

Research Article

Reproducción de la raya eléctrica *Narcine bancroftii* (Torpediniformes: Narcinidae) en Santa Marta, Caribe colombiano

Fabián Moreno¹, Kelly Acevedo¹, Marcela Grijalba-Bendeck², Arturo Acero³ & Jorge Paramo^{4,5}

¹ Grupo de Investigación de Peces Cartilagosos (GIPECA), Universidad Jorge Tadeo Lozano; Cra. 2#11-68, Rodadero-Santa Marta, Colombia

² Facultad de Ciencias Naturales, programa de Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano Santa Marta, Colombia

³ Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, INVEMAR, Cerro Punta Betún Santa Marta, Colombia

⁴ Universidad del Magdalena, Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología Pesquera Tropical (CITEPT)

⁵ Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT), Universität Bremen, Fahrenheit Strasse 6, Bremen, Alemania

RESUMEN. Se analizaron aspectos reproductivos de la raya eléctrica *Narcine bancroftii*, capturada como bycatch con una red playera de cerco en dos playas del sector de El Rodadero, Santa Marta, Caribe colombiano. Los ejemplares fueron sexados, pesados y medidos, se identificó su estado de desarrollo gonadal mediante características morfológicas externas e internas. Se evaluó la condición reproductiva con el comportamiento de los índices biológicos (gonadosomático IGS y hepatosomático IHS) y la talla a la madurez sexual ($I_{50\%}$). Los resultados obtenidos mostraron que el IGS tiene un máximo anual entre septiembre y diciembre cuando probablemente ocurre la cópula. El IHS presentó su mayor valor en enero, cuando termina su periodo reproductivo. La talla media de madurez en hembras fue de 32,2 cm y en machos de 20,2 a 22,9 cm. El período de gestación es de cuatro meses y las crías nacen de febrero a abril.

Palabras clave: raya eléctrica, reproducción, fecundidad, mar Caribe, Colombia.

Reproduction of the electric ray *Narcine bancroftii* (Torpediniformes: Narcinidae) in Santa Marta, Colombian Caribbean

ABSTRACT. This paper provides information about reproductive aspects of the electric ray *Narcine bancroftii*, caught as bycatch with beach seines in two beaches of El Rodadero, Santa Marta, Colombian Caribbean, between August (2005) and October (2006). The electric rays obtained were separate by sex, weighed and measured; the development of reproductive stage was identified by external and internal characteristics. The reproductive condition was determinate by (gonadosomatic GSI and hepatosomatic HSI) indexes and the size at sexual maturity ($I_{50\%}$). The results showed that the GSI has one peak at year between September and December when probably the copulation carried out, the HSI presented its highest value in January, which corresponds to the end of the reproductive period. The size at sexual maturity was 32.2 cm in females and it was between 20.2 and 22.9 cm in males. We propose that the gestation period extends during four months, starting with the birth of individuals in February and finishing in April.

Keywords: electric ray, reproduction, fecundity, maturity, Caribbean sea, Colombia.

Corresponding author: Fabián Moreno Rodríguez (fabian.morenorodriguez@gmail.com)

INTRODUCCIÓN

La raya eléctrica *Narcine bancroftii* (Griffith & Smith, 1834) habita principalmente las zonas costeras de

mares tropicales, desde Carolina del Norte hasta el golfo de México, mar Caribe y Antillas mayores y menores (McEachran & Carvalho, 2002). Se distribuye ampliamente desde la línea de costa hasta 37 m

de profundidad, donde alcanza los 58 cm de longitud total y puede contener hasta 18 embriones (McEachran & Carvalho, 2002). Esta raya es parte del bycatch de la pesca artesanal con redes playeras de cerco, ya que no presenta ningún uso ni valor comercial (King, 2007). En el sector de Santa Marta, se captura cerca de la costa entre 5 y 10 m de profundidad. Las redes playeras de cerco (beach seines) o chinchorros de jala, como son conocidos en la región de Santa Marta, se caracterizan por tener una red vertical con flotadores en la relinga superior y pesos en la relinga inferior, la cual se utiliza para cercar los peces cerca de la playa (Jennings *et al.*, 2001). Este aparejo de pesca se cala manualmente o con la ayuda de una embarcación pequeña y se jala desde la playa con la ayuda de 12 a 24 pescadores. Su uso se limita a zonas de pendiente suave, fondo arenoso y un mar tranquilo (Hernández, 1986), se emplea en áreas poco profundas donde la superficie del agua y el fondo evitan que los peces escapen de la red (Nédélec, 1984; Jennings *et al.*, 2001).

Las redes playeras de cerco, tienen como pesca objetivo a peces pelágicos medianos y pequeños de importancia comercial, como las familias Clupeidae, Carangidae y Trichiuridae. Además, se capturan especies de rayas de poco valor comercial como *Rhinobatos percellens* (Walbaum, 1792), *Dasyatis guttata* (Bloch & Schneider, 1801) y *D. americana* Hildebrand & Schroeder, 1928. Sin embargo, también se colectan especies que no poseen ningún uso ni valor comercial (Bycatch) como las rayas *Urotrygon venezuelae* Schultz, 1949 y *N. bancroftii*, que en la mayoría de los casos son devueltas al mar. Es poco lo que se conoce sobre la biología de esta especie a nivel mundial, sin embargo para especies del mismo género (*N. entemedor*, en México) se han determinado aspectos relacionados con el periodo de gestación, aéreas de reclutamiento, fecundidad y ciclo reproductivo (Villavicencio, 1993, 1995). El objetivo de este trabajo es aportar al conocimiento reproductivo de *N. bancroftii* en el Caribe colombiano, a partir del bycatch de las capturas de la pesquería artesanal con redes playeras de cerco en la zona costera, analizando su fecundidad, talla a la madurez sexual y proporción sexual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ejemplares fueron capturados como parte del bycatch las faenas con red playera de cerco efectuadas en El Rodadero, Santa Marta (11°10'-30"N, 74°13'-30"W), entre agosto de 2005 y octubre de 2006, empleando tres chinchorros de jala o playeros, con

