del tamaño de los rayos, se realizó una comparación de las pendientes entre las regresiones obtenidas. Se aplicó el análisis de covarianza para tal efecto (Snedecor y Cochran, 1989).

Después de los análisis de regresión, se realizó el retrocálculo. Este método permite determinar las longitudes anteriores a cierta edad, con lo cual se puede establecer si hubo relación entre la estructura utilizada para determinar la edad y la longitud del pez (Everhart y Youngs, 1981). Las longitudes retrocalculadas (L_i) se obtuvieron con la ecuación de Fraser-Lee (Bagenal y Tesch, 1978; Busacker *et al.*, 1990). La ecuación es de la forma:

$$L_i = a + (L_c - a) \left(\frac{S_i}{S_c} \right)$$

donde:

L_i =Longitud del pez calculada a la edad i .

L_c =Longitud del pez al tiempo de captura.

S_c =Distancia desde el foco (radio) hasta el borde de la estructura.

S_i =Distancia del foco a la marca i .

a =Intercepto de la regresión.

Para describir los parámetros de crecimiento del pez espada, se ajustó el modelo de crecimiento de von Bertalanffy de longitud-edad (Bagenal y Tesch, 1978; Sparre *et al.*, 1989) con los datos promedio del retrocálculo, la ecuación es de la forma:

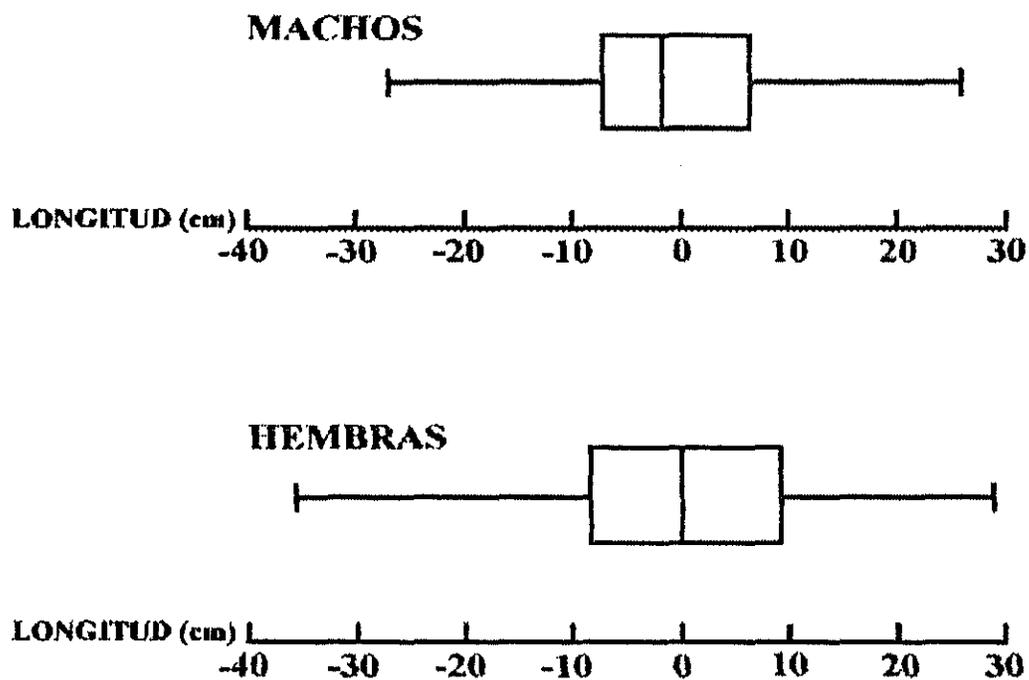


Figura 8. Análisis exploratorio de cajas de los residuos de la regresión entre la longitud ojo-furca y el radio del segundo rayo de la primera aleta anal del pez espada.

$$L_t = L_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

donde:

L_t =longitud del pez a la edad t , como una función de la longitud asintótica (L_{∞}) o máximo tamaño alcanzado.

k = es la medida de la velocidad de crecimiento a la cual la curva se aproxima al tamaño máximo asintótico.

t_0 =es el tiempo cuando la longitud teóricamente es cero.

Este modelo satisface dos criterios: se ajusta a los datos obtenidos de tamaño a cierta edad en peces y puede ser incorporado a los modelos de evaluación de recursos pesqueros en explotación (Gulland, 1969; Megrey y Weststad, 1988). El ajuste a las curvas de crecimiento de longitud-edad fue realizado mediante iteraciones con el programa FISHPARM.

Para el análisis de crecimiento de la relación peso-longitud, se utilizó el mismo programa y se aplicó la ecuación general de crecimiento alométrico :

$$w = aL^b$$

donde:

W =peso total del pez (kg)

L =longitud ojo-furca del pez (cm).

a =es una constante a determinar.

b =es el exponente a determinar.

Generalmente b puede tomar valores entre 2.5 y 3.5 en los peces. Valores fuera de este intervalo son considerados erróneos (Busacker *et al.*, 1990). Cuando este coeficiente es igual a 3, entonces se dice que el crecimiento es isométrico, es decir que el crecimiento del organismo no presenta cambios en sus proporciones y gravedad específica (Bagenal y Tesch, 1978; Royce, 1984).

III.3 Resultados.

III.3.1 Longitudes de los organismos.

Las longitudes ojo-furca de los organismos ($n=357$) fueron de 80 hasta 245 cm (figura 9). Los machos estuvieron representados desde 80 hasta 238 cm y las hembras de 90 a 245 cm. Se observaron varias modas de longitud y la más importante estuvo en la clase de 130 cm en ambos sexos.

Con el fin de tener una relación que permita comparar las longitudes ojo-furca (LOF) con las longitudes mandíbula inferior-furca (LMIF) de otros estudios del pez espada, se obtuvo la siguiente relación: $LMIF=1.065 (LOF)+10.304$ para las hembras ($r^2=0.99$, $p<0.0001$) y para los machos $LMIF=1.0603 (LOF)+10.022$ ($r^2=0.99$, $p<0.0001$).

III.3.2 Edad en los rayos.

La estructuración de las edades a partir de los rayos estuvo representada para las hembras desde 0+ a 9+ años y de 0+ hasta 7+ en los machos (figura 10). El PPE fue de 11.9 % y 12.9 %, primero y segundo lector respectivamente. La moda de las edades en ambos sexos quedó representada mayormente por los 3+ años para el pez espada de las capturas comerciales en Baja California.

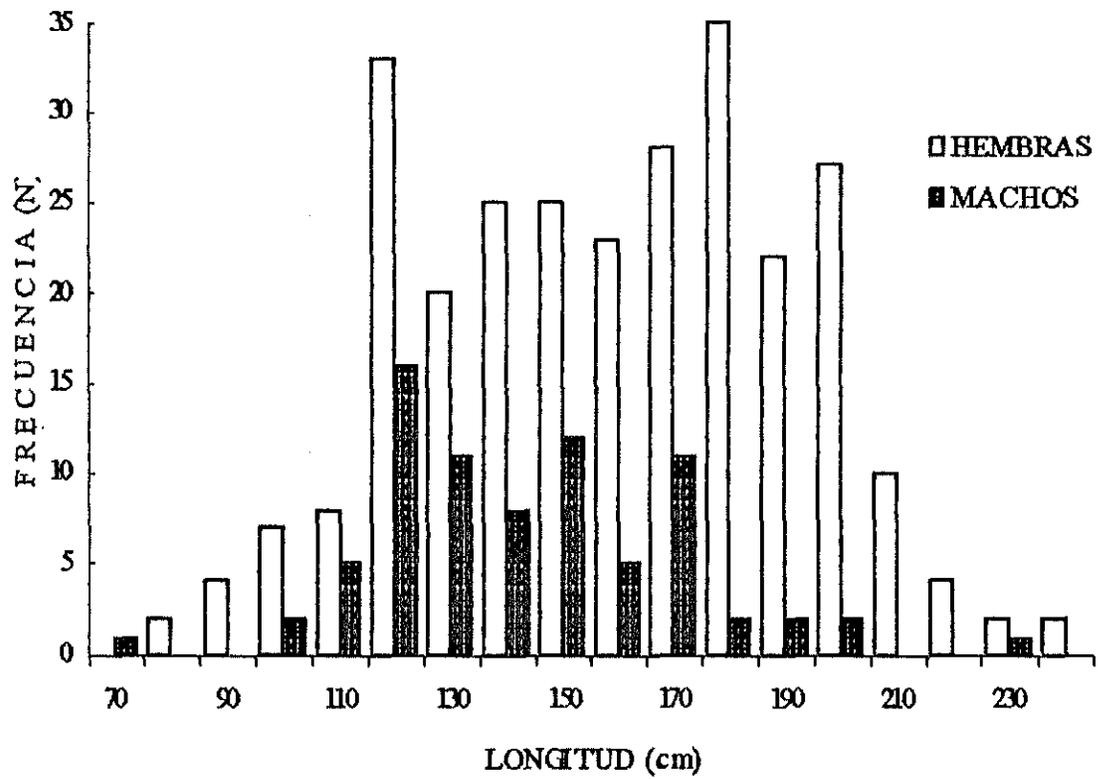


Figura 9. Frecuencia de los tamaños de clase de las longitudes (ojo-furca) del pez espada en Baja California. Machos $n=77$ y hembras $n=280$.

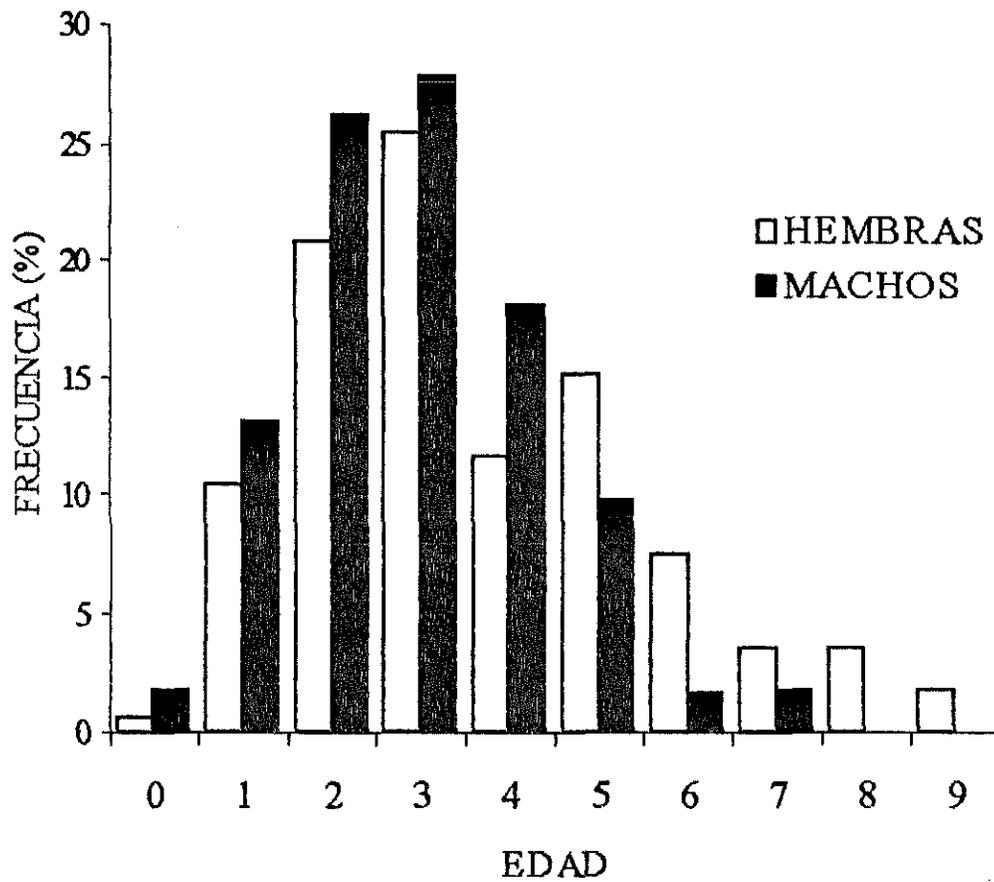


Figura 10. Frecuencia de edad (años) para el pez espada, estimada a partir de lecturas en radios de la primera aleta anal en hembras ($n = 173$) y machos ($n = 61$).

III.3.3 Peso y longitud de otolitos.

La comparación del peso entre la *sagitta* derecha e izquierda de los peces no mostró diferencias significativas ($t=0.95$, $p=0.34$). El intervalo total del peso en otolitos fue de 0.25-2.75 mg. En los machos fue de 0.25-1.75 mg y en las hembras fue mayor, 0.50-2.75 mg (figura 11). La diferencia de los pesos entre los otolitos de los machos ($n=24$) y hembras ($n=94$) fue significativa ($t=2.84$, $p=0.005$). La relación de la longitud de los peces con los pesos de los otolitos se ajustó al modelo alométrico de crecimiento (figura 12). El intervalo de la longitud rostral en los otolitos a partir del foco, fue de 1.25-3.75 mm, encontrándose a los machos ($n=22$) con un menor intervalo que las hembras ($n=77$), 1.25-3.0 mm y 1.25-3.75 mm, respectivamente.

III.3.4 Edad determinada por otolitos.

El intervalo de la lectura de edad en ambos sexos fue de 204 hasta 1329 anillos diarios, esas lecturas corresponden a 0.60 y 3.64 años respectivamente. Sólo 56 peces pudieron ser datados, esto representó el 47% de los otolitos analizados ($n=118$). El resto de los otolitos ($n=62$), con frecuencia los más grandes, presentaron problemas en las lecturas debido a que solamente una sección de la longitud rostral fue legible, siendo la porción más distal la que ofreció mayor problema en la lectura. Los anillos diarios disminuyeron su espaciamiento en otolitos más grandes y el mayor aumento del microscopio, 1000x, fue insuficiente para observarlos. Otro problema fue el oscurecimiento en algunas secciones de estos otolitos.

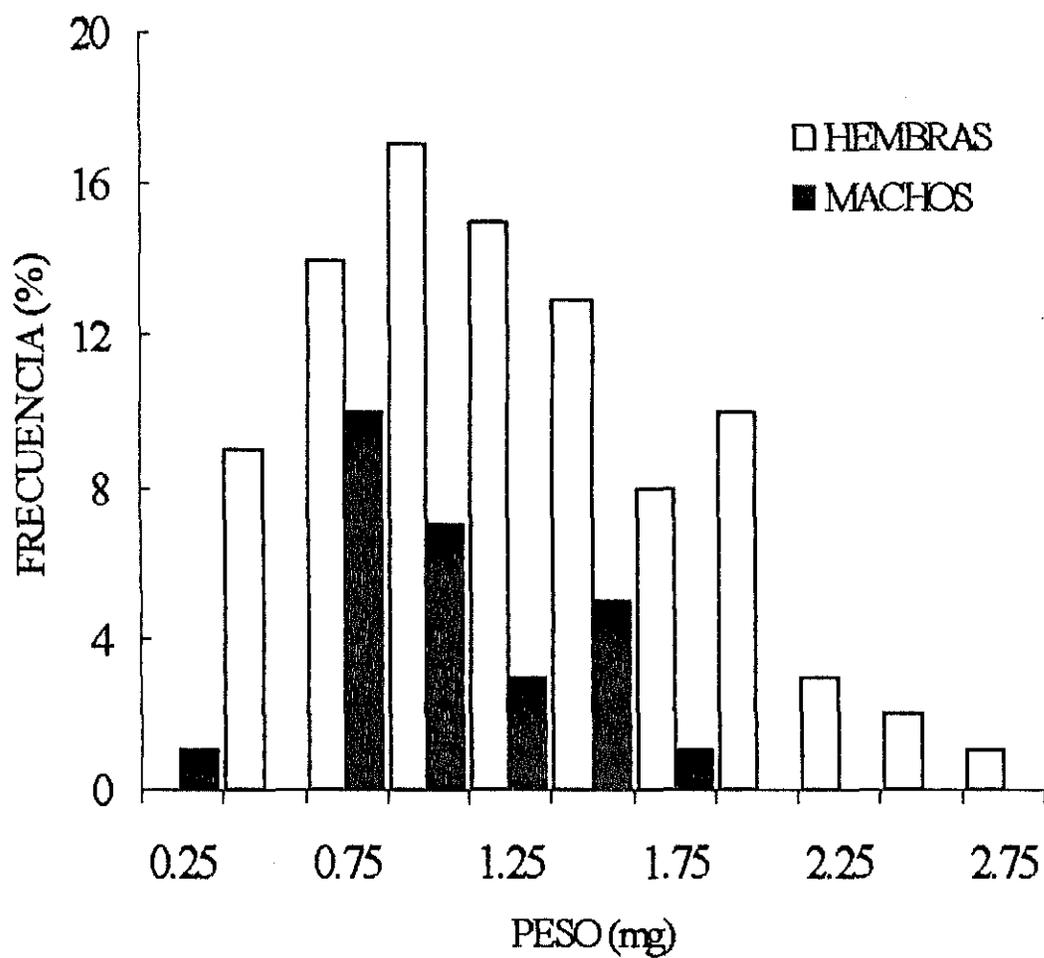


Figura 11. Frecuencia de pesos de los otolitos del pez espada, en machos (n=28) y hembras (n=92).

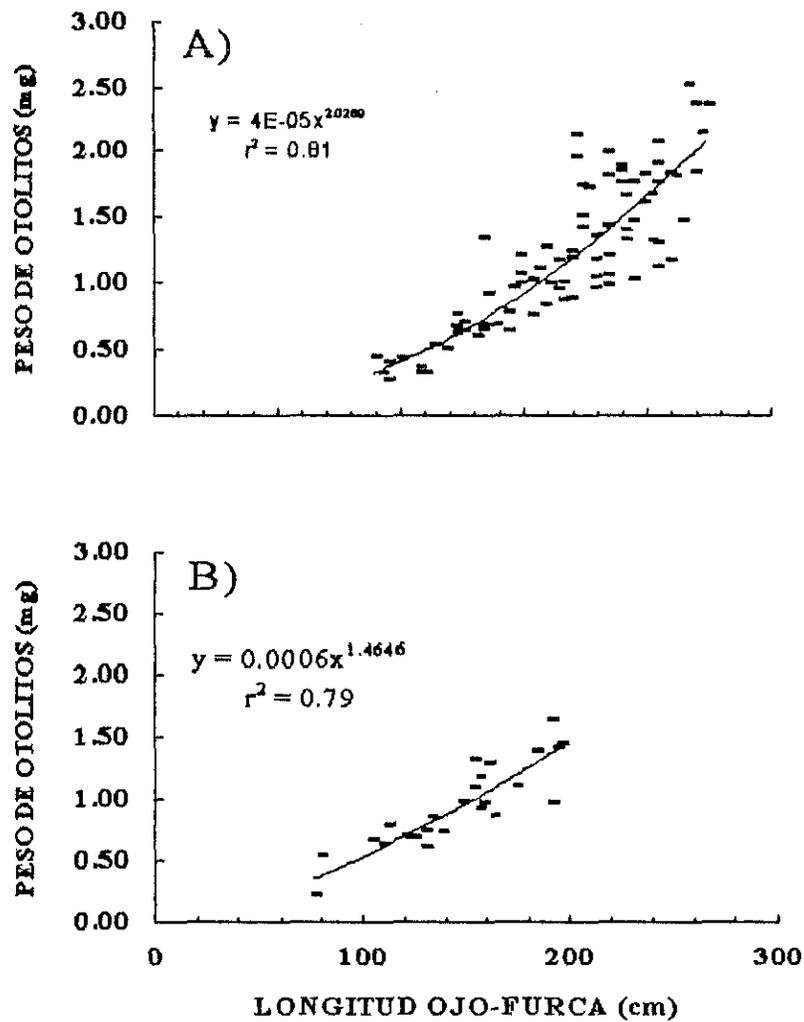


Figura 12. Relación entre el peso del otolito y la longitud del pez espada en A) hembras (n=89) y B) machos (n=28).

Análisis en los conteos: Se determinó que el porcentaje de error de las lecturas diarias fue de 5.7%. Mediante la prueba t no se detectaron diferencias en los conteos ($t=0.40$, $p=0.68$).

El barrido de los otolitos mediante el MEB no proporcionó evidencias consistentes de formación de “cordilleras”, a pesar de haber barrido diferentes tamaños y pesos. Por lo anterior, no se tuvieron resultados que pudieran ayudar a la determinación de edad con esa técnica. Por lo tanto, la técnica de microscopia de luz fue la más favorable.

III.3.5 Verificación de la edad.

