

Morfología de los estados embrionarios tardíos y cápsula ovígera de *Sympterygia brevicaudata* (Rajiformes: Arhynchobatidae) en el norte de Chile

Morphology of the late embryonic stages and egg capsule of *Sympterygia brevicaudata* (Rajiformes: Arhynchobatidae) in northern Chile

Felipe Méndez-Abarca ^{1,3*}, Renzo Pepe-Victoriano ^{1,2,3} y Enrique A. Mundaca ⁴

¹Área de Biología Marina y Acuicultura, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Arturo Prat, Arica 1000000, Chile

²Núcleo de Investigación Aplicada e Innovación en Ciencias Biológicas, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Arturo Prat, Iquique 1110939, Chile

³Programa de Magíster en Acuicultura, Universidad Arturo Prat, Avenida Santa María 2998, Arica, Chile

⁴Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Casilla 7-D, Curicó, Chile

*Autor corresponsal: felipe.mendez@northamerican.cl

Abstract. The morphology of the egg capsule and embryonic stages of *Sympterygia brevicaudata* are described. A total of 144 egg capsules were collected stranded on the beach and by scuba diving at a depth between 3 and 10 m, from Arica and Taltal, northern Chile, with a frequency of two days per month from March 2011 to March 2012 and from April 2012 to March 2013. The morphology and structures with which the female fixes the egg capsule to stable substrates are described. The observations on the late embryonic development were made using 72 embryos extracted from the 144 ovigerous capsules, which were kept in captivity. A total of seven embryonic stages were determined and described. In the initial stages (I to III) an embryo with an elongated structure was observed, with long and developed gill filaments, a translucent body and a pale pink color due to high blood supply and a large yolk sac. In later stages (IV to VII) the change in the morphology of the body disc was described due to the development of the pectoral and pelvic fins, appearance of ocular and body pigmentation, dorsal fins, dermal denticles and dorsal spines. The decrease and disappearance of the gill filaments and the yolk sac was documented. In conclusion, the detailed study of the egg capsule morphology and embryonic stages of *S. brevicaudata* provides a comprehensive insight into the early development of this species in coastal waters off northern Chile. Observations on egg capsule attachment and morphological changes during embryonic development highlight the adaptation and evolutionary process of this species in its natural habitat. This work contributes significantly to the understanding of reproductive biology and early development in rays of the genus *Sympterygia*, underlining the importance of conserving their ecosystem for preservation, especially in vulnerable species such as *S. brevicaudata*.

Key words: Northern spotted ray, egg capsule, embryonic development, yolk sac, body disc

INTRODUCCIÓN

Arhynchobatidae corresponde a una familia de peces cartilagosos demersales, ampliamente distribuidos en aguas costeras y profundas de todo el mundo (Lamilla & Sáez 2003). Dentro de esta familia, el género *Sympterygia* Müller and Henle, 1837, presenta 4 especies (Compagno 1999), de las cuales *Sympterygia bonapartii* Müller & Henle, 1841, *Sympterygia lima* (Poepfig, 1835) y *Sympterygia brevicaudata* (Cope, 1877) habitan el Pacífico sur oriental (Lamilla & Sáez 2003, Lamilla & Bustamante 2005).

En términos generales, los estudios sobre aspectos reproductivos y del desarrollo en especies de la familia Arhynchobatidae son medianamente escasos, basándose principalmente en morfometría de cápsulas ovígeras,

descripción de ciclos y conductas reproductivas (Hamlett & Koob 1999, Mabragaña *et al.* 2002, Caldeira 2006, Méndez-Abarca 2015, Méndez-Abarca & Pepe-Victoriano 2020, Vazquez *et al.* 2022).

El conocimiento sobre la biología de la raya manchada del norte, *S. brevicaudata*, es escaso a pesar de su amplia distribución en el Pacífico Sur (Bearez 1996, Lamilla *et al.* 2010, Bustamante *et al.* 2014). En cautiverio, puede ser alimentada con crustáceos, tales como *Artemia salina* y *Daphnia* spp., además de peces pequeños y trozos de alimento fresco de origen animal (Méndez-Abarca 2015, Méndez-Abarca & Pepe-Victoriano 2020). La alimentación de esta especie, en su hábitat natural no ha sido descrita, aunque posiblemente debiese ser principalmente carcinófaga, ya que otras especies del mismo género, como es el caso de



S. bonapartii, presentan una dieta de este tipo (Barrera-Oro & Maranta 1996, Sánchez & Prenski 1996, Paesch 2000). Su reproducción es sexual con cópula y fecundación interna (Luer & Gilbert 1985, Wourms & Demski 1993, Hamlett & Koob 1999 Luer *et al.* 2007). Su estrategia reproductiva es la ovipariedad simple, realizando numerosas puestas de cápsulas ovígeras en pares (Concha *et al.* 2013). Estas cápsulas son translúcidas al contraluz, tienen forma de barril, cuatro cuernos, dos anteriores y dos posteriores y el característico color marrón (Méndez-Abarca *et al.* 2013).

Morfológicamente, *S. brevicaudata* es una especie que no sobrepasa los 38 cm de longitud total (LT), presenta aletas pélvicas pronunciadamente cóncavas, la cola es más corta que el resto del cuerpo y exhibe un agujón interdorsal (Lamilla & Sáez 2003, Lamilla & Bustamante 2005). Por otra parte, Méndez-Abarca *et al.* (2013) documentaron que, en la costa de la ciudad de Arica, en el Norte de Chile, durante el periodo de un año, *S. brevicaudata* es una de las dos especies implicadas en masivas varazones de masas de cápsulas ovígeras, presentando dicho fenómeno un origen poco claro.