mangas de 150 m, ojo de malla de 5 cm y de 1,5 a 3 cm en el copo, construidos en nailon y dacrón. Los lances tuvieron una duración de 1 a 2 h y se calaron a una distancia de la costa de 350 a 400 m y a profundidad de 5 a 10 m. Se determinó el peso húmedo total y eviscerado de cada ejemplar, posteriormente se tomaron datos morfométricos, como longitud total (punta del rostro hasta la punta distal de la aleta caudal LT), longitud precaudal (punta del rostro hasta el inicio de la base de la aleta caudal LP), largo del disco (punta del rostro hasta el extremo posterior del disco LD) y ancho del disco (distancia máxima entre el extremo izquierdo del disco y el derecho AD). En machos se determinó la longitud del cláspen (inicio del cláspen hasta la punta distal LC) y en las hembras la abertura de la cloaca (longitud máxima de la cloaca AC). A partir de la disección ventral se evaluó la condición reproductiva considerando características externas e internas de los individuos de acuerdo a Tresierra & Culquichicón (1995), Acuña *et al.* (2001), Baigorri & Polo (2004) (Tabla 1).

En las hembras se cuantificó el peso total, peso de las gónadas y además de su ubicación interior; así como, la presencia y desarrollo de la glándula nidamental, oviductos y embriones, estos fueron contados, medidos y pesados considerando su ubicación y patrón de coloración, sexo y estado de desarrollo según la escala propuesta por Mollet *et al.* (2000). En los machos el estado de madurez se evaluó con los grados de calcificación y rotación del cláspen, la longitud (desde el punto de flexión hasta el punto más distal), presencia o ausencia de semen y abertura del rifiodón. Adicionalmente, se midió el tamaño de los testículos, que se pesaron independientemente, verificando la presencia de los ductos deferentes y en su interior la estructura en espiral (epidídimo), además de semen en la vesícula seminal.

La proporción de sexos se estableció mediante del cociente en número entre machos (M) y hembras (H) capturados mensualmente, valores mayores a 1 muestran dominio de machos y menores a 1 de hembras (Bone *et al.*, 2008). La significancia de estos resultados se corroboró mediante la prueba de chi-cuadrado (χ^2) bajo el supuesto de una proporción 1:1, comparándola con la calculada a partir de la abundancia obtenida en terreno (Tresierra & Culquichicón, 1993). También se determinó la proporción sexual de los embriones hallados en las hembras. Para evaluar la condición reproductiva se calcularon los índices gonadosomático, hepatosomático y fecundidad según el criterio de Holden & Raitt (1975). La fecundidad expresada en número de

Tabla 1. Criterios para la evaluación de la condición reproductiva de acuerdo a los trabajos de Tresierra & Culquichicón (1995), Acuña *et al.* (2001) y Baigorri & Polo (2004).

Table 1. Criteria used for evaluating the reproductive condition, based on Tresierra & Culquichicón (1995), Acuña *et al.* (2001) and Baigorri & Polo (2004).

Hembras	Inmaduro (I)	Ovario pequeño de constitución flácida y acuosa en la parte anterior del órgano epigonal, oviductos poco visibles.	
	En maduración (II)	Ovarios más densos no acuosos de apariencia uniforme y con oviductos visibles y delgados.	
	Maduro	Sin embriones (IIIa)	Ovario con contenido visible de hilos amarillentos comunicados por el oviducto con el útero delgado y pequeño.
		Con embriones (IIIb)	Presencia de embriones en desarrollo en el interior del útero.
	Post parto (IV)	Úteros flácidos, gruesos, y se observa fácilmente la conexión con la cloaca.	
Machos	Inmaduro (I)	Cláspers pequeños no llegan al borde posterior de las aletas pélvicas, flácidos con rotación menor a 360°, rifiodón cerrado y ausencia de semen, testículos pequeños de constitución acuosa, no se observan los conductos eferentes ni vesícula seminal.	
	En maduración (II)	Cláspers llegan al borde de las aletas pélvicas, rotación menor a 360°, rifiodón cerrado y ausencia de semen, testículos más densos, se observan los conductos eferentes y el epidídimo se presenta formando espirales por lo menos hasta la mitad del conducto.	
	Maduro (III)	Calcificación total del cláspers, rotación de 360°, van más allá del borde de las aletas pélvicas, rifiodón abierto con semen, testículos grandes con lóbulos, se observan ductos eferentes, el epidídimo en forma de espiral ocupa todo el conducto y la vesícula seminal con semen.	

embriones se comparó con datos bibliográficos de la especie en otras regiones. Además, se calculó la talla de nacimiento teniendo en cuenta el promedio entre la longitud máxima embrionaria encontrada y la menor longitud de las rayas capturadas (Conrath, 2005). Para la determinación del estado de desarrollo de los embriones se calculó su tamaño promedio por hembra y se comparó con la talla máxima teórica de 58 cm propuesta para esta especie por McEachran & Carvalho (2002), valor que se confrontó con la escala de Mollet *et al.* (2000).

