

Ciclo reproductivo y longitud de madurez de la barracuda mexicana *Sphyraena ensis* (Perciformes, Sphyraenidae) frente a la costa sureste del Golfo de California

Oscar Iram Zavala-Leal^{1,2}, Josué Israel Sánchez-Venegas², Claudia Azucena González-Huerta¹, Francisco Javier Valdez-González^{1,2}, Javier Marcial Ruiz-Velazco^{1,2}, Juan Pablo González-Hermoso¹ & Jasmín Granados-Amores^{1,2}

¹Universidad Autónoma de Nayarit-Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Km 12 Carretera Los Cocos, C.P. 63740, San Blas, Nayarit, México. ²Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. Km 9 carretera Tepic-Compostela, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit, México.

*Corresponding author: iram.zavala@uan.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0001-8581-5724>

Abstract: Reproductive cycle and length at maturity of the Mexican barracuda *Sphyraena ensis* (Perciformes: Sphyraenidae) off the southeastern coast of the Gulf of California. Understanding the reproductive strategies of any organism allows for the implementation of sustainable fisheries management. The Mexican barracuda *Sphyraena ensis* is an important fishery resource in the southeastern Gulf of California, which is exploited throughout the year and without any regulation or restriction. According to comments from fishermen, the catch volumes and sizes of the organisms caught have decreased in recent years, which may be due to fishing pressure. The objective of this study was to describe the maturity phases in males and females, determine the reproductive cycle, associate these phases with environmental factors (temperature, photoperiod, and chlorophyll-a) and estimate the length of maturity of the Mexican barracuda from the southeastern Gulf of California. The barracudas were obtained from commercial fishing on the coast of Nayarit, during February 2014 to January 2015. The gonadal development, sexual maturity, and reproductive cycle of *Sphyraena ensis* were described by histology. In addition, the relationship between the reproductive event and environmental factors (temperature, chlorophyll-a, and photoperiod) was determined. The testes have longitudinally arranged seminiferous ducts and the ovaries have a concentric arrangement of the ovigerous lamellae. Gonadal development is asynchronous, and spawning and spermiation can be observed over a long period of time. The reproductive period is extensive, practically throughout the year. However, the period with the greatest spawning and spermiation activity (March to June) is influenced by the number of daylight hours and the concentration of chlorophyll-a. The average size at sexual maturity was 38.4 and 36.2 cm in total length for females and males, respectively.

Key words: Photoperiod, histology, reproductive period, fishery resource, Sphyraenidae, size at sexual maturity

Resumen: Conocer las estrategias reproductivas de cualquier organismo permite implementar un manejo pesquero sostenible. La barracuda mexicana *Sphyraena ensis* es un recurso pesquero importante en el sureste del Golfo de California, el cual es aprovechado durante todo el año y sin regulación o restricción alguna. Según comentarios de los pescadores los volúmenes de captura y las tallas de los organismos capturados han disminuido en los últimos años, lo que puede deberse a una presión pesquera. El objetivo del presente estudio fue describir las fases de madurez en machos y hembras, determinar el ciclo reproductivo, asociar dichas fases con factores ambientales (temperatura, fotoperiodo y clorofila-a) y estimar la longitud de madurez de la barracuda mexicana del sureste del Golfo de California. Las barracudas se obtuvieron de la pesca comercial en la costa de Nayarit, durante febrero 2014 a enero de 2015. Se describió el desarrollo gonádico, la madurez sexual y el ciclo reproductivo de *Sphyraena ensis*, mediante histología. Además, se determinó la relación entre el evento reproductivo y los factores ambientales (temperatura, clorofila-a y fotoperiodo). Los testículos presentan conductos seminíferos dispuestos longitudinalmente y los ovarios tienen un arreglo concéntrico de las laminillas ovígeras. El desarrollo gonádico es asincrónico y el periodo de reproducción es extenso, prácticamente durante todo el año. El periodo con mayor actividad de desove y espermiación (marzo a junio) está influenciado por la cantidad de horas luz y la concentración de clorofila-a. La longitud media de madurez fue 38.4 cm y 36.2 cm para hembras y machos, respectivamente.

Palabras clave: Fotoperiodo, histología, periodo reproductivo, recurso pesquero, Sphyraenidae, talla de madurez sexual

INTRODUCCIÓN

La familia Sphyraenidae está conformada por un solo género (*Sphyraena*) representada por 27 especies (Nelson *et al.*, 2016). Son depredadores pelágicos distribuidos en océanos tropicales y subtropicales (Doiuchi *et al.*, 2011; Akyol, 2015), conformando una parte importante de las pesquerías artesanales y/o de la pesca deportiva a lo largo de su zona de distribución (Sommer, 1995; Madrid *et al.*, 1997; Kadison *et al.*, 2010; Akadje *et al.*, 2019; Rajesh *et al.*, 2020; Aggrey-Fynn & Hotor, 2021). Las barracudas suelen ser especies de gran tamaño (Robertson & Allen, 2023) y son consideradas depredadoras carnívoras tope, que se alimentan principalmente de peces pelágicos y arrecifales, aunque también de crustáceos y moluscos (Kalogirou *et al.*, 2012; Akadje *et al.*, 2013; Moreno-Sánchez *et al.*, 2019; Ranaware *et al.*, 2023). En el Pacífico oriental se distribuyen 7 especies, la barracuda gigante (*Sphyraena barracuda* Edwards, 1771), la barracuda líneas amarillas (*Sphyraena stellata* Morishita & Motomura, 2020), la barracuda plateada (*Sphyraena argentea* Girard, 1854), la barracuda mexicana (*Sphyraena ensis* Jordan & Gilbert, 1882), la barracuda pelicana (*Sphyraena idiaestes* Heller & Snodgrass, 1903), la barracuda de Cortés (*Sphyraena lucasana* Gill, 1863) y la barracuda aleta negra (*Sphyraena genie* Klunzinger, 1870), de las cuales las últimas cinco especies se encuentran en el Pacífico mexicano y Golfo de California (Robertson & Allen, 2023). De las especies que se distribuyen en México, *S. ensis* es la más abundante y de mayor ámbito de distribución en el Pacífico Oriental Tropical, esta se distribuye comúnmente desde el sur de California, incluyendo el centro oriente y suroeste del Golfo de California, hasta Chile y raramente a Malpelo (Robertson & Allen, 2023).