Mediante las lecturas diarias en los otolitos se pudo asignar edad a los peces desde la clase de 0-0.99 hasta la de 3-3.99 años (figura 13). Este datado, comparado con las lecturas de los anillos en los rayos presentó una alta similitud en las dos primeras clases de edad: 0-0.99, 1-1.99 años. El porcentaje de similitud fue de 86%, 77% respectivamente. En las restantes clases de edad se obtuvieron similitudes menores del 60%. La alta similitud en estructuras en las dos primeras clases verifica las lecturas de edad de los peces jóvenes de 0 a 2 años de edad e indica que los anillos de crecimiento en los rayos reflejan una temporalidad anual, que podría ser considerada como una validación indirecta.

Estos resultados apoyan la utilidad práctica de las lecturas de otolitos sólo para el datado de peces jóvenes e indican que los conteos diarios en otolitos subestiman después de los tres años, como se puede observar de las comparaciones entre rayos y otolitos (Figura 14). Aquí es interesante considerar que el datado con el método de las lecturas en

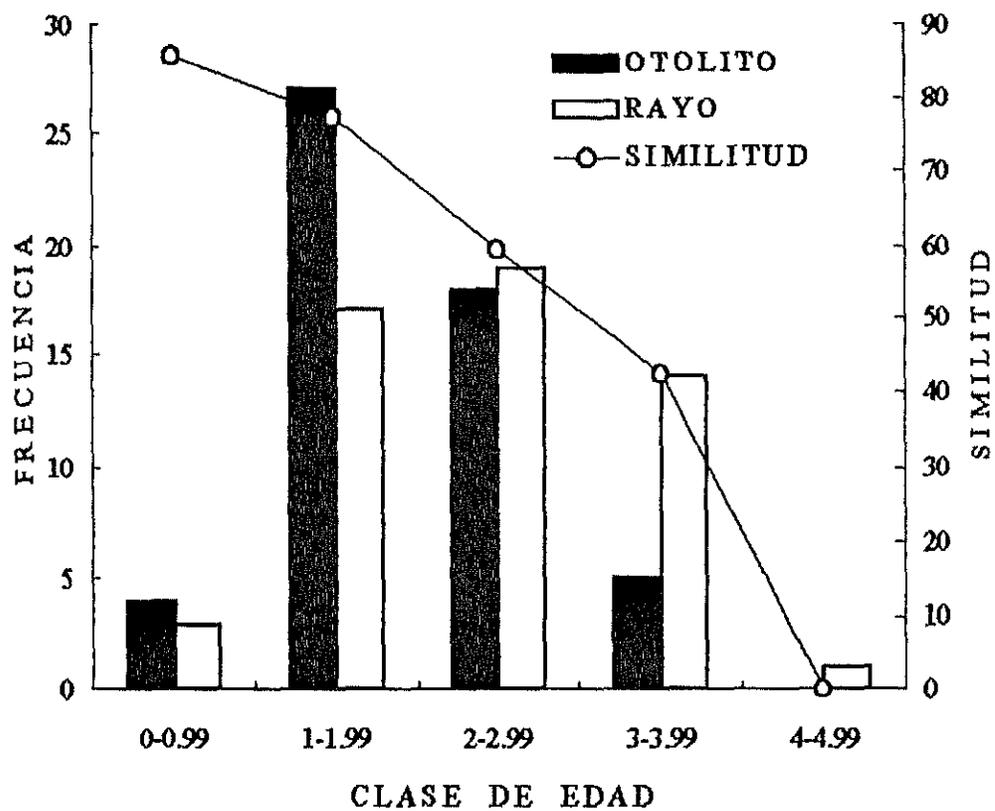


Figura 13. Frecuencia (N) y similitud (%) entre las estimaciones de edad obtenidas a partir de otolitos y rayos en el pez espada.

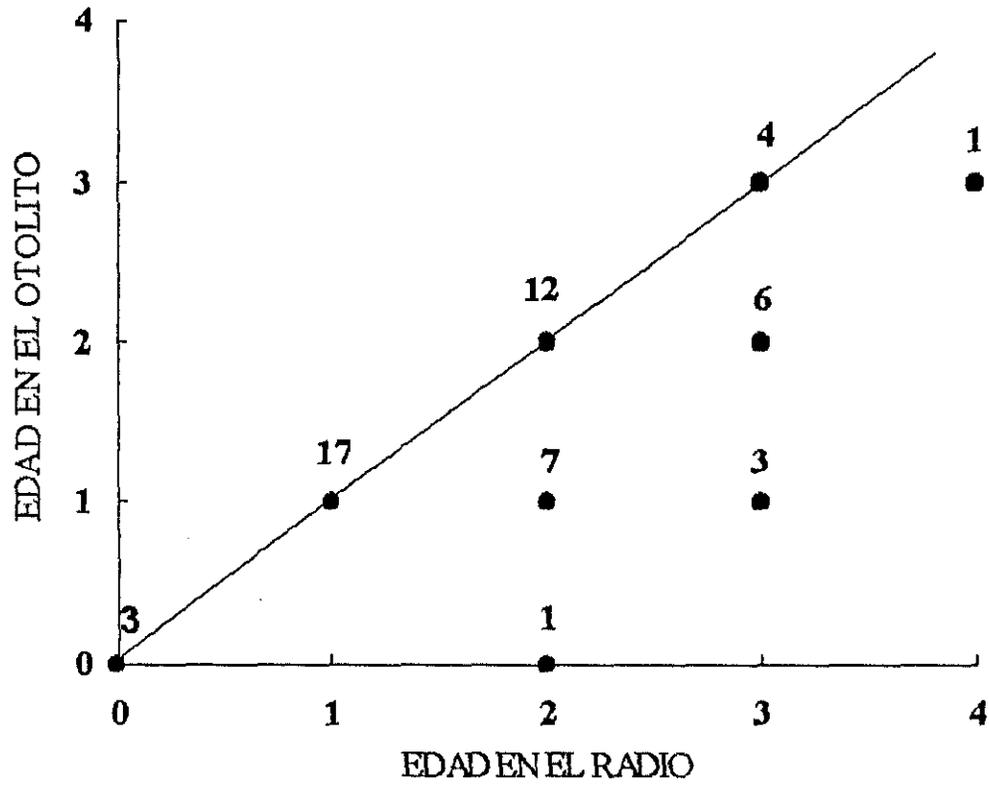


Figura 14. Coincidencia entre las edades determinadas (años) con otolitos y rayos de la aleta anal. La pendiente representa el 100% de coincidencia y los números arriba de los puntos representa el número de observaciones.

rayos, ofrece la confiabilidad de la asignación de edad a peces más viejos mediante el conteo de marcas anuales.

III.3.6 Crecimiento.

La relación lineal entre las longitudes de los peces y el radio de la sección transversal de los rayos fue altamente significativa (tabla I) para machos y hembras (figura 15A y B).

La diferencia entre pendientes, mediante el análisis de covarianza no fue significativa (tabla II). A pesar de esto se realizó el análisis de retrocálculo separadamente por la diferencia de tamaño de los radios entre sexos.

El retrocálculo mostró que las longitudes promedio, así obtenidas, no presentaron grandes variaciones (tabla III). La desviación estándar fue menor de seis y tres centímetros en todos los grupos de edad, para hembras y machos respectivamente. Se observó que la longitud de retrocálculo fue notoriamente mayor en hembras que en machos. Por ejemplo se nota una diferencia de longitud de 13 cm entre las hembras y machos de un año, 15 cm para los dos años y así sucesivamente.

El ajuste al modelo de crecimiento de longitud edad de von Bertalanffy dió como resultado las siguientes estimaciones:

Hembras:

$$L_t = 263.7(1 - e^{-0.1162(t+4.05)})$$

Tabla I. Análisis de varianza de la regresión entre el radio de la sección transversal del segundo rayo de la primera aleta anal con la longitud ojo-furca del pez espada.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
A) Hembras					
Regresión	1	136790.01	136790.01	775.10	<0.001
Residual	190	33530.54	176.48		
Total	191	170320.55			
B) Machos					
Regresión	1	17206.85	17206.85	120.09	<0.001
Residual	60	8596.95	143.28		
Total	61	25803.80			

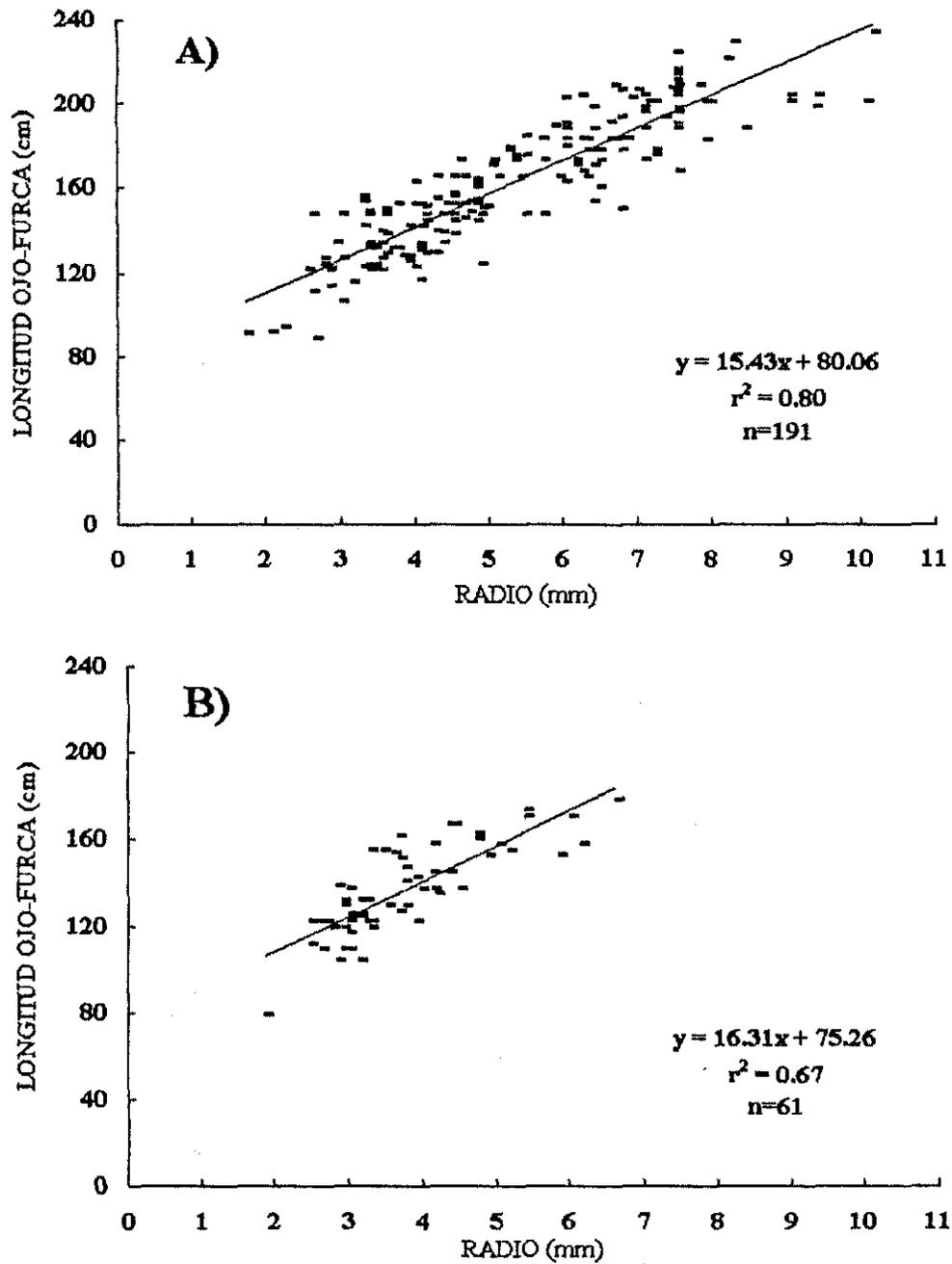


Figura 15 Regresión entre la longitud ojo-furca y el radio de la sección transversal del segundo rayo de la primera aleta anal del pez espada. A) Hembras; B) Machos. Ver residuales en métodos.

Tabla II. Análisis de covarianza para la comparación entre sexos de las líneas de regresión del radio de la sección transversal del rayo de la aleta anal con la longitud ojo-furca del pez espada.

	gl	ΣX^2	ΣXY	ΣY^2	Coef. de regres.	Desviaciones de la regresión		
						gl	Suma de cuad.	Media cuad.
Hembras	191	5962	173453	5199955	15.4	190	3353.0	176.5
Machos	60	919	32291	1167700	16.4	59	8596.9	145.7
						249	42127.4	169.2
Combinados	251	6880	205743	636755	15.7	250	41625.7	166.5
Diferencia entre pendientes						1	501.7	501.7
Comparación entre pendientes: $F=501.7/169.2=2.965$ (gdl=1,249)								
$P>0.05$								

Tabla III. Longitudes ojo-furca promedio (cm) en hembras y machos del pez espada, basadas en el retrocálculo.

HEMBRAS		GRUPO DE EDAD								
n	EDAD	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+
18	1+	110								
36	2+	118	130							
44	3+	117	133	147						
20	4+	119	138	153	167					
26	5+	120	136	151	166	179				
13	6+	117	135	148	162	174	186			
6	7+	115	129	144	156	168	180	184		
6	8+	118	132	146	158	169	179	196	203	
3	9+	121	134	146	155	168	180	188	198	206
n=172	PROMEDIO	117	133	148	161	172	181	189	200	206
	DESV. EST.	3.26	2.84	3.16	4.84	4.77	3.36	5.68	4	-

MACHOS		GRUPO DE EDAD						
n	DE EDAD	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+
8	1+	106						
16	2+	106	119					
15	3+	108	121	135				
11	4+	108	120	132	141			
6	5+	106	120	131	142	152		
1	6+	101	115	128	139	147	161	
1	7+	104	114	126	136	147	158	168
n=58	PROMEDIO	104	118	130	139	149	159	168
	DESV. EST.	-	2.50	2.80	2.26	3.26	2.5	1.85

Machos:

$$L_t = 273.2 (1 - e^{-0.077(t+5.20)})$$

Los parámetros de crecimiento fueron diferentes entre ambos sexos, el valor de k fue mayor para las hembras (0.1162) que para los machos (0.077). L_∞ fue mayor en los machos, 9.5 cm más que las hembras. Ambas curvas de crecimiento basadas en el retrocálculo presentaron un buen ajuste (tabla IV) al modelo de von Bertalanffy (figura 16).

Tomando como base el ajuste al modelo de von Bertalanffy, las tasas de crecimiento en ambos sexos, muestran que son mayores durante los primeros años en ambos sexos (tabla V). Esta tasa de crecimiento, para edades entre 1 y 2 años en las hembras, corresponde a 16.07 cm/año. En los machos es menor, 12.62 cm/año, en ese mismo intervalo. De los resultados, como era de esperarse se observó que existe una disminución gradual del crecimiento a medida que el pez presenta mayor edad. Típicamente en los organismos acuáticos el crecimiento es mayor en su etapa de vida inicial y posteriormente disminuye (Royce, 1984).

III.3.7 Análisis de peso-longitud.

Para las hembras, las longitudes ojo-furca y pesos obtenidos en 1993, fueron de 114 a 245 cm y de 28 a 272 kg. En los machos el intervalo de longitud fue de 127 a 187 cm y el peso de 31 a 120 kg. Estos datos fueron ajustados al modelo de crecimiento alométrico (figura 17). Este ajuste fue altamente significativo para ambos, machos y hembras (tabla VI).

Tabla IV. Análisis de varianza del ajuste al modelo de crecimiento de von Bertalanffy para el pez espada.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
A) Hembras					
Modelo	3	259698.93	865566.31	856996.35	<0.001
Residual	6	6.07	1.01		
Total	8	7366.22			
B) Machos					
Modelo	3	136663.62	45554.54	53593.58	<0.001
Residual	4	3.38	0.85		
Total	6	3082.86			

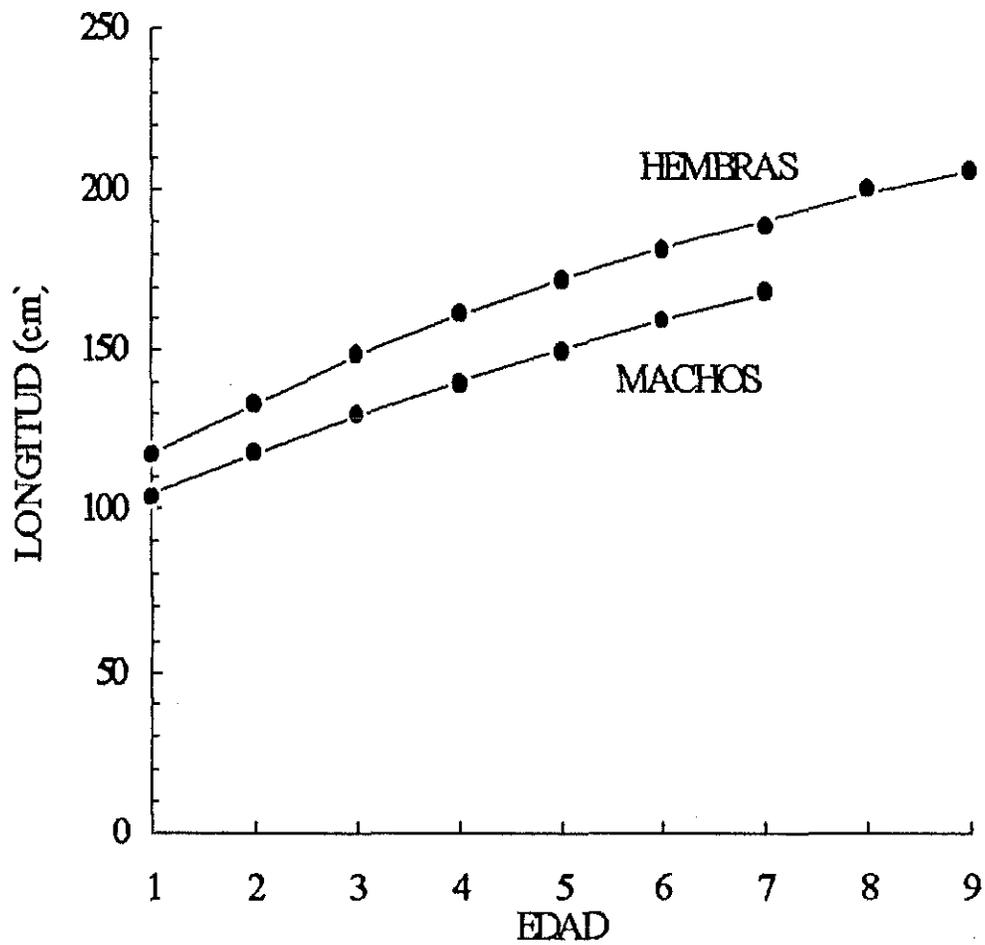


Figura 16. Curvas de crecimiento para ambos sexos del pez espada a partir de la relación longitud ojo-furca con la edad. Los puntos representan los valores de retrocálculo y las líneas muestran el ajuste del modelo de von Bertalanffy.

Tabla V. Tasa de crecimiento del pez espada como una función de la edad, determinada de las curvas de crecimiento de von Bertalanffy.