La talla a la madurez sexual en hembras se estableció considerando como maduros los ejemplares en estados IIIa, IIIb y IV e inmaduros I y II, siguiendo a White *et al.* (2001), y se calculó empleando la siguiente ecuación:

$$Pl = \frac{1}{1 + \exp(a + bl)}$$

donde $P(l)$ es la proporción de individuos maduros al rango de talla l ; a y b parámetros a estimar. La talla al 50% de madurez se determinó como, $l_{50\%} = -a/b$. Los parámetros fueron estimados mediante Máxima Verosimilitud, considerando la distribución binomial del error. La incertidumbre fue introducida mediante el método Monte Carlo, re-muestreando desde una distribución normal bivariada definida por los parámetros ajustados y su correspondiente matriz de varianza-covarianza (Roa *et al.*, 1999). Para los

machos no se pudo estimar $l_{50\%}$ con una función logística, debido al escaso número de ejemplares disponibles. Por esta razón, la talla a la madurez sexual se calculó mediante la relación entre las longitud total del individuo y del cláspers, además se registró la talla mínima de madurez, entendida como la longitud total del individuo maduro de menor tamaño (Conrath, 2005).

RESULTADOS

Se colectó en total 198 individuos, 140 hembras y 58 machos, con la mayor abundancia total obtenida en septiembre (29 individuos) y octubre de 2005 (28 individuos), la menor ocurrió en febrero de 2006 (1 individuo). Las hembras se capturaron registradas durante todo el año, en cambio los machos en algunos meses estuvieron representados por pocos ejemplares. Las hembras fueron más abundantes en septiembre y octubre de 2005 mientras los machos sólo en octubre de 2006 (Fig. 1). La prueba de Chi-cuadrado (X^2) mostro que la proporción entre machos y hembras no es significativamente diferente de la razón 1:1 ($p > 0,05$)

Para las hembras se registraron todos los estadios propuestos, siendo el más frecuente las hembras maduras sin embriones (IIIa), entre agosto de 2005 y enero de 2006, y en menor porcentaje de marzo a

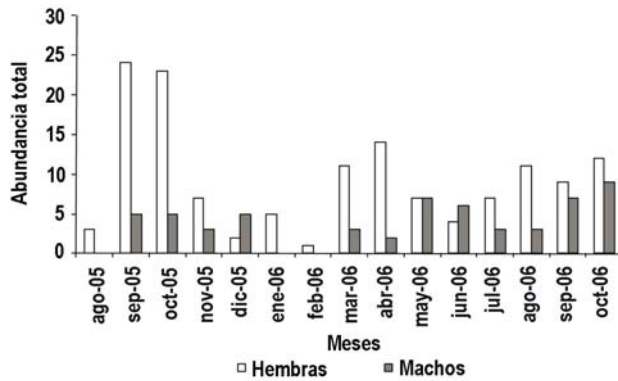


Figura 1. Abundancia mensual por sexo para *Narcine bancroftii*.

Figure 1. Monthly abundance by sex for *Narcine bancroftii*.

mayo de 2006, tomando nuevamente importancia de junio a octubre (2006). También se registraron hembras con embriones (IIIb) de febrero a abril, mientras que las que ya dieron a luz sus embriones (IV) se presentan de marzo a mayo de 2006. En menor porcentaje se encontraron las hembras en maduración (II), que se presentaron en agosto y septiembre de 2005 y julio, agosto y octubre de 2006.

En cuanto al índice gonadosomático (IGS) en hembras, se observó un aumento progresivo de agosto a noviembre (2005), este último con los valores más altos ($4,321 \pm 0,772$), seguido de octubre ($3,640 \pm 0,439$), posteriormente se presentó una disminución de diciembre (2005) a enero (2006), cuando se registraron los menores valores ($0,172 \pm 0,045$). A partir de julio se observó un aumento que terminó en octubre (2006) alcanzando a $3,057 \pm 0,660$. El índice hepatosomático (IHS) presentó mayor variación con respecto al (IGS), los cuatro primeros meses los valores fluctuaron entre $2,325 \pm 0,140$ y $2,882 \pm 0,543$, con un aumento de noviembre (2005) a enero (2006), que presentó los mayores valores ($3,536 \pm 1,140$). Estos disminuyeron considerablemente de febrero a mayo (2006), donde se determinó el menor valor ($1,774 \pm 0,132$), finalmente en octubre aumentaron levemente a $2,194 \pm 0,145$ (Fig. 2a).

En los machos se observaron todos los estadios, siendo el más común los maduros (III), que se registraron en 10 de los 15 meses de muestreo, seguido de los inmaduros (I) y machos en maduración (II). El índice gonadosomático (IGS), alcanzó el mayor valor en septiembre (2005) ($0,489 \pm 0,188$) y el menor en mayo ($0,169 \pm 0,073$), de junio a julio los valores aumentaron hasta $0,270 \pm 0,106$; finalmente hacia octubre el IGS disminuyó a $0,257 \pm 0,072$. El índice hepatosomático (IHS) alcanzó el mayor valor

($1,962 \pm 0,169$) en junio de 2006, disminuyendo fuertemente en abril, cuando se obtuvo el menor valor ($1,310 \pm 0,418$). Finalmente, de septiembre a octubre se registró un aumento, alcanzando a $1,959 \pm 0,184$ (Fig. 2b).