La barracuda mexicana representa uno de los recursos pesqueros importantes en la costa del Pacífico mexicano (Madrid *et al.*, 1997) y en especial del sureste del Golfo de California (Ulloa-Ramírez *et al.*, 2008; Zavala-Leal *et al.*, 2018), representando una de las principales actividades económicas por su gran volumen de captura, la demanda para el consumo humano, y por el uso o interés dentro de la pesca deportiva, además de fungir como pesquería de subsistencia para cierto grupo de pescadores ribereños (Zavala-Leal *et al.*, 2018).

En esta zona, este recurso sostiene una pesquería permanente a lo largo del año y sin restricciones o regulación alguna, sin embargo, de

acuerdo con los pescadores de la región cada vez sus capturas son menores al igual que la talla de los organismos capturados, lo cual puede deberse a la presión pesquera que existe sobre el recurso. Aun cuando esta especie presenta notable importancia dentro de la actividad pesquera, existe poca información o datos científicos sobre su biología, ecología y pesquería en la región, lo que hace poco posible establecer un manejo adecuado que permita un aprovechamiento sostenible del recurso. De manera específica, para *S. ensis* en México existen reportes sobre aspectos ecológicos como su presencia y formación de estructuras de ensamblajes demersales en el Golfo de Tehuantepec (Bianchi, 1991), la presencia como parte de la dieta del marlin rayado (*Tetrapturus audax*) en Los Cabos y la presencia dentro de la estructura vertical de ensamblajes de larvas de peces en Bahía de La Paz. Mientras que para la región sureste del Golfo de California se han determinado los hábitos alimentarios y variaciones tróficas de acuerdo con el sexo, talla y estacionalidad (Moreno-Sánchez *et al.*, 2019), así como algunos aspectos reproductivos tales como la proporción sexual, relación peso-talla e índices somáticos (Zavala-Leal *et al.*, 2018).

Dentro de los aspectos biológicos más importantes para el manejo sostenible de los recursos pesqueros se encuentra la reproducción (Jennings *et al.*, 2001), por ello es crucial comprender su estrategia reproductiva, la cual se expresa por la duración del período de reproducción, la frecuencia de desove y la talla de primera madurez sexual (Potts & Wootton, 1984; Wootton, 1998). Además, es importante conocer la relación que tiene la reproducción con los factores ambientales, ya que pueden impactar significativamente las estrategias de reproducción de los peces (Potts & Wootton, 1984; Murua & Saborido, 2003). En ese sentido, diversos factores ambientales tienen la capacidad de producir señales para la estimulación del sistema endócrino (Bayarri *et al.*, 2002; Clark *et al.*, 2005; Carrillo *et al.*, 2009), principalmente la temperatura y el fotoperíodo (Carrillo-Isordia *et al.*, 2023). Por todo lo anteriormente expuesto, el propósito de este trabajo fue caracterizar mediante histología las fases de madurez en hembras y machos de la barracuda mexicana, determinar su ciclo reproductivo y los posibles efectos del ambiente sobre el mismo, y finalmente estimar la longitud de madurez sexual, en el sureste del Golfo de California.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La costa de San Blas, Nayarit se localiza entre los 21° 24' N, 105° 15' W and 21° 33' N, 105° 24' W, en el sureste del Golfo de California (Fig. 1), esta región concentra la mayor actividad pesquera del estado, el cual cuenta con un litoral de 296 km. Las zonas en las cuales se capturan las barracudas se caracterizan por presentar fondos de arena, arcilla y limo, y profundidades que oscilan entre los 8 y los 15 m.

Estimación de variables ambientales

Para el análisis ambiental temporal, los datos del fotoperiodo se extrajeron de la estación oceanográfica de puerto Balleto, Nayarit a través del programa Mar V1.0 2011, del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), mientras que para la temperatura superficial del mar (°C) y concentración de clorofila-a se utilizaron imágenes promedio mensuales de una composición de imágenes de los sensores MODIS-Terra y MODIS-Aqua con una resolución espacial de 1 km (Karhu *et al.*, 2004). Se obtuvieron las imágenes mediante el software Windows Image Manager© (WIMsoft versión 9.06 x64 Build 0307) en Hierarchical Data Format (HDF) y se realizó la regionalización mediante el acotamiento del área de estudio.

Obtención de muestras

Las muestras fueron recolectadas de la pesca artesanal ribereña dedicada en específico a la captura de esta especie y que desembarcada en el puerto de San Blas, Nayarit, México, en el sureste del Golfo de California. Aquí la captura de barracudas se realiza con línea de mano y anzuelos tipo J (del # 4 a 8), comúnmente por la noche o al amanecer. Los muestreos se realizaron de febrero de 2014 a enero de 2015 con una frecuencia mensual, se recolectaron alrededor de 30 organismos por mes incluyendo todas las tallas disponibles. Los especímenes enteros fueron transportados en hieleros con hielo al Laboratorio de Histología de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera de la Universidad Autónoma de Nayarit. Para cada organismo se tomó el peso total con una balanza digital (marca Ohaus, precisión de 1 g) y la longitud total, con un ictiómetro de 100 cm. Después se extrajeron las gónadas y se fijaron en una solución de formalina al 10% saturado con borato de sodio. Para el análisis histológico de las gónadas se utilizó la técnica convencional de hematoxilina-eosina (Zavala-Leal *et al.*, 2022), y finalmente

se realizó la observación a través de un microscopio óptico a 10X y 40X.

