

**CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTADIOS EMBRIONARIOS DE LA
RAYA DULCE ACUÍCOLA *Potamotrygon magdalenae*
(Elasmobranchii: Potamotrygonidae)**

SERGIO ANTONIO LIZCANO GUTIÉRREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
BUCARAMANGA
2017**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTADIOS EMBRIONARIOS DE LA
RAYA DULCE ACUÍCOLA *Potamotrygon magdalenae*
(Elasmobranchii: Potamotrygonidae)**

SERGIO ANTONIO LIZCANO GUTIÉRREZ

Para optar al título de Biólogo

DIRECTOR

MARTHA PATRICIA RAMÍREZ PINILLA

Ph. D.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE BIOLOGÍA

BUCARAMANGA

2017

AGRADECIMIENTOS

A mis padres José Antonio Lizcano Páez y Esperanza Gutiérrez Solano, junto con mis hermanos, Silvia Ximena y Jose Luis por todo su apoyo incondicional durante todo el proceso de desarrollo personal y profesional. A mi directora Martha Patricia Ramírez Pinilla por su orientación y respaldo. A Eliana Castillo Fonce por su apoyo sentimental durante este proceso. A mis compañeros de estudio y a mis compañeros del Laboratorio de Biología Reproductiva de Vertebrados por su acompañamiento y finalmente a Eder Carcamo, Jeison Gómez y Manuel Calsada por su colaboración en el trabajo de campo.

COMPETENCIAS DE LA PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN

1. Desarrollar la metodología de captura para rayas de agua dulce de manera exitosa.
2. Aprender y aplicar los métodos correctos de muerte, fijación y preservación del material biológico recolectado.
3. Caracterizar y describir los estadios embrionarios de *Potamotrygon magdalenae*.
4. Identificar y caracterizar los caracteres morfológicos macroscópicos de las etapas de desarrollo de la raya *Potamotrygon magdalenae*.
5. Determinar la fecundidad de las hembras de *Potamotrygon magdalenae* y su relación con su tamaño corporal.
6. Elaborar un informe escrito de buena calidad que muestre los resultados y análisis de resultados pertinentes al estudio desarrollado.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS	15
2. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1 Recolección de individuos.....	16
2.2 Morfología.....	17
3. RESULTADOS.....	19
3.1 Estadios de desarrollo.....	19
3.2 Fecundidad uterina	27
4. DISCUSIÓN	28
CONCLUSIONES	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Datos morfométricos registrados en fetos y hembras adultas de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	18
Figura 2. Fotografía del embrión de <i>Potamotrygon magdalenae</i> en estadio 1	40
Figura 3. Embrión en estado de faríngrula de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	41
Figura 4. Fotografías del embrión de <i>Potamotrygon magdalenae</i> en estadio 2	42
Figura 5. Esquemas de embriones de <i>Potamotrygon magdalenae</i> en el estadio 2	43
Figura 6. Fotografías estadio 3 (organogénesis) de desarrollo de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	44
Figura 7. Esquema embrión de <i>Potamotrygon magdalenae</i> en estadio 3.	45
Figura 8. Fotografías del estadio 4 (organogénesis tardía) de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	46
Figura 9. Esquema de embrión de <i>Potamotrygon magdalenae</i> en estadio 4,	47
Figura 10. Fotografías del estadio 5 de desarrollo en <i>Potamotrygon magdalenae</i>	48
Figura 11. Esquemas de un embrión de <i>Potamotrygon magdalenae</i> en estadio 5.....	49
Figura 12. Fotografías del estadio 6 de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	50
Figura 13. Fotografía de la disección de hembras grávidas de <i>Potamotrygon magdalenae</i> ..	51
Figura 14. Esquema del feto en estadio 6 de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	52
Figura 15. Fotografías feto en estadio 7 (pre- alumbramiento) de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	53
Figura 16. Esquema general de feto pre-alumbramiento de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	54
Figura 17. Fotografías de neonato estadio 8 de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	55
Figura 18. Esquema de un neonato de <i>Potamotrygon magdalenae</i> en estadio 8.....	56
Figura 19. Fotografías estadio 9 (Juveniles) de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	57
Figura 20. Esquema de individuo juvenil de <i>Potamotrygon magdalenae</i>	58