EDAD (t) años	LONGITUD L (t) cm	TASA DE CRECIMIENTO $L(t+1)-L(t)$ cm/año	LONGITUD MEDIA $L(t+1)+L(t)/2$ (cm)
HEMBRAS			
1	117.18		
2	133.25	16.07	125.21
3	147.56	14.31	140.405
4	160.30	12.74	153.93
5	171.64	11.34	165.97
6	181.73	10.09	176.69
7	190.72	8.99	186.22
8	198.73	8.01	194.77
9	205.85	7.12	202.30
MACHOS			
1	104.66		
2	117.28	12.62	110.97
3	128.96	11.68	123.12
4	139.76	10.80	134.36
5	149.76	10.00	144.76
6	159.00	9.24	154.38
7	167.56	8.56	163.28



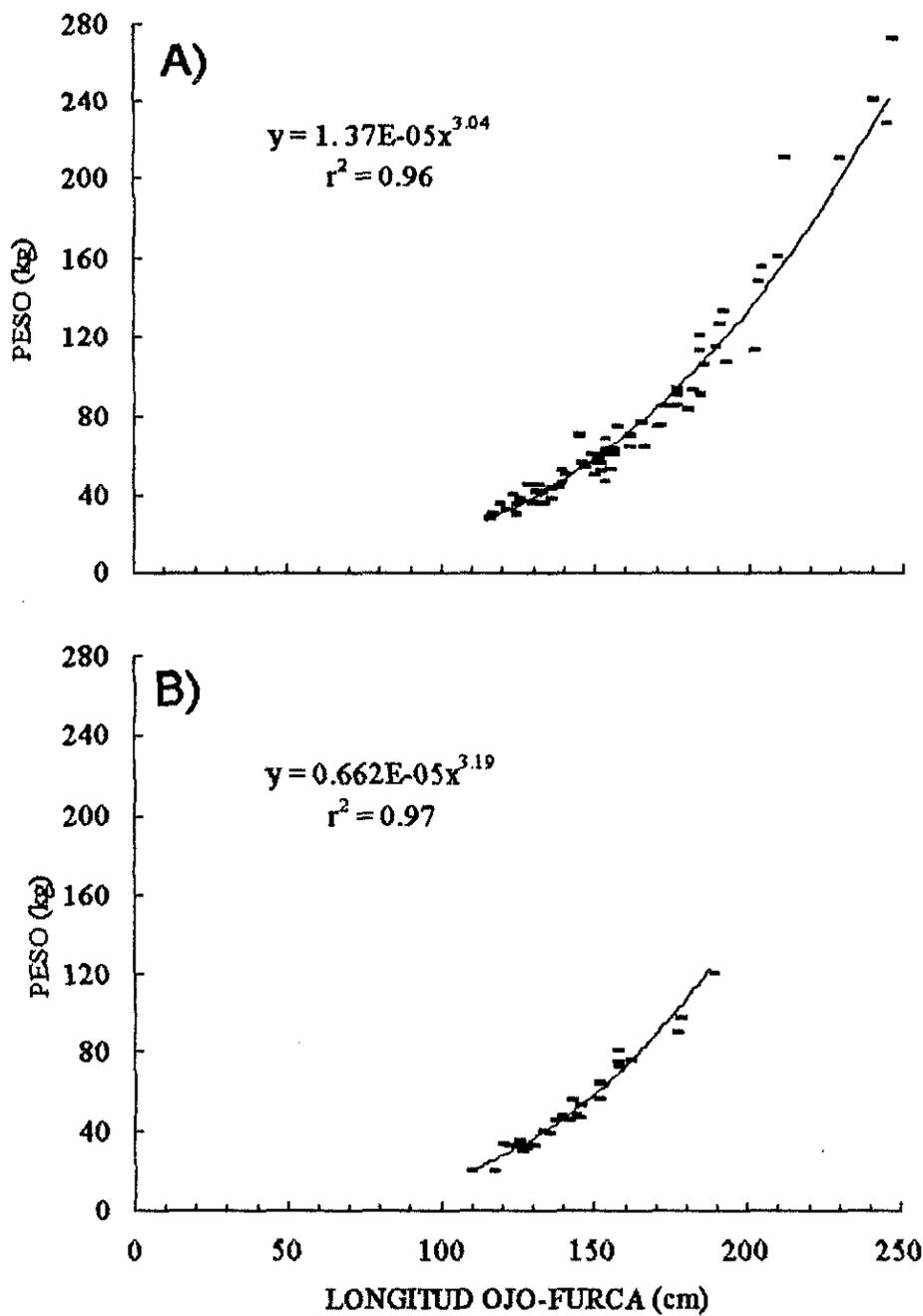


Figura 17. Relación entre el peso total corporal y la longitud del pez espada en A) hembras (n=77) y B) machos (n=29).

Tabla VI Análisis de varianza del modelo alométrico de crecimiento, peso-longitud, para el pez espada.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
A) Hembras					
Modelo	2	670691.28	335345.64	3307.16	< 0.001
Residual	75	7064.72	101.40		
Total	77	678296.00			
B) Machos					
Modelo	2	91402.53	45701.27	2233.69	< 0.001
Residual	27	552.47	20.46		
Total	29	91955.00			



Los parámetros de la relación alométrica de crecimiento fueron:

$$\text{Hembras: } W = 1.37 \times 10^{-5} L^{3.04}$$

$$\text{Machos: } W = 6.62 \times 10^{-6} L^{3.19}$$

III.4 Discusión.

En los peces, la verificación de edad se logra mediante la comparación de lecturas entre estructuras. En este sentido, la interpretación numérica de patrones de crecimiento en estructuras óseas es importante, pues esto constituye una buena aproximación a la edad en los peces (Casselman, 1983; Wilson *et al.*, 1983). De acuerdo con lo anterior, las altas similitudes de la comparación de edad entre lecturas diarias de otolitos con las marcas anuales en los rayos, apoyaron la verificación de la edad del pez espada.

Por otro lado, uno de los problemas a resolver por los biólogos pesqueros es la validación de edad en peces sujetos a explotación, o propiamente dicho, la medición de edad en términos de tiempo absoluto. Un mal datado de los peces, puede conducir a errores en las evaluaciones de los stocks explotables (Beamish y McFarlane, 1983; Hancock, 1992). Sin embargo, la tarea de asignación de edad es difícil de llevar a cabo en peces silvestres, o en depredadores que tienen grandes movimientos oceánicos, pues se imposibilita su mantenimiento en laboratorio para dichos propósitos.

En ausencia de una validación directa en peces silvestres, podrían incorporarse alternativas a dicho proceso. Panella (1971) ha evidenciado las formaciones diarias, o anillos microestructurales en otolitos de peces, reforzando la importancia que tienen para los propósitos de datado. Los otolitos con sus formaciones diarias son una herramienta

esencial que puede ser aplicada en la determinación de edad en peces (Campana y Nelson, 1985). Prince *et al.* (1988) presentaron resultados preliminares para el datado del pez espada del Atlántico, ellos efectuaron conteos en otolitos para organismos de 32 a 50 días de edad y enfatizaron la necesidad de investigación en peces mayores, utilizando dicha estructura. De acuerdo con los resultados de alta similitud entre las lecturas diarias en los otolitos del pez espada con la de sus rayos, se propone que esta comparación de estructuras es una medida indirecta de validación de las marcas anuales de crecimiento en los rayos. En este sentido, el datado de peces más viejos puede llevarse a cabo con la lectura en rayos.

Otro requerimiento en los procedimientos de determinación de edad, es la elección de la estructura que permita obtener información a bajo costo y en poco tiempo. Con frecuencia, en las evaluaciones de poblaciones explotables se requiere de información rápida de edad de los peces para la toma de decisiones. Los otolitos, como se demuestra, presentan la desventaja de no ser confiables para edades mayores a dos años, además de llevar mucho tiempo en su análisis. Por tal motivo, para propósitos prácticos una alternativa apropiada podrá ser el uso del segundo rayo de la aleta anal para el datado del pez espada.

Las edades determinadas con los rayos para la pesquería de Baja California presentan un intervalo de edades similar a la de la pesquería de Florida en el Atlántico (Berkeley y Houde, 1983). Aunque la edad y el crecimiento en peces es diferente entre áreas geográficas distantes, Berkeley y Houde (1983) , encontraron una edad máxima de once años con una moda de dos años; En Baja California se encontró una moda de tres

años de edad y máxima de nueve. Esto se contrapone con las máximas edades reportadas por otros autores.

Con la técnica del conteo de formaciones externas mediante el MEB, Radtke y Hurley (1983) encontraron edades máximas de 32 años en las hembras y 15 en machos. En el pez espada de Baja California, la aplicabilidad de dicho método es cuestionable ya que no se encontraron formaciones externa consistentes, ni edades de tal magnitud. Hill y Cailliet (1990) encontraron una alta variabilidad en el datado del marlín azul del Pacífico con la técnica del MEB al compararla con las edades obtenidas con las espinas dorsal y anal. Estos resultados los hicieron pensar en una incorrecta interpretación de la cuantificación externa en los otolitos. Lo cual reforza que la cuantificación interna de anillos, aunque solo para los primeros dos años, es la correcta.

Para el pez espada del Pacífico, la carencia de formaciones externas consistentes comparada con la consistencia de la microestructura interna en el plano rostral del otolito, proporciona evidencia que el crecimiento y las formaciones periódicas en dicha estructura son sobre este, a lo largo de su longitud. Por lo tanto, se descarta la lectura bajo el MEB, para el pez espada del Pacífico.

Los análisis aquí presentados revelan que existen varios aspectos importantes sobre los parámetros de crecimiento obtenidos. Kume y Joseph (1969) han reportado que las longitudes ojo-furca en las hembras de la pesquería Japonesa de palangre en el Pacífico es mayor que en los machos (280 vs 215 cm.). Esta diferencia también se presentó en el análisis de crecimiento del pez espada de Baja California.

La estimación de $L_{\infty}=263.7$ cm para hembras del pez espada de la pesquería de Baja California, es una aproximación razonable a la máxima observada (250 cm). Sin

embargo, los valores obtenidos para machos ($L_{\infty}=273.2$ cm y observada de 239 cm) sugieren que estos alcanzan una longitud infinita mayor que las hembras. Esto se contrapone con lo esperado, posiblemente debido al tamaño de muestra. Hay autores que opinan que el L_{∞} no refleja la realidad biológica de las especies debido a varias causas, entre las cuales destaca la carencia de organismos viejos en la muestra (Moreau, 1987). Por otro lado, las discrepancias entre los valores de L_{∞} y los observados podrían reflejar errores en la asignación de la edad cuando estas fueran grandes (Radtke y Hurley, 1983). Sin embargo, las comparaciones aquí efectuadas llevan a la conclusión que tanto la asignación de edad y el ajuste al modelo de von Bertalanffy constituyeron una buena aproximación.

Otro de los parámetros de crecimiento con un significado biológico importante es el valor de k , ya que está directamente relacionada con la tasa de crecimiento de los peces. Sparre *et al.*, (1989), mencionan que especies con un bajo valor de k son más longevas y necesitan un mayor tiempo para alcanzar L_{∞} . El valor de k obtenido para el pez espada y el L_{∞} alejado de los valores observados sugieren que efectivamente el pez espada puede ser una especie longeva y que las hembras tienen una mayor tasa de crecimiento que los machos ($k=0.116$ vs $k=0.077$).

Las diferencias en las tasas de crecimiento entre machos y hembras nos hace pensar que los machos alcanzan su nivel de crecimiento asintótico a mayor edad que las hembras. En el Océano Pacífico no se tiene un análisis similar al presente, que sirva de punto comparativo para los resultados. Se han realizado esfuerzos por obtener

estimaciones de edad y crecimiento en Hawai, pero limitados por la imposibilidad de validar las edades del pez espada para esa área (Uchiyama *et al.*, 1994).

La relación peso-longitud, es acorde a los valores propuestos para el modelo de crecimiento isométrico en peces, $b=3$ indica un resultado excepcional, en donde los peces crecen sin cambios en su forma y gravedad específica, aunque valores de 2 a 3.5 se encuentran comúnmente (Royce, 1984).

Hanan *et al.* (1993) mencionan que el conocimiento de la relación peso-longitud para peces espada del Pacífico es muy limitado. Skillman y Yong (1974) con siete organismos, reportaron un valor de $b=3.53$. Los autores utilizaron la longitud total, incluyendo el pico de los peces y no especifican el peso utilizado en el ajuste. Este valor no fue considerado indicativo de isometría en el pez espada, pues probablemente fue insuficiente el número de muestras para el cálculo de dicho valor. La relación peso-longitud obtenida en el presente estudio es más confiable, pues está basada en el peso de 107 hembras y 29 machos. La relación peso-longitud en picudos es necesaria para convertir las estadísticas de captura de peso a longitud y determinar la composición de tamaños de captura en los desembarques (Kume y Joseph, 1969; Pauly, 1984).

El crecimiento puede diferir entre poblaciones explotables y aún entre el sexo de los peces dentro de una población (Sparre *et al.*, 1989). Esto se puede observar al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los peces del Atlántico (tabla VII). Berkeley y Houde (1983) reconocen que existe una necesidad de estudios adicionales en el datado del pez espada para uniformizar resultados. Sin embargo, si se trabaja con diferentes poblaciones bajo diferentes condiciones ambientales, las diferencias pueden deberse a la variabilidad interpoblacional. De esta forma, la comparación entre los peces

TABLA VII. Comparación de longitudes mandíbula inferior-furca (cm) del pez espada con datos del Atlántico y de este estudio, calculadas con el modelo de von Bertalanffy. Datos del Atlántico [1-3] tomados de Berkeley y Houde (1983).

Edad estimada	MACHOS				HEMBRAS			
	[1]	[2]	[3]	Este estudio	[1]	[2]	[3]	Este estudio
1	97.2	116.9	84.0	120.9	98.0	122.9	73.0	134.6
2	118.5	123.3	98.0	134.4	119.9	130.6	95.0	151.6
3	136.0	130.2	110.0	146.8	139.7	138.8	114.0	166.8
4	150.4	137.4	122.0	158.2	157.8	147.5	131.0	180.3
5	162.3	145.0	133.0	168.8	174.3	156.8	147.0	192.3
6	172.0	153.0	143.0	178.7	189.3	166.6	160.0	203.0
7	180.0	161.5	153.0	188.8	202.9	177.1	172.0	212.5
8	186.6	170.4	161.0	-----	215.3	188.2	183.0	210.1
9	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	228.7

de Baja California con los del Atlántico debe tomarse sólo como referencia de diferencias interpopulacionales, lo cual ha sido evidenciado genéticamente (Alvarado-Bremer *et al.*, 1994).

El análisis de edad del pez espada, y la proposición de su validación indirecta en Baja California han apoyado fuertemente el análisis de crecimiento presentado en este estudio. Estos resultados deberán ser comparados con estudios futuros en el Pacífico para evaluar diferencias entre las poblaciones. Actualmente, los conocimientos de la estructura poblacional apuntan hacia diferencias entre las poblaciones explotables en el Pacífico Norte. Grijalva-Chon (1995) ha detectado evidencias de una diferenciación poblacional entre el pez espada capturado en Baja California y Hawai. De ser así, se deberán tomar medidas en un futuro inmediato para conservar el recurso en el stock del Pacífico occidental. Este tipo de medidas deben de ser desarrolladas por los grupos de interés y organismos gubernamentales correspondientes.

IV. ANÁLISIS DE MADUREZ.

IV.1 Introducción.

Xiphias gladius es una especie pelágica catalogada dentro del grupo de peces que presentan amplios movimientos transoceánicos, por lo que se le ha caracterizado dentro de las especies altamente migratorias (Joseph, 1983; Medina-Mora, 1988), estas especies cumplen con un esquema de migraciones dentro de su ciclo de vida. Nikolsky (1963) resume que el ciclo de migraciones en peces se lleva a cabo para actividades de desove, alimentación e hibernación.

Para el pez espada, con su distribución en todo el Pacífico, dicho patrón de movimientos no ha sido del todo establecido. Típicamente, cinco áreas frontales en el Pacífico, caracterizadas por su alta productividad, han soportado las pesquerías de este picudo (Sakagawa, 1989). Esta distribución podría estar ligada al patrón migratorio dentro de su ciclo de vida para actividades de reproducción y de alimentación.

La reproducción de *X. gladius* ha sido descrita espacialmente con base en la abundancia de sus larvas, índice gonádico (IG) y análisis histológico de sus gónadas. Con la distribución de sus larvas se han caracterizado áreas mayores de desove desde los 20°N a 20°S en el Pacífico tropical (Grall *et al.*, 1983; Nishikawa *et al.*, 1985). Se han reportado áreas de reproducción de acuerdo a las concentraciones larvales al oeste de las Islas Hawai (Nishikawa *et al.*, 1985) y por medio del IG, Uchiyama y Shomura (1974) reportaron valores altos correspondientes a hembras a punto de desove en Hawai de abril a julio. Los autores

concluyeron que en ese período se podría reflejar una mayor actividad de reproducción de *X. gladius*.

Sosa-Nishizaki (1990) presentó un análisis más profundo sobre del estado de madurez basándose en la información de la flota palangrera japonesa en el Pacífico. Así, estableció cuatro regiones con altos IG en hembras: a) La región ecuatorial; b) La del norte del Pacífico central, en aguas alrededor de Hawaii; c) En el Mar del Coral y d) El área entre los 10°N y 30°S, del Pacífico noreste, al Sur de Baja California.

A pesar que Sosa-Nishizaki (1990) reportó hembras maduras del pez espada en aguas distantes del sur de Baja California (10°N y 30°S) y también Nakano y Bayliff (1992) a los 95°W, entre 25°N y 15°S, no se podría inferir con esta información el estado de madurez de la especie para la región más al norte, frente a Baja California, donde se realiza la pesca comercial mexicana.

En aguas frente al Sur de California, a través del análisis histológico de las gónadas, no se han encontrado evidencias de hembras en condiciones de desove (Weber y Goldberg, 1986). Nakano y Bayliff (1992) enfatizan la necesidad de estudiar la madurez del pez espada en las aguas mexicanas donde se lleva a cabo la actividad pesquera. De esta manera, el esquema de información de la actividad reproductora del pez espada para el Pacífico Noreste está incompleto, limitando el conocimiento de la dinámica de la especie. Esto ha creado la necesidad de plantear los siguientes objetivos: a) Diagnosticar el grado de madurez de *X. gladius* en las capturas comerciales de la flota de Baja California, b) Efectuar el análisis espacio-temporal del estado de madurez y c) Efectuar un análisis comparativo de los resultados del IG y la madurez histológica.

IV.2 Materiales y métodos.

La madurez del pez espada fue analizada mediante dos métodos: análisis del IG y análisis histológico de las gónadas. El análisis del IG expresa la relación existente entre el peso de ambos ovarios o testículos con la longitud o peso del organismo. El IG es una medida que proporciona sólo una aproximación a la madurez en peces, mientras que el análisis histológico es una técnica con la resolución adecuada para determinar el estado de madurez, mediante la observación y valoración directa de las células reproductoras, y además valida el IG (Hunter y Macewicz, 1985; Schaefer, 1987; Cayré y Laloé, 1986).

Con propósitos comparativos, se utilizó el IG de acuerdo con Kume y Joseph (1969), quienes cuantificaron el IG del pez espada en la pesquería japonesa del Pacífico. Tradicionalmente se hace referencia a dicho trabajo, para propósitos pesqueros, pues se propone un IG= 3.0 para organismos a punto de desovar. IG se define como:

$$IG_A = \left(\frac{PG}{LOF^3} \right) 10^4$$

donde:

IG_A = Índice gonádico, de acuerdo a Kume y Joseph (1969).

PG= Peso de gónadas en gramos (ovarios o testículos).

LOF= Longitud ojo-furca en cm.

10^4 = Es un factor relacionado a las unidades utilizadas.

Otra forma de cálculo del IG para evaluar la madurez en el pez espada, ha sido analizando el peso en fresco de los peces completos. Uchiyama y Shomura (1974) presentan resultados, validandolo con mediciones de los estadios de maduración de la ova del pez espada, capturado en Hawai. Con este procedimiento los autores encontraron valores de IG de 5.88 a 8.40 como indicativos de organismos a punto de desovar. La ecuación es la siguiente:

$$IG_B = \left(\frac{PFO}{PFP} \right) 100$$

donde:

IG_B = Índice gonádico, de acuerdo a Uchiyama y Shomura (1974).

PFO = Peso en fresco en kg de ambos ovarios ó testículos.

PFP = Peso en fresco del pez en kg.

Las expresiones IG_A y IG_B no son comparables, pues la primera está calculada con base en unidades de peso y longitud, mientras que la segunda es con el peso de las gónadas y peso del pez. En este sentido IG_A se da en unidades de peso por volumen y IG_B es un índice expresado en porcentaje, sin unidades.

Se analizaron las diferencias entre ambas metodologías para tener una base de comparación sólida con la presente investigación. Se tomaron datos de Kume y Joseph (1969) y se hizo una evaluación utilizando ambas fórmulas. Los datos tomados fueron peso de gónadas y longitud de los peces. Para convertir la longitud a peso corporal de los peces

se aplicó la ecuación alométrica de crecimiento determinada en el capítulo III de esta tesis. Con $W=1.37 \times 10^{-5} L^{3.01}$ se obtuvieron los pesos corporales en las hembras.

Para el análisis del IG_A , las gónadas (154 hembras y 46 machos) fueron preservadas en formalina al 5% y pesadas en el laboratorio. Se utilizó una balanza Ohaus con capacidad de 2,610 gramos y sensibilidad de 0.1g. No siempre se trajeron al laboratorio las gónadas completas, lo cual se ve reflejado en la cantidad de organismos analizados en cada método. En la valoración del IG se debe tener el peso completo de ambos ovarios y testículos y para el análisis histológico la calidad en la preservación del tejido debe ser óptima.

El sexo se determinó primero macroscópicamente de acuerdo al aspecto externo de la gónada. Las gónadas de las hembras son de mayor tamaño y se distinguen de los testículos de los machos por su forma cilíndrico-ovalada y gran volumen, mientras que para los machos son aplanadas, alargadas y de menor peso y tamaño (Palko *et al.*, 1981). La proporción de sexos fué analizada estadísticamente mediante una prueba de Ji cuadrado (Zar, 1984).