Con los datos biométricos se realizó una comparación de las tallas entre machos y hembras, mediante una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Madurez sexual, desarrollo gonádico y ciclo reproductivo

Se describieron los cambios en la disposición del tejido gonadal causados por la gametogénesis. Estos cambios fueron clasificados en fases de desarrollo, las cuales dieron lugar a la descripción del desarrollo gonádico y a su vez al establecimiento del ciclo reproductivo de la barracuda mexicana. Para esto, se tomaron como referencia los estudios de Erisman *et al.* (2008) y Carrillo-Isiordia *et al.* (2023) con algunas modificaciones para esta especie. Se identificaron seis fases de desarrollo ovárico (reposo, desarrollo inicial, desarrollo avanzado, madurez, desove y post-desove) y cinco fases de desarrollo testicular (reposo, desarrollo, madurez, espermiación y eyaculado). Cabe señalar que la fase de reposo incluye adultos sin actividad reproductiva y juveniles. Para cada fase de desarrollo gonadal se calcularon las frecuencias relativas y se describió la distribución temporal de estas. En este estudio, se consideró como época de reproducción al periodo en el cual se encontraron hembras en fase de desarrollo avanzado, madurez y desove, y machos en fase de madurez y espermiación.

Efecto de las variables ambientales sobre el ciclo reproductivo

Para determinar si el fotoperiodo, la temperatura y/o concentración de clorofila-a tienen influencia sobre el ciclo reproductivo de *S. ensis*, se aplicó una correlación de Spearman entre las fases de desarrollo gonadal mensual y estas variables.

Longitud de madurez

Para estimar la longitud de madurez se consideraron organismos maduros sexualmente (hembras en desarrollo avanzado, madurez y desove, machos en fase de madurez y espermiación), se calculó la frecuencia relativa y frecuencia relativa acumulada de cada sexo por intervalos de talla. La L_{50} se estimó al ajustar en un modelo sigmoideo los datos del límite inferior de la marca de clase y las frecuencias de cada sexo, para lo cual se empleó el programa CurveExpert 1.4.

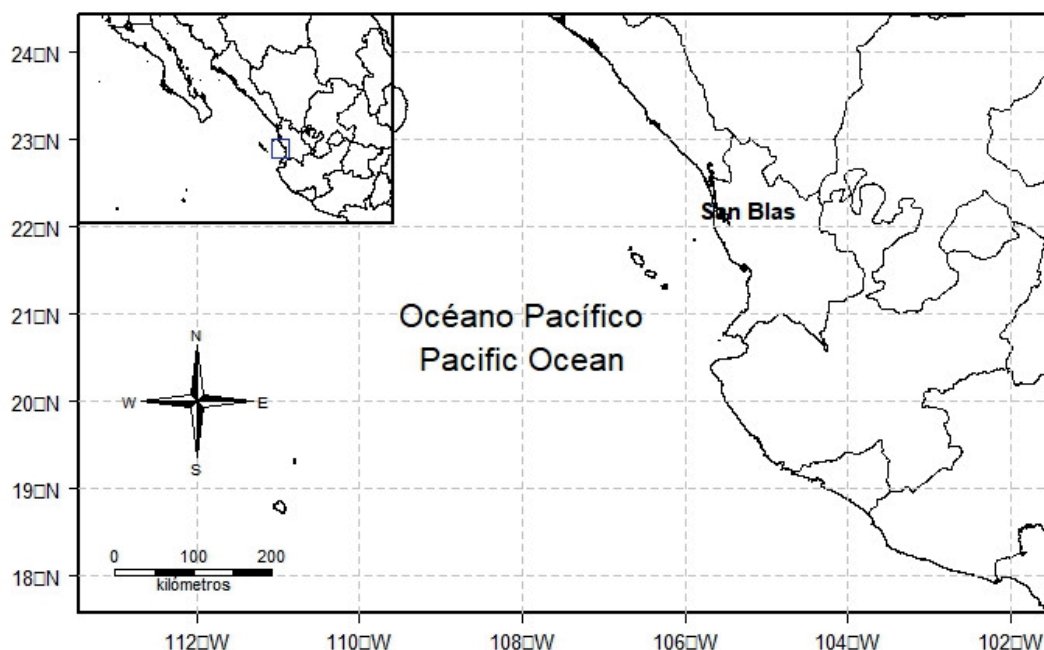


Fig. 1. Zona de pesca de *Sphyrna ensis* por la pesca ribereña, en el sureste del Golfo de California.

$$M\% = \frac{a}{1 + be^{-dL}}$$

Donde M%= porcentaje de organismos maduros, a=intercepto, b= pendiente, e= constante de Euler, Lt= longitud total.

Una vez obtenida la talla de madurez sexual, se estimó la proporción de organismos que se capturan en la región sin que hayan alcanzado la madurez sexual.

RESULTADOS

Se obtuvieron en total 367 organismos de los cuales 244 fueron hembras (66.5%) y 123 (33.5%) machos. Se registró un intervalo de tallas para hembras de 32.9 a 59.1 cm de longitud total (Lt) y peso de 127 a 848 g. Para los machos fue de 30.2 a 52.6 cm de Lt y 114 a 642 g de peso. La barracuda mexicana no presenta un dimorfismo sexual en cuanto a la forma del cuerpo y coloración, sin embargo, se comprobó estadísticamente que las hembras presentan una longitud total (H=38.16, P=0.004) y peso total (H=30.23, P=0.007) significativamente mayor que los machos.

Variables ambientales

El promedio de horas luz a lo largo del perio-

do de muestreo (febrero 2014/enero 2015) fue de 11.9 h, el mes con menor cantidad de horas luz fue enero con 10.3 h, mientras que junio fue el mes con mayor cantidad de horas luz (13.2 h). Por otro lado, la temperatura superficial del mar promedio en la zona de muestreo fue de 28.8 °C, la mínima de 26.1 °C (enero) y máxima de 32.3 °C (julio). Finalmente, la concentración de clorofila varió de 0.96 µg/L (junio) a 3.17 µg/L (abril) (Tabla 1).