LISTA DE TABLAS

Tabla1. Morfometría de los estados de desarrollo ontogenético de *Potamotrygon magdalenae*
(medidas en mm)..... 39

Tabla 2. Fecundidad uterina en *Potamotrygon magdalenae*..... 39

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTADIOS EMBRIONARIOS DE LA RAYA DULCE ACUÍCOLA *Potamotrygon magdalenae* (Elasmobranchii: Potamotrygonidae).¹

PALABRAS CLAVES: *Potamotrygon magdalenae*, Desarrollo embrionario, Embriones, Fecundidad.

DESCRIPCIÓN:

Potamotrygon magdalenae es una raya perteneciente a la familia Potamotrygonidae distribuida en la cuenca del río Magdalena. Esta especie es considerada de muy alta prioridad para la investigación según el Plan de Acción Nacional para la Conservación y Manejo de Tiburones Rayas y Quimeras de Colombia. Los estudios de desarrollo embrionario en condriictios son escasos debido a la dificultad para la obtención del material biológico y son pocas las tablas de desarrollo para especies de rayas. En el presente trabajo se realiza la caracterización morfológica macroscópica de una serie de estados embrionarios de *Potamotrygon magdalenae*, además de la determinación de la fecundidad y su relación con el tamaño corporal de las hembras. Se obtuvieron 30 individuos, entre embriones, fetos y neonatos producto de disecciones y abortos de hembras grávidas capturadas mediante pesca incidental. Se logró identificar 9 estadios de desarrollo que son descritos, fotografiados, dibujados y medidos. La fecundidad está en un rango de entre 1 y 5 embriones y no estuvo relacionada con el tamaño corporal de las hembras. Se concluye que el desarrollo embrionario de esta especie en términos generales concuerda con el conocido para los demás condriictios, con pequeñas diferencias en la tasa de absorción del saco vitelino y la ausencia de filamentos branquiales sobresalientes de los espiráculos.

¹ Trabajo de pasantía de investigación.

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION OF EMBRYONIC STAGES OF THE FRASHWATER STINGRAY *Potamotrygon magdalenae* (Elasmobranchii: Potamotrygonidae)¹

KEYS WORDS: *Potamotrygon magdalenae*, Embrionic development, Embryos, Fecundity.

DESCRIPTION:

Potamotrygon magdalenae is a stingray belonging to the family Potamotrygonidae distributed in the Magdalena river basin. This species is considered of high priority for research according to the National Plan of Action for the Conservation and Management of sharks, rays and chimaeras of Colombia. The studies of embryonic development in Chondrichthyans are limited due to the difficulty in obtaining the biological material, and because there are few developmental staging tables for stingray species. This work developed a macroscopic morphological characterization of a series of developmental stages of *Potamotrygon magdalenae*, besides the determination of the fecundity and its relationship with the corporal size of the females. Thirty individuals were studied, including embryos, fetuses, and neonates resulting from dissections and abortions of pregnant females caught by incidental fishing. It was possible to identify nine stages of development that were described, photographed, drawn, and measured. Fecundity is in the range of 1 to 5 embryos and it was not related to the body size of the females. It is concluded that the embryonic development of this species coincides in general terms with that known for other chondrichthyes with small differences in the yolk sac absorption rate and the absence of branchial filaments protruding from the posterior spiracles possibly related with its intrauterine matrotrophy.

¹ Trabajo de pasantía de investigación.

