

FECUNDIDAD DE *SCOMBEROMORUS SIERRA* (PERCIFORMES: SCOMBRIDAE) EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

Jessica Franeive Eraso Ordoñez¹, Diana Milena Bustos-Montes^{2*}, Sarith Salas-Castro¹, Alexander Girón¹ y Mario Rueda¹

1 Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), El Rodadero, Santa Marta, Colombia. franei.eraso@gmail.com, sarith.salas@invemar.org.co, alexander.giron@invemar.org.co, mario.rueda@invemar.org.co

2 Instituto de Estudios en Ciencias del Mar (Cecimar), Universidad Nacional de Colombia sede Caribe, Playa Salguero, Santa Marta, Colombia. Calle 25 # 2-55. Playa Salguero, Santa Marta, Colombia. dmbustosmo@unal.edu.co (*autor de correspondencia).

RESUMEN

Scomberomorus sierra (sierra castilla) es una de las especies más importantes en la pesca artesanal del Pacífico de Colombia. Con el fin de investigar su biología reproductiva, insumo importante para la administración del recurso, se describió el desarrollo gonadal y se estimó la fecundidad parcial y el tamaño promedio de los ovocitos y la talla de madurez. Las muestras provinieron de faenas comerciales en diferentes zonas de pesca. De cada pez se obtuvo la longitud total (LT) y estándar (LS), así como el peso total y gonadal. La fecundidad se estimó combinando el método gravimétrico con análisis de imágenes, usando el software de libre acceso Image J®. Se colectaron 79 peces entre noviembre de 2013 y abril de 2014, con tallas entre 39.0 y 85.0 cm LT y peso entre 300 y 2850 g. La asignación de madurez gonadal se verificó histológicamente y se encontraron 75 hembras y 4 machos. A partir de la medición de 12084 oocitos se obtuvo un diámetro promedio de 0.551 ± 0.024 mm y valores de fecundidad variables con un ámbito entre 52398 y 480803 ovocitos/gónada. Microestructuralmente, se identificaron cuatro fases de desarrollo oocitario (perinuclear, alvéolo cortical, vitelogenado e hidratado) y en machos solo se observó un estado. El diámetro promedio de los oocitos en estado alvéolo cortical, vitelogénesis e hidratado fue de 168.75 ± 3.86 μ m, 324.08 ± 5.89 μ m y 388.90 ± 8.81 μ m, respectivamente. La relación entre la fecundidad y las variables morfométricas del pez fue significativa y positiva, evidenciando que las hembras más grandes son las más fecundas. La talla de madurez sexual para hembras se estimó preliminarmente en 58.88 cm LT. Los resultados obtenidos son insumos de modelos pesqueros con aplicabilidad directa en medidas de manejo para *S. sierra*.

PALABRAS CLAVES: Análisis histológico, Tamaño ovocitario, Pesca artesanal, Scombridae, Sierra castilla.

ABSTRACT

Fecundity of *Scomberomorus sierra* (Perciformes: Scombridae) in the Colombian Pacific.
Scomberomorus sierra (Pacific sierra) is one of the most important species in the artisanal fishing on

the Colombian Pacific. In order to investigate its reproductive biology, important input for fishery management, gonadal development was described and partial fecundity and average size of the oocytes were estimated. Fish samples came from commercial landings on different fishing grounds. Total (TL) and standard lengths of each fish were measured, as well as the total and gonadal weights. Fecundity was estimated using a gravimetric method combined with image analysis performed using the open access software Image J®. 79 fish were collected between November 2013 and April 2014, ranging from 39.0 to 85.0 cm in TL and weighing between 300 and 2850 g. The allocation of gonadal maturity was histologically verified, finding 75 females and 4 males. From the measurement of 12084 oocytes, an average diameter of 0.551 ± 0.024 mm was obtained, while fecundity varied between 52398 and 480803 oocytes per gonad. Microstructurally, four stages of oocyte development (perinuclear, cortical alveoli, vitellogenic and hydrated) were identified; only one state was observed in males. Mean diameter of the oocytes in the cortical alveoli, vitellogenesis and hydrated stages were 168.75 ± 3.86 μm , 324.08 ± 5.89 μm and 388.90 ± 8.81 μm , respectively. The relationship between fecundity and morphometric variables of the fish was significant and positive, evidencing that the largest females are the most fertile. Size at sexual maturity was preliminary estimated at 58.88 cm TL. The results obtained are inputs from fishery models with direct applicability to management of *S. sierra*.

KEYWORDS: Histological analysis, Oocyte size, Artisanal fisheries, Scombridae, Pacific sierra.

INTRODUCCIÓN

Scomberomorus sierra (Jordan y Starks) o sierra castilla, como es llamada por los pescadores en el Pacífico de Colombia, es una especie pelágica, altamente migratoria que forma bancos numerosos y se encuentra entre 2 y 63 m de profundidad (Rubio, 2007; Vega *et al.*, 2013). Se distribuye desde la costa del golfo de California (México) hasta Perú (Collette, 1995) y en el Pacífico colombiano se ha registrado en los departamentos del Chocó (municipios Cupica, Cabo Marzo, Bahía Solano, Charambirá y golfo de Tribugá), Cauca (isla Gorgona) y Nariño (municipios Tumaco y Francisco Pizarro) (Invemar *et al.*, 2006, 2009; IIAP, 2007; Tobón-López *et al.*, 2008). Aproximadamente 85% de la población de la costa del Pacífico de Colombia manifiesta el sustento directo o indirecto de la pesca artesanal (INPA, 2000; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2000; Marviva, 2011; Incoder, 2013) y la sierra castilla se encuentra entre las especies ícticas de mayor explotación en este tipo de pesca (Castillo, 1998; Rubio, 1988; De la Hoz *et al.*, 2015). Para 2006, 2007 y 2009 fue el recurso más abundante con capturas de 375.80, 463.00 y 562.90 t, respectivamente (CCI *et al.*, 2006; CCI y MADR, 2007, 2009). En 2013 representó 17% del total de captura de peces (634.16 t) y en 2015 79%, reiterando a través del tiempo su importancia como recurso comercial (Aunap y Universidad del Magdalena, 2013; De la Hoz *et al.*, 2015).