Madurez sexual, desarrollo gonádico y ciclo reproductivo

Las gónadas de la barracuda son estructuras pareadas que constan de dos lóbulos, se encuentran albergados en la parte dorsal dentro de la cavidad peritoneal, sostenidos por el mesenterio (mesorquio y mesovario). Ambos lóbulos se conectan al orificio urogenital mediante un conducto (espermiducto u oviducto, macho o hembra, según sea el caso). En el caso de los testículos muestran conductos seminíferos dispuestos longitudinalmente a lo largo de este, hasta alcanzar el canal eyaculador el cual se abre al exterior al unir ambos lóbulos de la gónada, mientras que los ovarios, presentan un arreglo concéntrico de las laminillas ovígeras. De acuerdo con el desarrollo de los ovocitos, se observó que la barracuda mexicana presenta un desarrollo gonádico asin-

Tabla 1. Valores promedio de fotoperiodo, temperatura superficial del mar y clorofila-a en el sureste del Golfo de California.

Meses	Fotoperiodo (Horas luz)	Temperatura (°C)	Chl-a (µg/L)
Febrero (2014)	11.25	26.44	2.25
Marzo	12.01	26.42	2.61
Abril	12.38	26.55	3.17
Mayo	13.09	28.13	3.02
Junio	13.24	30.58	0.96
Julio	13.17	32.31	1.83
Agosto	12.51	31.95	2.87
Septiembre	12.16	31.86	3.06
Octubre	11.38	30.60	2.16
Noviembre	11.08	28.65	1.83
Diciembre	10.49	26.85	1.43
Enero (2015)	10.32	26.16	2.24

crónico (Fig. 2). El desarrollo gonadal inicia con la fase de reposo, que se caracteriza por presentar solamente ovocitos en crecimiento primario, mientras que la frecuencia de aparición de estos disminuye mientras la madurez ovárica aumenta, hasta que en la fase de madurez se observan principalmente ovocitos en etapa de núcleo migratorio, proteólisis de vitelo e hidratación. En el caso de los machos, la fase de reposo se caracteriza por presentar predominancia de espermatogonias, mientras que la aparición de espermatocitos y espermatozoides aumenta con la madurez de los testículos. De manera puntual, se describen seis fases de desarrollo ovárico: reposo, desarrollo inicial, desarrollo avanzado, madurez, desove y post-desove, y cinco fases testiculares: reposo, desarrollo, madurez, espermiación y eyaculado (Tabla 2).

Se observó que en la barracuda mexicana en el sureste del Golfo de California se presentan especímenes sexualmente activos prácticamente a lo largo de todo el año, aunque con diferente frecuencia. Específicamente para las hembras, se observa la presencia de la fase de reposo los meses de febrero, marzo y de julio hasta enero, con proporciones altas en febrero y de octubre a enero. La fase de desarrollo inicial se observa de julio a septiembre y de diciembre a enero, solo que en bajas proporciones para estos meses (5.9 a 11.2%). Mientras que la fase de desarrollo avanzado se presenta de febrero a junio, en agosto y septiembre, con proporciones bajas que solo alcanzan una proporción aproximada al 25% para los meses de mayo y junio que son los más altos en esta fase. La fase de madurez se presenta en la mayor parte del muestreo, excepto de octubre

a diciembre. Los meses con mayor proporción en esta fase son abril y mayo ($\geq 50\%$), seguido de junio, agosto y septiembre (alrededor del 15%). La fase de desove también se presenta a lo largo del muestreo, excepto en febrero, mayo, julio y enero, los meses con mayor proporción de organismos en desove es junio (57.2%) y octubre (42.2%). Finalmente, se observa que la fase de post-desove también se presenta en la mayoría de los meses de muestreo, excepto en abril y junio, siendo los meses de julio (60%) y agosto (43%) los de mayor proporción de organismos en esta fase (Fig. 3).

En cuanto a los machos, los organismos en fase de reposo se observan solo los meses de febrero, julio y agosto con proporciones del 10%. La fase gonadal en desarrollo se presenta a lo largo del periodo de muestreo, excepto los meses de septiembre, diciembre, al igual que la fase de madurez, la cual no se registra solamente los meses de diciembre y enero. La fase de eyaculación no se observa únicamente en los meses de marzo, diciembre y enero, mientras que los organismos en fase de eyaculado se presentaron todo el periodo de muestreo, excepto en marzo (Fig. 3).

De acuerdo con el análisis histológico de las gónadas, se determina que la barracuda mexicana es una especie que se reproduce durante todo el año, con el periodo de mayor actividad reproductiva entre los meses de marzo a junio.

Efecto de las variables ambientales sobre el ciclo reproductivo

Como resultado del análisis de correlación de Spearman, se observa que en el caso de las hembras, el fotoperiodo muestra una correlación positiva con las fases de desarrollo avanza-



Fig. 2. Corte histológico de la gónada de barracuda mexicana *Sphyraena ensis*. AC: alveolo cortical, FPO: folículo postovulatorio, PN: ovocito perinucleolar, PV: ovocito con proteólisis de vitelo, V: ovocito en vitelogénesis, barra: 100 μ m.

do y madurez, y una correlación negativa con la fase de reposo, mientras que la concentración de clorofila-a muestra una correlación positiva con la madurez. Para los machos solo el fotoperiodo muestra una correlación positiva con la madurez (Tabla 3). En el caso de la temperatura superficial del mar no se observa correlación con el evento reproductivo.

Longitud de madurez

Al estimar la longitud de madurez de la barracuda mexicana, se observa para ambos sexos que los intervalos de talla que mayor frecuencia relativa presentan son 36 a 40 cm y 41 a 45 cm de Lt (Fig. 4a). Las hembras maduras se encontraron a partir de los 34.5 cm y los machos desde los 32.9 cm. La L_{50} para hembras se estimó en 38.4 cm, y en 36.2 cm Lt en los machos (Fig. 4b). Del total de ejemplares analizados el 14.8% no habían alcanzado la madurez.