INTRODUCCIÓN

Potamotrygon magdalenae es una raya de agua dulce categorizada globalmente por la UICN como casi amenazada (Charvet-Almeida y Pinto, 2009) de la misma manera categorizada nacionalmente por el Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas (Mojica et al., 2012) y recientemente fue actualizada esta categoría por la UICN a preocupación menor (Lasso et al., 2016), además es considerada de muy alta prioridad en la investigación por el Plan de Acción Nacional para la Conservación y Manejo de Tiburones, Rayas y Quimeras de Colombia (*PAN -Tiburones Colombia*) (Caldas et al., 2010). Habita en la cuenca de los ríos Magdalena y Atrato (Araújo et al., 2004); tiene preferencias por aguas turbias, fondos arenosos, fangosos y con corrientes lentas (Dahl, 1971). La mayoría de sus presas son larvas del orden Diptera de preferencia Chironomidae (Villa-Navarro, 1999).

Las poblaciones de *P. magdalenae* se ven amenazadas principalmente por la captura incidental en pesca artesanal y pesca dirigida a la comercialización ornamental (Ramos-Socha & Grijalba-Benedeck, 2011). Aunque es una especie abundante, su extracción con fines ornamentales es muy alta comparada con otras especies del mismo género, anexando el deterioro de su hábitat debido al vertimiento de químicos, metales pesados, vertimiento de aguas negras entre otras (Rosa et al., 2014). Algunas de las acciones propuestas para la conservación incluyen el fortalecer el sistema de registro y seguimiento de las capturas y explotación de la raya para generar estadísticas fiables (Caldas et al., 2010).

Potamotrygon magdalenae es una especie vivípara aplacentada con desarrollo de trofonemas, los que generan leche uterina (histótrofo) que complementa la nutrición proporcionada al embrión por la yema (Thorson et al., 1983). El tracto reproductivo de la hembra está formado por 2 ovarios funcionales (Teshima & Takeshita, 1992; Pedreros-Sierra et al., 2016) y presenta mayor desarrollo del ovario izquierdo respecto al derecho (Praderos-Sierra et al., 2016), su fecundidad uterina va de 3 a 5 embriones (Ramos-Socha & Grijalba-Benedeck 2011). Las tallas de madurez sexual en *P. magdalenae* han sido reportadas entre 160 - 202 mm AD para machos (Ramos-Socha & Grijalba-Benedeck, 2011) y una talla mediana de madurez de 144 mm AD y de preñez de 170.8 mm AD en hembras (Praderos-Sierra et al., 2016).

No se han realizado estudios para la determinación y caracterización morfológica de los estadios de desarrollo embrionario en esta especie; sin embargo Barbarino & Lasso (2005) han realizado anotaciones de 5 estadios embrionarios en la raya dulceacuícola *Paratrygon aiereba* perteneciente a la familia Potamotrygonidae. Los 5 estadios se clasificaron de acuerdo con el desarrollo embrionario y el contenido de vitelo en el saco de la yema (alto, medio, bajo). Otros investigadores han descrito series parciales de desarrollo en distintas especies de condriictios. En el caso de las quimeras Didier et al. (1998) describieron 36 estadios embrionarios en *Callorhinchus mili*, en tiburones Rodda & Seymour (2008) describieron una serie de 15 estadios en *Heterodontus portusjacksoni* realizando anotaciones sobre los cambios ocurridos en la cápsula del huevo. La serie más completa fue realizada para el tiburón ovíparo *Scyliorhinus canicula*, orden Carcharhiniformes, la cual consta de 34 estadios (Ballard et al., 1993). Para especies batoideas el trabajo de Ebert & Cowley (2009) para *Dasyatis chrysonota* describe 6 estadios de desarrollo para la fase final de la gestación; Luer & Walsh (2007) describen con

mayor detalle el desarrollo embrionario (desde blastodisco, tubo neural, eje embrionario, aperturas faríngeas, filamentos branquiales y pigmentación) de la raya ovípara *Rostroraja eglanteria* para 12 semanas de desarrollo. No existen estudios detallados de desarrollo en batoideos vivíparos posiblemente debido a las dificultades para obtener el material biológico.