Para el manejo de recursos pesqueros, aspectos reproductivos como la madurez gonadal pueden ser evaluados directamente en cualquiera de las etapas de desarrollo de los peces, examinando las gónadas en escala macroscópica o realizando

cortes histológicos que proporcionan información más detallada (Icon-Institut, 2009). Esta información permite obtener indicadores de la actividad reproductiva (Vega *et al.*, 2013) y asociado a ello se pueden establecer épocas y sitios determinados de reproducción. Por otra parte, el estudio de la fecundidad analizada en conjunto con variables morfométricas contribuye al conocimiento del potencial reproductivo de una especie, y es fundamental en el entendimiento de la dinámica de las poblaciones explotadas, generando herramientas para la evaluación y diseño de estrategias en el manejo y la conservación de los recursos pesqueros (Murua *et al.*, 2003; Saborido-Rey, 2004; Arellano-Martínez *et al.*, 2006; Camacho, 2011).

A pesar de la importancia comercial de la sierra castilla en Colombia, poco se conoce sobre su biología reproductiva. En este sentido, el presente manuscrito tuvo como objetivo estimar la fecundidad y describir el desarrollo ovocitario de *S. sierra* en el Pacífico colombiano, como aspectos reproductivos de la especie que pueden ser usados por las instituciones competentes en el manejo del recurso.

ÁREA DE ESTUDIO

El Pacífico colombiano se localiza geográficamente desde la zona norte en los límites con Panamá, siguiendo por Juradó y el golfo de Tribugá, Chocó, continuando hacia la zona centro-sur por el golfo Tortugas, Buenaventura, Guapi, Sanquianga y la ensenada de Tumaco en el sur en Nariño, hasta la frontera con Ecuador (Tobón-López *et al.*, 2008; Díaz *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2015). La sierra castilla es capturada en toda la costa del Pacífico con énfasis en los puntos de desembarco más importantes de la pesca artesanal, sobre la base de los volúmenes de captura (Buenaventura, Tumaco, Guapi y Bahía Solano: CCI *et al.*, 2006; CCI y MADR, 2009; De la Hoz *et al.*, 2015). Las embarcaciones que se utilizan en la pesca artesanal son canoas que se impulsan con remos o velas, lanchas de madera o fibra de vidrio de 9 a 15 m de eslora con motores fuera de borda y las faenas pueden durar de 8 a 12 días (Buenaventura) o de 5 a 8 días (Bahía Solano) (CCI y MADR, 2011). Las principales artes de pesca utilizadas son la red de enmalle (66%), espínel (12%) y línea de mano (7%) y la sierra castilla es el principal producto íctico capturado por éstas (CCI y MADR, 2007; De la Hoz *et al.*, 2015). Debido a lo anterior, se seleccionaron los puntos de desembarco de Utría, departamento de Chocó, Buenaventura, departamento del Valle del Cauca, Guapi, departamento del Cauca, Bazán y Tumaco, departamento de Nariño, para la colecta de material biológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase de campo

La temporada reproductiva de la sierra castilla para el Pacífico colombiano se da entre noviembre y abril (Castillo, 1998; Tobón-López *et al.*, 2008; CCI y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2009; Rueda *et al.*, 2011); por lo anterior, desde noviembre de 2013 hasta abril de 2014 en los diferentes puntos de desembarco seleccionados se compró el material biológico (sierra castilla). Con balanzas electrónicas (de 1 g de precisión), se registró el peso total de cada individuo en gramos (PT), se midieron (con precisión de ± 1 cm) la longitud total (LT), la longitud horquilla (LH) y la longitud estándar (LS), siguiendo el protocolo colombiano de mediciones pesqueras (Agudelo *et al.*, 2011). Posteriormente, al retirar el contenido visceral, se obtuvo el peso del pez eviscerado (PEV) y se retiraron las gónadas, se fijaron con formol al 4% y se transportaron hasta el laboratorio para su posterior análisis.

Análisis en laboratorio

En el laboratorio las muestras gonadales fueron revisadas para verificar el sexo y estado de madurez sexual unificando los criterios de clasificación macroscópica de Nikolsky (1963), Castillo (1998) y Aguirre-Villaseñor *et al.* (2006), de tal modo que se trabajó con cinco estados de desarrollo (I: inmaduro, II: inicio del desarrollo, III: en desarrollo, IV: maduro, V: desovado). Las gónadas fueron separadas y pesadas (PG; con precisión de ± 0.0001 g). Para verificar el estado de desarrollo gonadal (Claramunt *et al.*, 2009), se realizaron cortes histológicos de la parte media de uno de los lóbulos y se aplicó la técnica de tinción de hematoxilina-eosina (Muñetón-Gómez *et al.*, 2000; Gómez-León, 2006). La clasificación microscópica correspondió a la representatividad de la célula en fase más avanzada y se realizó según los criterios de Wallace y Selman (1981), Vélez (1995), Lucano-Ramírez *et al.* (2001) y Saborido-Rey (2004). Sumado a esto, se describieron los estados gonadales encontrados durante el estudio. Mediante una cámara digital Nikon DS-Fi2 con controlador DS-U3 (DS: Digital Sight) ensamblada a un microscopio Nikon Eclipse E200 y el software NIS-Element-F Versión 4.0[®], se obtuvieron fotografías de cortes histológicos de 20 ovarios para las mediciones de los oocitos en las diferentes etapas encontradas. Se empleó un total de 40 fotografías correspondientes a dos campos escogidos aleatoriamente de cada ovario, las cuales fueron analizadas mediante el programa de libre acceso Govocitos[®] y en total fueron contabilizados y medidos 1357 oocitos.

De 30 gónadas completamente maduras (estado IV) se tomó el otro lóbulo y se estimó la fecundidad siguiendo el método gravimétrico (Holden y Rait, 1974;

Saborido-Rey, 2004), combinado con análisis de imágenes (Bustos-Montes *et al.*, 2015). De la parte media de cada gónada se aisló una submuestra de 0.1 g en cajas de Petri, se agregó hipoclorito de sodio a 1.5% para que los oocitos se desprendieran uno de otro y aproximadamente a los 30 minutos se lavaron con agua, se colocaron sobre placas Bogorov, se observaron en el estereoscopio, y se realizó la separación manualmente hasta que la totalidad de la muestra se repartió en campos de conteo. Con la cámara Optikam Microscopy Digital USB Camera vinculada directamente al estereoscopio y el programa Optika Vision Pro®, se tomaron fotografías en un objetivo de 0.8X. Éstas se procesaron con el software de libre distribución Image J® siguiendo las pautas de Klibansky y Juanes (2008) y Camacho (2011). Para el conteo de los oocitos se usó la medición de diámetro promedio realizada por Castillo (1998), considerando para la estimación de fecundidad únicamente los oocitos encontrados entre 0.4 y 0.9 mm de diámetro.