Para determinar cambios temporales, los datos de IG_A en hembras y machos se agruparon estacionalmente. Los valores de IG_A de estos peces fueron analizados para probar homogeneidad de varianza mediante la prueba de Bartlett (Zar, 1984) y posteriormente se efectuó el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (K-W). Los resultados se discuten a la luz del análisis del IG_A con los resultados histológicos. Se propone hacer una conversión entre los valores de IG_A e IG_B .

El análisis histológico se realizó así: corte transversal de una submuestra de tejido del ovario o testículo; proceso de deshidratación del mismo; inclusión en parafina; corte al

microtomo; montaje y proceso de tinción con hematoxilina-eosina. Los detalles de todos estos procedimientos se encuentran descritos en Humason (1967) y Blackith y Kovoov (1976).

El análisis histológico fue realizado separadamente en hembras (n= 143) y machos (n=63). Con el objeto de detectar maduración diferencial en la gónada, se submuestreó por triplicado tomándose secciones transversales de la porción anterior, media y posterior de los ovarios y testículos. Se hicieron dos preparaciones por cada réplica, (portaobjetos con tejido), es decir seis preparaciones por pez. Cada una de las preparaciones, contuvo tres o más secciones seriadas de tejido de un espesor de 5 μ .

La valoración histológica de madurez en hembras fue realizada mediante la escala de desarrollo del I-V propuesta por Hunter y Macewicz (1985). Esta escala se basa en la observación al microscopio de las fases de desarrollo de los ovocitos. La descripción precisa de cada etapa se encuentra explicada en Hunter y Macewicz (1985). Aquí, se mencionarán las características principales de cada estadio. Adicionalmente se incluyó un estadio más (VI) para el pez espada con ova residual.

El estadio I incluye todos los ovocitos sin vitelo con un gran núcleo y muy poco citoplasma. Las características del estadio II se refieren a los ovocitos parcialmente vitelados, que presentan inicio temprano de depositación de vitelo. Estadio III son los ovocitos que contienen glóbulos de vitelo entre la periferia y la zona perinuclear. El estadio IV se refiere a los ovocitos hidratados, que están a punto de ser desovados, el estadio V corresponde a la presencia de folículos postovulatorios, indicativos de desoves recientes en

las hembras. El estadio VI, anexo a la escala, se propone para peces con estados de ovocitos hidratados en reabsorción, indicativos de una maduración anterior.

Debido a que se observaron varios estadios de desarrollo en los ovocitos de un mismo pez, la escala asignada fue en función de la predominancia de cada uno de las etapas descritas arriba. Se midió el diámetro medio (en micras) de 100 ovocitos en cada organismo, utilizando el objetivo de 10x y una cámara de video montada al microscopio y previamente calibrada a micras con reglilla ocular y con paquete IMAGE. Los ovocitos proyectados en la pantalla de un monitor se midieron con el mismo paquete. Se barrió la preparación histológica en sentido horizontal, se señalaron los diámetros máximos de cada ovocito, y mediante el algoritmo del programa se obtuvieron las mediciones. En dicho análisis se excluyeron las ovogonias (Hunter y Macewicz, 1985).

A continuación se asignó a los organismos la escala de madurez correspondiente, además se asignó a cada estadio de madurez un intervalo de tamaño para los ovocitos. Los diámetros de los ovocitos de las hembras fueron agrupados de acuerdo con la estación del año, para establecer patrones de maduración temporal en los organismos. Para probar homogeneidad de los datos, se realizó la prueba de Bartlett (Zar, 1984) y posteriormente se efectuó una comparación de medias múltiple, por el método de K-W entre estaciones del año. También se compararon los diámetros de los ovocitos entre las estaciones de los años 92/93 mediante una prueba t de Welch, varianzas no homogéneas (Zar, 1984).

En los machos, el análisis de madurez gonádica fue realizado mediante la observación de los cortes histológicos de los testículos dentro una escala del I-V, basada en la abundancia relativa de espermatozoides propuesta para la albacora, *Tunnus alalunga*, (Ratty et

al., 1987). El estadio I describe la ausencia de esperma en los testículos; el II corresponde a inmaduro, con poca esperma ; el III es intermedio con poco más esperma; el IV es maduro con mucha esperma en el testículo y en el ducto espermático; el V es completamente maduro con mucha esperma en el testículo y ducto espermático. Al final se agruparon sólo en tres categorías: inmaduros (I+II=I) intermedios (III=II) y maduros (IV+V=III).

IV.3 Resultados.

IV.3.1 Madurez mediante el índice gonádico (IG) en hembras y machos.

Los valores del IG_A , combinando los dos años de estudio, fueron tan bajos como 0.20 en hembras de 90 a 200 cm de longitud ojo-furca. Sin embargo, la tendencia fue de valores mayores de IG para las hembras de mayor longitud. Los máximos valores del IG_A registrados no excedieron de 2.50 y correspondieron a las hembras de 200 cm de longitud (figura 18).

Para los machos los valores máximos del IG_A fueron 0.80, correspondiendo este máximo valor a los peces de 130 cm de longitud ojo-furca. Pueden observarse valores del IG_A bajos, 0.20, para el intervalo de tallas entre 90 y 210 cm de longitud, mientras que los valores más altos fueron para las tallas entre los 130 y 150 cm de longitud (figura 18). Obsérvese también que existe una tendencia inversa del IG_A entre las hembras y los machos con respecto a la longitud. Los machos de menor talla presentaron un mayor IG_A y también nótese que a mayor longitud es menor dicho índice. Las hembras a mayor longitud presentan los más altos valores observados.

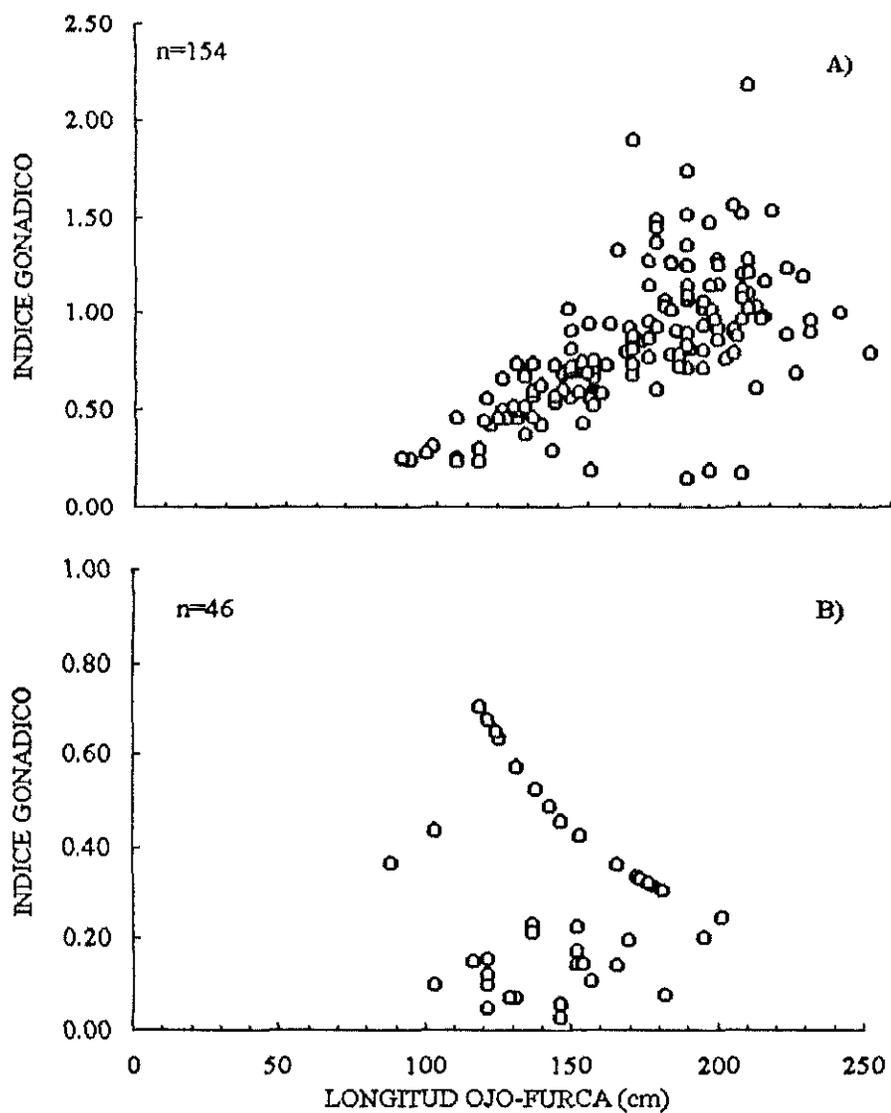


Figura 18. Relación entre el Índice Gonádico y la longitud en A) hembras y B) machos del pez espada.

IV.3.2 Variación temporal del IG_A .

La prueba de Bartlett demostró heterogeneidad en las varianzas de los datos del IG_A tanto en machos ($p < 0.025$) como en hembras ($p < 0.005$). Mediante el análisis no paramétrico de K-W, no se detectaron diferencias significativas del IG_A entre las estaciones de año en hembras ($H = 12.56$, $p > 0.05$), fluctuando los valores promedio entre 0.69 y 1.0 (figura 19). En los machos, si hubo diferencias altamente significativas ($H = 21.63$, $p < 0.001$) con los valores promedio de IG_A de 0.10 hasta 0.49.

IV.3.3 Comparación de metodologías en la evaluación del IG.

De la evaluación del IG_A sobre los datos tomados de Kume y Joseph (1969) se observa que existe una discrepancia entre las dos metodologías utilizadas (tabla VIII). Estas no son comparables pues existen diferencias en los resultados. El IG_A da valores mucho más altos que IG_B . En términos porcentuales, IG_B representa un promedio de 59.4% del valor de IG_A . La mejor estimación del factor de corrección está dada por las siguientes ecuaciones de regresión:

$$IG_A = 1.6828 (IG_B) \quad r^2 = 0.9999$$

$$IG_B = 0.5942 (IG_A) \quad r^2 = 0.9999$$

Esto necesariamente merece atención, por lo cual deberá considerarse para futuras comparaciones. Con estas medidas correctivas, el valor de 3.0 propuesto por Kume y Joseph (1969), tomado como condición de desove en el pez espada, tiene una equivalencia de 1.78 del propuesto por Uchiyama y Shomura (1974). Dicho valor está lejano del $IG_B = 7$, para

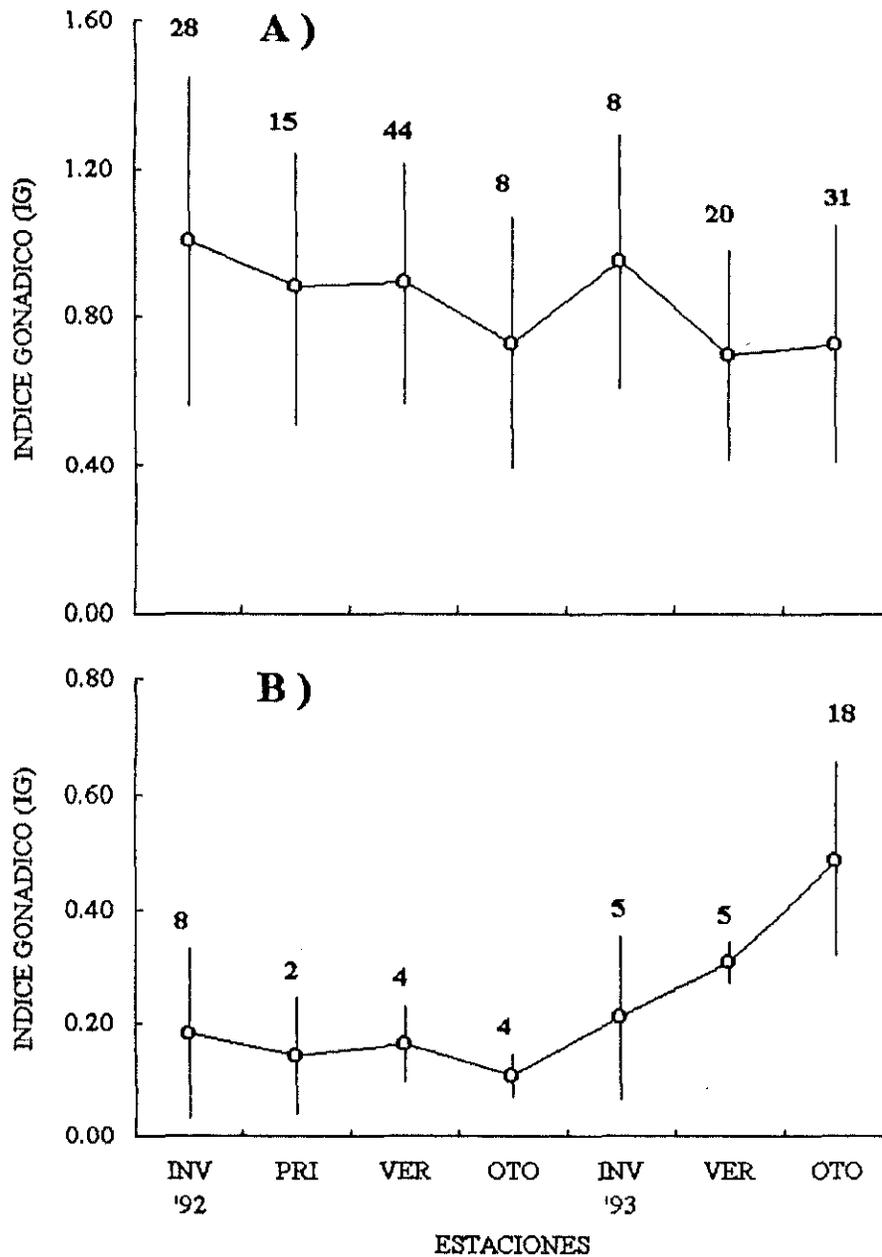


Figura 19. Índice gonádico promedio del pez espada durante las estaciones de los años 1992/93 en A) hembras y B) machos. Las barras representan las desviaciones estandar y los números sobre las barras representan el número de peces analizados.

Tabla VIII Análisis del IG de los datos tomados de Kume y Joseph (1969): Longitud ojo-furca y peso de ovarios. Para estimar el peso en las hembras (PEH) se utilizó el modelo alométrico de crecimiento $W=1.37 \times 10^{-5} L^{3.04}$, basado en el análisis del peso total de 77 peces espada hembras capturadas en Baja California, ver capítulo III.

LONGITUD (cm)	PESO DEL OVARIO (kg)	PEH (kg)	IG _A	IG _B	DIFERENCIAS ENTRE IG _A Y IG _B	
					ABSOLUTA	%
130	0.142	36.57	0.654	0.39	0.25	60.34
138	4.000	43.85	15.22	9.12	6.10	59.92
149	0.400	55.36	1.21	0.72	0.49	59.71
166	0.857	76.89	1.87	1.11	0.76	59.36
173	6.750	87.17	13.04	7.74	5.30	59.36
175	1.500	139.63	2.80	1.66	1.14	59.28
202	9.900	152.63	12.01	7.09	4.92	59.03
208	5.900	251.06	6.56	3.87	2.69	59.00
245	8.400	251.06	5.71	3.34	2.37	58.49
					PROMEDIO y S. D.= 59.40 ± 0.5	
IG _A = 1.6828 (IG _B)						
IG _B = 0.5942 (IG _A)						

condiciones de desove del pez espada (Uchiyama y Shomura, 1974).

IV.3.4 Proporción de sexos.

La proporción de sexos, Macho:Hembra (M:H) fue sesgado hacia las hembras en todas las estaciones del año (tabla IX). Las proporciones entre ambos sexos durante todo el período de estudio fueron significativamente diferentes (J_i cuadrado=12.59, $0.02 < p < 0.05$). En verano se observó el más bajo de los valores, 0.09 machos por hembra, mientras que el más alto correspondió a invierno con 0.6:1. La proporción total de sexos en la muestra fue de 0.30 machos por una hembra.

IV.3.5 Análisis histológico de la madurez.

IV.3.5.1 Análisis del diámetro de los ovocitos.

Durante invierno y primavera de 1992, se encontraron hembras con un mayor diámetro de ovocitos mayor (figura 20). Principalmente en invierno se encontraron hembras con ovocitos hasta de 750 μ entre los 23° y 26°N. En primavera se capturaron más al norte, de 25° a 32°N y los máximos diámetros registrados fueron de 460 μ . Para verano y otoño, los diámetros de los ovocitos en las hembras presentaron una menor dimensión (figura 21) pues no excedieron las 400 μ en verano, mientras que en otoño se tuvieron un diámetro máximo de 200 μ . Para verano y otoño la localidad de captura estuvo entre los 29°y los 32°N.

Durante invierno, verano y otoño de 1993, las hembras presentaron tamaños máximos

Tabla IX. Número de organismos por sexo y la proporción macho:hembra del pez espada, agrupados estacionalmente.

	1992				1993		
	INV	PRI	VER	OTO	INV	VER	OTO
HEMBRAS Total: 154	28	15	44	8	8	20	31
MACHOS Total: 46	8	2	4	4	5	5	18
PROPORCIÓN	0.28:1	0.13:1	0.09:1	0.5:1	0.6:1	0.3:1	0.5:1
PROPORCIÓN TOTAL = 0.30:1							

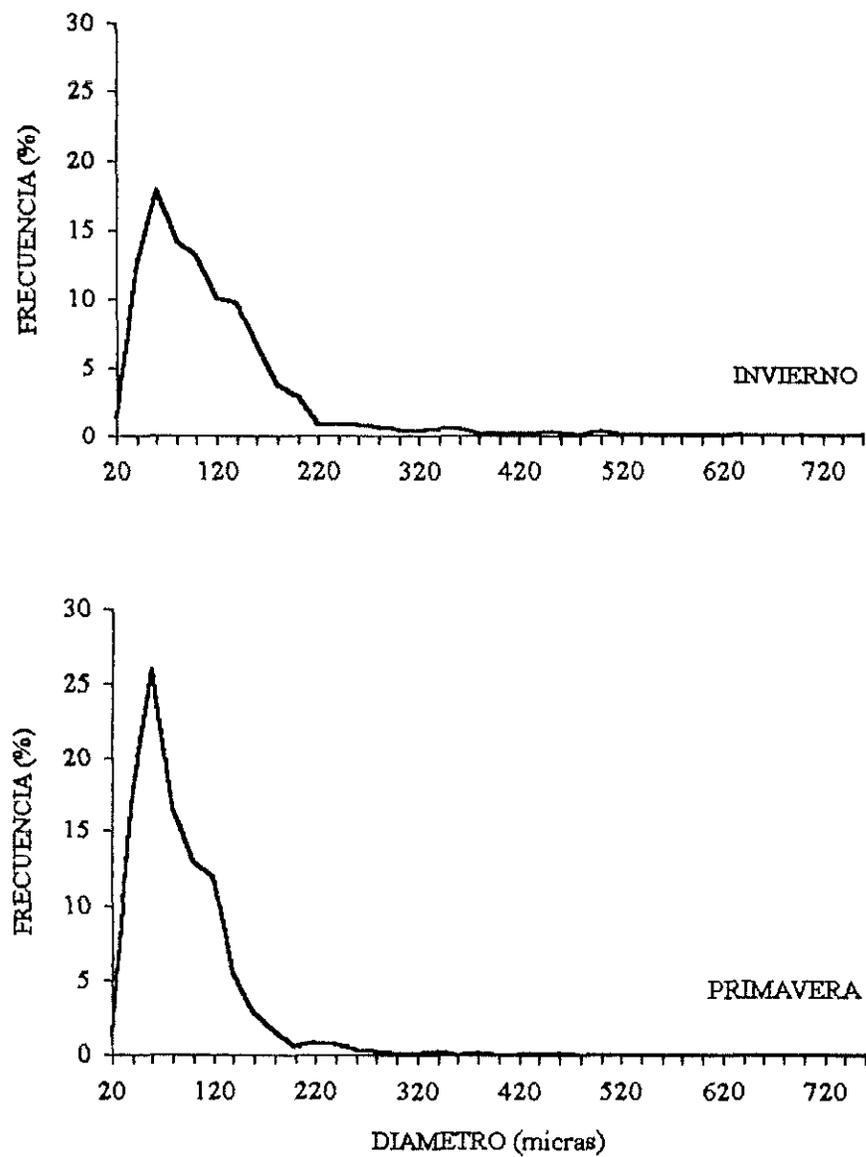


Figura 20. Frecuencia del diámetro de los ovocitos en las hembras del pez espada durante invierno (n=32 peces) y primavera (n=14) de 1992.