El objetivo de este estudio fue determinar y describir el desarrollo en embriones tardíos en *S. brevicaudata*, incluyendo aspectos como la biología de las cápsulas ovígeras, ciclos reproductivos y comportamientos asociados para incrementar el conocimiento biológico sobre esta especie y los esfuerzos para su conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectó un total de 144 cápsulas ovígeras de *S. brevicaudata* varadas a orilla de playa en sustrato arenoso. Los muestreos se realizaron con una frecuencia de 2 días por mes, desde marzo 2011 a marzo 2012, en el sector costero de la ciudad de Arica, Región de Arica y Parinacota (18°28'28"S-70°17'22"O) y desde abril 2012 hasta marzo 2013, en el sector costero de la ciudad de Taltal, Región de Antofagasta (25°17'00"S-69°46'00"O). Solo se recogieron aquellas cápsulas que se encontraban hidratadas y con el embrión aún con vida, lo que se determinó mediante la observación de motilidad, al observar los embriones a contraluz solar. Las cápsulas ovígeras fueron examinadas y medidas, determinando el largo (LC, cm), ancho (AC, cm) y grosor (GC, cm). Las mediciones corporales de los embriones fueron realizadas con un pie de metro calibre digital Mitutoyo®.

Se seleccionaron 72 cápsulas al azar las cuales fueron abiertas mediante un corte transversal en el margen anterior, con tijeras de disección Stanley®. Se extrajeron los embriones y se clasificaron por tamaño. Los embriones fueron eutanasiados mediante la aplicación de 100 mg de anestésico MS-222 (tricaina metanosulfonato) por litro de agua marina, siendo la mitad de la dosis utilizada para condricios adultos según Gilbert & Wood (1957) y Luer *et al.* (2007).

Posteriormente se midió el largo del embrión (desde el margen anterior del morro hasta el margen de la aleta caudal), ancho del disco (desde el margen extremo de cada aleta pectoral de forma transversal) y diámetro del saco vitelino (desde el margen externo del saco vitelino de forma transversal). Estos embriones fueron conservados en alcohol al 70% e ingresados a la Colección Ictiológica de la Fundación Reino Animal en Arica, Chile (Registro: Col. Con. N° 01-72). Los 72 restantes, fueron llevados al cautiverio por un período de 7 meses hasta la eclosión. Los neonatos fueron mantenidos en cautiverio por 4 meses más, para ser identificados taxonómicamente siguiendo a Lamilla & Bustamante (2005), corroborando que las cápsulas ovígeras pertenecieran efectivamente a la especie *S. brevicaudata*.

La mantención en cautiverio de los ejemplares consistió en distribuir las cápsulas ovígeras en 6 acuarios de vidrio, con una capacidad de 450 L cada uno. Cada acuario estaba equipado con un sistema de recirculación con dos cabezales de poder 1.200 L/H, una bomba externa de membrana SERA® con dos salidas, asociada a un filtro de esquina SERA® con un difusor de 20 cm respectivamente, un fraccionador de espuma (Skimmer) SERA® de 800 L/H y un canister de 1.800 L/H SERA® con sistema de "chiller" para enfriamiento incorporado. La iluminación implementada fue de luz natural, con irradiación indirecta de luz solar. La ornamentación del acuario fue realizada únicamente con arena fina como sustrato. El mantenimiento de los acuarios consistió en un cambio quincenal del 20% del agua. El relleno del volumen de agua perdida por evaporación se realizó con agua destilada. Para mantener condiciones óptimas dentro de los acuarios, se midieron continuamente los siguientes parámetros fisicoquímicos del agua: temperatura, salinidad y pH. Las mediciones se llevaron a cabo cuatro veces por día, manteniendo la temperatura entre 14 y 18 °C, el pH entre 8,1 y 8,4 y la salinidad entre 35 y 38 g L⁻¹ NaCl. Para evitar fluctuaciones de temperatura ambiental se utilizó un sistema de aire acondicionado a 18 °C constante. Posterior a la eclosión, los juveniles fueron alimentados con yema de huevo durante 3 días y luego la dieta cambió a *Artemia salina*, trozos de pescado/moluscos y alevines vivos de *Poecilia reticulata*. Cuando los ejemplares nacidos en cautiverio sobrepasaron los 10 cm de longitud, en un tiempo promedio de 300 días, se revisaron sus caracteres merísticos y morfométricos para determinar que coincidieran con los de *S. brevicaudata*.

Los esquemas de las cápsulas y estadios de desarrollo fueron realizados bajo lupa estereoscópica Digital Microscope®. Para la descripción de los estadios tardíos de desarrollo se utilizaron los criterios de Luer *et al.* (2007).

Al finalizar, los ejemplares juveniles fueron liberados al medio natural, a 1,5 m de profundidad, a una distancia aproximada de 20 m de la línea de costa, en una playa de sustrato arenoso, ya sea en Arica y/o Taltal, dependiendo del lugar donde fueron colectadas las cápsulas ovígeras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 72 cápsulas ovígeras mantenidas en cautiverio para completar el desarrollo, eclosionaron 32 ejemplares (44,4%) y solamente 18 (25%) alcanzaron una LC igual o superior a 10 cm, donde se confirmó que los ejemplares en desarrollo correspondían a la especie *S. brevicaudata*. La talla de nacimiento promedio fue de 5,2 cm.

CÁPSULA OVÍGERA DE *SYMPTERYGIA BREVICAUDATA* (FIG. 1)

La cápsula ovígera de *S. brevicaudata*, se observa con “forma de barril” y presencia de cuernos, descripción coincidente con Méndez-Abarca *et al.* (2013). Presenta una forma rectangular desde una vista frontal, con los márgenes laterales levemente redondeados y relativamente recto entre los cuernos superiores e inferiores con margen lateral externo

más convexo que el interno. Asociado a las cornamentas, presenta cuatro estructuras denominadas fisuras respiratorias, las que se encuentran de a dos en una misma cara. Dos en la cara dorsal (una anterior y otra posterior) y dos en la ventral en el lado opuesto. Estas fisuras se encontraban cerradas en las cápsulas que contenían embriones tempranos y abiertas en los relativamente avanzados.

Las cornamentas anteriores son cortas y están plegadas hacia direcciones opuestas, similar a lo reportado en *S. lima* (Concha *et al.* 2013). Los cuernos posteriores, se extienden como largos filamentos denominados zarcillos, con los que la cápsula queda fija a un sustrato (Fig. 1).