A partir de una serie embrionaria de *Potamotrygon magdalenae* se describe la morfología externa de los embriones y fetos para establecer una tabla de desarrollo comparable con la de otros batoideos y condriictios en general. La importancia de este trabajo implica además de describir el proceso de desarrollo embrionario en condriictios vivíparos y por primera vez en especies del género *Potamotrygon*, la obtención de material biológico que permita en un futuro realizar trabajos sobre el desarrollo de órganos y estructuras particulares en esta especie. De otro lado, se evalúa la relación entre la fecundidad de las hembras con su tamaño corporal, una variable importante que aporta datos para el diseño de planes de conservación de la especie.

1. OBJETIVOS

- Describir morfológicamente los estadios embrionarios de *Potamotrygon magdalenae*.
- Determinar la fecundidad de las hembras de *Potamotrygon magdalenae* y su relación con el tamaño corporal de la hembra.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Recolección de individuos

Se recolectaron individuos hembras adultas y gestantes de *P. magdalenae* mediante pesca incidental con métodos pasivos (trasmallo) y activos (atarraya) propuestos en el libro Rayas de agua dulce (Potamotrygonidae) de Suramérica (Rosa et al., 2014). La recolecta se realizó en tres localidades de la cuenca del río Magdalena, Ciénaga de Paredes entre Puerto Wilches y Sabana de Torres en el departamento de Santander (7° 27'19.7"N 73°44'47.7"W); en el departamento del Cesar Ciénaga Doña María (8°04'47.6"N 73°41'41.4"W) y Ciénaga de Zapatosa (9°14'56.9"N 73°48'14.7"W). Las hembras gestantes suelen abortar casi inmediatamente se les captura, por lo tanto, la recolección de los embriones en estos casos se realizó al momento de aborto. Los embriones y fetos se colocaron en baldes con agua y roxicaina al 1% para causarles la muerte por sobredosis de anestésico. Algunas hembras que no abortaron fueron eutinizadas de la misma manera que los embriones y posteriormente fijadas y preservadas. A estas hembras se les realizó disección del tracto reproductivo y se revisó el estado reproductivo y la presencia de embriones o fetos en los úteros. Los individuos recolectados fueron fijados en formol al 10% y posteriormente almacenados en etanol mediante un paso progresivo por un gradiente de etanol (30%, 50% y finalmente 70%).

2.2 Morfología

A cada hembra grávida capturada se le tomaron datos morfométricos de ancho de disco AD, longitud total LT y longitud de disco LD con una cinta métrica, siguiendo los parámetros descritos por Rosa et al. (2014); del mismo modo a los embriones recolectados utilizando un calibrador Vernier (precisión de 0.02 mm). Se relacionó la talla de las hembras con la fecundidad (AD con respecto al número de embriones uterinos mediante una regresión lineal, siguiendo a Walker, 2005).

Se establecieron y caracterizaron los estadios embrionarios de acuerdo con el estado de desarrollo (segmentación, gastrulación, neurulación, crecimiento fetal) y mediante observaciones morfológicas macroscópicas detalladas con base en caracteres como: AD, LT y LD, distancia pre-cloaca, distancia boca cloaca, longitud espina caudal, longitud de la cola, diámetro del ojo, diámetro del espiráculo y longitud del cláspere (Figura 1), ausencia o presencia de filamentos branquiales, pigmentación, dientes, saco vitelino y otros caracteres macroscópicos importantes y descritos en la literatura. Estos datos fueron tabulados y fotografiados con una cámara Canon PowerShot SX50 HS; se realizaron representaciones gráficas resaltando los caracteres morfológicos importantes para la categorización en estados. La descripción de los estados de desarrollo se llevó a cabo con base y comparando con trabajos previos en condriactos como por ejemplo: Luer & Walsh (2007), Ebert & Cowley (2009), Rodda & Seymour (2008), Didier et al. (1998) y Ballard et al. (1993), Maxwell et al. (2008).