DISCUSIÓN

Las hembras de barracuda mexicana presentaron una longitud total mayor que los machos, aunque de manera general, los organismos capturados en esta área mostraron una talla muy por debajo de la longitud máxima reportada para esta especie (de 130 a 137 cm) (Robertson & Allen, 2008; Méndez-Abarca & Pepe-Victoriano, 2020). Estas observaciones ya han sido discutidas por Zavala-Leal *et al.* (2018), quienes atribuyeron que la mayor talla en hembras beneficiaría a la población debido a que poseen un mayor potencial reproductivo que las hembras más pequeñas. Las menores tallas de la población capturada en la región obedecen a que la pesquería de este recurso se realiza muy cerca de la costa, encontrándose los organismos más grandes en aguas más profundas.

El desarrollo gonadal de *S. ensis* sigue el pa-

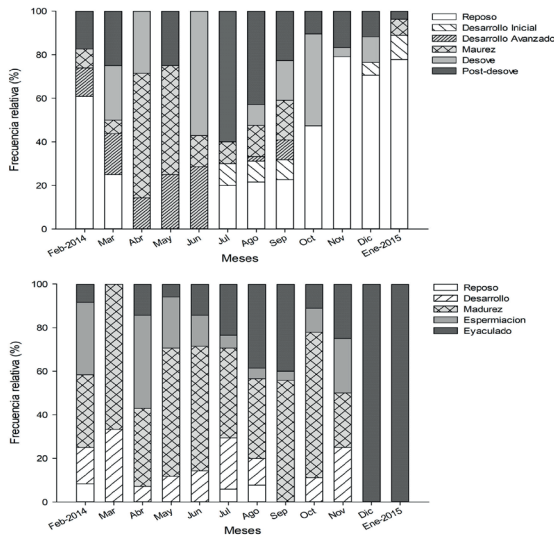


Fig. 3. Frecuencias relativas mensuales de las fases de desarrollo gonádico de *Sphyraena ensis*, del sureste del Golfo de California. A) hembras y B) machos.

trón general de los teleósteos, específicamente la oogénesis sigue la diferenciación celular según las fases de crecimiento de los ovocitos como crecimiento temprano, alvéolos corticales, vitelogenénesis y maduración final (Wallace & Selman, 1981; Tyler & Sumpter, 1996). De acuerdo con esta diferenciación celular se establecieron las fases de desarrollo gonadal propuestas por Erisman *et al.* (2008) y Carrillo-Isiordia *et al.* (2023). A diferencia de la escala morfocromática propuesta por Zavala-Leal *et al.*, (2018), esta clasificación permite distinguir la fase de desove y espermiación debido a la caracterización histológica, lo que proporciona mayor certeza al estudio de la madurez sexual. La presencia de folículos post-ovulatorios, ovocitos vitelogénicos, con alveolos corticales y en crecimiento primario de manera simultánea en las fases de mayor desarrollo ovárico (madurez y desove), confirma que *S. ensis* es desovador múltiple al igual que otras barracudas (Pillai, 1981; Kasim, 2000; Ranaware *et al.*, 2023). Además, la presencia de cohortes de ovocitos con diferentes etapas de crecimiento, indica una madurez asincrónica (Tyler & Sumpter, 1996), lo cual es común entre las especies con múltiples desoves y prolongados periodos reproductivos (Muñoz-Cueto *et al.*, 1997). En machos se observó que la espermatogénesis también es continua durante la temporada reproductiva, que es prácticamente a lo largo de todo el año, lo

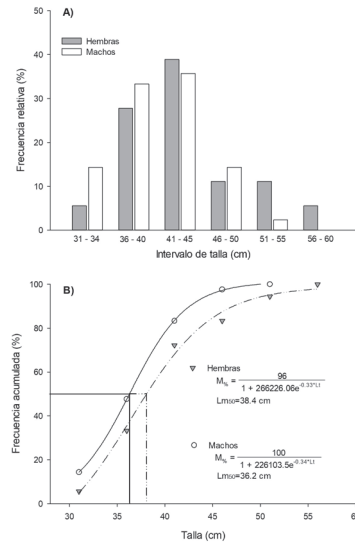


Fig. 4. Madurez sexual de la barracuda mexicana *Sphyraena ensis* del sureste del Golfo de California, A) frecuencias por intervalos de tallas de organismos maduros, B) longitud media de madurez. Las líneas muestran la intersección

que permite suponer que pueden fecundar múltiples óvulos, como se ha observado en otras especies del género *Sphyraena* (Rajesh *et al.*, 2020; Ranaware *et al.*, 2023).

La obtención de las variables ambientales a través de sensores remotos ha demostrado ser una herramienta para relacionar el ambiente con aspectos biológico-reproductivos en organismos acuáticos (Zavala-Leal *et al.*, 2022; Carrillo-Isiordia *et al.*, 2023). Se ha reportado que la porción norte del Pacífico Tropical Oriental, que incluye el sur de la península de Baja California (BC), la zona centro y sur de Sinaloa, y los estados de Nayarit y Jalisco, presenta una temperatura promedio anual de 21 °C en el noroeste (península de BC) y de 27 °C en el sur (costa de Nayarit y Jalisco), aunque para esta misma zona el promedio normal alcanza los 28 °C (Shea, *et al.*, 1992; Palacios-Hernández *et al.*, 2010), lo que de alguna manera se asemeja a lo observado en el presente estudio para la costa de Nayarit. De igual manera, el fotoperiodo es similar en la zona de estudio a lo observado por Carrillo-Isiordia *et al.* (2023), siendo junio el mes con mayor cantidad de horas luz y enero con la menor cantidad.

Las variables ambientales han sido con frecuencia contrastadas con el evento reproductivo, con la finalidad de conocer la relación o influencia que presentan entre ellos, dentro de los factores con mayor influencia sobre la reproducción se

Tabla 2. Fases de desarrollo gonádico de la barracuda mexicana *Sphyraena ensis* del sureste del Golfo de California.