Las medidas promedio para la cápsula ovígera de *S. brevicaudata* son coincidentes con las descritas para la misma especie por Concha *et al.* (2013) y Méndez-Abarca *et al.* (2013) (Tabla 1).

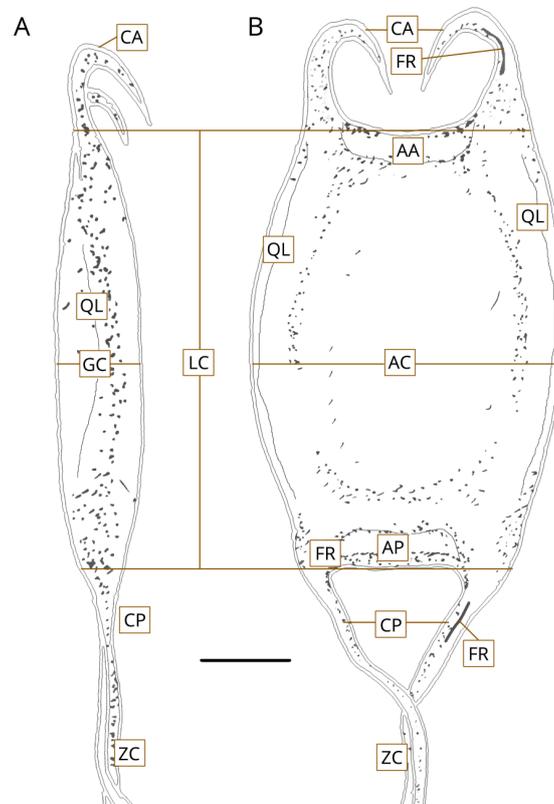


Figura 1. *Sympterygia brevicaudata*. Vista lateral (A) y dorsal (B) de la cápsula ovígera. Barra de escala= 1 cm. AA: Apron (delantal) anterior, AC: Ancho cápsula, AP: Apron (delantal) posterior, CA: Cornamentas anteriores izquierda y derecha, CP: Cornamentas posteriores, FR: Fisura respiratoria, GC: Grosor cápsula, LC: Largo cápsula, QL: Quillas laterales y ZC: Zarcillos derecho e izquierdo / *Sympterygia brevicaudata*. Lateral (A) and dorsal (B) view of the ovigerous capsule. Scale bar= 1 cm. AA: Anterior apron, AC: Capsule width, AP: Posterior apron, CA: Left and right anterior horns, CP: Posterior horns, FR: Respiratory fissure, GC: Capsule thickness, LC: Capsule length, QL: Lateral keels and ZC: Right and left tendrils

Tabla 1. Comparación del promedio de las medidas en las cápsulas ovígeras de 4 especies del género *Sympterygia* en previos estudios y el presente / Comparison of average measurements of ovigerous capsule of 4 species of the genus *Sympterygia* in previous studies and the present one

Especie	Largo - LC (cm)	Ancho - AC (cm)	Grosor - GC (cm)	Referencia
<i>S. lima</i>	4,90	3,26	0,96	Concha <i>et al.</i> 2013
<i>S. acuta</i>	4,80	3,00	-	Oddone & Vooren 2008
<i>S. bonapartii</i>	7,75	4,54	-	Jañez & Sueiro 2007
<i>S. brevicaudata</i>	5,11	3,48	1,14	Concha <i>et al.</i> 2013
<i>S. brevicaudata</i>	-	3,62	-	Méndez-Abarca <i>et al.</i> 2013
<i>S. brevicaudata</i>	5,06	3,62	1,12	El presente estudio

DESARROLLO EMBRIONARIO TARDÍO DE *S. BREVICAUDATA*

En este estudio se identificaron 7 estadios de desarrollo tardío, con base en Luer *et al.* (2007). A continuación, se presentan las características de cada uno de los estadios de desarrollo.

Estadio I (Fig. 2A). Presenta esbozos de aletas, además de una cabeza distinguible del cuerpo. El disco corporal típico de las rayas no es evidente aún en este periodo, y las aletas pectorales y pélvicas, aunque presentes, están pobremente desarrolladas. No se distinguen las aletas dorsales. Debido a que el embrión es traslúcido, ciertas zonas pueden ser de un tono color rosa pálido debido a la vascularización, además, es posible observar a lupa estereoscópica la notocorda y parte de la masa visceral. Los arcos branquiales, en proceso de desarrollo, se observan como cinco proyecciones ubicadas en la zona posterior a la cabeza; están asociados a numerosos filamentos branquiales. Dicha zona está altamente vascularizada por lo que se observa más oscura que el resto del cuerpo. La cabeza es abultada y con presencia muy difusa de las vesículas ópticas y olfativas. Saco vitelino de gran tamaño, de color amarillo anaranjado y altamente vascularizado, el que se inserta en la zona ventral del embrión a través del pedúnculo vitelino.

Estadio II (Fig. 2B-C). El embrión mantiene una forma alargada. Disco corporal levemente más pronunciado debido a que las aletas pectorales y pélvicas han crecido en comparación con el Estadio I. Aparición de protuberancias de forma triangular y de posición distal sobre la zona caudal, que darán origen a la primera y segunda aleta dorsal. El embrión sigue siendo traslúcido, por lo que aún es posible observar la notocorda y difusamente la masa visceral. Pigmentación dérmica no presente, aunque aumenta el tono color rosa producto de la vascularización, la que se vuelve rojiza hacia la zona branquial que presenta numerosos filamentos branquiales. Cabeza menos abultada, levemente deprimida, con el rostro y hocico prominente en comparación al Estadio I. Ojos levemente pigmentados. Saco vitelino de aspecto similar y proporcionalmente reducido en relación con el Estadio I,

producto de la absorción del vitelo y del aumento del tamaño del embrión. El embrión comienza a perder la forma alargada, ya que el disco se vuelve evidente, producto del aumento en el tamaño de las aletas pectorales y ventrales. Aletas dorsales similares en tamaño y forma al estadio anterior. Embrión menos traslúcido. Aumenta el tono color rosa producto de la vascularización. Se mantiene diferenciada la zona branquial con un tono color rojizo, incluidos los filamentos branquiales y la aorta caudal, ésta última de posición transversal al cuerpo. Cabeza similar al estadio anterior, con el morro menos pronunciado y levemente más deprimido. Aumento de la pigmentación de los ojos. Saco vitelino de aspecto similar a los estadios anteriores, aunque proporcionalmente de menor tamaño (Tabla 2).