De las 140 hembras analizadas ocho contenían 48 embriones, las que fueron capturadas en febrero ($n=8$), marzo ($n=21$) y abril ($n=19$), presentando un rango de tallas de 31,2 a 52,5 cm. Las tallas de los embriones hembras fluctuaron entre 6,38 y 12,1 cm, siendo esta última la mayor registrada. Los machos fluctuaron entre 5,01 y 11,81 cm, con un tamaño promedio de nacimiento de $11,5 \pm 6$ cm. La fecundidad fue de 1 a 14 embriones, el útero derecho presentó de 1 a 9 y el izquierdo de 1 a 5. En los úteros derechos se encontraron 18 machos y 10 hembras, y en los izquierdos 7 machos y 13 hembras. La prueba de chi-cuadrado (X^2) mostró que la proporción de embriones machos y hembras no fue significativamente diferente de la razón 1:1 ($p > 0,05$), indicando que nace igual cantidad de hembras que de machos. Los embriones se clasificaron según la escala de Mollet *et al.* (2000) en estado de desarrollo tardío, mostrando estructuras bien desarrolladas como ojos, espiráculos y aletas, además de pigmentación completa y encontrarse cerca de la talla de nacimiento (9 a 10 cm) (McEachran & Carvalho, 2002). Sólo una camada de marzo presentó un desarrollo medio, la cual a pesar de tener sus estructuras bien definidas, no alcanzó la talla de nacimiento (Tabla 2).

El modelo logístico mostró que $l_{50\%}$ para hembras fue de 31,02 cm (IC 95% = 28,19–33,21 cm), obtenida a partir de 137 ejemplares. La hembra madura más pequeña fue de 29,3 cm (Fig. 3). En machos se calculó la talla de madurez a partir de 58 rayas, entre 20,2 y 22,9 cm de longitud total. El macho maduro más pequeño fue de 27,8 cm (Fig. 3b). Se propone este rango teniendo en cuenta que estos valores pueden variar dependiendo de la metodología empleada para la medición del cláspere, esto debe considerarse al comparar estos datos con los registrados para esta especie (23 a 25 cm) (McEachran & Carvalho, 2002).

Dentro de un periodo anual, se propone un ciclo reproductivo para la raya eléctrica *N. bancroftii*, dividido en seis etapas: preparación (agosto-noviembre), cópula (noviembre-diciembre), gestación (diciembre-marzo), nacimiento (febrero-abril), post-parto (marzo-mayo) y recuperación (mayo-julio).

Durante la etapa de preparación los machos maduros al parecer se encuentran en aguas más profundas y sólo se capturaron ejemplares inmaduros y en maduración. Las hembras aumentaron el tamaño de los ovarios generando paquetes delgados, similares a hilos enrollados, donde se están formando los ovoci-

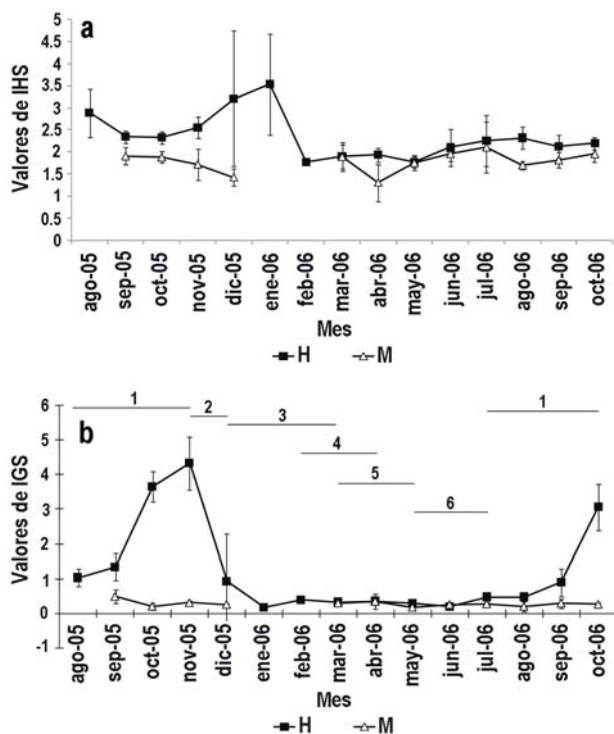


Figura 2. a) Comparación mensual del índice hepatosomático (IHS) con relación al peso total para hembras (H) y machos (M) de *Narcine bancroftii*, b) Relación entre el índice gonadosomático (IGS) (hembras y machos) y las etapas propuestas del ciclo. Las líneas horizontales corresponden a las etapas propuestas en el ciclo reproductivo y su correspondencia con los meses de muestreo.

Figure 2. a) Monthly comparison of the gonadosomatic (GSI) and hepatosomatic (HSI) indexes, relative to the total weight for females and males of *Narcine bancroftii*, b) Relationship between the gonadosomatic index (GSI) (both sexes) and proposals stages of the cycle. The horizontal lines correspond to the reproductive cycle stages and his relation with the months of the research.