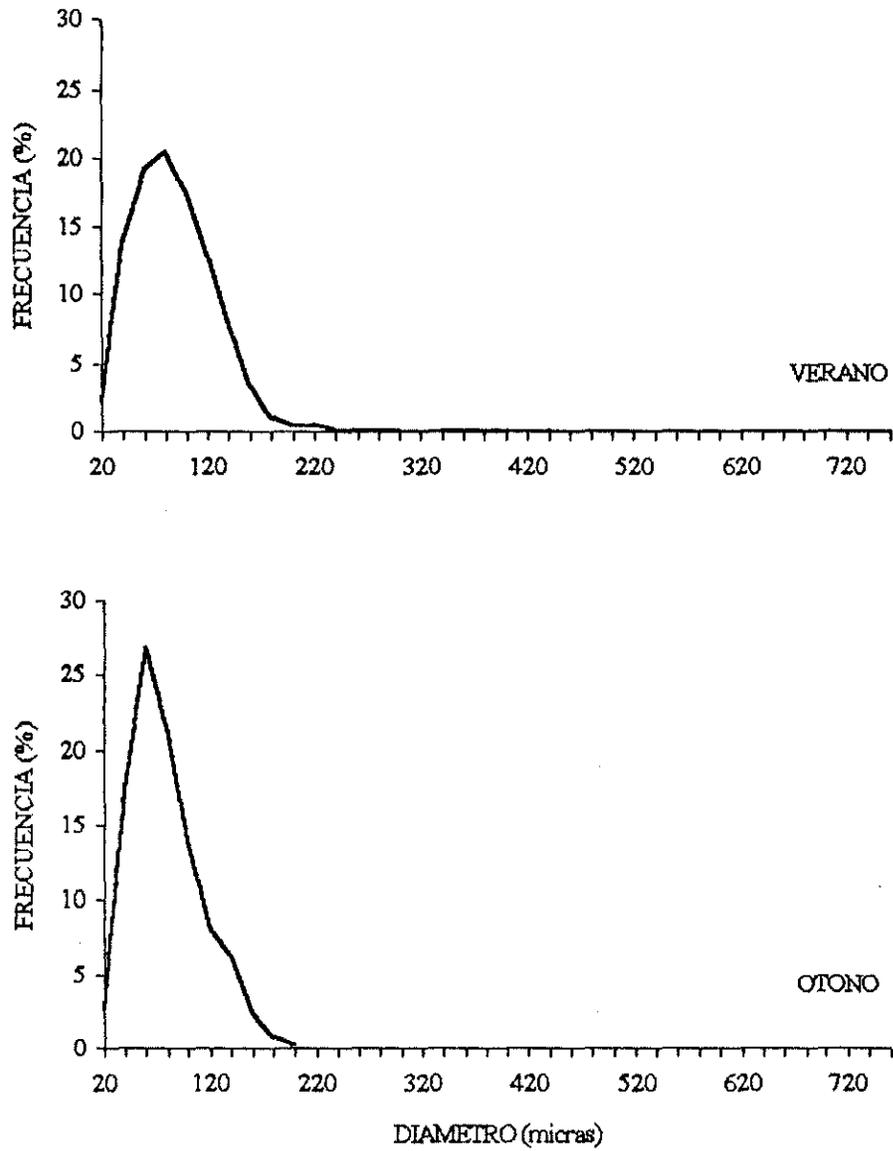


Figura 21. Frecuencia del diámetro de los ovocitos en las hembras del pez espada durante verano (n=36) y otoño (n=8) de 1992.

de ovocitos de 260μ (figura 22). Las capturas de estos organismos fueron realizadas en el área norte de Baja California, entre 31° y 32°N .

La homogeneidad en las varianzas de las mediciones de los ovocitos agrupados estacionalmente, fue rechazada ($p < 0.001$) y mediante el método de K-W se detectaron diferencias estacionales altamente significativas en los ovocitos de los peces durante 1992 ($H=143$, $p < 0.0001$) y 1993 ($H=263$, $p < 0.0001$).

De la comparación interanual mediante la prueba t de Welch en los datos de los ovocitos, se detectaron diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre los inviernos de 1992 ($n=3200$) y 1993 ($n=700$). En el verano de 1992 ($n=3600$) y verano de 1993 ($n=1300$) no fueron diferentes ($p > 0.05$). En otoño de 1992 y otoño de 1993 sí mostraron diferencias significativas ($p < 0.001$). Estos resultados demuestran diferencias espacio-temporales de la madurez de las hembras del pez espada, de acuerdo con el tamaño de sus ovocitos.

IV.3.5.2 Descripción del estado de madurez.

Se detectaron cuatro etapas de madurez en las hembras (figura 23). Se observaron predominantemente hembras con etapas iniciales de vitelogénesis, en estadios I y II. Sin embargo, también se observaron hembras con ovocitos en estado avanzado de vitelogénesis, correspondientes al estadio III, durante invierno y primavera de 1992 (figura 24) aunque con bajos porcentajes, 12 y 6% respectivamente. Estas hembras fueron capturadas entre los 23° y 26°N , en el sur de Baja California. Por la disposición de los glóbulos de vitelo y vesículas

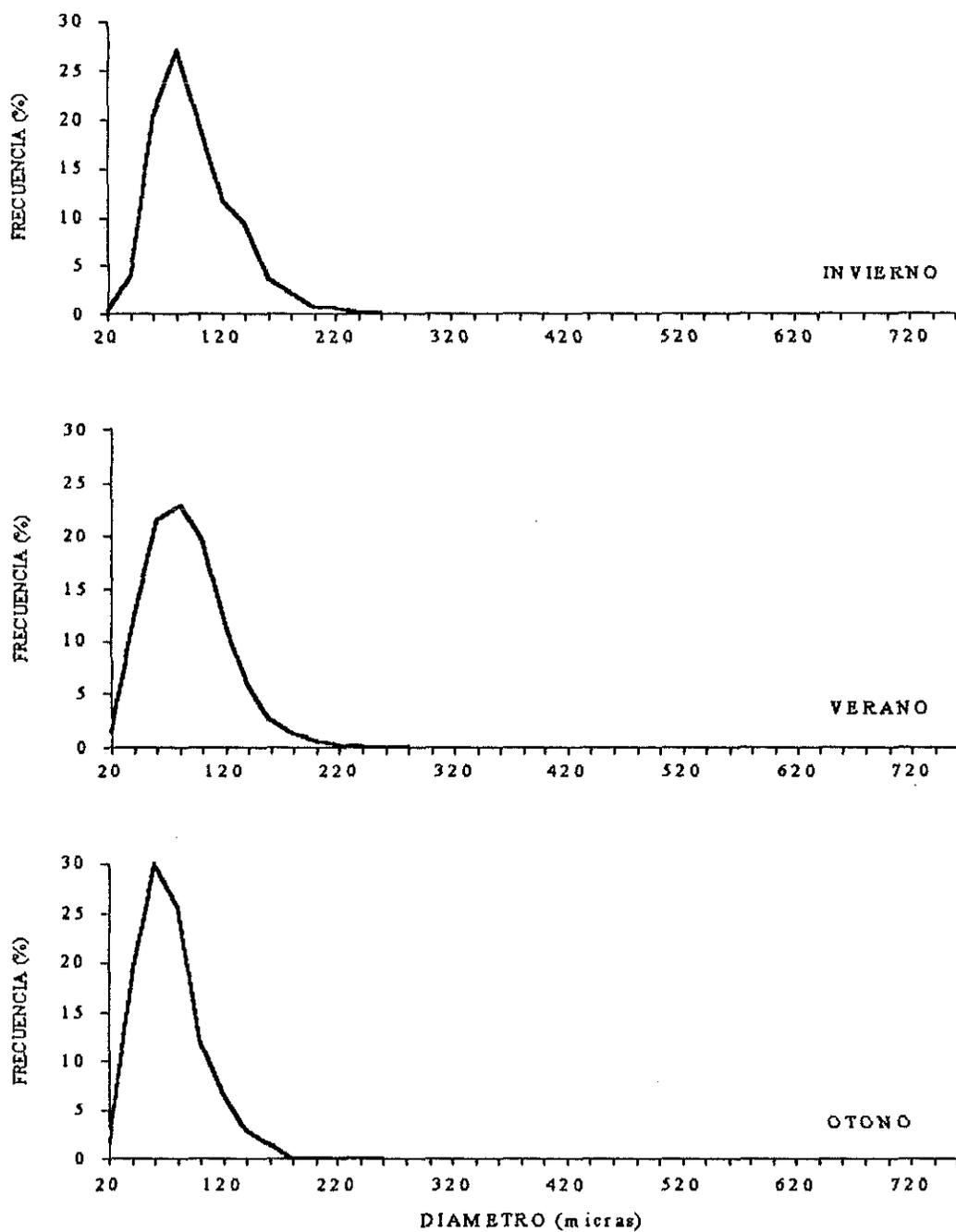


Figura 22. Frecuencia del diámetro de los ovocitos de las hembras del pez espada durante invierno ($n=7$), verano ($n=3$) y otoño ($n=43$) de 1993.

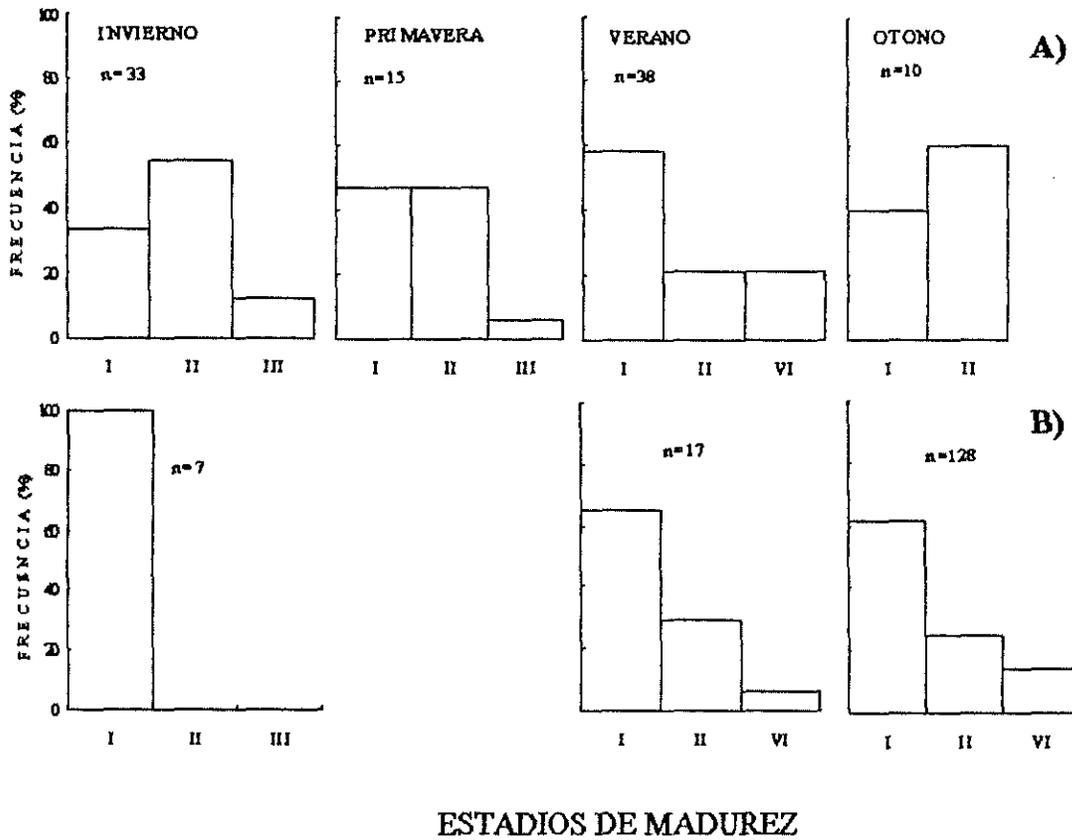


Figura 23. Frecuencia estacional (%) de los estadios de madurez, determinada histológicamente en hembras del pez espada en Baja California durante 1992/93. I=inmaduras, II=vitelogénesis, III=maduras y VI=hidratadas en proceso de reabsorción. n=número de hembras analizadas, A) 1992 y B) 1993.

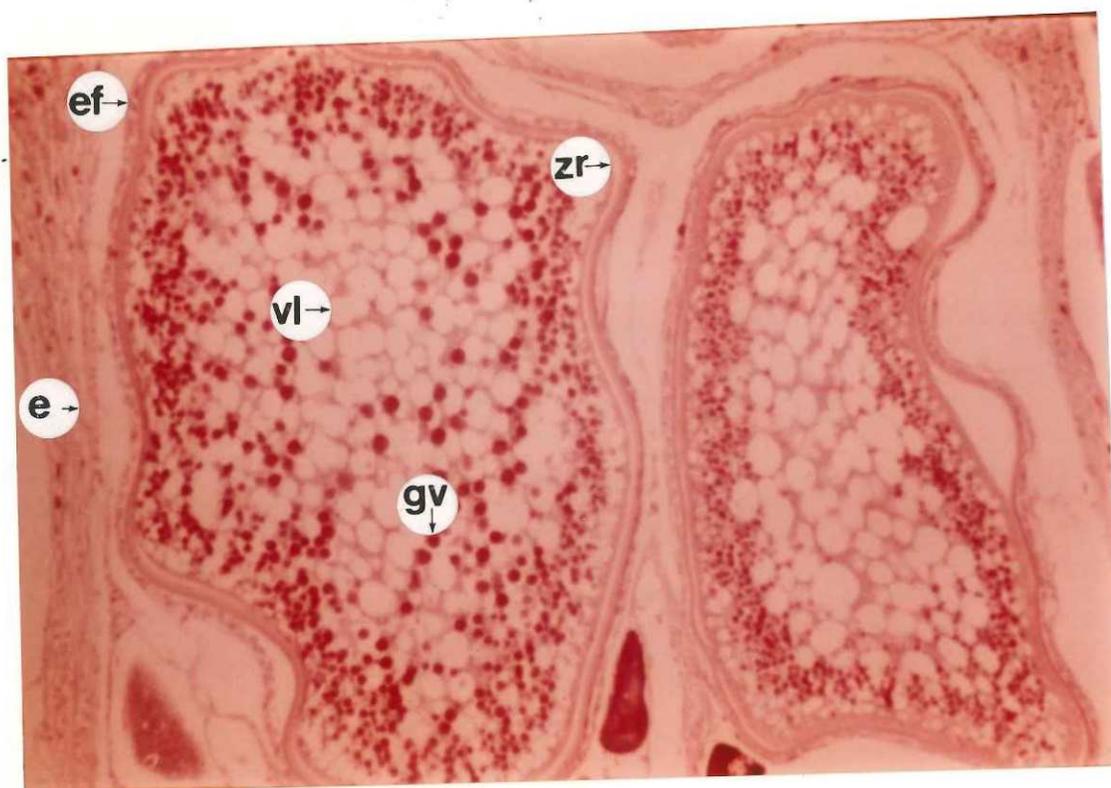


Figura 24 Sección transversal de un ovario de pez espada en estado avanzado de madurez (III). gv =gránulos de vitelo, vl = vesículas lipídicas, zr = zona radiata, e = estroma, ef = epitelio folicular. La barra representa 100 μ .

lipídicas, se puede observar que hayaban próximas a lograr el estadio IV o de hidratación del ovario. Hembras predominantemente inmaduras (figuras 23 y 25) se observaron durante invierno, verano y otoño de 1993, entre los 30° y 32°N.

Se encontraron hembras en estadio VI en verano y otoño de ambos años (figura 23). Este estadio corresponde a organismos con ovocitos maduros hidratados en proceso de reabsorción (figuras 26 y 27). En el verano de ambos años se pudieron separar dichos ovocitos de dos hembras en cantidades representativas ($n=100$) para ser medidos. El diámetro promedio, \pm desviación estandar, fue de 1.57 ± 0.09 mm y 1.59 ± 0.08 mm, los pesos gonadales de ambas hembras fueron 876 y 480 g respectivamente.

Los diámetros de los ovocitos que correspondieron a cada estadio de desarrollo se encuentran representados en la tabla X. Se puede observar que los tamaños de las hembras son desde 88 hasta 213 cm, valores de longitudes correspondientes a todo el intervalo de tallas muestreadas. Las hembras con evidencia de una madurez avanzada quedaron representadas en las tallas de 165 a 203 cm, y aquellas con evidencia de una maduración anterior en tallas desde 93-170 cm. No se encontraron hembras con un estado de madurez IV, correspondientes a hembras a punto de desovar, ni aquellas con evidencias de desoves recientes (V) con folículos postovulatorios. Para el estadio VI, con ovocitos de 20 a 520 μ , no se representan las mediciones de los ovocitos en reabsorción, pues por medio de los cortes histológicos se deforma su redondez. Estos ovocitos fueron medidos separadamente, y el resultado sugiere que el intervalo real es de 20-1590 μ , lo cual representa a las hembras en estado de recuperación, o estadio VI.

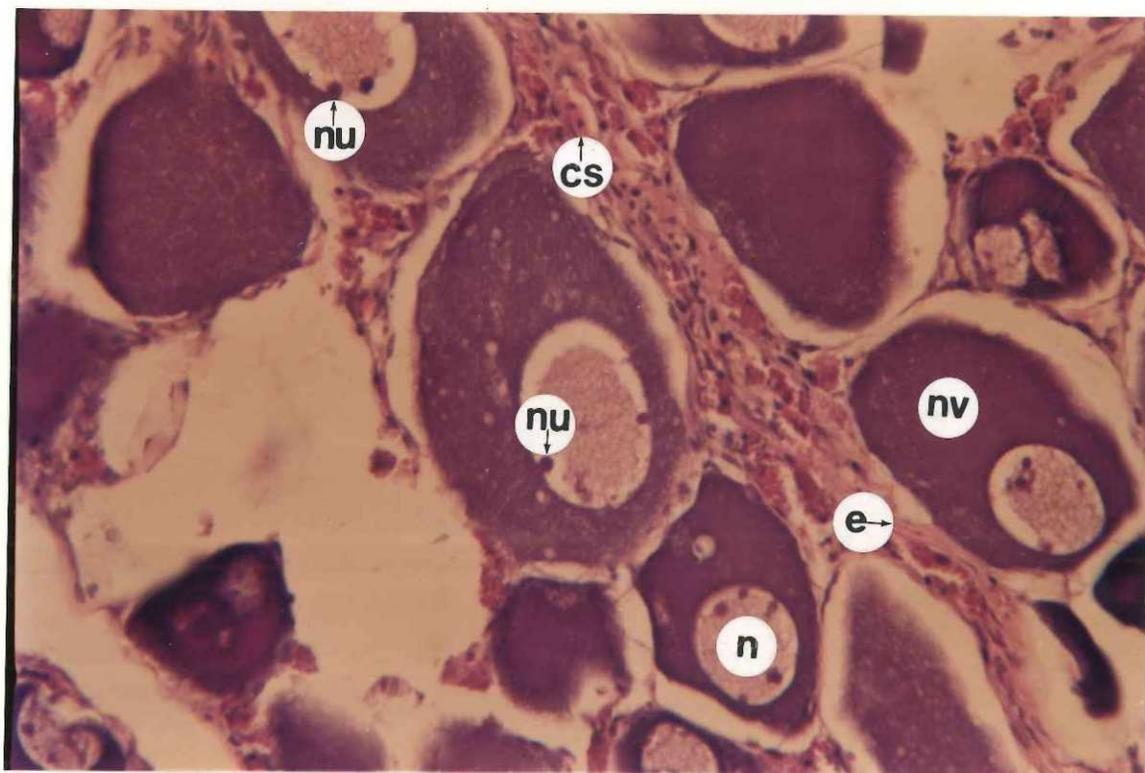


Figura 25. Sección transversal de un ovario inmaduro (I) del pez espada, mostrando ovocitos en etapas de desarrollo inicial. nv = ovocito no vitelado, n = núcleo, nu = nucleolos, e = estroma, cs = células sanguíneas. La barra representa 50 μ .