Estadio III (Fig. 2D-E). Aletas pectorales y anales han aumentado en tamaño. Las aletas pectorales cubren totalmente la zona de los arcos branquiales, pero no el rostro. Aletas dorsales similares a los estadios anteriores. Pigmentación dérmica ausente, aunque el embrión se observa menos transparente, manteniendo el tono color rosa pálido presente en los estadios previos. Zona branquial y la aorta caudal exhiben un tono rojizo debido a la vascularización. Filamentos branquiales presentes y altamente vascularizados. Cabeza menos abultada y más deprimida en comparación con el estadio anterior. Morro menos prominente. Ojos mantienen una posición lateral en relación con el morro y casi totalmente pigmentados. Saco vitelino de aspecto similar a los estadios anteriores, aunque de menor tamaño. El embrión ya exhibe un disco bien desarrollado, circular y convexo. Las aletas pectorales aún no cubren el margen del rostro. Cabeza deprimida, con el morro redondeado, similar al estadio anterior. Aletas dorsales de mayor tamaño en relación con estadios anteriores. El cuerpo aún carece de pigmentación y mantiene el tono color rosa producto de la vascularización al igual que el estadio anterior. Zona y filamentos branquiales mantienen tono color rojizo. Ojos totalmente pigmentados y de un tono color negruzco. Saco vitelino de aspecto similar a los estadios anteriores, continua su reducción de tamaño comparado con estadios anteriores (Tabla 2).