Hembras	Machos
Reposo: Se distingue por la presencia de ovocitos en crecimiento primario: fase de cromatina nucleolar y perinucleolar.	Reposo: Se caracteriza por el dominio de grandes conjuntos de espermatogonias, los senos espermáticos, aunque presentes, están comprimidos.
Desarrollo inicial: Se caracteriza por la presencia de ovocitos en alveolo cortical en su mayoría y algunos en vitelogénesis temprana (presencia de gránulos de vitelo).	Desarrollo: Se distingue por un arreglo concéntrico de espermatoцитos en los acinos, las espermatogonias se siguen observando, pero en menor proporción.
Desarrollo avanzado: Mayor proporción de ovocitos en vitelogénesis intermedia y tardía, con pronunciadas gotas lipídicas. Se observan ovocitos con menor grado de desarrollo.	Madurez: Se aprecia una disminución en el tamaño de las células espermáticas compuestas principalmente de espermatozoides. Estas células muestran un arreglo al centro dentro de los acinos y un espacio evidente entre la pared y las células sexuales.
Madurez: Presencia de ovocitos con núcleo migratorio, proteólisis del vitelo e hidratación, en menor proporción ovocitos en vitelogénesis tardía y crecimiento primario cercanos a la pared lamelar.	Espermiación: Se observan espacios vacíos en el centro de los acinos y en algunos casos la constricción de estos. Los túbulos seminíferos con espermatozoides. Se aprecian espermatoцитos y espermatogonias en menor proporción.
Desove: La principal característica es la presencia de folículos post-ovulatorios, seguida por ovocitos con núcleo migratorio y proteólisis del vitelo. Se observa la presencia de ovocitos en crecimiento primario y alveolo cortical.	Eyaculado: Se caracteriza por presentar una gran cantidad de tejido conectivo, pequeños conjuntos de espermatozoides que no fueron espermiados, y células sexuales en diferente fase de desarrollo.
Post-desove: Se caracteriza por la presencia de folículos post-ovulatorios en reabsorción, ovocitos en atresia y la reorganización del tejido conectivo gonadal dando lugar al desarrollo de nueva cohorte de ovocitos.	

Tabla 3. Correlaciones entre factores ambientales y las fases de desarrollo gonádico de la barracuda mexicana *Sphyraena ensis* del sureste del Golfo de California. Números en negrita significa correlación significativa, *R* = coeficiente de correlación de Spearman, *p* = valor de probabilidad.

Hembras	Temperatura		Fotoperiodo		Chl-a (µg/L)	
	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>R</i>	<i>p</i>
Reposo	-0.331	0.320	-0.927	0.000	-0.316	0.315
Desarrollo inicial	0.116	0.734	-0.232	0.493	-0.070	0.828
Desarrollo avanzado	-0.162	0.633	0.629	0.038	0.362	0.246
Madurez	0.101	0.767	0.629	0.017	0.654	0.020
Desove	0.226	0.504	0.288	0.390	-0.049	0.877
Post-desove	0.249	0.460	0.183	0.591	0.192	0.547
Machos	Temperatura		Fotoperiodo		Chl-a (µg/L)	
	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>R</i>	<i>p</i>
Reposo	0.275	0.386	0.183	0.567	0.009	0.977
Desarrollo	0.077	0.810	0.281	0.375	-0.225	0.481
Madurez	0.305	0.334	0.589	0.043	0.185	0.562
Espermiación	0.056	0.861	0.288	0.362	0.183	0.568
Eyaculado	0.182	0.570	-0.368	0.238	-0.214	0.504

encuentran la temperatura, el fotoperiodo, la salinidad, fase lunar, entre otras (Carrillo-Isiordia *et al.*, 2023). En el presente estudio no se observó relación entre la reproducción y la temperatura superficial del mar, debido posiblemente a que

la variación anual en este parámetro es menor a los 6.5°C y los cambios entre los meses son moderados (menores a 2.5°C). Por otro lado, la mayor cantidad de horas luz mostró una relación directa con las mayores proporciones de indivi-

duos. Mientras que la concentración de clorofila-a presentó una correlación positiva con la fase de madurez sexual en hembras. El fotoperiodo es una de las principales variables ambientales que regula los ciclos reproductivos, ya sea individualmente o en combinación con la temperatura o cualquier otra variable ambiental, la variación de horas luz y oscuridad activan el órgano pineal (sistema compuesto por fotodetectores, el reloj circadiano y enzimas sintetizadoras de melatonina), responsable de la activación del eje neuro-endocrino para el inicio de la maduración gonádica (Maitra *et al.*, 2006; Carrillo-Isiordia *et al.*, 2023). La relación de la madurez sexual con la concentración de clorofila-a solo se observó en hembras con avanzado desarrollo gonadal (fase de madurez), lo cual podría tener una explicación en la obtención de alimento constante para satisfacer la necesidad de producción de vitelo para los ovocitos, en la costa del sureste del Golfo de California la alimentación de la barracuda mexicana se basa principalmente en peces de bajo nivel trófico como sardinas o anchoas (Moreno-Sánchez *et al.*, 2019).

En cuanto a la longitud media de madurez sexual (L_{50}), es importante conocer este indicador biológico en cualquier especie susceptible de aprovechamiento, ya que puede evitar la extracción de juveniles y con ello la reducción de la población reproductivamente activa, por lo tanto es esencial determinar este parámetro de la historia de vida de los organismos para un manejo pesquero adecuado (Meshram *et al.*, 2021). En este estudio, se observó que la talla de madurez sexual es menor en machos (36.2 cm) que en hembras (38.4 cm), como ha sido reportado para otras especies de barracudas (Allam *et al.*, 2004; Rajesh *et al.*, 2020). Se ha reportado la talla media de madurez para otras especies de barracudas, las cuales no sobrepasan los 30 cm de longitud, como para *Sphyraena guachancho* (28.83 cm de longitud furcal) (Akadje *et al.*, 2019), *S. chrystaenia* (en machos 17.3 cm de longitud total y hembras 19.3 cm), *S. flavicauda* (en machos 25.5 y hembras 28.0 cm de Lt), *S. sphyraena* (en machos 26.7 y hembras 27.6 cm de Lt) (Allam *et al.*, 2004), *S. obtusata* (en machos 21.5 y hembras 21.1 cm de Lt; Meshram *et al.*, 2021, combinado machos y hembras 22.92 cm de Lt; Ranaware *et al.*, 2023), mientras que se ha reportado una talla media de madurez relativamente similar para *S. putnamae* (Rajesh *et al.*, 2020). Las variaciones en la talla media de madurez pueden ser atribuidas a condiciones ambientales como la temperatura, disponibilidad de alimento, pre-

sión pesquera sobre los recursos, la diferencia en la variabilidad o el potencial genético, e incluso en el método empleado para estimar la madurez sexual y la talla de madurez. Al no existir un dimorfismo sexual en esta especie, se debería considerar el uso de la longitud de madurez de las hembras para establecer la longitud mínima de captura al momento de establecer un plan de manejo pesquero para este recurso en la zona.