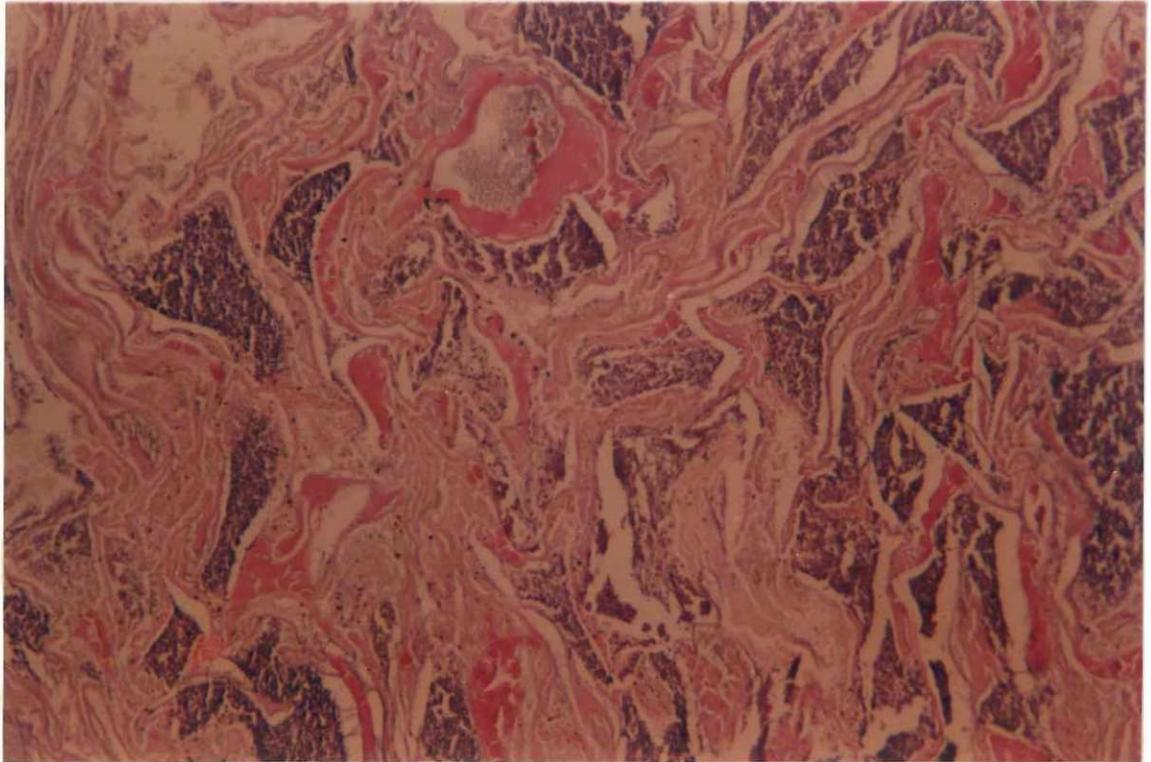


Figura 26. Sección transversal de un ovario mostrando ovocitos hidratados en proceso de reabsorción, estadio VI. La barra representa 400 μ .

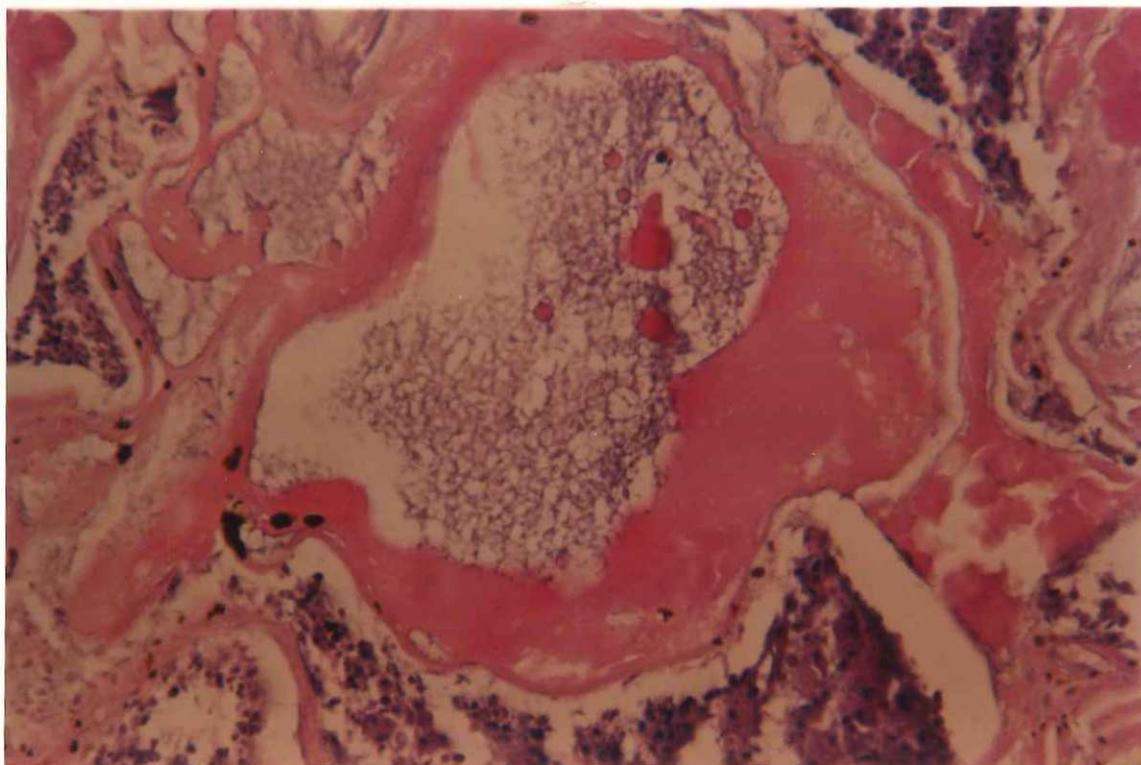


Figura 27 Detalle de un ovocito hidratado del pez espada en proceso de reabsorción, estadio VI. La barra representa 100 μ .

Tabla X. Intervalos de los diámetros de los ovocitos y longitudes ojo-furca, correspondientes a cada estadio de desarrollo en hembras del pez espada.

Estadios de madurez histológica.	Intervalo del diámetro (μ) en los ovocitos.	Intervalo de longitudes (cm) de los peces.
I	15-260	88-203
II	20-500	94-213
III	25-750	165-203
IV	—	—
V	—	—
VI	20-520*	93-170

* Ver texto.

IV.3.5.3 Madurez en los machos.

Al evaluar la madurez histológica de los machos se observó la presencia de ovocitos dentro del tejido testicular. Se descartó la presencia de ovocitos por contaminación en el proceso de cortado, ya que los cortes fueron realizados separadamente por sexos y con navajas desechables. Sin embargo, la deshidratación y tinción se realizaron juntas para ambos sexos.

Para eliminar posibles fuentes de contaminación en el análisis histológico, por segunda ocasión se reanalizaron las muestras de los machos, se seccionó una porción del otro testículo y se utilizaron material y reactivos nuevos para obtener nuevas preparaciones. Se efectuó un tercer, cuarto y quinto análisis. El tercer análisis fue sobre otros cortes de tres organismos problema. Una vez más todos los materiales y reactivos fueron nuevos. El cuarto análisis fue hecho por un laboratorio de histopatología médica (Centro de Diagnóstico Patológico, Ensenada, B. C.) y se indicó efectuar la misma técnica. El quinto análisis fue realizado por la National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service (La Jolla, California). Debido a los costos sólo se mandaron analizar dos machos problema y se interpretaron nuevamente las preparaciones histológicas.

Se encontraron machos con las tres etapas de maduración (figura 28). Los inmaduros (I) abarcaron tallas desde 111 a 210 cm de longitud (32%). Los maduros (III) se presentaron entre 111 a 190 cm, con una contribución del 32%. Los organismos con madurez intermedia se pueden observar desde 130 hasta 210 cm (36%).

En estos resultados se incluyen los machos con presencia de ovocitos en el tejido testicular. Los cinco análisis histológicos, dos de ellos en laboratorios ajenos, mostraron la

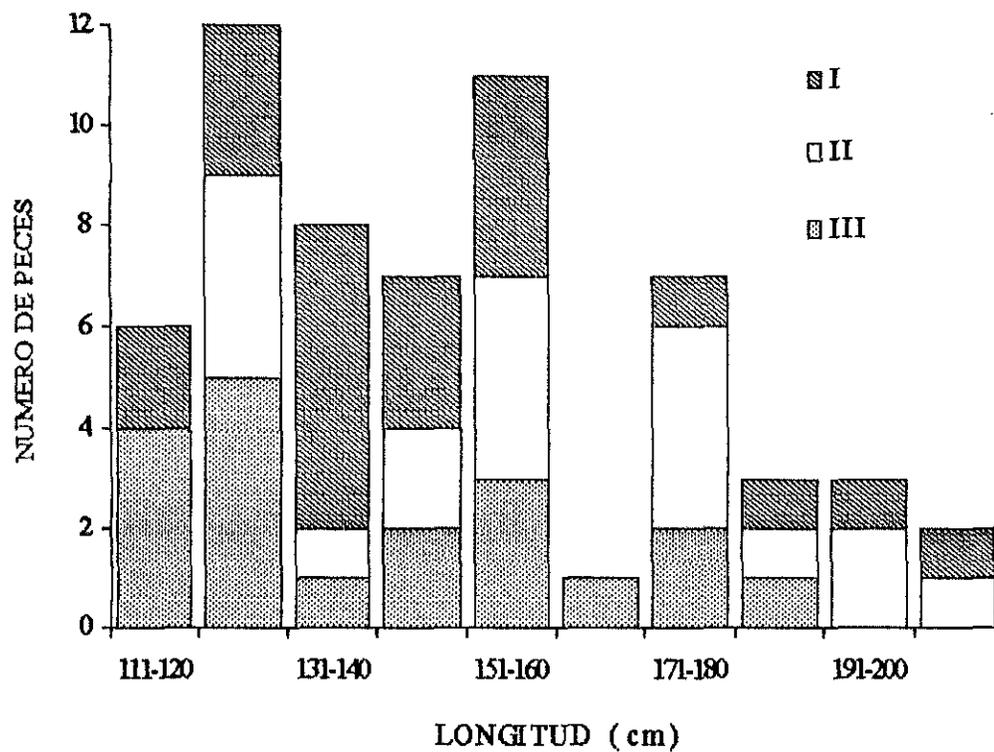


Figura 28. Número de machos inmaduros (I), intermedios (II) y maduros(III) en los diferentes intervalos de longitud ojo-furca, (n = 60).

presencia irrefutable de ovocitos, con tamaños de 73-124 μ dentro de las estructuras lobulares de los testículos (figura 29). La presencia relativa de esperma en el tejido de los machos con ovocitos, permitió observar que estos peces se encontraron desde inmaduros hasta totalmente maduros, como muestra al detalle la figura 30.

Nueve machos presentaron este fenómeno (15%) y la distribución dentro del tejido fue desde ovocitos aislados, hasta pequeñas agregaciones (figura 31). Las tallas correspondientes de estos peces están representadas entre 104 cm hasta 196 cm. Según las fechas de captura, estos peces se encontraron en primavera y otoño (tabla XI).

IV.4 Discusión.

Los resultados demuestran aspectos importantes sobre el patrón reproductivo del pez espada. Los más altos valores del IG_A (2.17) detectados durante el invierno de 1992, están relacionados con el mayor tamaño (750 μ) de los ovocitos en las hembras capturadas en ese período y la escala de madurez histológica (III) observada. Estos resultados indican que las hembras del pez espada en Baja California no estaban a punto de desovar.

Con respecto al IG del pez espada en aguas del Pacífico oriental, Nakano y Bayliff (1992) consideran que valores de IG_B a partir de 7 corresponden a hembras a punto de desovar. Sin embargo, estos autores toman como referencia a los resultados de Uchiyama y Shomura (1974) pero utilizan el índice de Kume y Joseph (1969). En el presente estudio demostró que ambos índices no son equivalentes y que es necesario aplicar una conversión;

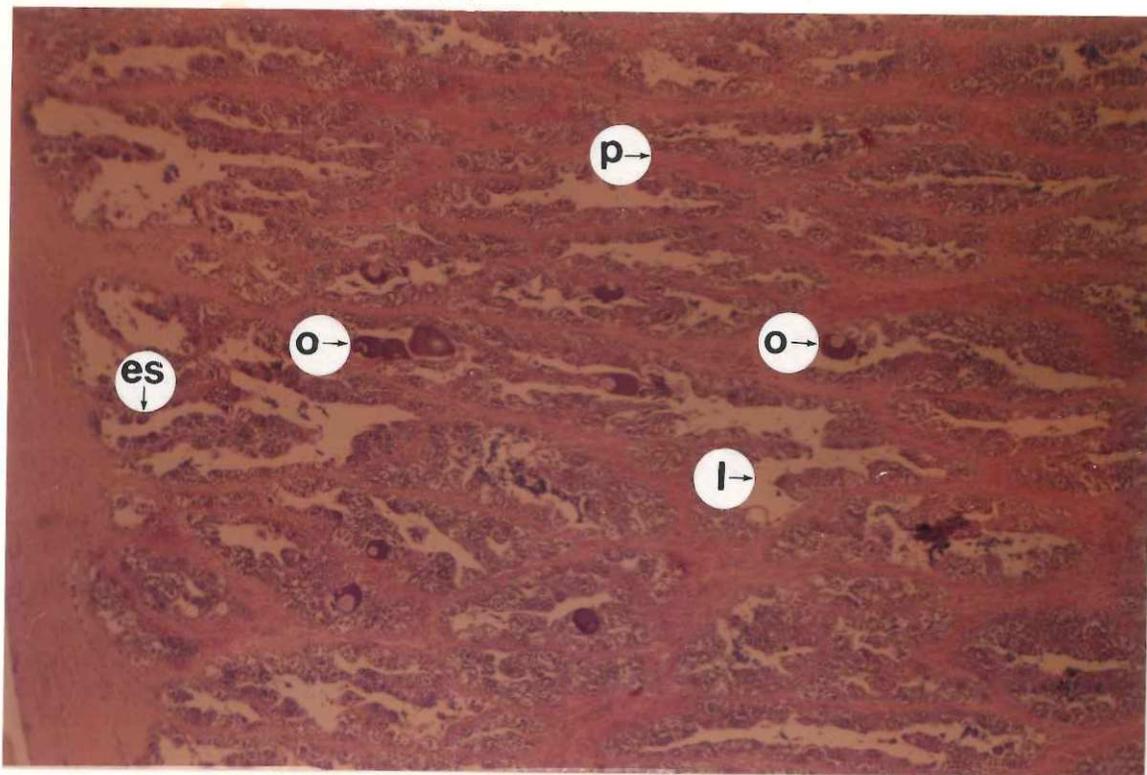


Figura 29 Sección transversal del testículo de un pez espada de 142 cm de longitud ojo-furca, mostrando la presencia de ovocitos dentro de las estructuras lobulares. **es** = espermatogonia, **o** = ovocitos, **p** = paredes lobulares del testículo, **l** = lumen de la estructura lobular. La barra representa 200 μ .

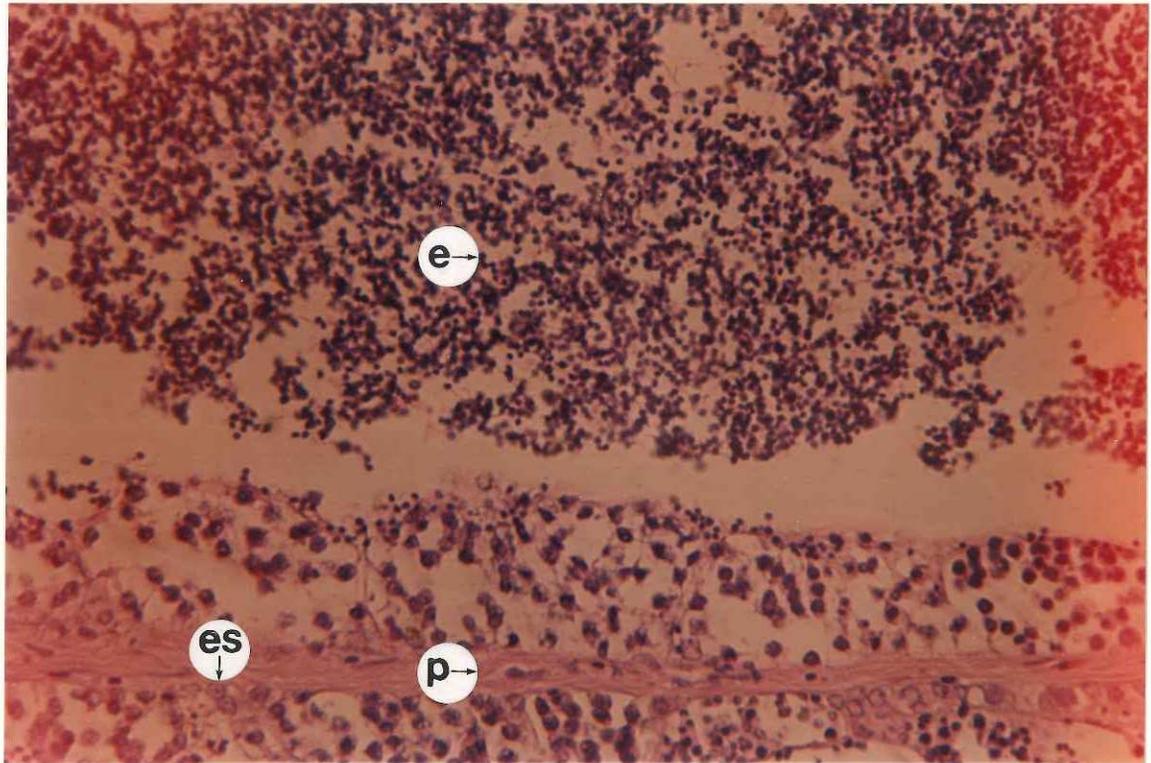


Figura 30. Detalle de la figura 29 con la presencia de **es** = espermatogonias, **e** = esperma y **p** = pared lobular. La barra representa 100 μ .

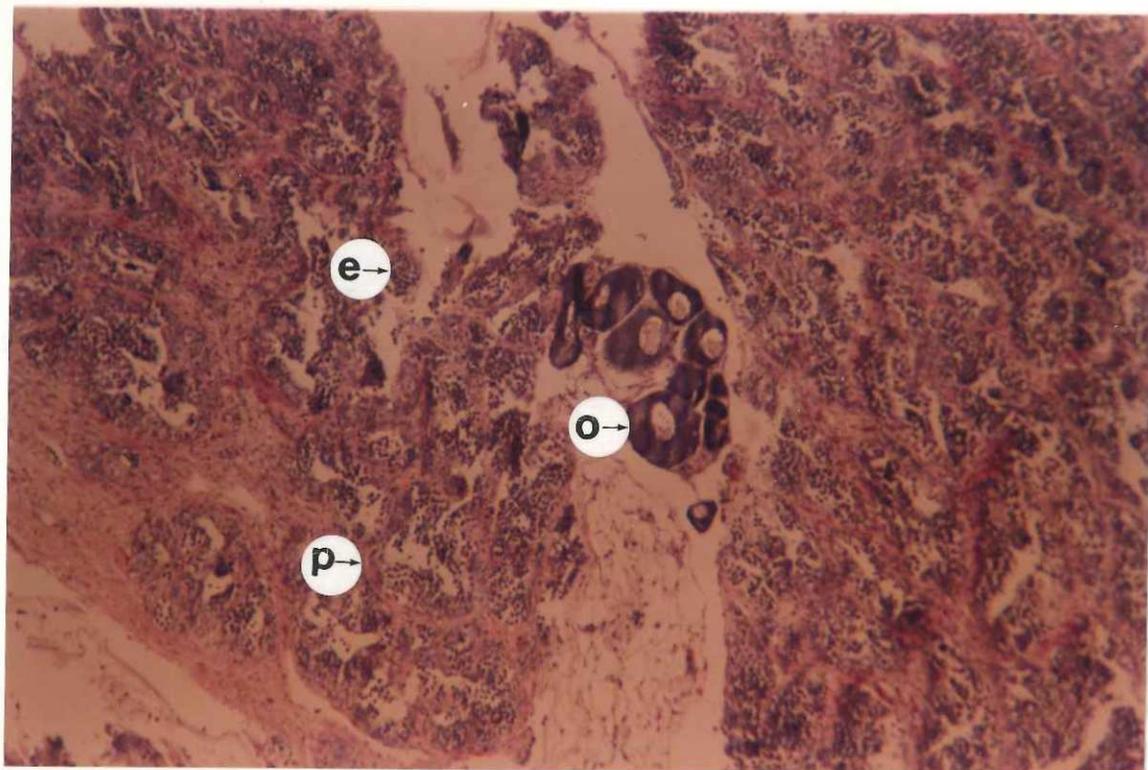


Figura 31. Sección transversal del testículo de un pez espada de 138 cm de longitud mostrando la presencia de **o** = ovocitos, **e** = espermatozoides y **p** = pared lobular. La barra representa 100 μ .

Tabla XI. Fecha de captura y longitud ojo-furca (cm) de los machos del pez espada con presencia de ovocitos en las secciones histológicas de los testículos.