Tabla 2. Fecundidad por útero, promedio (%) de la longitud total de los embriones (PLT) por hembra con respecto a la talla máxima teórica de 580 mm (McEachran & Carvalho, 2002) y estado de desarrollo de los embriones según la escala de Mollet *et al.* (2000).

Table 2. Fecundity per womb, average (%) of the total embryos length (PLT) by female compared with the theoretical maximum length of 580 mm (McEachran & Carvalho, 2002) and embryonic stage, (according to Mollet *et al.* (2000).

Número de embriones en el útero			Promedio de talla (cm)	Error estándar	% PLT	Escala de Mollet
Derecho	Izquierdo	Total				
6	2	8	9,18	0,05	15,83	Tardío
1	-	1	10,14	-	17,48	Tardío
9	5	14	9,46	0,05	16,33	Tardío
3	3	6	6,30	0,06	10,87	Medio
1	3	4	11,61	0,17	20,03	Tardío
2	2	4	9,24	0,10	15,94	Tardío
3	1	4	9,90	1,64	17,07	Tardío
3	4	7	11,48	0,11	19,79	Tardío

tos para el momento de la fecundación. En octubre la presencia de machos maduros aumentó al igual que la de hembras maduras. La cópula estuvo representada por el incremento de hembras y machos maduros, las primeras alcanzaron en valor promedio más alto del IGS, indicando que se encuentran preparadas para el evento reproductivo, lo cual indicaría que la cópula se puede extender hasta diciembre. En la gestación, las hembras maduras permanecieron en aguas más

profundas y tranquilas, ya que no se registraron capturas de hembras con embriones en estados tempranos de desarrollo. Por su parte, los machos maduros se alejaron de la costa y en su reemplazo aparecieron los que están en maduración, posiblemente buscando hembras receptoras (Figs. 2b y 4).

La etapa de nacimiento se caracterizó por el regreso de las primeras hembras con embriones o gestantes, lo cual indicaría que la gestación ocurre tres

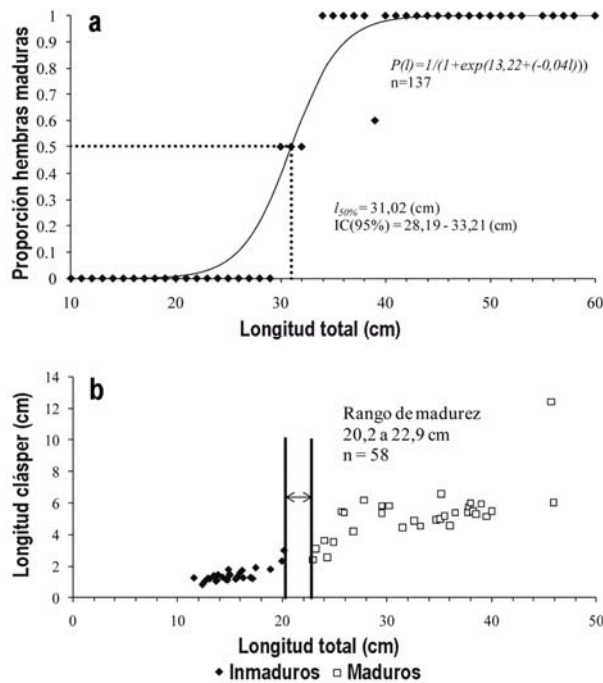


Figura 3. a) Talla a la madurez sexual en hembras, la línea representa el ajuste del modelo logístico ($n=137$), b) Relación entre la longitud del cláspes y la longitud total de los machos capturados ($n= 58$).

Figure 3. a) Length at sexual maturity for females. The continuous line represents the logistic model fitted ($n=137$), b) Relationship between cláspes length and total length for males ($n= 58$).

a cuatro meses después de la cópula. En febrero posiblemente ocurre el nacimiento, ya que los embriones se encuentran totalmente desarrollados y sus tallas alcanzan las registradas para los neonatos. La etapa de post-parto reveló la presencia de hembras con embriones y neonatos, así como machos en maduración y maduros, además se registraron hembras paridas hasta mayo. Finalmente, en la etapa de recuperación tanto hembras como machos entran en periodo de reposo y preparación, donde no hay cambios significativos en las gónadas. Las hembras maduras permanecieron cerca de la costa mientras los machos maduros se acercaron esporádicamente (Figs. 2b y 4).

DISCUSIÓN

Las mayores capturas se registraron entre septiembre y octubre, época lluviosa mayor, y las menores en febrero, época seca mayor. Las bajas capturas se atribuyeron básicamente al incremento en el oleaje generado por el fuerte viento (alisios), que caracteriza la región y que no permite realizar las faenas de pesca,

más que a la aparente ausencia de ejemplares en el área. La mayor cantidad de hembras en las capturas, indicaría que los machos se acercan a la costa con menor frecuencia, prefiriendo aguas más profundas. Esto concuerda con lo observado por Villavicencio (1993) en *N. entemedor*, quien registró una marcada dominancia de hembras en Bahía Almejas, similar a lo que se evidenció en este estudio y que posiblemente se debería a una segregación sexual por aéreas.