Análisis de información

La fecundidad parcial (Fp), definida como el número de huevos que en una época reproductiva están preparados para desarrollarse y ser liberados (Saborido-Rey, 2004), se estimó mediante la ecuación $Fp = [(No. \times PG)/PM]$, donde, No es el número de oocitos contabilizados en la muestra, PG es el peso total gonadal y PM es el peso de la muestra gonadal, que en todos los casos fue de 0.1 g (Lucano-Ramírez *et al.* 2005). Para la estimación del diámetro, se midió la longitud de los ejes mayor y menor, con esto se calculó el diámetro geométrico para cada uno de los oocitos con la siguiente ecuación (Camacho, 2011): diámetro oocito (mm) = [(longitud eje mayor (mm) * longitud eje menor (mm))^{0.5}].

Se usaron como medidas de tendencia central y precisión el promedio y el error estándar, respectivamente. Para definir la función que mejor explicaba la relación entre las variables morfométricas (LT, LS, PT y PG) con la fecundidad parcial y el diámetro ovocitario se evaluaron modelos de regresión lineal, potencial y exponencial, que fueron comparados entre sí a través del coeficiente de determinación R² y su nivel de significancia (Guisande-González *et al.*, 2006). La talla de madurez sexual (LT₅₀) entendida como longitud a la cual 50% de los individuos se encontraban maduros sexualmente, se modeló ajustando a la función logística $P_{LT} = 1/[1+e^{(aLT+b)}]$ la proporción de hembras maduras (P_{LT}) con intervalo de talla de 1 cm de LT. La curva se ajustó con mínimos cuadrados usando una regresión no lineal para estimar los parámetros a y b, y la LT₅₀ se calculó con la razón -a/b (King, 2007), con un nivel de confianza de 95%.

RESULTADOS

Fueron capturados 79 ejemplares que midieron entre 39.0 y 85.0 cm LT ($57.48 \text{ cm} \pm 0.93$) y pesaron entre 300 y 2850 g PT ($1033.67 \text{ g} \pm 55.16$). Aunque a nivel macroscópico se determinó que eran 74 hembras y 5 machos, la validación a través del análisis histológico mostró que realmente eran 75 hembras y 4 machos. El análisis comparativo de la asignación del estado de madurez macroscópico con el microscópico, reflejó un bajo porcentaje de coincidencia 11.39% ($n=9$), mientras las diferencias se vieron representadas por 88.61% ($n=70$). La imprecisión más frecuente se observó entre determinaciones macroscópicas de hembras en estado III que luego del análisis histológico resultaron ser hembras en estado IV (24.05 %, $n=19$) (Tabla 1).

Tabla 1. Sexo, estado de madurez, talla y localidad de captura de los 79 peces recolectados en el presente estudio. El porcentaje de diferenciación de la determinación macroscópica comparada con la microscópica, se realiza teniendo en cuenta que las confusiones posibles siempre se efectúan ubicando inicialmente el sexo y estado macroscópico.

Sexo	Estado de madurez	Ámbito de talla de los peces (cm)	Sitio captura y cantidad	Estado de madurez asignado microscópicamente	Estado de madurez asignado macroscópicamente	n peces	
						Cantidad	%
Hembras	Inmaduros. Fase perinuclear	47.0 – 61.0 (53.68 ± 1.73)	Guapi: 9	H-II	H-I	9	11.39
	Maduros en desarrollo. Fase de alveolo cortical	39.0 – 76.5 (56.38 ± 3.23)	Guapi: 1 Bazán: 5 Utría: 3	H-III	H-III	1	1.27
				H-III	H-I	7	8.86
				H-III	H-II	1	1.27
	Completamente maduros. Vitelogénados	41.0 – 85.0 (58.65 ± 1.08)	Guapi: 12 Bazán: 33 Utría: 7 Tumaco: 2	H-IV	H-IV	8	10.13
				H-IV	H-I	8	10.13
				H-IV	H-II	18	22.78
				H-IV	H-III	19	24.05
				H-IV	M-II	1	1.27
	Desovados. Hidratados o atrésicos	45.2 – 78.7 (58.46 ± 10.27)	Guapi: 1 Bazán: 2	H-V	H-I	1	1.27
H-V				H-II	2	2.53	
Machos	Completamente maduros	47.0 – 58.0 (52.0 ± 2.34)	Utría: 4	M-IV	M-II	3	3.80
				M-IV	M-III	1	1.27
						79	100

En Guapi las capturas fueron en noviembre de 2013 y se presentaron hembras en diferentes estados de madurez. Todos los machos se encontraron completamente maduros y únicamente aparecieron en la ensenada de Utría en enero de 2014. Durante el mismo mes en las capturas de Bazán dominaron las hembras maduras y en abril se recolectaron dos en Tumaco. Solo se evidenció desove en tres gónadas femeninas: una de Guapi en noviembre y dos de Bazán en enero (Tabla 1).

Se presenta la clasificación gonadal de los estados encontrados en el análisis histológico, el tamaño de los oocitos hace referencia al diámetro:

Estado II (Inmaduro): Macroscópicamente los ovarios son pequeños, de aspecto liso y vasos sanguíneos incipientes. A nivel microestructural, las células ováricas entran a una fase perinuclear, en la que los oocitos aumentan de tamaño ($111.11 \pm 1.65 \mu\text{m}$; $n= 441$), el citoplasma es basófilo y se encuentra bien definido. Se destaca la presencia de varios nucléolos pequeños ubicados en la periferia del núcleo (Figura 1). De las muestras colectadas se observaron nueve hembras en este estado (Tabla 1).