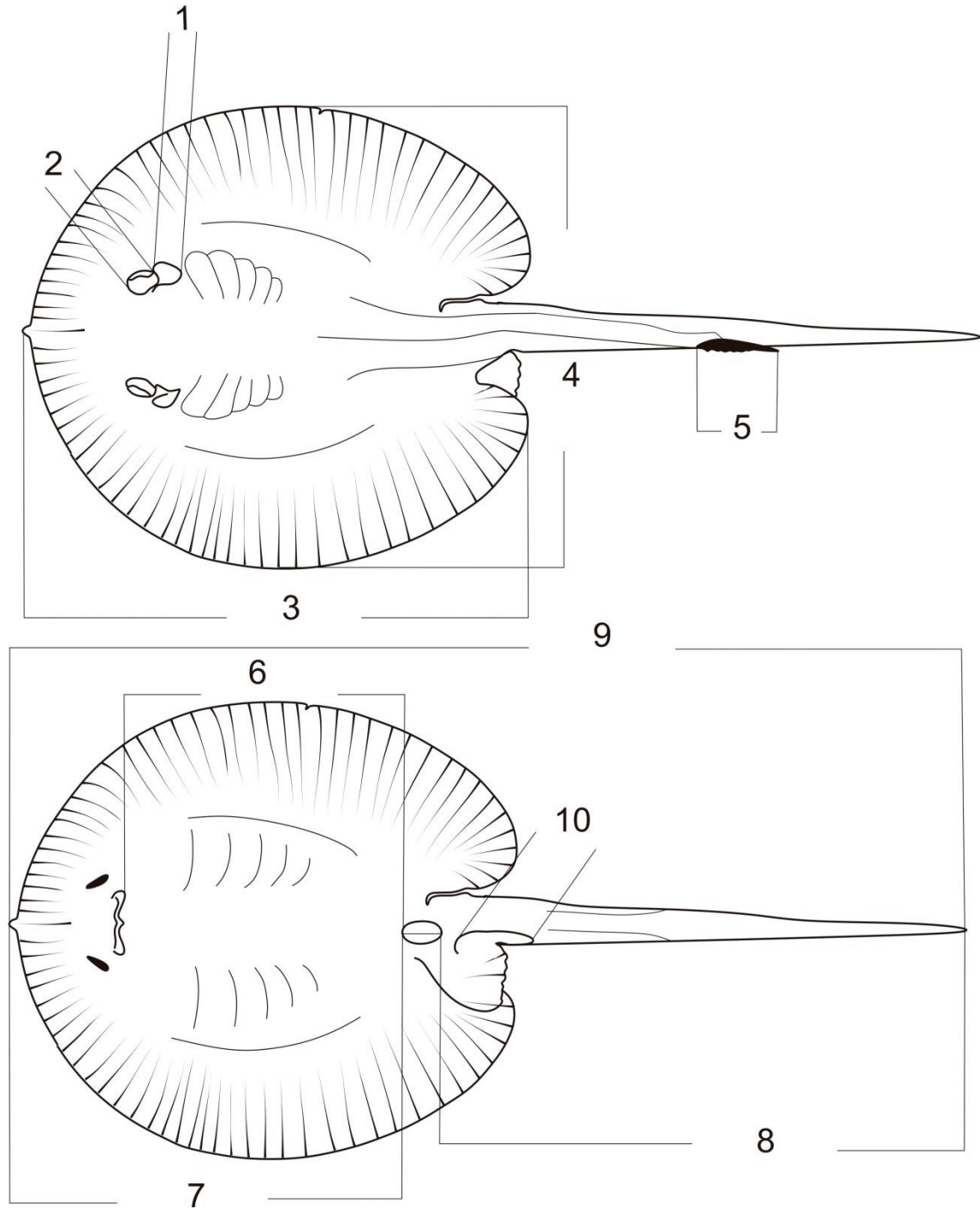


Figura 1. Datos morfométricos registrados en fetos y hembras adultas de *Potamotrygon magdalenae*. 1. Diámetro del espiráculo, 2. Diámetro del ojo, 3. LD longitud de disco (tomada ventralmente). 4. AD ancho de disco (tomada ventralmente). 5. Longitud espina caudal. 6. Distancia boca cloaca. 7. Distancia pre-cloaca. 8. Longitud de la cola. 9. LT longitud total. 10. Longitud del cláspes.