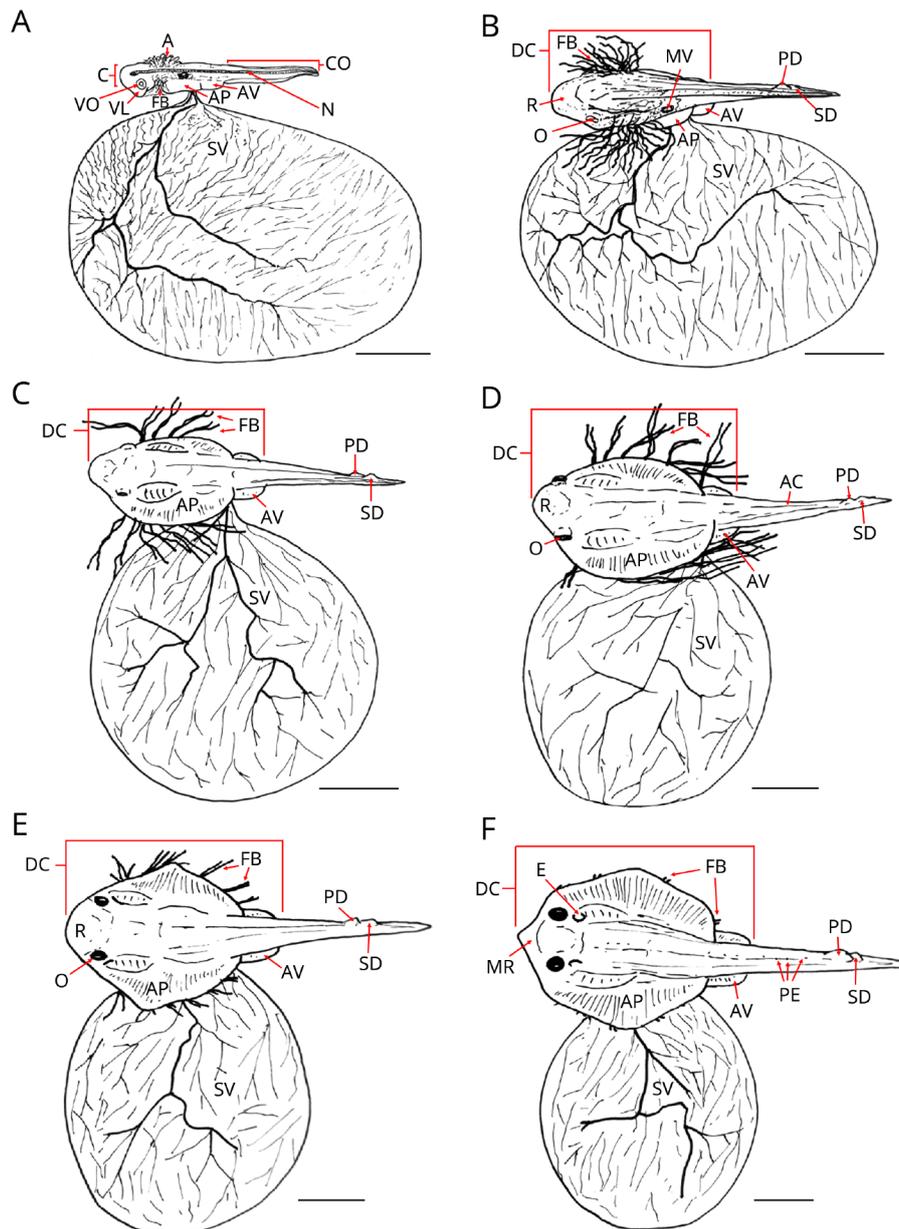


Figura 2. *Sympterygia brevicaudata*. Desarrollo embrionario en vista dorsal. A) Estadio I; B-C) Estadio II; D-E) Estadio III y F) Estadio IV. Barra de escala= 0,5 cm. A: Arcos branquiales, AC: Arteria caudal, AP: Aleta pectoral, AV: Aleta pélvica, C: Cabeza, CO: Cola, DC: Disco corporal, E: Espiráculo, FB: Filamentos branquiales, MR: Margen rostral, MV: Masa visceral, N: Notocorda, O: Ojo, PD: Primera aleta dorsal, PE: Primordios de espinas, R: Rostro, SD: Segunda aleta dorsal, SV: Saco vitelino, VL: Vesícula olfativa y VO: Vesícula óptica / *Sympterygia brevicaudata*. Dorsal view of embryonic development. A) Stage I; B-C) Stage II; D-E) Stage III and F) Stage IV. Scale bar= 0.5 cm. A: Gill arches, AC: Caudal artery, AP: Pectoral fin, AV: Pelvic fin, C: Head, CO: Tail, DC: Body disc, E: Spiracle, FB: Gill filaments, MR: Rostral margin, MV: Visceral mass, N: Notochord, O: Eye, PD: First dorsal fin, PE: Primordia of spines, R: Rostrum, SD: Second dorsal fin, SV: Yolk sac, VL: Olfactory vesicle and VO: Optic vesicle

Estadio IV (Fig. 2F). Disco corporal totalmente desarrollado. Aletas pectorales cubren el margen rostral. Margen lateral de las aletas pectorales se hace más evidente y pronunciado en relación con el estadio anterior. Aletas dorsales sin cambios. La cola y el cuerpo están levemente engrosadas. Aparece pigmentación dérmica difusa en la zona caudal. Filamentos branquiales disminuyen de tamaño

y parecen más cortos debido al aumento de la longitud del disco corporal. Bajo lupa estereoscópica se observan pequeñas proyecciones o primordios de espinas, que posteriormente darán lugar a los aguijones o espinas dorsales y al aguijón o espina caudal. Saco vitelino de aspecto similar a los estadios anteriores, aunque su tamaño disminuye. Espiráculos notorios a simple vista (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación morfométrica (valor promedio \pm desviación estándar) de los embriones pertenecientes a 7 estadios del desarrollo larval de *Sympterygia brevicaudata* / Morphometric comparison (mean value \pm standard deviation) of embryos belonging to 7 stages of larval development of *Sympterygia brevicaudata*

Morfometría embriones <i>S. brevicaudata</i> (cm)	Estadio de desarrollo tardío						
	I (n= 8)	II (n= 7)	III (n= 5)	IV (n= 9)	V (n= 8)	VI (n= 16)	VII (n= 19)
Longitud embrión	1,43 \pm 0,03	1,78 \pm 0,02	2,57 \pm 0,01	2,81 \pm 0,04	3,26 \pm 0,04	3,77 \pm 0,12	4,51 \pm 0,10
Ancho del disco	0,31 \pm 0,05	0,43 \pm 0,03	0,54 \pm 0,08	1,02 \pm 0,01	1,22 \pm 0,10	1,95 \pm 0,08	2,50 \pm 0,08
Ancho saco vitelino	2,32 \pm 0,02	2,09 \pm 0,02	1,80 \pm 0,10	1,77 \pm 0,04	1,74 \pm 0,03	1,71 \pm 0,02	1,68 \pm 0,01

Estadio V (Fig. 3A-B). El embrión presenta un disco corporal totalmente desarrollado, que comienza a lucir la típica forma triangular de los ejemplares adultos, ya que las aletas pectorales han cubierto completamente el margen rostral. Se observa pigmentación débil color café claro en la zona caudal. Saco vitelino de un tamaño menor en relación con los estadios anteriores (Tabla 2). Presencia difusa de los primeros aguijones en la línea media del cuerpo. Filamentos branquiales acortados y disminuidos en número, visibles sólo desde posición ventral.

Estadio VI (Fig. 3C-D). Embrión con forma triangular, redondeado en los márgenes, similar al adulto. Aletas dorsales y pectorales completamente desarrolladas, rodeando y encerrando totalmente al rostro. Cabeza y morro totalmente deprimidos. Se observan zonas de pigmentación en cuerpo, aletas y cola. Aparición de espinas dorsales y espina caudal. Se hacen visibles los denticulos dérmicos en las aletas pectorales. Saco vitelino con un tamaño considerablemente menor que en el estadio previo (Tabla 2). Filamentos branquiales reducidos casi al punto de desaparecer.

Estadio VII (Fig. 3E-F). Disco corporal completo, con presencia de pigmentación de tono color café grisáceo con manchas oscuras reticuladas en la mayor parte del cuerpo y aletas, a excepción del vientre que se observa blanco grisáceo, siendo este más oscuro hacia los márgenes de las aletas pectorales y ventrales. Los filamentos branquiales desaparecen totalmente. Saco vitelino de tamaño disminuido (Tabla 2), observándose en el vientre como una pequeña masa amarilla poco vascularizada (saco vitelino interno) y al costado de ésta, una pequeña masa del mismo color (saco vitelino externo).

En la estructura de la cápsula ovígera existen varias características morfológicas que permiten al embrión sobrevivir en condiciones adversas. La presencia de cuatro fisuras respiratorias en la base de los cuernos anteriores y posteriores, una anterior y otra posterior en la cara dorsal y las otras dos, en la misma disposición, pero en la cara