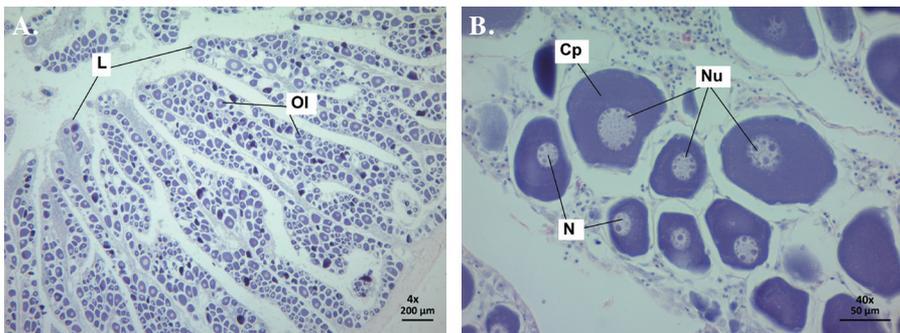


Figura 1. Microfotografía de ovario de *Scomberomorus sierra* en estado II (Inmaduro) en vista 4x (A) y 40x (B). L: lamelas, OI: oocito inmaduro, Cp: citoplasma, N: núcleo, Nu: nucléolo.

Estado III (En maduración): Las gónadas son voluminosas y turgentes, con marcada irrigación y se observan huevos de color naranja. A nivel histológico, su principal característica es la vacuolización del citoplasma y la aparición de alvéolos corticales (vesículas que no presentan ninguna afinidad hacia los colorantes). En la fase inicial son pocos los alvéolos y se distribuyen en todo el citoplasma; sin embargo, a medida que avanza el desarrollo éstos tienden a ubicarse alrededor del núcleo (Figura 2). El diámetro promedio de los oocitos en esta etapa es de $168.75 \pm 3.86 \mu\text{m}$ ($n= 145$).

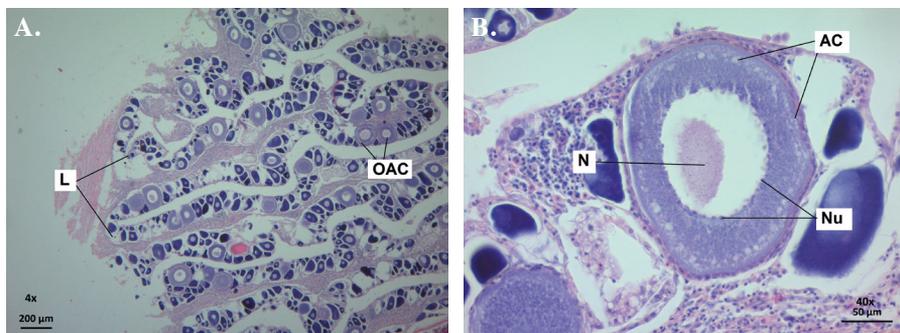


Figura 2. Microfotografía de ovario de *Scomberomorus sierra* en estado III (En maduración) en vista 4x (A) y 40x (B). L: lamelas, OAC: ovocito alveolo cortical, N: núcleo, Nu: nucléolo, AC: alvéolo cortical.

Estado IV (Maduros): En este estado los ovarios ya han alcanzado su máximo tamaño, con la irrigación sanguínea mucho más prominente con relación al estado anterior. Microscópicamente los oocitos aumentan considerablemente su tamaño ($324.08 \pm 5.89 \mu\text{m}$; $n = 196$), debido a la incorporación de vitelo en el citoplasma depositándose en forma de gránulos, vesículas y gotas lipídicas. Los pequeños gránulos de vitelo que se forma inicialmente se ubican por todo el citoplasma entre los alvéolos corticales y aumentan progresivamente (Figura 3). Se observaron un total de 54 hembras maduras en este estudio. En cuanto a los machos, a nivel macroscópico, el testículo tiene una apariencia laminar, de coloración blanca y textura lisa, con poca venación; histológicamente los cistos contienen grandes cantidades de espermatozoides bien diferenciados, aunque también se pueden observar algunos cistos de menor tamaño y proporción hacia la periferia de la gónada con espermatozoides en crecimiento secundario (Figura 3). Se observaron cuatro machos maduros con tallas que oscilaron entre 47.0 y 58.0 cm LT (Tabla 1).

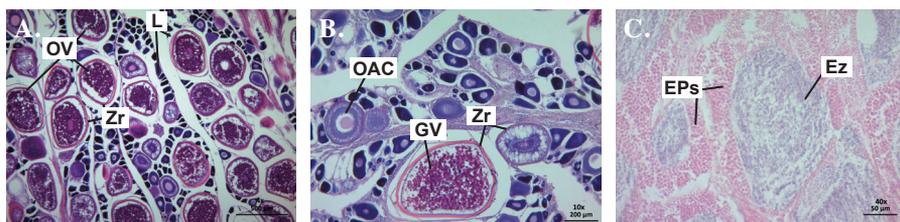


Figura 3. Microfotografía de ovario de *Scomberomorus sierra* en estado IV (Maduro) en vista 4x (A) y 40x (B). L: lamelas, OV: ovocito vitelogenado, Zr: zona radiada, GV: gránulos de vitelo, OAC: ovocito alveolo cortical. Microfotografía de testículo de *S. sierra* en estado IV (maduro) en vista 40x (C). EPs: Espermatozoides secundario, EZ: Espermatozoides.

Estado V (Desovado): Histológicamente se puede distinguir la presencia de oocitos hidratados ($388.90 \pm 8.81 \mu\text{m}$; $n= 20$) con forma irregular y de gran tamaño; además, se pueden observar oocitos en estados de desarrollo primario y secundario (perinuclear y alvéolos corticales) (Figura 4). Las tallas de las tres hembras analizadas están entre 45.2 y 78.7 cm LT.

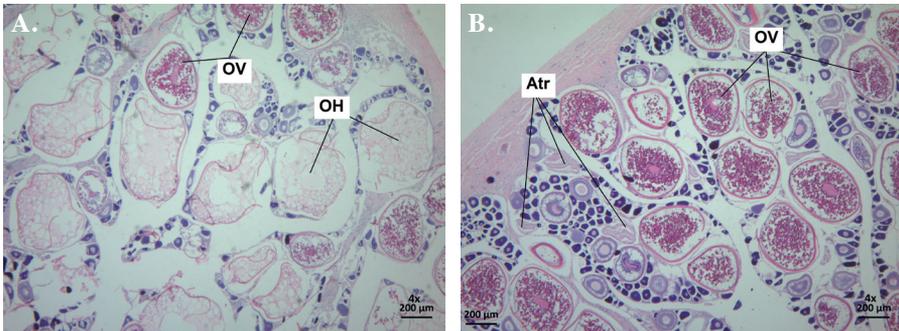


Figura 4. Microfotografías de ovario de *Scomberomorus sierra* en estado V (Desovado) en vista 4x (A y B). OV: oocito vitelogenado, OH: oocito hidratado, Atr: atresia.