FECHA DE CAPTURA	LOCALIDAD GEOGRÁFICA	LONGITUD	ESTADIO DE MADUREZ
primavera			
9/Mar/92	25°01'	122	III
9/Mar/92	25°01'	104	III
21/Abr/92	24°14'	133	I
verano			
22/Ago/93	28°36'	117	III
otoño			
7/Oct/93	30°44'	196	II
8/Oct/93	30°44'	138	I
19/Oct/93	31°29'	178	I
24/Oct/93	32°17'	133	I
9/Nov/93	32°17'	142	I

un valor de 7.0 de Uchiyama y Shomura (1974) equivale a un valor de 12 del trabajo de Kume y Joseph (1969). Para los datos presentados en la tabla VI, un valor de 3.0 en Kume y Joseph (1969), equivale a 1.78 de los datos de Uchiyama y Shomura (1974).

En el pez espada de Baja California, el valor máximo del IG_A alcanzado por un organismo (2.17) y el estadio III como la fase más avanzada de madurez, son evidencias que hacen suponer que estos organismos están comenzando a madurar. Esto se contrapone con el valor del $IG_A=3$, considerado por Kume y Joseph (1969) en hembras a punto de desovar.

La presencia de hembras en espacio y tiempo con estado III de madurez, aunque en bajos porcentajes, 12% y 6% en invierno y primavera respectivamente, sugiere que el sur de la península de Baja California podría indicar un límite geográfico de la actividad reproductora del pez espada. Esto se refuerza con el hecho de que las hembras capturadas al norte (32°N), en el invierno de la segunda campaña, presentaron valores bajos de IG_A , además los análisis histológicos revelaron que eran hembras en etapas iniciales de vitelogénesis.

Weber y Goldberg (1986) encontraron hembras con bajos IG_B y etapas iniciales de vitelogénesis durante los meses de agosto a noviembre en aguas del sur de California. Ramón y Castro-Longoria (1994) evalúan la madurez del pez espada desde Baja California, 21°N hasta los 40°N del Pacífico occidental y en términos generales los peces se encontraban en estado de vitelogénesis inicial y con bajos IG_A (<3.0), sobre todo en aguas de las costas de los Estados Unidos.

Aunque no se detectó cuerpos atrésicos en los ovarios de las hembras, la presencia de ovocitos residuales durante los meses de verano y otoño en ambos años, podría indicar un

proceso de maduración anterior. Esto hace suponer que efectivamente se llevaron a cabo desoves en los meses anteriores y que estos ovocitos con dimensiones de 1.56 mm fueron producto de una madurez gonádica anterior. Uchiyama y Shomura (1974) indican que ovocitos de dimensiones entre 0.60-1.20 mm son células reproductoras de reciente maduración, mientras que aquellas completamente maduras son de 0.80-1.66 mm.

Desove: se menciona que la incidencia de hembras maduras se encuentra durante el primer y cuarto trimestre del año, en aguas al oeste de los 110°W y entre 10°N y 30°S (Nakano y Bayliff, 1992). Mediante el retrocálculo de la fecha de nacimiento, con base en el análisis de edad diaria de otolitos del pez espada, se han podido establecer patrones temporales de desove en el Atlántico (Prince *et al.*, 1988). En la presente investigación, mediante la lectura diaria de edad en otolitos, se observó que la mayoría de estos peces han de haber nacido durante invierno (figura 32). Esta observación refuerza que el pez espada tiene su máxima reproducción durante invierno y muy probablemente en aguas al sur de Baja California.

Movimientos de la especie: Kume y Joseph (1969) han sugerido que el pez espada se mueve de Sur a Norte a lo largo de las costas de Baja California durante primavera y verano. Sin embargo, una migración unidireccional de este tipo no sería compatible con la simultaneidad de la época de máxima captura, la cual se lleva a cabo durante otoño en California (Hanan *et al.*, 1993) y Baja California (Shingu *et al.*, 1974; Sosa-Nishizaki *et al.*, 1992).

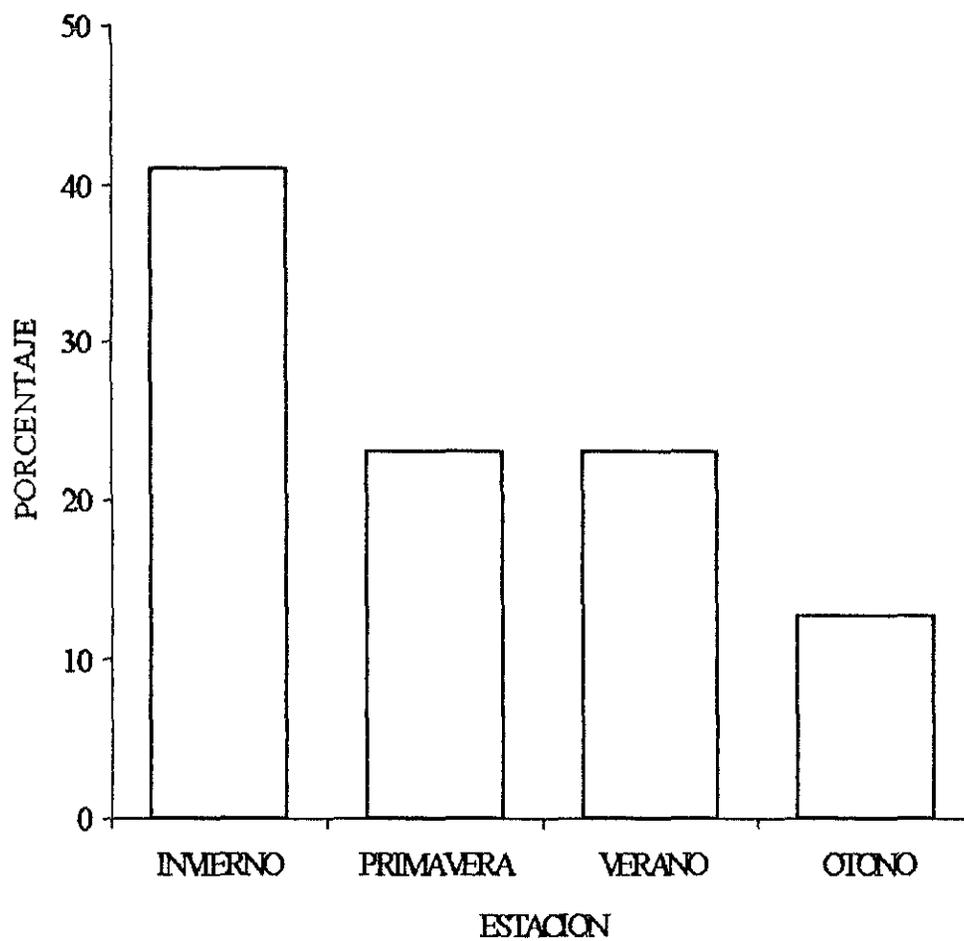


Figura 32. Porcentaje de fecha de nacimiento para ambos sexos del pez espada por retrocálculo. Se utilizó la edad determinada de la lectura de crecimiento diario en otolitos para edades no mayores de tres años durante 1992. $n=38$.

Las evidencias de incipiente madurez de las hembras al sur e inmaduras al norte, hacen pensar que el pez espada presenta movimientos migratorios relacionados con ciclos de reproducción y alimentación. Una vez que los organismos están en condiciones de alcanzar estados avanzados de madurez, viajan a aguas cálidas ecuatoriales para llevar a cabo el desove y posteriormente viajan a latitudes templadas hacia las zonas de alimentación (Nakamura, 1983). Este patrón migratorio está reforzado por los resultados de madurez obtenidos en este trabajo.

Carey y Robinson (1981) y Carey (1990) presentan evidencias de movimientos del pez espada a lo largo del talud continental asociados con el comportamiento alimenticio. Este comportamiento para las aguas de Baja California y California sugiere que en la búsqueda de alimento los organismos se muevan latitudinalmente en ambos sentidos. Datos del Atlántico (Miyake y Rey, 1989) también apoyan este tipo de movimiento latitudinal a lo largo de las costas de Estados Unidos. Marcaida-Aburto (1995) encuentra diferencias altamente significativas de la composición específica de presas consumidas por el pez espada en el norte y sur de Baja California. Al sur de los 28°N los calamares dominaron la dieta durante invierno y primavera, mientras que al norte el autor encontró una mayor dominancia de peces en la dieta, durante los meses de invierno.

La proporción de sexos observada en las costas de Baja California en el pez espada es de 0.3 machos por hembra. Muchas especies de peces presentan 1:1 dentro de la población desovante, como el esturión, aunque esto puede variar con las especies y aún con las tallas y grupos de edad (Nikolsky, 1969). Ramón y Castro-Longoria (1994) compararon California y Baja California y encontraron que había una predominancia significativa de

hembras en las áreas de pesca analizadas. Sin embargo, ellas no detectaron diferencias en la razón de sexos en el intervalo de longitud de 130 a 169 cm. Arriba de ese intervalo, se observó una mayor dominancia de las hembras, esto está de acuerdo con lo reportado por Palko *et al.* (1981).

La desviación de sexos de 1:1 ya ha sido evidenciada para el pez espada por otros investigadores. Weber y Goldberg (1986) en un estudio en las costas del sur de California, habían detectado una proporción de 0.34 machos por hembra, aunque los autores no pudieron concluir que fuera un valor real debido su bajo número de muestra. Sin embargo, si se compara el resultado con la encontrada para Baja California, este valor es prácticamente igual. Esta dominancia de hembras también está reportada para el pez espada del Atlántico en los análisis pesqueros reportados por de la Serna *et al.* (1992). Ellos sugieren que dichos patrones podrían ser debidos a un comportamiento migratorio diferencial para el proceso reproductivo. Nikolsky (1969) menciona que en los peces, los machos pueden presentar una predominancia en los grupos jóvenes y alcanzar la madurez sexual más temprano que las hembras, por lo que también son menos longevos.

La longevidad en los machos no sobrepasó la edad de 7+ ni la longitud de 238 cm, a diferencia de las hembras, cuyas edades fueron hasta los 9+ y longitudes de 250 cm en este estudio. Se presentó ayor cantidad de machos maduros en el intervalo de tallas de 110 a 130 cm. Aunque con poca información se sabe que los machos del pez espada alcanzan la madurez a los 100 cm, lo cual esta acorde con lo encontrado en este estudio para machos de esa longitud (Palko *et al.*, 1981).

Los machos presentaron valores más altos de IG_A a menor longitud, con máximos alrededor de los 120 cm (figura 18). Esto corresponde a una edad de 3+ de las curvas de edad y crecimiento. A esa edad los machos podrían presentar su máxima potencialidad sexual. En cuanto a las hembras, los valores más grandes de IG_A (aunque bajos) determinados en este estudio correspondieron a 190 cm, con edad de 8+, lo cual está de acuerdo con la talla de máximo IG_A de 190 cm reportada por Sosa-Nishizaki (1990) para la pesquería en el Pacífico.

Tales diferencias en edades, tallas y máxima madurez ayudarían a explicar los resultados de la desproporción de sexos. Sin embargo, desde otro punto de vista, la desproporción de sexos en peces es considerada como un indicio débil del cambio de sexo en los peces (Calvo *et al.*, 1992). En el pez espada no se había reportado evidencia de cambio de sexo, ni en otros picudos analizados en Baja California como el pez vela, *Istiophorus platypterus* (Hernández-Herrera, 1994). Taylor y Murphy (1992) no detectaron ninguna evidencia histológica de hermafroditismo en los peces espada del Atlántico en aguas frente a Florida.

Las primeras evidencias de ovocitos en los machos, resultantes del primer análisis histológico, se tomaron con cautela. Sin embargo, los análisis posteriores, tanto en nuestro laboratorio como en los externos, sobre aquellos machos que presentaron estas estructuras, revelaron el mismo resultado. Los objetivos planteados fueron analizar la madurez del pez espada, esto implícitamente contemplaba el análisis de los machos. Inicialmente, no hubo ningún planteamiento sobre la hipótesis de hermafroditismo en la especie. La presencia de ovocitos 15% de los machos analizados, constituye una evidencia de hermafroditismo.

Uchiyama² comenta que en sus observaciones de los muestreos biológicos del pez espada en Hawaii, ha notado que algunos testículos del pez espada presentan una especie de masas granuladas semejantes a ovocitos. Sin embargo, él comenta no haber realizado ningún análisis histológico de esas estructuras.

El hermafroditismo es un fenómeno regular en peces y está controlado genéticamente. Funcionalmente interviene el sistema endócrino en respuesta a estímulos internos, externos o ambos (Bond, 1979). Nikolsky (1969) cataloga dos principales categorías: a) funcionales o sincrónicos y b) no funcionales. La primera presenta partes bien diferenciadas de ovarios y partes seminales, que pueden contener ovocitos maduros y esperma, simultáneamente. Aunque la autofertilización es rara, puede presentarse.

En la segunda categoría se pueden presentar estructuras seminales y ováricas, pero no presentan actividad simultánea. Algunas especies presentan la parte ovárica más desarrollada y la parte del macho permanece inactiva después de algunos ciclos de desove, los ovocitos se reabsorben y la parte funcional activa es la parte seminal (protoginia): En otros casos las gónadas de las hembras no contienen una parte seminal obvia, localizándose entre los ovocitos células sexuales no diferenciadas y cuyo desarrollo da lugar a la parte seminal; Otras especies muestran diferente comportamiento, los jóvenes funcionan como machos y los viejos como hembras (protrandría). Los peces pequeños son capaces de fertilización y cuando crecen, funcionan como hembras elevando su fecundidad. A medida

² Uchiyama, J. National Marine Fisheries Service, NOAA Southwest Fisheries Science Center. Honolulu, HI 96822-2396. USA. Comunicación personal, diciembre de 1994.

que el tejido germinal en los machos degenera, el desarrollo del tejido germinal femenino comienza.

Con base en a) los ovocitos observados al microscopio entre los tejidos testiculares de los machos del pez espada, b) una mayor evidencia de machos maduros jóvenes de 2+ y 3+, c) tallas restringidas hacia tamaños menores en machos (110-130 cm), y d) una predominancia de hembras sobre los machos, se tiene una fuerte evidencia de cambio de sexo en el pez espada.

De acuerdo con Sadovy y Shapiro (1987), una especie es hermafrodita cuando una proporción sustancial de individuos a nivel poblacional posee tejido testicular y tejido ovárico simultáneamente o secuencialmente. Los presentes resultados por sí solos no podrían sostener inferencias a nivel poblacional, sólo son evidencias de que el fenómeno puede estarse presentando. Serán necesarias más investigaciones para ahondar sobre dicho aspecto y catalogar correctamente el tipo de hermafroditismo del pez espada así como las consecuencias sobre la explotación del recurso.

Las conclusiones que han surgido del aspecto reproductivo del pez espada capturado en Baja California son varias: una de las principales es que algunos organismos se encontraron en estado inicial de maduración al sur de Baja California durante los meses de invierno y primavera, por lo que muy probablemente se lleven a cabo desoves en ese período en una zona cercana; además, mediante la asignación de fecha de nacimiento de los peces, se observó que principalmente nacen durante el invierno. En aguas al norte, las hembras se encuentran en las primeras etapas de madurez durante verano otoño e invierno. La reabsorción de los ovocitos evidencia un proceso de maduración en los meses anteriores.

El hermafroditismo detectado en el pez espada es un fenómeno que necesita una mayor profundidad de investigación, sobre todo por las implicaciones biológico-pesqueras, pues la mayoría de las capturas se realizan en las edades de 3+ con 130 cm de longitud.

V. CONSIDERACIONES FINALES.

Desde el punto de vista científico, los recursos pesqueros con movimientos que abarcan grandes extensiones geográficas, como los picudos y atunes, presentan un esquema muy complejo para su manejo (Joseph, 1983). En este sentido, las especies se desarrollan en diferentes regímenes oceanográficos que afectan o benefician la dinámica de su población. El pez espada es una especie que lleva a cabo movimientos migratorios asociados con el ciclo reproductivo, trasladándose de las áreas templadas de alimentación hacia aguas más cálidas para reproducirse (Nakamura, 1983).

En el marco internacional, estos organismos migran entre fronteras políticas sin restricción alguna, creando conflictos de reparto del recurso (Joseph, 1983; Carlton, 1986). Por otro lado, en todos los países la explotación de los picudos se ha realizado por dos grupos de interés: los comerciales y los recreacionales, involucrándose problemas de tipo económico y sociales (Greenough y Joseph, 1986).

Desde el punto de la dinámica poblacional del pez espada, poco ha logrado establecerse para el Pacífico, los análisis de capturas de la flota japonesa han servido de marco para tratar de establecer el número de stocks que se localizan en el Pacífico (Skillman, 1989; Bartoo y Coan, 1989; Sosa-Nishizaki y Shimizu, 1991; Grijalva-Chon *et al.*, 1994). En el simposio internacional del pez espada, llevado a cabo en diciembre de 1994 en Ensenada, Baja California, una de las problemáticas expuestas fue la disminución mundial de las capturas para los años de 1991-92. Indudablemente la comprensión de este tipo de fluctuaciones es una tarea conjunta entre los países involucrados en la explotación.

Aunque cada país ejerce soberanía sobre los recursos que se encuentran en sus aguas, las leyes internacionales contemplan la colaboración para la protección y manejo de las especies altamente migratorias (Greenough y Joseph, 1986), sobre todo cuando no existen diferencias poblacionales y queda establecido su movimiento transfronterizo.

Para el caso del pez espada en el Pacífico nororiental, las diferencias poblacionales han sido detectadas con respecto al Pacífico Central (Hawai) y esto debe ser considerado para la explotación del recurso (Grijalva-Chon, 1995). Varios elementos de juicio conducen a pensar que la población explotada en la zona de pesca de Estados Unidos y Baja California es una sola: a) mayor concentración del pez espada en Baja California (Sosa-Nishizaki, 1990), b) la cercanía entre fronteras de Estados Unidos y México, y c) movilidad del recurso y estado general de inmadurez de los organismos entre ambas regiones. Lo dicho arriba compromete a una cooperación entre ambos países para la conservación y uso racional del recurso, ya que las medidas administrativas de un país también afectarán al otro. En este aspecto habría que evaluar dicha propuesta, la cual no es sencilla y queda fuera del alcance del presente análisis.

Desde el punto de vista ecológico, Nakamura (1983) y Sakagawa (1989) mencionan que la especie experimenta movimientos migratorios con propósitos de alimentación desde aguas tropicales hacia templadas, dirigiéndose a los lugares de alta concentración de alimento. Con respecto a esto, el análisis del alimento en los organismos ha sido estudiado y se encontraron diferencias en la composición específica de sus presas de norte a sur en Baja California (Markaida-Aburto, 1995). Esto muy probablemente refleja un comportamiento de adaptabilidad espacio-temporal para la búsqueda de alimento. Estas diferencias fueron

reflejadas por una mayor predominancia de calamares de origen subtropical en aguas al sur, mientras que al norte se observó una mayor predominancia de peces en la dieta (Markaida-Aburto, 1995). Indudablemente el pez espada lleva a cabo una función muy importante en éstas áreas, que debe de ser principalmente de alimentación y de crecimiento.

En una pesquería sujeta a explotación es recomendable ejecutar acciones de evaluación del recurso a corto y a largo plazo (Shepherd, 1991). Aquellas a corto plazo, se conceptualizan sólo como indicadores y podrán ser obtenidas de las capturas, mientras que las evaluaciones a largo plazo contemplan modelos de producción como el de máximo rendimiento sostenible (MRS). Desde el punto de vista práctico, MRS no es fácil de obtenerse pues los stocks presentan una alta variabilidad (Hilborn y Walters, 1992), difícil de negar en el pez espada.

Hilborn y Walters (1992) proponen que los análisis pesqueros deben ser evaluados en términos de objetivos que descansan en cuatro grandes áreas: biológica, económica, recreacional y social. Al respecto del primer objetivo mencionado, Hilborn y Walters (1992) y Shepherd (1991) hacen referencia a la utilización de indicadores. Un indicador de tipo biológico lo constituyen las edades, longitudes de captura y desembarques. La importancia de los resultados de este trabajo descansan precisamente en el primer objetivo.

En términos prácticos, de acuerdo con las edades, la incidencia de la pesquería sobre los organismos de 3+ años en ambos sexos y cuyas longitudes están entre 130 (machos) y 148 cm (hembras), presentan una problemática de consideración sobre dos aspectos: el relacionado con la desproporción de sexos y la evidencia de cambio de sexo en el pez espada. Aunque a nivel poblacional no se tenga una cuantificación, lo cierto es que del

presente estudio emana la inquietud de tomar una medida emergente que tienda a proteger el potencial reproductivo en los machos a una talla menor de 130 cm. Como el pez espada no presenta dimorfismo sexual, bajo esa talla también se estaría ejerciendo protección a las hembras.