3. RESULTADOS

3.1 Estadios de desarrollo

Se obtuvieron 30 individuos, representados en 9 estadios de desarrollo entre la formación inicial de los arcos branquiales (faríngrula) hasta individuos neonatos que han perdido el saco vitelino y presentan cicatriz umbilical. El rango de LD de embriones y fetos va desde 43 mm hasta 105 mm y el AD va desde 40 mm hasta los 100 mm. El embrión más pequeño (faríngrula) tenía LT de 8 mm y el feto más grande una LT de 189 mm y AD 77 mm; en la tabla 1 se muestran datos morfométricos. El embrión más pequeño fue obtenido a finales del mes de Mayo, el feto más grande a mediados del mes de Enero, el neonato más pequeño (LT 165 mm y AD 75 mm) fue capturado a mediados de Octubre.

Estadio 1

Dos embriones en estado de faríngrula con LT de 8 mm y 9 mm (Fig. 2), el primero de ellos obtenido mediante la disección de una hembra de 300 mm AD y el segundo, producto de un aborto de una hembra con AD 350 mm, las dos hembras capturadas en el mes de Mayo. El embrión obtenido mediante disección se alojaba en el útero izquierdo de la hembra, siendo este el único embrión presente en el tracto reproductor.

En los embriones se observa el desarrollo de los arcos branquiales desde donde emergen tempranamente los filamentos branquiales; se observa el desarrollo de las placas ópticas que se encuentran ubicadas lateralmente y sin pigmentación. Bajo la placa óptica se encuentra la

cavidad celómica mandibular; en el dorso anterior del embrión se observa una cavidad translúcida asociada a la formación del cerebro (ventrículo cerebral). En la parte medial del cuerpo se observa la formación de pliegues laterales que formarán las aletas pectorales; el tallo vitelino sobresale ventralmente del embrión en medio de lo que serán las aletas pectorales, uniendo al embrión con el saco vitelino, el cual en este estadio representa casi tres veces el tamaño del embrión (Fig. 3).

Estadio 2

Un embrión con LT de 22,98 mm (Fig. 4) en estado de organogénesis, obtenido mediante la disección uterina de una hembra capturada en el mes de Julio a la cual le hacía falta la porción anterior del cuerpo, lo cual imposibilitó la toma de datos morfométricos. La hembra presentaba un único embrión en su útero derecho.

El embrión presenta una longitud pre- cloacal de 12,24 mm y distancia boca cloaca de 8,21 mm (Fig. 5). En este estado los 5 arcos branquiales se encuentran completamente abiertos, exhibiendo una gran cantidad de filamentos branquiales con longitud aproximada de 13mm siendo un poco más de la mitad de la longitud total del cuerpo. La placa óptica comienza a tener pigmentación y aún se encuentra en posición lateral, se hacen visibles los orificios nasales encontrándose en una protuberancia rostral (rostrum) cercanos a la apertura bucal. Las aletas pectorales se extienden de manera lateral en la región media del embrión, haciendo contacto con las aperturas branquiales. En el tallo vitelino se hace visible la arteria vitelina que se ramifica y forma una red de capilares en el saco vitelino. En este punto del desarrollo se observa claramente la formación de las aletas pélvicas, se hace visible también la apertura cloacal en medio de las

aletas pélvicas y la formación de pliegues membranosos en la parte dorsal y ventral de la cola; la cola presenta una longitud de 10,6 mm. La línea lateral se observa en la parte dorsal del embrión y hay una visualización clara de los radios de las aletas pectorales y pélvicas.