A partir del conteo de 12084 oocitos se estimó que la fecundidad parcial (Fp) promedio fue de 194512 ± 21178 oocitos por hembra, con un ámbito de variación entre 52398 y 480803 oocitos por hembra. El tamaño ovocitario osciló entre 0.51 mm y 0.65 mm, con un promedio de 0.551 ± 0.024 mm. La relación entre la fecundidad parcial y las variables morfométricas fue en todos los casos significativa y se ajustó a una ecuación lineal para el caso de LT ($Fp = 9255.3LT - 363829$, $r^2 = 0.8$, $F_{1,28} = 46.3$, $p < 0.05$), LS ($Fp = 1087.9LS - 341163$; $r^2 = 0.68$, $F_{1,28} = 50.1$, $p < 0.05$) y PT ($Fp = 161.28PT + 1465.3$; $r^2 = 0.7$, $F_{1,28} = 65.5$, $p < 0.05$), mientras que la relación con el PG ($Fp = 5923.9PG^{0.8869}$; $r^2 = 0.76$, $F_{(1,28)} = 87.2$, $p < 0.05$) siguió un modelo potencial.

La ojiva de madurez se calculó con un total de 69 hembras maduras (estados de desarrollo III, IV y V). El modelo obtenido fue $P_{LT} = 1/[1+e^{(13.53LT-0.02)}]$ y la talla media de madurez (LT_{50}) se estimó en 58.8 cm de LT, con un amplio intervalo de confianza (51.6 – 67.0 cm de LT; Figura 5). Las hembras de menor y mayor talla con gónadas maduras midieron 39.0 y 85.0 cm LT, respectivamente (Tabla 1).

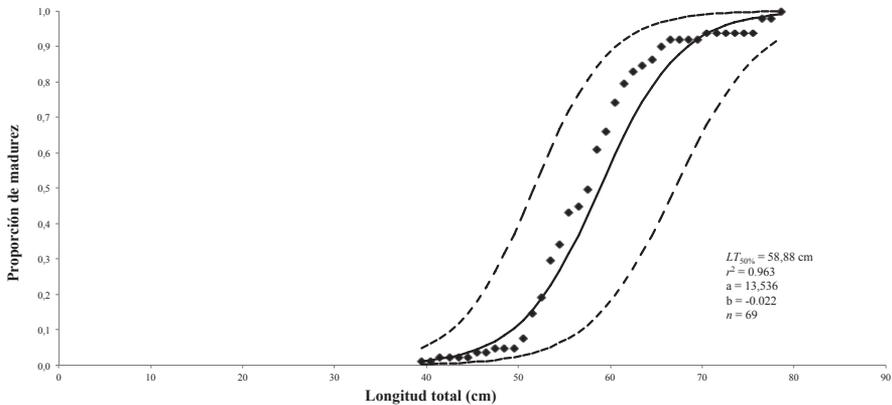


Figura 5. Talla de madurez sexual para hembras de *S. sierra* en el Pacífico colombiano.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Debido a que las muestras recolectadas en el presente estudio provenían de capturas comerciales de redes con luz de malla entre 7 y 18 cm (CCI y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011; Rueda *et al.*, 2011), la talla promedio de *S. sierra* registrada en este estudio (56.7 cm LT) es cercana a la media de captura registrada por las entidades que monitorean la pesca artesanal con fines estadísticos ([51 cm LT] AUNAP y Universidad del Magdalena, 2013). En otras áreas del Pacífico (Norteamérica), parece ser que la sierra castilla alcanza tamaños alrededor de 100 cm LT (Collette, 1995; Lucano-Ramírez *et al.*, 2011; Robertson y Allen, 2015), aunque puede ser el efecto de la selectividad del arte empleado en cada investigación o a diferencias poblacionales. A pesar de haber hecho un esfuerzo de muestreo mensual en todos los sitios de desembarco elegidos, la mayoría de las hembras completamente maduras fueron recolectadas entre noviembre y enero, lo que pudo deberse a que muchas especies son más fáciles de pescar cuando se congregan para la reproducción, un fenómeno característico de muchos peces tropicales, en los que la disponibilidad de alimento y las temperaturas apropiadas también forman parte de las condiciones buscadas para el desove (Castillo, 1998; Lucano-Ramírez *et al.*, 2011).

A diferencia de Lucano-Ramírez *et al.* (2011), se utilizó una escala de madurez macroscópica de cinco estados como propone Aguirre-Villaseñor *et al.* (2006), dado que no solo considera diferencias morfométricas, sino también la irrigación sanguínea periférica de la gónada, lo que resultó ser una característica clave para la asignación. El desarrollo gonadal es un proceso continuo y su división en estados discretos de madurez es difícil (Saborido-Rey, 2004), esto se evidenció principalmente en la separación entre las hembras en maduración y maduras

(estados III y IV), lo que corrobora la importancia de la verificación con el análisis microscópico y la medición del diámetro de los oocitos como criterio adicional.

A nivel histológico, se reconocieron cinco fases de desarrollo oocitario, coincidiendo parcialmente con las descripciones propuestas por Saborido-Rey (2004) y Núñez y Duponchelle (2009). En el presente estudio, aunque en una gónada se presentaran oocitos en fase de vitelogénesis, perinuclear y alvéolo cortical, para la clasificación se tuvo en cuenta la representatividad de la fase de desarrollo más avanzada. Lo anterior puede explicar que se definieran menos estados de madurez comparado con Lucano-Ramírez *et al.* (2011), quienes identificaron siete en la sierra del Pacífico central mexicano. Se confirma que *S. sierra* presenta desarrollo asincrónico multiproporcional, ya que en ovarios maduros se observan oocitos en distintas fases (Saborido-Rey, 2004; Lucano-Ramírez *et al.*, 2011), lo cual es propio de peces que desovan varias veces durante una sola temporada reproductiva prolongada (Wallace y Selman, 1981; Nagahama *et al.* 1995), como por ejemplo *Scomberomorus commerson* (Mackie *et al.*, 2005).