CONCLUSIONES

La barracuda mexicana *S. ensis* en el sureste del Golfo de California presenta un desarrollo gonádico asincrónico, con múltiples desoves durante un extenso periodo reproductivo. El mayor pico reproductivo observado fue de marzo a junio, mostrando una correlación positiva del fotoperiodo y las fases de desarrollo avanzado y madurez, y de la concentración de clorofila-a con la fase de madurez. Finalmente, la longitud de madurez sexual para hembras fue de 38.4 cm de Lt, mientras que para machos fue de 36.2 cm.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Pesq. Agustín Aguilar Covarrubias e Ing. Pesq. Isaías Ríos Jiménez por el apoyo en la recolección y procesamiento de las muestras. Al CONAHCYT por la beca de maestría otorgada a JISV y por el apoyo del SNII para OIZL, FJVG, JPGH y JGA. Finalmente, agradecemos a los revisores anónimos por sus valiosas aportaciones que enriquecieron este manuscrito.

REFERENCIAS

- Aggrey-Fynn, J. & D.W. Hotor. 2021. Growth, mortality and exploitation levels of *Sphyraena sphyraena* (Sphyraenidae) and *Apsilus fuscus* (Lutjanidae) in Ghanaian waters. *European Journal of Environment and Earth Sciences* 2(1): 16–23.
- Akadje, C.M., M. Diaby, F.L. Loc'h, J.K. Konan & K. N'da. 2013. Diet of the barracuda *Sphyraena guachancho* in Ivory Coast, Equatorial Eastern Atlantic Ocean. *Cybiurn* 37(4): 285–293.
- Akadje, C.M.A., Y.N. Amon, K. N'Da, & F.L. Loc'h. 2019. Reproductive biology of barracuda, *Sphyraena guachancho*, on Ivorian Coasts (eastern central Atlantic). *Vie et Milieu-Life and Environment* 69(2–3): 177–185.
- Akyol, O. 2015. Additional record of the yellow-mouth barracuda, *Sphyraena viridensis* Cuvier, 1829 (Perciformes: Sphyraenidae) from the NE Aegean Sea, Izmir Bay, Turkey. *Journal of Applied Ichthyology* 31(5): 919–921.