ventral resultan fundamentales para la supervivencia del embrión ya que permite el ingreso del agua con oxígeno y la eliminación de desechos metabólicos (Leonard *et al.* 1999, Luer *et al.* 2007, Hoff 2009). De la misma forma, la presencia de zarcillos en la cápsula ovígera, juega un papel importante en la adhesión de las cápsulas a diferentes tipos de sustratos, ya que estas estructuras se entrelazan entre sí, formando un ovillo que les permite fijarse a las frondas algales (Conrath 2005) principalmente del género *Lessonia*. Además, durante la colecta de cápsulas ovígeras se observaron cápsulas adheridas a sustratos artificiales como cuerdas, restos de redes de pesca y bases de muelles. Las cápsulas se enredan mediante sus zarcillos, que en rayas están presentes exclusivamente en el género *Sympterygia* (Mabragaña *et al.* 2002, Caldeira 2006, Oddone & Vooren 2008, Concha *et al.* 2013). La cápsula ovígera, según Méndez-Abarca *et al.* (2013), es de color marrón uniforme y se vuelve traslúcida a contraluz, permitiendo observar la motilidad del embrión en su interior, característica similar a la de otras especies de rayas afines (Concha *et al.* 2009). En este sentido, es importante señalar que esta coloración marrón puede ser variable, ya que en cápsulas ovígeras recién puestas los tonos oscilan desde café verdoso a amarillo, oscureciéndose, a medida que el embrión va desarrollándose en su interior. Al igual que las características previamente mencionadas, esta coloración es compartida con otras especies del género, como por ejemplo *S. lima* (Larraguibel-Vallarino 2014). Por otra parte, las cápsulas deshidratadas tienden a perder su coloración original, tornándose de un tono negro grisáceo (Méndez-Abarca 2015). En cuanto a la apariencia externa, es similar en su forma de barril, a otras especies del género *Sympterygia* (Oddone & Vooren 2008, Concha *et al.* 2013) y otras como es el caso para la especie *Psammobatis scobina* (Philippi 1857) (Concha *et al.* 2009). Solo se encontró un embrión dentro de cada una de las cápsulas examinadas, no existiendo poliembrión, fenómeno que ha sido documentado en algunas especies de rayas (Ishiyama 1958, Hitz 1964).

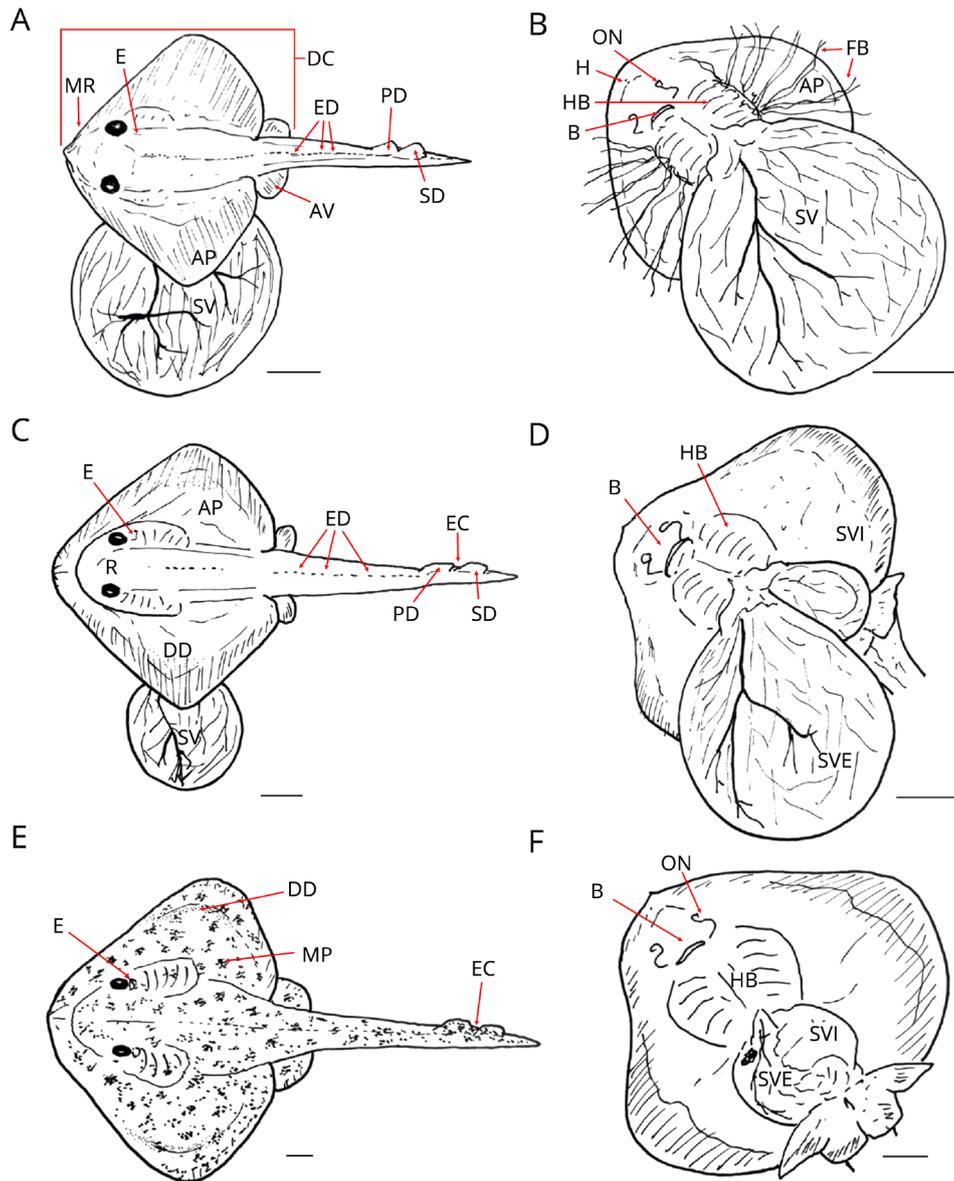


Figura 3. *Sympterygia brevicaudata*. Vista dorsal (izquierda) y ventral (derecha) de los estadios: A-B) Estadio V; C-D) Estadio VI y E-F) Estadio VII. Barra de escala= 1 cm. AP: Aleta pectoral, AV: Aleta pélvica, B: Boca, DC: Disco corporal, DD: Denticulos dérmicos, E: Espiráculo, EC: Espina caudal, ED: Espinas dorsales, FB: Filamentos branquiales, H: Hocico, HB: Hendiduras branquiales, MP: Manchas pigmentarias, MR: Margen rostral, ON: Orificio nasal, PD: Primera aleta dorsal, R: Rostro, SD: Segunda aleta dorsal, SV: Saco vitelino, SVE: Saco vitelino externo y SVI: Saco vitelino interno / *Sympterygia brevicaudata*. Dorsal (left) and ventral (right) view of stages: A-B) Stage V; C-D) Stage VI and E-F) Stage VII. Scale bar= 1 cm. Terminology dorsal view: AP: Pectoral fin, AV: Pelvic fin, B: Mouth, DC: Body disc, DD: Dermal denticles, E: Spiracle, EC: Caudal spine, ED: Dorsal spines, FB: Gill filaments, H: Snout, HB: Gill slits, MP: Pigmentary spots, MR: Rostral margin, ON: Nostril, PD: First dorsal fin, R: Rostrum, SD: Second dorsal fin and SV: Yolk sac, SVE: External yolk sac and SVI: Internal yolk sac