La estimación del diámetro promedio de los oocitos maduros (0.551 ± 0.025 mm) por el método gravimétrico coincidió con la registrada por Lucano-Ramírez *et al.* (2011) de 0.500 mm. Estos valores son mayores a las medias obtenidas a partir de las mediciones en placas histológicas (324.08 mm oocitos maduros y 388.90 mm hidratados), porque los reactivos usados en los procesos de fijación e inclusión de las técnicas histológicas hacen que se reduzca el tamaño de las microestructuras. Las especies de fecundidades altas pueden llegar a tener miles y hasta millones de huevos, así como potencial reproductivo elevado (Hempel, 1979; Saborido-Rey, 2004). La sierra castilla mostró valores de fecundidad entre 52398 a 480803 oocitos por hembra, valores que parecen ser intermedios y que favorecerían su estrategia de desovador pelágico, donde los huevos son liberados al exterior como opción para asegurar la descendencia (Saborido-Rey, 2004).

La fecundidad puede variar considerablemente entre individuos de la misma especie y de la misma población hasta en un factor de diez entre un individuo y otro (Csirke, 1980), ya que el desarrollo gonadal se ve afectado por múltiples factores como la disponibilidad de alimento, las condiciones del medio ambiente, la condición energética de los parentales y el nivel de saturación de la población (Csirke, 1980; Murua *et al.*, 2003, Alonso-Fernández y Saborido-Rey, 2011; Cooper *et al.*, 2013; Ganas *et al.*, 2014, 2015; Alfaro-Martínez *et al.*, 2016). En este estudio, aunque el ámbito de la fecundidad parcial fue amplio, se observó una relación directa significativa y positiva entre las medidas morfométricas evaluadas y el número de los oocitos, mostrando que las hembras más grandes y pesadas produjeron una mayor cantidad de huevos, patrón que ha sido descrito para muchas especies ícticas

en todos los ambientes (Vera de Mintzer y de Gonzo, 1991; Cerna y Oyarzún, 1998; Marteinsdottir y Begg, 2002; Urriola *et al.*, 2004; Arellano-Martínez *et al.*, 2006, Barros e Iwazskiw, 2006; Murua *et al.*, 2006; Villamil-Moreno y Arias-Castellanos, 2011, Cooper *et al.*, 2013).

La talla media de madurez presentada en este estudio se estimó solo con 69 individuos, no se incluyeron individuos inmaduros y el intervalo de confianza obtenido es muy amplio, por lo que debe considerarse como una aproximación preliminar. El resultado de la LT_{50} (58.88 cm LT) es cercano al calculado por Lucano-Ramírez *et al.* (2011) en el Pacífico central mexicano (59.3 cm LT), y levemente mayor al registrado por Aguirre–Villaseñor *et al.* (2006; [52.1 cm LT]) en el golfo de California; sin embargo, los dos valores se encuentran dentro del ámbito de talla de madurez estimado en este estudio. Si bien algunas especies de la familia Scombridae pueden realizar migraciones transoceánicas y otras migran regionalmente por alimentación, reproducción y temperatura (Collette, 1995) se desconoce si la especie en el Pacífico oriental está estructurada genéticamente. Por otro lado, la condición maternal modula la variabilidad en los procesos de madurez gonadal en individuos de la misma especie y puede verse afectada por factores ambientales y antrópicos (Saborido-Rey, 2004; Alonso-Fernández y Saborido-Rey, 2011; Cooper *et al.*, 2013; Ganas *et al.*, 2014, 2015). Considerando lo anterior, las diferencias entre las tallas de madurez pueden deberse a que los estudios se realizaron en áreas, épocas y con artes de pesca diferentes.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se desarrolló en el marco del proyecto “Potencial reproductivo de seis recursos marinos de importancia comercial en la pesca artesanal de Colombia: herramienta para su manejo y conservación” código: 2015-56934581, financiado por Colciencias y ejecutado por el programa de Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos del Invemar. Los autores agradecen a los pescadores, así como al personal de campo y laboratorio del Invemar por motivar y contribuir al desarrollo de esta investigación. Así mismo, a los evaluadores y editores por sus aportes a la mejora del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

Agudelo, E., R.E. Ajiaco, L.E. Álvarez, C.G. Barreto, C.A. Borda, C.C. Bustamante, J.P. Caldas, J. De la Hoz, M.C. Diazgranados, G. Melo, E. Perucho, V. Puentes, A. Ramírez, M. Rueda, J.C. Salinas y L.A. Zapata. 2011. Protocolo de captura de información pesquera, biológica y socio-económica en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Dirección de Pesca y Acuicultura -