De la misma forma, se consideró que las variaciones de las capturas pueden estar principalmente relacionadas con las fluctuaciones temporales que presentan las comunidades bentónicas, la principal fuente de alimento de *N. bancroftii*. Estas comunidades son afectadas por la descarga de ríos y escorrentía continental (regida por las precipitaciones) (Alongi, 1998), que llevan materia orgánica que se deposita en el sedimento donde es aprovechada por la comunidad bentónica (Torres, 1999). Las variaciones de la fauna bentónica también están relacionadas directamente con variaciones en los sedimentos, que son afectados por el flujo residual de la ciénaga, los vientos y la temperatura superficial, en concomitancia con los procesos de enriquecimiento de nutrientes del área, como la surgencia y la descarga continental, que delimitan la cantidad de alimento disponible para el bentos (Guzmán-Alvis, 2004). Las mayores abundancias de la comunidad bentónica se presentan en la época lluviosa cuando se registran los mayores aportes de materia orgánica por el río Gaira (Torres, 1999), lo que favorece la nutrición de las rayas eléctricas, permitiéndoles ganar energía para el proceso reproductivo que se aproxima.

Debido al aumento del IGS de septiembre a noviembre, se puede pensar que durante este periodo las hembras se concentraron en aportar energía al desarrollo de las gónadas, las cuales incrementan su peso, lo que pudo conllevar la disminución del IHS. Además, el aumento del tamaño de las gónadas en la cavidad abdominal limita el espacio ocupado por el hígado. En noviembre, la recuperación del IHS puede explicarse porque la energía ya no está dirigida a las gónadas sino al evento reproductivo como tal (la cópula), que se realiza aparentemente a partir de ese mes y se extiende hasta diciembre. En este último mes hubo una disminución del IGS y un aumento en IHS que se prolonga hasta enero. La variación mensual de los machos mostró que los ejemplares maduros aparecen a partir de octubre y llegan en mayor porcentaje en noviembre para la cópula. Debido a la ausencia de ejemplares en enero y febrero, no está claro lo que ocurre en estos meses, pero se cree que en ese período predominan los machos en maduración, ya que los maduros prefieren aguas más profundas donde

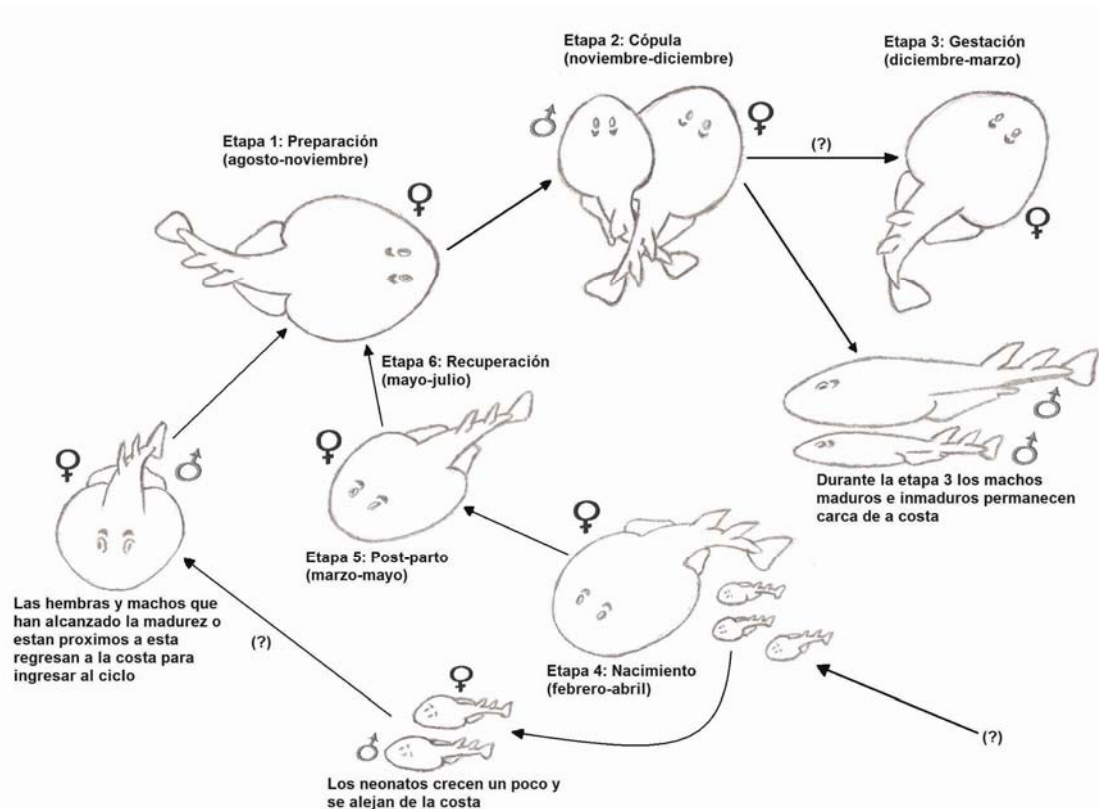


Figura 4. Esquema del ciclo reproductivo de *Narcine bancroftii*. Las flechas acompañadas de signos de interrogación (?) expresan el desconocimiento de la ubicación o el área donde se realiza el periodo de gestación y por consiguiente de donde provienen los neonatos.

Figure 4. Diagram of the reproductive cycle of *Narcine bancroftii*. The arrow with interrogative symbols (?) shows the unknown location of the gestation area, therefore were the newborn came from.

no opera el arte de pesca. En abril, se presentaron machos inmaduros de tallas pequeñas (neonatos), que se cree nacieron semanas antes y que se presentaron en los meses siguientes.