Embrión alargado, deprimido y redondeado (tornándose romboide a medida que se desarrolla), semejante a la forma de un adulto en miniatura lo que ocurre en varios grupos de rayas ovíparas (Hoff 2009). Esta morfología le facilita una alta motilidad, la cual le ayuda a mantener el flujo de agua y oxígeno dentro de la cápsula, tal como ocurre con otras especies afines (*e.g.*, Caldeira 2006, Hoff 2009). Por lo general, los juveniles, recién eclosionados de esta especie, y al igual que otros condrictios ovíparos, tienden a ser de

un tamaño relativamente pequeño en relación con el adulto, debido principalmente al espacio reducido de la cápsula ovígera y la escasa reserva de nutrientes (Carrier *et al.* 2004) que se comienza a reducir paulatinamente hasta desaparecer con la absorción del saco vitelino. También es importante agregar que los estadios de desarrollo embriológico en *S. brevicaudata*, son coincidentes con los de *S. lima* (Concha *et al.* 2013).

El embrión, por otra parte, presenta un saco vitelino bien diferenciado, que lo nutre durante todo el desarrollo hasta la eclosión. De hecho, esta especie es tardía en la absorción y desaparición de saco vitelino externo ya que, en especies de géneros afines como *Bathyraja*, la absorción del saco vitelino externo ocurre en el Estadio V. En ambos casos, la absorción del vitelo es de tipo lineal (Hoff 2009).

Un rasgo distintivo en el proceso de desarrollo embrionario es la aparición de primordios en el Estadio VI, los que darán lugar a los agujones o espinas dorsales y la espina caudal (agujón interdorsal). Dichos primordios comienzan su desarrollo en estadios tempranos en especies afines del género *Bathyraja* (Vazquez *et al.* 2016, 2020).

Una vez eclosionado el embrión, su coloración levemente más oscura y sus estructuras corporales, en el estado II, continúan siendo coincidentes con caracteres descritos para a *S. lima*, aunque en el caso de este estadio, *S. lima* presenta un rostro más abultado (Larraguibel-Vallarino 2014). Aun así, en muchos otros aspectos de su desarrollo, tales como los cambios morfológicos y cromáticos en estados intermedio y tardíos (V-IX), los juveniles de *S. brevicaudata* presentan características muy similares a las descritas para *S. lima* por Larraguibel-Vallarino (2014).

La cápsula ovígera de *S. brevicaudata* exhibe una morfología distintiva con características adaptativas clave, como las fisuras respiratorias y los zarcillos que facilitan la adherencia a sustratos. El desarrollo embrionario revela siete estadios bien definidos, destacando la formación progresiva de estructuras como aletas y agujones dorsales. Este estudio subraya similitudes y diferencias con especies afines como *S. lima*, enfatizando la importancia del saco vitelino en la nutrición temprana y la evolución morfológica hacia una forma adulta triangular. Estos hallazgos contribuyen al entendimiento de la biología reproductiva y el desarrollo tardío en rayas del género *Sympterygia*.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Fundación Reino Animal & ONG por la Conservación de la Vida Salvaje y a su directora (S) Lorena Avilés-Arredondo por la disposición en el uso de instalaciones y materiales utilizados en la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Barrera-Oro E & A Maranta. 1996.** Régimen alimentario estacional de *Sympterygia bonapartii*, Müller y Henle 1841 (Rajidae), en Mar del Plata. Boletim do Laboratorio de Hidrobiología 9: 33-53.
- Bearez P. 1996.** Lista de los peces marinos del Ecuador continental. Revista de Biología Tropical 44(2): 731-741.
- Bustamante C, C Vargas-Caro & MB Bennett. 2014.** Not all fish are equal: functional biodiversity of cartilaginous fishes (Elasmobranchii and Holocephali) in Chile. Journal of Fish Biology 85(5): 1617-1633.