- Subgerencia de Pesca y Acuicultura INCODER - Conservación Internacional, Bogotá. 80 p.
- Aguirre-Villaseñor, H., E. Morales-Bojórquez, R. Morán-Angulo, J. Madrid-Vera y M. C. Valdez-Pineda. 2006. Indicadores biológicos de la pesquería de sierra (*Scomberomorus sierra*) al sur del golfo de California, México. *Cien. Mar.*, 32 (3): 471-448.
- Alfaro-Martínez, S., D. Bustos-Montes, S. Salas-Castro, J. Gómez-León y M. Rueda. 2016. Fecundidad del jurel aleta amarilla, *Caranx hippos* (Linnaeus) en el Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 45(1): 123-134.
- Alonso-Fernández, A. y F. Saborido-Rey. 2011. Influencia maternal en la variación del ciclo reproductivo de *Trisopterus luscus* (Gadidae). *Cienc. Mar.*, 37(4b): 619-632.
- Arellano-Martínez, M., B. Ceballos-Vásquez, L. Hernández-Olalde y F. Galván-Magaña. 2006. Fecundidad del ángel de Cortés *Pomacanthus zonipectus* (Teleostei: Pomacanthidae) en la isla Espíritu Santo, golfo de California, México. *Cien. Mar.*, 32 (1): 65-71.
- Aunap y Universidad del Magdalena. 2013. Boletín Estadístico Enero-Diciembre de 2013, SEPEC. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) y Universidad del Magdalena, Santa Marta. 84 p.
- Barros, S. E. y J. M. Iwaszkiw. 2006. Fecundidad del pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Cuvier y Valenciennes, 1835) (Pisces: Atherinidae) en el embalse Cabra Corral, Provincia de Santa, Argentina. *Rev. Aquatic*, 24: 42-49.
- Bustos-Montes, D., M. Rueda, J. Gómez-León, S. Salas, E. Cárdenas, A. Girón, J. Eraso, S. Alfaro-Martínez, G. Angulo y V. Weber. 2015. Potencial reproductivo de seis recursos marinos de importancia comercial en la pesca artesanal de Colombia: herramienta para su manejo y conservación. PRY-VAR-002-13- ITF. Santa Marta. 53 p.+ anexos.
- Camacho, L. 2011. Estimación preliminar de la fecundidad de algunas especies de importancia comercial (Familias Carangidae y Scombridae) en el departamento del Magdalena, Caribe colombiano. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 130 p.
- Castillo, L. 1998. Fluctuación poblacional (composición y abundancia) de la ictiofauna acompañante del camarón de aguas someras en el golfo Tortugas, Pacífico colombiano. Trabajo de grado Biol., Univ. Valle, Cali. 108 p.
- CCI, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural e Incoder. 2006. Pesca y acuicultura Colombia. Informe técnico regional litoral Caribe y Pacífico. Cooperación Colombia Internacional (CCI), Bogotá. 138 p.
- CCI y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2007. Pesca y acuicultura Colombia. Informe técnico regional litoral Caribe y Pacífico. Cooperación Colombia Internacional (CCI), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá. 154 p.
- CCI y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2009. Pesca y acuicultura Colombia. Informe técnico regional litoral Caribe y Pacífico, Cooperación Colombia Internacional (CCI), Bogotá. 79 p.
- CCI y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2011. Sistema de información de pesca y acuicultura. Boletín mensual No. 56, Cooperación Colombia Internacional (CCI), Bogotá. 27 p.
- Cerna, J.F. y C. Oyarzún. 1998. Talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial de la merluza común (*Merluccius gayi*, Guichenot 1848) del área de la pesquería industrial de la zona de Talcahuano, Chile. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 26: 31-40.

- Claramunt, G., G. Herrera, M. Donoso y E. Acuña. 2009. Periodo de desove y fecundidad del pez espada (*Xiphias gladius*) capturado en el Pacífico suroriental. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37: 29-41.
- Collette, B. B. 1995. Scombridae. 1521-1543. En: Fischer, W., F. Krupp, W. Sceneider, C. Sommer, K. Carpenter y V. Niem (Eds). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico central-oriental. Programa de identificación y datos de especies. Departamento de pesca de la FAO. Vertebrados. Parte II. Volumen III, Roma. 612 p.
- Cooper, W.T., L. Barbieri, M.D. Murphy y S. Lowerre-Barbieri. 2013. Assessing stock reproductive potential in species with indeterminate fecundity: Effects of age truncation and size-dependent reproductive timing. *Fish. Res.*, 138: 31-41.
- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. *FAO Doc. Tec. Pesca*, 192: 82 p.
- De la Hoz-M., J., L. Manjarrés-Martínez y F. Cuello. 2015. Estadísticas de desembarco y valor monetario de las pesquerías artesanal e industrial en Buenaventura durante el periodo abril-diciembre de 2015. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, Bogotá, 28 p.
- Díaz, J. M., C.A. Vieira, G.J. Melo (Eds). 2011. Diagnóstico de las principales pesquerías del Pacífico colombiano. Fundación Marviva – Colombia, Bogotá, 242 p.
- Ganias K., H. Murua, G. Claramunt, R. Dominguez-Petit, P. Gonçalves, F. Juanes, J. Kennedy, N. Klibansky, M. Korta, Y. Kurita, S. Lowerre-Barbieri, G. Macchi, M. Matsuyama, A. Medina, C.Nunes, G. Plaza, R. Rideout, S. Somarakis, A. Thorsen, A. Uriarte y M. Yoneda. 2014. Chapter 4: Egg production. En: Domínguez-Petit, R., H. Murua, F. Saborido-Rey y E. Trippel (Eds). 2014. Handbook of applied fisheries reproductive biology for stock assessment and management. Vigo, España. 109 p.
- Ganias, K., M. Rakka, E. Mantzouki, T. Vavalidis, M. Tsinganis y C. Nunes. 2015. Maternal versus environmental constraints on the oocyte size of a marine pelagophil fish. *Mar. Biol.*, 162: 1879-1888.
- Gómez-León, J. 2006. Estudio epizoótico de agentes patógenos en almeja fina (*Ruditapes decussatus*) cultivada en Galicia. Tesis Doctorado Cienc. Biol., Universidad de Santiago de Compostela, España. 220 p.
- Guisande, C., A. I. Barreiro, I. Maneiro, I. Riveiro, A. Vergara y A. Vaamonde. 2006. Tratamiento de datos. Universidad de Vigo, Vigo, España. 307 p.
- Hempel, G. 1979. Early life history of marine fish: The egg stage. University of Washington Press, Washington Sea Grant Publication, Washington D.C. 70 p.
- Holden, M. y D. Raitt. 1974. Manual of fisheries science. Part 2: Methods of resource investigation and their application. FAO, Roma. 279 p.
- Icon-Institut. 2009. Asistencia técnica en el proceso de información existente en Imarpe; explorar el uso del análisis de la correlación del potencial reproductivo de las reservas (stocks de peces). Icon-Institut, Lima. 57 p.
- IIAP. 2007. Consultoría componente pesquero proyecto Duapará, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). Nuquí, Chocó. 223 p.
- Incoder. 2013. Apoyo al fomento de proyectos de pesca artesanal y acuicultura de recursos limitados a nivel nacional. Instituto de Desarrollo Rural (Incoder), Bogotá. 31 p.
- INPA. 2000. Perfil de la pesca y la acuicultura en Colombia. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA), Bogotá. 29 p.