- Allam, S.M., S.N. Faltas & E. Ragheb. 2004. Reproductive biology of *Sphyrna* species in the Egyptian Mediterranean waters off Alexandria. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 30: 255–270.
- Bayarri, M.J., J.A. Madrid & F.J. Sánchez-Vázquez. 2002. Influence of light intensity, spectrum and orientation on sea bass plasma and ocular melatonin. *Journal of Pineal Research* 32: 34–40.
- Bianchi, G. 1991. Demersal assemblages of the continental shelf and slope edge between the Gulf of Tehuantepec (Mexico) and the Gulf of Papagayo (Costa Rica). *Marine Ecology Progress Series* 73: 121–140.
- Carrillo, M., S. Zanuy, A. Felip, M.J. Bayarri, G. Molés & A. Gómez. 2009. Hormonal and environmental control of puberty in perciform fish the case of sea bass. *Trends in Comparative Endocrinology and Neurobiology* 1163: 49–59.
- Carrillo-Isiordia, D.A., O.I. Zavala-Leal, J.R. Flores-Ortega, B.L. Cuevas-Rodríguez, Valdez-González F.J., C.A. González-Huerta & E. Isiordia-Pérez. 2023. Biología reproductiva de la corvina rayada *Cynoscion reticulatus* en una localidad del sureste del Golfo de California. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 52(2): 41–56.
- Clark, R.W., A. Henderson-Arzapalo & C.V. Sullivan. 2005. Disparate effects of constant and annually-cycling daylength and water temperature on reproductive maturation of striped bass (*Morone saxatilis*). *Aquaculture* 349: 495–513.
- Doiuchi, R., Bogorodsky, S. & T. Nakabo. 2011. An underwater photograph of *Sphyrna iburiensis* (Perciformes: Sphyrnidae) from the Red Sea: first record outside Japanese waters. *Ichthyological research* 58(1): 99–100.
- Erismán, B.E., J.A. Rosales-Casián & P.A. Hastings. 2008. Evidence of gonochorism in a grouper, *Mycteroperca rosacea*, from the Gulf of California, Mexico. *Environmental Biology of Fishes* 82: 23–33.
- Jennings, S., J.K. Pinnegar, N.V.C. Polunin & K.J. Warr. 2001. Impacts of trawling disturbance on the trophic structure of benthic invertebrate communities. *Marine Ecology Progress Series* 213: 127–142.
- Kadison, E., E.K. D'Alessandro, G.O. Davis & P.B. Hood. 2010. Age, growth, and reproductive patterns of the great barracuda, *Sphyrna barracuda*, from the Florida Keys. *Bulletin of Marine Science* 86(4): 773–784.
- Kahru, M., S.G. Marinone, S.E. Lluch-Cota, A. Parés-Sierra & G.B. Mitchell. 2004. Ocean-color variability in the Gulf of California: Scales from days to ENSO. *Deep-Sea Research* 51(1–3): 139–146.
- Kalogirou, S., F. Mittermayer, L. Pihl & H. Wennhage. 2012. Feeding ecology of indigenous and non-indigenous fish species within the family Sphyrnidae. *Journal of Fish Biology* 80(7): 2528–2548.
- Kasim H.M. 2000. Fishery, stock assessment and management of the barracuda resource in India. En: V.N. Pillai & N.G. Menon (eds.), *Marine Fisheries Research and Management*, pp. 374–387, ICAR-Central Marine Fisheries Research Institute, Kochi, India.
- Madrid, J. P. Sanchez & A.A. Ruiz. 1997. Diversity and abundance of a tropical fishery on the Pacific shelf of Michoacan, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 45: 485–495.
- Maitra, S.K., M. Seth & A. Chatteraj. 2006. Photoperiod, pineal photoreceptors and melatonin as the signal of photoperiod in the regulation of reproduction in fish. *Journal of Endocrinology and Reproduction* 10(2): 73–87.
- Méndez-Abarca, F., R. Pepe-Victoriano. 2020. Peces marinos del norte de Chile: guía para la identificación y mantención en cautiverio. Fundación Reino Animal & ONG por la Conservación de la Vida Salvaje, Arica, Chile, 79 pp.
- Meshram, M.M., M. Rajesh, K.M. Rajesh & N.K. Suyani. 2021. Sexual maturity, spawning periodicity and fecundity of obtuse barracuda *Sphyrna obtusata* (Cuvier, 1829) along Karnataka coast, southeastern Arabian Sea. *Indian Journal of Animal Research* 55(12): 1409–1415.
- Moreno-Sánchez, X.G., D.S. Palacios-Salgado, J. Granados-Amores, L.A. Abitia-Cárdenas & O. Escobar-Sánchez. 2019. Feeding habits of the Mexican barracuda, *Sphyrna ensis* Jordan and Gilbert, 1882, in the southeastern end of the Gulf of California. *Ciencias Marinas* 45(3): 137–150.
- Muñoz-Cueto, J.A., F.J. Rodríguez-Gómez, A. García, M.C. Rendón, M.L. González de Canales & C. Sarasquete. 1997. Regulación hormonal de la reproducción en peces teleósteos. En: M. L. González de Canales, J. A. Muñoz-Cueto & C. Sarasquete (eds.), *Histofisiología e histopatología de especies marinas de interés en acuicultura*, pp. 73–112. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- Murua, H. & F. Saborido-Rey 2003. Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 33: 23–31.
- Nelson, J.S., T.C. Grande & M.V.H. Wilson. 2016. *Fishes of the World*. John Wiley & Sons Press, New Jersey, 601 pp.
- Palacios-Hernández, E., L.E. Carrillo, A. Filonov, L. Brito-Castillo & C.E. Cabrera-Ramos. 2010. Seasonality and anomalies of sea surface temperature off the coast of Nayarit, Mexico. *Ocean Dynamics* 60: 81–91.
- Pillai, P.K.M. 1981. Barracudas. *Marine Fisheries Information Service Technical & Extension Series* 31: 9–10.
- Potts, G.W. & R.J. Wootton. 1984. *Fish Reproduction Strategies and tactics*. Academy Press, London, 383 pp.
- Rajesh, K.M., P. Rohit, E.M. Abdussamad & D. Viswambharan. 2020. Reproductive biology of the sawtooth barracuda, *Sphyrna putnamae* (Jordan and Seale, 1905) along the coastal waters of Karnataka, southeastern Arabian Sea. *Regional Studies in Marine Science* 36: 101314.
- Ranaware, S.D., V.H. Nirmale, B.P. Bhosale, S.Y. Metar & P.E. Shingare. 2023. Feeding dynamics and reproductive biology of the obtuse barracuda *Sphyrna*

- obtusata* (Cuvier, 1829) from Ratnagiri, central west coast of India. *Indian Journal of Fisheries* 70(3): 31–38.
- Robertson, D.R. & Allen G.R. 2008. Shore fishes of the tropical eastern Pacific: an information system online. Ver 1.0 (2008). Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panama. www.neotropicalfishes.org/sfstep
- Robertson, D.R. & Allen G.R. 2023. Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de Información en Línea. Versión 2.0 Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, Republica de Panamá. www.biogeodb.stri.si.edu/sfstep/es/pages
- Shea, D.J., K.E. Trenberth & R.W. Reynolds. 1992. A global monthly sea surface temperature climatology. *Journal of Climate* 5: 987–1001.
- Sommer, C. 1995. Sphyraenidae. Barracudas, Picudas. En: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem (eds.), *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental*, pp. 1618–1621, FAO.
- Tyler, C.R. & J.P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in teleost. *Review in Fish Biology and Fisheries* 6: 287–318.
- Ulloa-Ramírez, P.A., J.L. Patiño-Valencia, M.L. Guevara-Rascado, S. Hernández-Ventura, R. Sánchez-Regalado & A. Pérez-Velázquez. 2008. *Peces marinos de valor comercial del estado de Nayarit, México. Bahía de Banderas (Nayarit, México)*. Instituto Nacional de Pesca, Nayarit, 91 pp.
- Wallace, R.A. & K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleost. *American Zoologist* 21: 325–343.
- Wootton, R.J. 1998. *Ecology of Teleost Fishes*. Chapman and Hall, London, 404 pp.
- Zavala-Leal, I., D.S. Palacios-Salgado, J.M.J. Ruiz-Velazco, F. Valdez-González, J.M. Pacheco-Vega, J. Granados-Amores & J.R. Flores-Ortega. 2018. Reproductive aspects of *Sphyraena ensis* (Perciformes: Sphyraenidae) inhabiting the coast of San Blas Nayarit, southeast Gulf of California. *California Fish and Game* 104(1): 7–18.
- Zavala-Leal, O.I., M. Mena-Alcántar, F. Valdez-González, C.A. González-Huerta, J. Cepeda-Morales, J.M. Pacheco-Vega & B. Cuevas-Rodríguez. 2022. Biología reproductiva del ostión de roca *Striostrea prismatica* en el sureste del Golfo de California. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(2): e3153.

Doi: 10.22179/REVMACN.27.888

Recibido: 18-IX-2024

Aceptado: 16-X-2025