La estimación de los parámetros de crecimiento forman parte fundamental del proceso de la evaluación de stocks (Rosenberg y Beddington, 1991) ya que pueden ser incorporados al análisis de peces por cohorte o análisis de poblaciones virtuales. Particularmente para el caso del pez espada, una vez obtenida la mortalidad por pesca y mortalidad natural, será factible de realizarse dicha evaluación.

De este estudio se concluye que el pez espada, desde el punto de vista pesquero, es un recurso que merece análisis profundos entre los países que lo capturan, mientras que del punto de vista biológico habrá que profundizar sobre la dinámica de su población. Además, la evidencia de hermafroditismo crea la necesidad de establecer la forma específica de su reproducción. Los elementos para investigaciones subsiguientes están vertidos en este estudio.

LITERATURA CITADA.

- Alvarado-Bremer, J.R., G.M. Leclerc y B. Ely. 1994. Approaches for the study of the global population structure of the swordfish (*Xiphias gladius*): sequence analysis of the mitochondrial control region and development of nuclear markers. Abstracts of the International Symposium on Pacific Swordfish. Ensenada, B.C., Mexico, December 11-14, 1994.
- Bagenal, T.B. y F.W. Tesch. 1978. Age and growth. p. 101-136. En: *Methods for Assessment of Fish Production in Freshwaters*. (Bagenal, T.B., ed.). Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK. 365 pp.
- Bakun, A. y C.S. Nelson, 1977. Climatology of upwelling related processes off Baja California. *CalCOFI Rep.*, 19: 107-127.
- Bartoo, N.W. y A.L. Coan, Jr. 1989. An assessment of the Pacific swordfish resource. p. 137-151. En: *Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kainakona, Hawaii, 1-5 August 1988. Part 1* (Stroud, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 361 pp.
- Beamish, R.J. y D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 982-983.
- Beamish, R.J. y G.A. McFarlane. 1983. Validation of age determination estimates: The forgotten requirement. p. 29-33. En: *Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks* (Prince, E.D. y L.M. Pulos, eds.). NOAA Tech. Rep. NMFS 8. 211 pp.

- Bedford, D.W. y F.B. Hagerman. 1983. The billfish fishery resource of the California Current. CalCOFI Rep., 24:70-78.
- Berkeley, S.A. 1989. Trends in Atlantic swordfish fisheries. p. 47-60. En: Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1-5, 1988. Part 1 (Stround, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 361 pp.
- Berkeley, S.A. y E.D. Houde. 1983. Age determination of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, from the straits of Florida, using anal fin spine sections. p. 137-143. En: Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfish, and Sharks (Prince, E.D. y L. M. Pulos, eds.). NOAA Tech. Rep NMFS 8. 211 pp.
- Bernal, P.A. 1981. A review of the low-frequency response of the pelagic ecosystem in the California Current. CalCOFI Rep., 22:49-62.
- Blackith, R.E. y A. Koor. 1976. Histological Techniques. Springer-Verlag. New York. 1019 pp.
- Block, B.A. 1990. Physiology and ecology of brain and eye heaters in billfishes. p. 123-126. En: Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1-5, 1988. Part 2 (Stround, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 321 pp.
- Bond, C.B. 1979. Biology of Fishes. W. B. Saunders Company. Philadelphia. 514 pp.

- Brothers, E.B. 1981. What can otolith microstructure tell us about daily and subdaily events in the early life history of fish? *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, 178: 393-394.
- Busacker, G.P., L.P. Adelman y E.M. Goolish. 1990. Growth. p. 363-387. En: *Methods for Fish Biology* (Schreck, C.B. y P.B. Moyle, eds.). American Fishery Society. Bethesda, Maryland. 684 pp.
- Calvo, J., E. Morriconi, G.A. Rae y N.A. San Roman. 1992. Evidence of protandry in a subantarctic notothenid, *Eleginops maclovinus* (Cuv. & Val., 1830) from the Beagle Channel, Argentina. *J. Fish. Biol.*, 40: 157-164.
- Campana, S.E. y J.D. Nelson. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 1014-1032.
- Carey, F.G. 1990. Further acoustic telemetry observations of swordfish. p. 103-122. En: *Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1-5, 1988. Part 2* (Stround, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 321 pp.
- Carey, F.G. y B.H. Robinson. 1981. Daily patterns in the activities of swordfish, *Xiphias gladius*, observed by acoustic telemetry. *Fish. Bull.*, 79: 277-292.
- Carlton, F.E. 1986. Fish know no boundaries. p. 3-4. En: *Proceedings of the Eleventh Annual Marine Recreational Fisheries Symposium Tampa, Florida, May 1-2, 1986* (Stround, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 237 pp.

- Casselman, J.M. 1983. Age and growth assessment of fish from their calcified structures - techniques and tools. p. 1-18. En: Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks (Prince, E.D. y L. M. Pulos, eds.). NOAA Tech. Rep NMFS 8. 211 p.
- Cayré P. y F. Laloé. 1986. Review of the Gonad Index (GI) and an introduction to the concept of its "critical value": application to the skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the Atlantic Ocean. Mar. Biol., 90: 345-351.
- Chelton, D.B. 1981. Interannual variability of the California Current - physical factors. CalCOFI Rep., 22: 34-48.
- De la Serna, J.M., E. Alot y J. Mejuto. 1992. Análisis preliminar del sex-ratio por clase de talla del pez espada (*Xiphias gladius*) en el área atlántica próxima al estrecho de Gibraltar. Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico, Colección de Documentos Científicos, 39:515-525.
- Everhart, W.H. y W.D. Youngs. 1981. Principles of Fishery Science. Cornell University Press, Ithaca, New York. 349 pp.
- FAO. 1993. Anuario Estadístico de Pesca: Capturas y Desembarques. 72: 654 pp.
- Finnerty, J.R. y B.A. Block. 1995. Evolution of cytochrome *b* in the Scombroidei (Teleostei): molecular insights into billfish (Istiophoridae and Xiphiidae) relationships. Fish. Bull., 93: 78-96.
- Fry, J.C. 1993. Biological Data Analysis. Oxford University Press. Oxford. 418 pp.
- Grall, C.D., P. de Sylva y E.D. Houde. 1983. Distribution, relative abundance, and seasonality of swordfish larvae. Trans. Amer. Fish. Soc., 112:235-246.

- Greenough, J.W. y J. Joseph, 1986. International management fo The highly migratory tunas and billfishes. p. 121-138. En: Proceedings of the Eleventh Annual Marine Recreational Fisheries Symposium. Tampa, Florida, May 1-2, 1986 (Stroud, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 237 pp.
- Grijalva-Chon , J.M. 1995. Análisis genético poblacional del pez espada (*Xiphias gladius*) en el Océano Pacifico. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Tesis Doctoral. Ensenada, B.C., México. 87 pp.
- Grijalva-Chon, J.M., K. Numachi, O. Sosa-Nishizaki y J. de la Rosa-Vélez. 1994. Mitochondrial DNA analysis of North Pacific swordfish *Xiphias gladius* population structure. Mar. Ecol. Prog. Ser., 115: 15-19.
- Gulland, J.A.1969. Manual of Methods for Fish Stock Assessment. Part I. Fish Population Analysis. FAO. Manuals in Fisheries Science No. 4. 154 pp.
- Hanan, D.A., D.B. Holts y A.L. Coan, Jr. 1993. The California drift gill net fishery for sharks and swordfish, 1981-1982 through 1990-91. Department of fish and Game. Fish Bulletin 195: 95 pp.
- Hancock, D.A. 1992. Australian Society for fish biology - 1990 National Workshops. p. 1-6. En: Age Determination and Growth in Fish and Other Aquatic Animals (Smith, D.C., ed.). Aust. J. Mar. Freshwater Res., 43: 458 pp.
- Hayward, T.L. 1993. Preliminary observations of the 1991-1992 El Nifto in the California Current. CalCOFI Rep., 34: 21-29.
- Hernández-Herrera, A. 1994. Patrón reproductivo del pez vela (*Istiophorus platypterus*, Shaw y Noder, 1791) al Sur del Golfo de California. Instituto Politécnico Nacional,

- Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Tesis de Maestría. La Paz, B.C.S., México. 53 pp.
- Hilborn , R. y C.J. Walters. 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment. Chapman and Hall, Inc. London. 570 pp.
- Hill, T.K. y G.M. Cailliet. 1990. Comparisons of four hard parts for estimating ages of Pacific Blue Marlin. p. 271-275. En: Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1-5, 1988. Part 2 (Stround, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 321 pp.
- Humason, G.L. 1967. Animal Tissue Techniques. W. H. Freeman & Co. 569 pp.
- Hunter, J.R. y B.J. Macewicz. 1985. Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. Bull., 83: 119-136.
- Husby, D.M., y C.S. Nelson. 1982. Turbulence and vertical stability in the California Current. CalCOFI Rep. 23:113-129.
- Joseph, J. 1983. International tuna management revisited. p. 123-150. En: Global Fisheries. (Rothschild, B.J., ed.). Springer-Verlag. New York. 289 pp.
- Kume, S. y J. James. 1966. Size composition, growth and sexual maturity of bigeye tuna *Tunnus obesus* (Lowe), from the Japanese long-line fishery in the Eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. 11:1-99.
- Kume, S. y J. Joseph, 1969. Size composition and sexual maturity of billfish caught by the japanese longline fishery in the Pacific Ocean East of 130°W. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab. Japan., 2: 162 pp.

- Mann, K.H. y J.R.N. Lazier. 1991. *Dynamics of Marine Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications. 466 pp.
- Marcaida-Aburto, U. 1995. Caracterización de la dieta del pez espada (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) en la costa occidental de Baja California, México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Tesis de Maestría. Ensenada, B.C., México. 119 pp.
- Medina-Mora, E. 1988. Los derechos de soberanía del estado ribereño para conservar y administrar los recursos vivos de la zona económica exclusiva. Un ensayo interpretativo de la convención de las Naciones Unidas sobre derecho del mar. Secretaría de Pesca, México. 163 pp.
- Megrey, B.A. y V.G. Wespestad. 1988. A review of biological assumptions underlying fishery assessment models. p. 31-69. En: *Fishery Science and Management* (Wooster, W.S., ed.). Springer-verlag. Berlin. 339 pp.
- Miyake, P.M. y J.C. Rey. 1989. Status of Atlantic broadbill swordfish stocks. p. 115-136. En: *Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kaina-Kona, Hawaii, 1-5 August 1988. Part 1* (Stroud, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 361 pp.
- Morales-Nin, B. 1991. Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos. *FAO Documento Técnico de Pesca*. No. 322. 58 pp.
- Moreau, J. 1987. Mathematical and biological expression of growth in fishes: recent trends and further developments. p. 81-113. En: *Age and Growth of Fish*. (Summerfelt, R.C. y E.G. Hall, eds.). Iowa State University Press. 544 pp.

- Nakamura, I. 1983. Systematics of the billfishes (Xiphiidae and Istiophoridae). Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 28: 255-396.
- Nakamura, I. 1985. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. FAO. Fish. Synopsis 5. 65 pp.
- Nakano, H. y W.H. Bayliff. 1992. Un examen de la pesca palangrera japonesa de atunes y picudos en el Océano Pacífico oriental, 1981-1987. Comisión Interamericana del Atún Tropical, Boletín, 20: 217-355 pp.
- Nelson, J.S. 1994. Fishes of the World. John Wiley & Sons, Inc. New York. 600 pp.
- Nikolsky, G.V. 1963. The Ecology of Fishes. Academic Press. London. 352 pp.
- Nikolsky, G.V. 1969. Fish Population Dynamics. Oliver & Boyd. Edinburgh. 320 pp.
- Nishikawa, Y., M. Honma, S. Ueyanagi y S. Kikawa. 1985. Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes, 1956-1981. Far Seas Fish. Res. Lab., S Series, 12: 99 pp.
- Norton, J., D. McLain, R. Brainard y D. Husby. 1985. The 1982-83 El Niño event off Baja and Alta California and its ocean climate context. p. 44-72. En: El Niño North (Wooster, W.R. y D.L. Fluherty, eds.). Washington Sea Grant Program. University of Washington. Seattle. 312 pp.
- Palko, B.J., G.L. Beardsley y W.J. Richards. 1981. Synopsis of the biology of swordfish, *Xiphias gladius*. Linnaeus. NOAA Tech. Rep. NMFS 217: 21 pp.
- Pannella, G. 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. Science, 73:1124-1127.

- Pauly, D. 1984. Fish Population Dynamics in Tropical Waters: A Manual for Use With Programmable Calculators. ICLARM Studies and Reviews 8. 325 pp.
- Polanco -Jaime. E., R. Mimbela-Sandoval, L. Meléndez-Moreno, P. González-Quintanilla, M.A. Flores, A. Pérez-Vázquez, N. Aguilar-Ley, R. Pérez-Enriques, R. Calderón-Avilés, J.L. Guerra-Raya, J. Romo-Ávila, H. Gómez-Angulo, J.J. Mimbela-Sandoval, H. Cabrera-Muro, M. Diego-Peralta, J. García y J.G. Ochoa. 1987. Pesquerías mexicanas: estrategias para su administración. Secretaría de Pesca. México. 1061 pp.
- Prince, E.D., D.W. Lee y S.A. Berkeley. 1988. Use of marginal increment analysis to validate the anal spine method for ageing Atlantic swordfish and other alternatives for age determination. Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico, Colección de Documentos Científicos, 27:194-201.
- Prince, E.D., D.W. Lee, C.A. Wilson y J.M. Dean. 1986. Longevity and age validation of tag-recaptured Atlantic sailfish, *Istiophorus platypterus*, using dorsal spines and otoliths. Fish. Bull., 84: 493-502.
- Radtke, R.L. 1983. Istiophorid otoliths: extraction, morphology, and posible use as ageing structures. p. 123-130 En: Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfish, and Sharks (Prince, E.D. y L. M. Pulos, eds.). NOAA Tech. Rep NMFS 8. 211 p.
- Radtke, R.L. y P.C.F. Hurley. 1983. Age Estimation and growth of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, from the Northwest Atlantic based on external features of otoliths. p. 145-150. En: Proceedings of the International Workshop on Age Determination of

- Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfish, and Sharks (Prince, E.D. y L.M. Pulos, eds.). NOAA Tech. Rep NMFS 8. 211 pp.
- Radtke, R.L. y B.S. Shepherd, 1991. Current methodological refinements for the acquisition of life history information in fishes: paradigms from pan-oceanic billfishes. *Comp. Biochem. Physiol.*, 100A: 323-333.
- Ramon, D. y R. Castro-Longoria. 1994. Sex composition and maturity of swordfish, *Xiphias gladius*, caught in the drifnet fishery along the coast of California and Oregon, 1990-1993 and Baja California, 1992-1993. Abstracts of the International Symposium on Pacific Swordfish. Ensenada, B.C., México. December 11-14, 1994.
- Ratty, F.J., R.M. Laurs y R.M. Kelly. 1974. Gonad morphology, histology, and spermatogenesis in South Pacific albacore tuna *Thunnus alalunga* (Scombridae). *Fish. Bull.*, 88: 207-216.
- Reid, J.L. 1988. Physical oceanography, 1947-1987. *CalCOFI Rep.*, 29: 42-65.
- Rosenberg A.A. y J.R. Beddington. 1991. Length-based methods of fish stock assessment. p. 83-103. En: *Fish Population Dynamics* (Gulland, J.A., ed.). John Wiley and Sons. Chichester. 422 pp.
- Royce, W.F. 1984. *Introduction to the Practice of Fishery Science*. Academic Press, Inc. San Diego. 428 pp.
- Sadovy, Y y Shapiro, D.Y. 1987. Criteria for the diagnosis of hermaphroditism in fishes. *Copeia*, 1987: 136-156.
- Sakagawa, G.T. 1989. Trends in fisheries of swordfish in the Pacific Ocean. p. 69-71. En: *Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kaina-Kona, Hawaii*, 1-

- 5 August 1988. Part 1 (Stroud, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 361 pp.
- Sakagawa, G.T. 1994. Supply of swordfish, *Xiphias gladius*, for the United States consumer market. Abstracts of the International Symposium on Pacific Swordfish. Ensenada, B.C., México. December 11-14, 1994.
- Schaefer, K.M. 1987. Biología reproductora del barrilete negro, *Euthynnus lineatus*, un atún del Pacífico Oriental. Comisión Interamericana del Atún Tropical, Boletín, 19: 169-260.
- Shepherd, J.G. 1991. Fish stock assessments and their data requirements. p. 35-62. En: Fish Population Dynamics (Gulland, J.A., ed.). John Wiley and Sons. Chichester. 422 pp.
- Shingu, C. P.K. Tomlinson y C.L. Peterson. 1974. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 16: 65-230.
- Skillman, R.A. 1989. Status of Pacific billfish stocks. p. 179-195. En: Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 1-5 August 1988. Part 1 (Stroud, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 361 pp.
- Skillman, R.A. y M.Y.Y. Yong. 1974. Length-weight relationships for six species of billfishes in the Central Pacific Ocean. p. 126-137. En: Proceedings of the International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972. Part 2 (Shomura, R.S. y F. Williams, eds.). NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-675. 335 pp.

- Snedecor, G.W. y W.G. Cochran. 1989. *Statistical Methods*. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 503 pp.
- Sosa-Nishizaki, O. 1990. *A study on the swordfish *Xiphias gladius* stocks in the Pacific Ocean*. Universidad de Tokio. Facultad de Agricultura. Tesis Doctoral. 244 pp.
- Sosa-Nishizaki, O. y M. Shimizu. 1991. *Spatial and temporal CPUE trends and stock unit inferred from them for the Pacific swordfish caught by the Japanese tuna longline fishery*. Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish., 28: 75-90.
- Sosa-Nishizaki, O., R. De la Rosa-Pacheco, R. Castro-Longoria, J.M. Grijalva-Chon y J. De la Rosa-Vélez. 1992. *Estudio biológico pesquero del pez espada (*Xiphias gladius*) y otras especies de picudos (marlins y pez vela)*. Reporte anual CICESE-CANAINPES. Ensenada, B.C. México. 43 pp.
- Sparre, P., E. Ursin y S.C. Venema. 1989. *Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1 - Manual*. FAO Fish. Tech. Paper 306/1. 337 pp.
- Squire, J.L. y D.W.K. Au. 1990. *Striped marlin in the Northeast Pacific - A case for local depletion and core area management*. p. 199-214. En: *Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kaina-Kona, Hawaii, 1-5 August 1988. Part 2* (Stroud, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 321 pp.
- Strasburg, D.W. 1970. *A report on the billfishes of the Central Pacific Ocean*. Bull. Mar. Sci., 20:575-604.
- Taylor, R.G. y M.D. Murphy. 1992. *Reproductive biology of the swordfish *Xiphias gladius* in the straits of Florida and adjacent waters*. Fish. Bull., 90: 809-816.

- Tibbo, S.N., L.R. Day y W.F. Doucet. 1961. The swordfish (*Xiphias gladius* L.), its life-history and economic importance in the northwest Atlantic. Fish. Res. Bd. Canada Bull. (130): 47 pp.
- Uchiyama, J.H. y R.S. Shomura. 1974. Maturation and fecundity of swordfish (*Xiphias gladius*) from Hawaiian waters. p. 142-148. En: Proceedings of the International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972. Part 2 (Shomura, R.S. y F. Williams, eds.). NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-675. 335 pp.
- Uchiyama, J.H., R.A. Skillman y J.D. Sampaga. 1994. Ageing of North pacific using hard parts. Abstracts of the International Symposium on Pacific Swordfish. Ensenada, B.C., México. December 11-14, 1994.
- Ueyanagi S., R.S. Shomura, Y. Watanabe y J.L. Squire. 1989. Trends in the fisheries for billfishes in the Pacific. p. 31-45. En: Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 1-5 August 1988. Part 1 (Stroud, R.H., ed.). National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 361 pp.
- Weber, E.C. y S.R. Goldberg. 1986. The sex ratio and gonad indices of swordfish, *Xiphias gladius*, caught off the coast of Southern California in 1978. Fish. Bull., 84: 185-186.
- Wilson, C.A., E.B. Brothers, J.M. Casselman, C.L. Smith y A. Wild. 1983. Glossary. p. 207-208. En: Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfish, and Sharks (Prince, E.D. y L. M. Pulos, eds.). NOAA Tech. Rep NMFS 8. 211 pp.
- Wilson, C.A. y J.M. Dean. 1983. The potential use of sagittae for estimating age of Atlantic swordfish, *Xiphias gladius*. p. 151-156. En: Proceedings of the International

Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfish, and Sharks (Prince, E.D. y L. M. Pulos, eds.). NOAA Tech. Rep NMFS 8. 211 pp.

Zar. J.H. 1984. Biostatistical Analysis. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey. 718 pp.