El aumento en el número de machos en diciembre se relacionó con el máximo reproductivo de las hembras, lo que probablemente indica que la presencia de machos aumenta en este momento para la reproducción. Debido a que la mayoría de los machos estaban en estado II (en maduración), probablemente buscan la oportunidad de tener su primera cópula. Los valores encontrados de IGS no revelan grandes cambios a lo largo de los meses y esto posiblemente se deba a que los machos, a diferencia de las hembras, no presentaron máximos reproductivos marcados debidos al incremento del peso de los testículos. Por el contrario, cuando un macho alcanza la madurez sexual, sus testículos están preparados para la cópula y la producción de esperma es ininterrumpida, lo que hace que el peso de los testículos se mantenga relativamente constante una vez que los individuos han alcanzado la primera madurez.

En este estudio se registraron hasta 14 embriones por hembra, valor que se encuentra dentro de lo propuesto por McEachran & Carvalho (2002), quienes afirman que estas pueden contener hasta 18, siendo mayor al registrado por Bigelow & Schroeder (1953) y McEachran & Fehhelm (1998) de 4-15 por hembra para *N. brasiliensis*, se debe tener en cuenta que en ese último año, *N. bancroftii* se consideraba sinónimo de *N. brasiliensis*. Villavicencio (1993) mencionó fecundidades por útero para *N. entemedor*, de 1-2 en el derecho y de 4-12 en el izquierdo. Se apreció una clara diferencia con los datos encontrados, ya que se determinaron mayor número de embriones en el útero derecho. Las variaciones en la fecundidad obtenida a partir del número de embriones debe ser analizada con precaución, debido a que se ha observado que las hembras expulsan los embriones próximos a nacer durante la faena de captura (Conrath, 2005) y esto puede ser un factor que introduce sesgo en el análisis de fecundidad. Como reflejo de esto, Villavicencio (1993) sostiene que *N. entemedor* presenta más crías en el útero izquierdo, pero es probable que la hembra

libere los embriones más desarrollados al momento de la captura y también podría ocurrir que expulse los embriones del útero que contiene mayor número o simplemente por azar.

A pesar que McEachran & Carvalho (2002) afirman que los embriones pueden tener diferentes tallas dentro de la misma madre, los embriones encontrados presentaron tallas similares. La aparición de los embriones entre febrero y abril podría estar relacionada con el aumento gradual de la temperatura del agua mejorando las condiciones de vida de los neonatos. Según Villavicencio (1995), estos meses son de vital importancia en el ciclo de las especies de *Narcine* y puede recomendarse que en lo posible las hembras maduras capturadas sean devueltas al mar. La proporción sexual supone que no existen diferencias significativas para afirmar que se capturan más hembras que machos como se podría inferir con los datos de abundancia, ya que en algunos meses no se colectaron machos. Esto se debería a que los machos están más cerca de la costa por un tiempo después de que nacen, hasta alcanzar tallas a las que consiguen ser menos susceptibles a ataques de depredadores, luego se alejan de la costa, regresando esporádicamente en la época de cópula. Por su parte, las hembras se mantienen cerca de la costa y sólo las gestantes dejan el sector después de la cópula para desarrollar los embriones y regresan para parirlos. Esto podría explicar la ausencia de hembras con embriones en estadios tempranos en las capturas.

McEachran & Carvalho (2002), de acuerdo a los datos de Bigelow & Schroeder (1953) y McEachran & Fechhelm (1998), proponen que las hembras de *N. bancroftii* maduran entre 27 y 32 cm. Los resultados del presente trabajo revelan que la talla de madurez se encuentra cerca del límite superior. Esto puede obedecer a que esos autores trabajaron con ejemplares de menores tallas, lo cual pudo influir en los resultados. El valor de $I_{50\%}$ hallado permite inferir sobre el nivel de explotación de la especie en el sector, teniendo en cuenta los tamaños de las rayas capturadas y su estado de madurez; las hembras obtenidas fueron en su mayoría maduras, habiendo alcanzado su madurez y tenido la oportunidad de gestar al menos una vez.

McEachran & Carvalho (2002) proponen que los machos maduran de 23 a 25 cm, rango mayor al calculado en este estudio. Sin embargo, es recomendable tener mejor representación de todas las tallas, ya que no se contó con ejemplares de tamaños intermedios que harían elevar la talla de madurez. La raya eléctrica *N. bancroftii* mostró un único máximo reproductivo al año, dado por el IGS en noviembre, seguido del período de cópula, que se cree se realiza

hasta diciembre, debido a la presencia de hembras gestantes que contenían embriones tardíos en febrero. Según datos de especies similares, se estimó un tiempo de gestación de 3 a 4 meses. Finalmente, los datos de la talla de madurez de 32,2 cm en hembras y entre 20,2 a 22,9 cm para machos, indicaron que la red playera de cerco captura rayas que no han alcanzado su madurez, impidiéndoles reproducirse por lo menos una vez.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se enmarcó en el proyecto “Aspectos biológicos de algunos Rajiformes y ensayo preliminar para la estimación de edad en *Rhinobatos percellens* (Walbaum, 1792) en Santa Marta, Caribe colombiano” (código 315P), del programa de Biología Marina y la Dirección de Investigaciones de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UJTL), la cual financió este trabajo. Se agradece a los empleados de la UJTL (Bogotá y Santa Marta) y a los pescadores artesanales de los sectores de playa Salguero por su colaboración durante las etapas del proyecto. Contribución 009 del Grupo de Investigación de Peces Cartilagosos (GIPECA) del programa de Biología Marina UJTL.