- Invemar, CRC y Corponariño. 2006. Unidad ambiental costera de la Llanura Aluvial del Sur: Caracterización, diagnóstico integrado y zonificación ambiental. Invemar, CRC y –Corponariño, Santa Marta. 403 p.
- Invemar, ICA y Fundación Malpelo. 2009. Informe técnico final de la caracterización espacial, tecnológica y biológico-pesquera de la pesquería en la zona de Charambirá, Pacífico colombiano. Invemar, ICA y Fundación Malpelo. Buenaventura. 78 p.
- King, M. 2007. Fisheries biology, assessment and management. Wiley-Blackwell. Oxford, UK. 400 p.
- Klibansky, N. y F. Juanes. 2008. Procedures for efficiently producing high quality fecundity data on a small budget. *Fish. Res.*, 89: 84-89.
- Lucano-Ramírez, G., C. Villagrán-Santa, S. Ruiz-Ramírez y M. T. López-Trujillo. 2001. Histología de los oocitos de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy 1922) (Pisces: Lutjanidae). *Cien. Mar.*, 27 (3): 335-349.
- Lucano-Ramírez, G., S. Ruiz-Ramírez y J. A. Rojo-Vázquez. 2005. Biología reproductiva de *Prionotus ruscarius* (Pisces: Triglidae) en las costas de Jalisco y Colima, México. *Rev. Dig. Universitaria*, 6 (8): 1067-1079.
- Lucano-Ramírez, G., S. Ruiz-Ramírez, F. I. Palomera-Sánchez y G. González-Sansón. 2011. Biología reproductiva de la sierra *Scomberomorus sierra* (Pisces, Scombridae) en el Pacífico central mexicano. *Cien. Mar.*, 37 (3): 249-260.
- Mackie, M.C., P.D. Lewus, D.J. Gaughan y S.J. Newman. 2005. Variability in spawning frequency and reproductive development of the narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*) along the west coast of Australia. *Fish. Bull.* 103: 344–354.
- Marteinsdottir, G. y G.A. Begg. 2002. Essential relationships incorporating the influence of age, size, and condition on variables required for estimation of reproductive potential in Atlantic cod *Gadus morhua*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 235: 235–256.
- Marviva. 2011. Diagnóstico de las principales pesquerías del Pacífico colombiano. Fundación Marviva, Bogotá. 242 p.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. 2000. Estudio de prospectiva para la cadena productiva de la industria pesquera en la región de la costa pacífica en América del Sur. Coordinación Nacional Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Bogotá. 29 p.
- Muñetón-Gómez, M. S., M. Villalejo-Fuerte y G. García-Melgar. 2000. Manual de técnicas histológicas aplicadas a organismos marinos. Univ. Baja California Sur, La Paz, México. 81 p.
- Murua, H., G. Kraus, F. Saborido-Rey, P.R. Witthames, A. Thorsen y S. Junquera. 2003. Procedures to estimate fecundity of marine fish species in relation to their reproductive strategy. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 33: 33-54.
- Murua, H., P. Lucio, M. Santurtun y L. Motos. 2006. Seasonal variation in egg production and batch fecundity of European hake *Merluccius merluccius* (L.) in the Bay of Biscay. *J. Fish Biol.*, 69:1304-1316.
- Nagahama, Y., M. Yoshikuni, M. Yamashita, T. Tokumoto y Y. Katsu. 1995. Regulation of oocyte growth and maturation in fish. *Curr. Top. Dev. Biol.*, 30: 103–145.
- Nikolsky, G.V. 1963. The ecology of fishes. Acd. Press London and New York. 392 p.
- Núñez, J y F. Duponchelle. 2009. Towards a universal scale to assess sexual maturation and related life history traits in oviparous teleost fishes. *Fish Physiol. Biochem.*, 35 (1): 167-180.

- Robertson, D.R. y G.R. Allen. 2015. Peces costeros del Pacífico oriental tropical: Sistema de información en línea. Versión 2.0. Instituto Smithsonian de investigaciones tropicales. Balboa, Panamá.
- Rodríguez, A., M. Rueda, J. Viana., J. Correa., B. Mejía-Mercado, A. Galeano, H. Castillo, A. Girón, S. Salas, J. Eraso, R. Acevedo y G. Angulo. 2015. Programa de investigación pesquera en aguas marinas jurisdiccionales de Colombia 2015. AUNAP-INVEMAR. Convenio No. 148 de 2015. Informe técnico y financiero final. PRY-VAR-006-015-ITF. Santa Marta. 162 p + Anexos.
- Rubio, E. 1988. Peces de importancia comercial para el Pacífico colombiano. Univ. Valle, Cali. 500 p.
- Rubio, E. 2007. Introducción a los peces marinos de Colombia y áreas adyacentes. Univ. Valle, Cali. 658 p.
- Rueda, M., O. Doncel, E. A. Vilorio, D. Mármol, C. García, A. Girón, L. García, F. Rico, A. Rodríguez, C. Borda y C. Barreto. 2011. Atlas de pesca marino-costera de Colombia: (2010-2011). Tomo Pacífico. Serie de Publicaciones Generales del Inveemar, Santa Marta. 100 p.
- Saborido-Rey, F. 2004. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Curso de doctorado 2002-2004, Inst. Invest. Mar. (CSIC), Universidad de Vigo, Vigo, España. 71 p.
- Tobón-López, A., E. Rubio y A. Giraldo. 2008. Composición y análisis taxonómico de la ictiofauna del golfo de Tribugá, Pacífico norte de Colombia. Lat. Am. J. Aquat. Res., 36 (1): 93-104.
- Urriola, M., J. Cabrera y M. Protti. 2004. Fecundidad, fertilidad e índice gonadosomático de *Poecilia reticulata* (Pisces:Poeciliidae) en Heredia, Costa Rica. Rev. Biol. Trop., 52(4): 945-950.
- Vega, A., F. Quezada y Y. Robles. 2013. Aspectos biológicos y pesqueros de *Scomberomorus sierra* (Perciformes: Scombridae) en el Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá. Tecnociencia, 15 (2): 53-70.
- Vélez, J. 1995. Aspectos sobre la biología (alimentación, reproducción y crecimiento) del atún barrilete *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758) en el Pacífico oriental tropical. Trabajo de grado Biol., Univ. Valle, Cali. 90 p.
- Vera de Mintzer, R. y G.M. de Gonzo. 1991. Ciclo sexual de *Pimelodus albicans* (Val., 1840) (Pisces: Siluriformes: Pimelodidae) de la Provincia de Salta. Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral, 22 (2): 19-34.
- Villamil-Moreno, L. y J. Arias-Castellanos. 2011. Fecundidad de *Otocinclus spectabilis*. Orinoquia, 15 (1): 41-47.
- Wallace, R. A. y K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Am. Zool., 21: 325-343.

RECIBIDO: 02/01/2015

ACEPTADO: 11/04/2017