- Caldeira F. 2006.** Morfología e biometria do desenvolvimento embrionário da raia *Sympterygia acuta* Garman, 1877 (Elasmobranchii; Rajidae). Tesis de Postgrado en Oceanografía Biológica, Fundación Universidad Federal de Rio Grande, Rio Grande, 86 pp. <<http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/4194/Dissertacao%20Fernanda%20Caldeira.pdf?sequence=1>>
- Carrier JC, HL Pratt & JJ Castro. 2004.** Reproductive biology of elasmobranchs. In: Carrier JC, JA Musick & MR Heithaus (eds). Biology of sharks and their relatives, pp. 269-286. CRC Press, Boca Raton.
- Compagno LJV. 1999.** Checklist of living elasmobranchs. In: Hamlett WC (ed). Sharks, skates and rays: The biology of elasmobranch fishes, pp. 471-498. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Concha F, S Hernández & MC Oddone. 2009.** Egg capsules of the raspthorn sand skate, *Psammobatis scobina* (Philippi, 1857) (Rajiformes, Rajidae). Revista de Biología Marina y Oceanografía 44(1): 253-256.
- Concha F, N Morales & J Larraguibel. 2013.** Egg capsules of the filetail fanskate *Sympterygia lima* (Poeppig 1835) (Rajiformes, Arhynchobatidae) from the southeastern Pacific Ocean, with observations on captive egg-laying. Ichthyological Research 60(3): 203-208.
- Conrath CL. 2005.** Reproductive biology. FAO Fisheries Technical Paper 474: 1-26.
- Gilbert PW & FG Wood. 1957.** Method of anesthetizing large sharks and rays safely and rapidly. Science 126: 212-213.
- Hamlett W & TJ Koob. 1999.** Female reproductive system. In: Hamlett WC (ed). Sharks, skates and rays: The biology of elasmobranch fishes, pp. 398-443. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Hitz CR. 1964.** Observations on egg cases of the big skate *Raja binoculata* (Girard) found in Oregon coastal waters. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 2: 851-854.
- Hoff GR. 2009.** Embryo developmental events and the egg cases of the Aleutian skate *Bathyraja aleutica* (Gilbert) and the Alaska skate *Bathyraja parmifera* (Bean). Journal of Fish Biology 74: 483-501.
- Ishiyama R. 1958.** Studies on the rajid fishes (Rajidae) found in the waters around Japan. Journal of the Shimonoseki College of Fisheries 7(2/3): 191-394.
- Jañez J & MCI Sueiro. 2007.** Size at hatching and incubation period of *Sympterygia bonapartii* (Müller & Henle, 1841) (Chondrichthyes, Rajidae) bred in captivity at the Temaiken Aquarium. Journal of Fish Biology 70: 648-650.
- Lamilla J & C Bustamante. 2005.** Guía para el reconocimiento de tiburones, rayas y quimeras de Chile, 43 pp. Editorial Oceana, Santiago.
- Lamilla J & S Sáez. 2003.** Clave taxonómica para el reconocimiento de especies de rayas chilenas (Chondrichthyes, Batoidei). Investigaciones Marinas 31(2): 3-16.
- Lamilla J, C Bustamante, R Roa, E Acuña, F Concha, R Melendez, S López, G Aedo, H Flores & C Vargas. 2010.** Estimación del descarte de condriictios en pesquerías artesanales. Informe Final, Proyecto Fondo de Investigación Pesquera (FIP) 2008-60: 1-259. <https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-89264_informe_final.pdf>

- Larraguibel-Vallarino JL. 2014.** Desarrollo embrionario tardío de la raya costera, *Sympterygia lima* (Rajiformes: Arynchobatidae) (Poeppig, 1835) basado en características morfológicas externas y en estructuras del esqueleto cartilaginoso. Tesis de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso, Viña del Mar, 103 pp. <<https://chondrolab.cl/wp-content/uploads/2018/08/Larraguibel-2014.-Desarrollo-embrionario-Sympterygia-lima-1.pdf>>
- Leonard JB, AP Summers & TJ Koob. 1999.** Metabolic rate of embryonic little skate, *Raja erinacea* (Chondrichthyes: Batoidea): The cost of active pumping. *Journal of Experimental Zoology* 283: 13-18.
- Luer CA & PW Gilbert. 1985.** Mating behavior, egg deposition, incubation period, and hatching in the clearnose skate, *Raja eglanteria*. *Environmental Biology of Fishes* 13: 167-171.
- Luer C, C Walsh, A Bodine & J Wyffels. 2007.** Normal embryonic development in the clearnose skate, *Raja eglanteria*, with experimental observations on artificial insemination. *Environmental Biology of Fishes* 80: 239-255.
- Mabragaña E, LO Lucifora & AM Massa. 2002.** The reproductive ecology and abundance of *Sympterygia bonapartii* endemic to the south-west Atlantic. *Journal of Fish Biology* 60: 951-967.
- Méndez-Abarca F. 2015.** El acuario marino costero chileno, 132 pp. Fundación Reino Animal, Arica.
- Méndez-Abarca F & R Pepe-Victoriano. 2020.** Peces marinos del norte de Chile: guía para la identificación y mantención en cautiverio, 79 pp. Fundación Reino Animal & ONG por la Conservación de la Vida Salvaje, Arica.
- Méndez-Abarca F, CF Méndez, RA Reyes, HA Vargas & GA Aragón. 2013.** Fish species involved in mass washed up eggs in Chinchorro beach, Arica-Chile during the period of one year. *Revista de Zoología, México* 24:15-17.
- Oddone MC & CM Vooren. 2008.** Comparative morphology and identification of egg capsules of skates species of the genera *Atlantoraja* (Menni 1972), *Rioraja* (Whitley 1939) and *Sympterygia* (Muller and Henle 1837). *Archivos de Ciencias do Mar Fortaleza* 41: 5-13.
- Paesch L. 2000.** Hábitos alimentarios de algunas especies de elasmobranquios en el frente oceánico del Río de La Plata. *Frente Marítimo* 18(A): 71-90.
- Sánchez F & LB Prenske. 1996.** Ecología trófica de peces demersales en el Golfo San Jorge. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero* 10: 57-71.
- Vazquez DM, V Gabbanelli, JM Díaz de Astarloa & E Mabragaña. 2016.** Distribución y abundancia de cápsulas de huevo y aspectos del desarrollo embrionario de las rayas *Bathyraja brachyurops* y *Bathyraja macloviana* en la plataforma bonaerense. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero* 29: 45-59.
- Vazquez DM, CA Gabbanelli, LO Awruch, JM Lucifora, Díaz de Astarloa & E Magabragaña. 2022.** Embryonic development timeline in skates (Chondrichthyes: Rajiformes): *Sympterygia acuta* as the first case study in the family Arynchobatidae. *Zoology* 155: 126057.
- Wourms JP & IS Demski. 1993.** The reproduction and development of sharks, skates, rays and ratfishes: introduction, history, overview, and future prospects. *Environmental Biology of Fishes* 38: 7-21.

Recibido el 19 de octubre de 2023

Aceptado el 9 de septiembre de 2024

Editor: Francisco Concha

RBMO CITATION STYLE

Méndez-Abarca F, R Pepe-Victoriano & EA Mundaca. 2024. Morfología de los estados embrionarios tardíos y cápsula ovígera de *Sympterygia brevicaudata* (Rajiformes: Arynchobatidae) en el Norte de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 59(3): 234-242. <<https://doi.org/10.22370/rbmo.2024.59.3.4929>>