REFERENCIAS

- Acuña, E., L. Cid, E. Pérez, I. Kong, M. Araya, J. Lamilla, J. Peñailillo, X. Bennett, M. González, J. Villarroel, H. López & O. Barraza. 2001. Estudio biológico de tiburones (marrajo dentado, azulejo y tiburón sardinero) en la zona norte y central de Chile. Informe final, Proyecto FIP No. 2000–23: 112 pp.
- Alongi, D. 1998. Coastal ecosystem processes. In: A. Guzmán-Alvis & N. Ardila-Espitia. (eds.). INVE-MAR, Informe del estado de los Ambientes Marinos y Costeros de Colombia. Servigraficas, Serie de publicaciones periódicas, Medellín, Colombia, 178 pp.
- Baigorri, A. & C. Polo. 2004. Espectro trófico de dos especies de tiburón zorro (Chondrichthyes, Alopiidae) *Alopias pelagicus* Nakamura, 1935 y *Alopias superciliosus*, en Playa Tarqui Manta, Ecuador, Tesis de Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 133 pp.
- Bigelow, H. & W. Schroeder. 1953. Fishes of the Western North Atlantic. Part 2. Sawfishes, guitarfishes, skates and rays. Sears Foundation for Marine Research, 588 pp.
- Bone, Q., N.B. Marshall & J.H.S. Blaxter. 2008. Biology of fishes. Chapman & Hall, New York, 332 pp.

- Conrath, C. 2005. Reproductive biology. In: J. Musik & R. Bonfil (eds.). Management techniques for elasmobranch fisheries. FAO Fish Tech. Pap., 474: 251 pp.
- Franco, A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira: El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano/Andrés Franco Herrera. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 56 pp.
- Guzmán-Alvis, A. 2004. Variaciones temporales de la macrofauna sublitoral en la plataforma colombiana aledaña al río Magdalena asociada con cambios climáticos. Tesis de Doctorado en Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile, 124 pp.
- Hernández, A. 1986. Informe final, proyecto piloto de evaluación para el desarrollo de las pesquerías artesanales en la región de Santa Marta. Fondo Colombiano de Investigaciones, Científicas y Proyectos Especiales "Francisco José de Caldas", COL-CIENCIAS, Bogotá, 261 pp.
- Holden, M. & D. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera, métodos para investigar los recursos y su aplicación. FAO. Roma, FAO Doc. Téc. Pesca, 115 Rev 1: 211 pp.
- Jennings, S., M. Kaiser & J. Reynolds. Marine fisheries ecology. Blackwell Publishing, New York, 417 pp.
- King, M. 2007. Fisheries biology, assessment and management. Blackwell Publishing, London, 382 pp.
- McEachran, J. & M. Carvalho 2002. Batoid fishes. In: Carpenter (ed.) The living marine resources of the Western Central Atlantic, FAO Species identification guide for fishery purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication, Rome, 3(5): 2127 pp.
- McEachran, J. & J. Fechhelm. 1998. Fishes of the Gulf of Mexico. University of Texas Press, Austin, 1: 1112 pp.
- Mollet, H., G. Cliff, H. Pratt & J. Stevens. 2000. Reproductive biology of the female shortfin mako, *Isurus oxyrinchus* Rafinesque, 1810, with comments on the embryonic development of lamnoids. US Fish Bull., 98: 299-318.
- Neer, J. & G. Cailliet. 2001. Aspects of the life history of the Pacific electric ray *Torpedo californica* (Ayres). Copeia, 3: 842-847.
- Nédélec, C. 1984. Definición y clasificación de las diversas categorías de artes de pesca. FAO Doc. Téc. de Pesca, 222 pp.
- Roa, R., B. Enst & F. Tapia. 1999. Estimation of size at sexual maturity: an evaluation of analytical and resampling procedures US Fish. Bull., 97: 570-580.
- Téllez, L. & M. Vargas. 2004. Algunos aspectos biológicos de los Rajiformes capturados con chinchorro en la playa Salguero, Santa Marta, Caribe colombiano. Informe final Seminario de Investigación, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina, Santa Marta, 73 pp.
- Torres, R. 1999. Variación temporal de la taxocenosis Polychaeta-Mollusca, durante septiembre de 1997 a febrero de 1998, en dos estaciones en fondos blandos someros en el balneario "El Rodadero" Caribe colombiano. Tesis de Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina, Santa Marta, 98 pp.
- Tresierra, A. & Z. Culquichicón. 1993. Manual de biología pesquera. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Trujillo, 432 pp.
- Tresierra, A. & Z. Culquichicón. 1995. Biología pesquera. Libertad, Trujillo, 227 pp.
- Villavicencio, C. 1993. Observaciones sobre la biología reproductiva de *Narcine brasiliensis* (Olfers) (Pisces: Narcinidae), en la bahía Almejas, B.C.S. México. Rev. Invest. Cient, 4(1): 95-99.
- Villavicencio, C. 1995. Distribución temporal y condición reproductiva de las rayas (Pisces: Batoidei), capturadas comercialmente en bahía Almejas, B.C.S., México. Rev. Invest. Cient., 6(1-2): 1-12.

Received: 8 September 2008; Accepted: 10 September 2009