Estadio 3

Tres embriones en organogénesis con AD media de 42 mm $SD \pm 1,73$ estos embriones fueron obtenidos por pobladores locales en Ciénaga de Paredes en el mes de Julio quienes descartaron la hembra y solo guardaron los embriones (Fig. 6).

En este estado las 5 aperturas branquiales continúan presentando filamentos branquiales los cuales tienen una longitud aproximada de 14 mm. Se hace evidente un mayor desarrollo de las placas ópticas, las cuales pasarán a formar las vesículas ópticas con un diámetro medio de 3mm; estas presentan pigmentación negra en los bordes. En este estado se da la migración de las vesículas ópticas, pasando de su posición lateral hacia a la región dorsal del cuerpo. Hacia la parte inmediatamente posterior de las vesículas ópticas se forman los espiráculos que presentan un diámetro de 4.4 mm, se observa el desarrollo temprano de la válvula espiracular como una membrana translúcida y delgada al interior de los espiráculos. Los orificios nasales migran hacia la boca quedando estrechamente unidos con la apertura bucal. La distancia media boca-cloaca aumenta a 29,83 mm $\pm 1,69$. Las aletas pectorales se extienden y fusionan con la región branquial y con el rostrum, el cual se encuentra completamente extendido en esta etapa, formando el disco corporal. La distancia pre-cloaca aumenta a 37,8 mm (distancia media $\pm 1,68$). El dorso del embrión continúa sin pigmentación; las aletas pélvicas están completamente desarrolladas, formándose en individuos machos una modificación de la aleta pélvica que determina la

formación de los cláster. Se evidencia por primera vez la presencia de una mancha caudal color pardo en la región media de la cola, a $4,83 \pm 0,057$ mm, en esta zona se formará la espina caudal. La longitud media de la cola es de $69,53 \text{ mm} \pm 3,62$ (Fig. 7).

Estadio 4

Cuatro embriones en organogénesis tardía con AD media de 45 mm $SD \pm 1,5$ (Fig. 8). Embriones abortados provenientes de una hembra con AD 340 mm capturada en el mes de Enero.

En este estadio inicia la contracción de los filamentos branquiales, observándose reducción en longitud y cantidad de los filamentos branquiales de la primera apertura branquial, disminuyendo casi la mitad de su longitud con respecto a los filamentos de las demás aperturas branquiales, que presentan una longitud aproximada de 16 mm. Se hace muy evidente el desarrollo del ojo, el cual deja de ser una vesícula óptica para formar un globo ocular con mayor pigmentación y presencia del cristalino; el ojo aumenta su diámetro hasta $3,27 \text{ mm} (\pm 0,05)$. Los espiráculos aumentan su diámetro a $4,85 \text{ mm} (\pm 0,1)$; se observa un engrosamiento de la válvula espiracular, la cual cierra casi la totalidad del espiráculo. La distancia boca-cloaca continúa aumentando y alcanza $33,05 \text{ mm} \pm 0,66$. La longitud pre-cloaca es de $42,82 \text{ mm} \pm 1,09$. La mancha caudal aumenta su longitud identificándose una leve queratinización en su zona media, dando evidencia de la formación de la espina caudal; la longitud de la cola alcanza los $89,82 \text{ mm} (\pm 2,8)$. El saco vitelino ha reducido la cantidad de vitelo a $1/6$ del tamaño corporal aproximadamente (Fig, 9).

Estadio 5

Cinco embriones en estado final de organogénesis con AD media de 53 mm $\pm 0,70$ (Fig. 10). Embriones producto de un aborto de una hembra con AD 280 mm capturada en el mes de Enero.

Esta etapa está caracterizada principalmente por el retraimiento total de los filamentos branquiales en todas las aperturas branquiales, culminando la formación de las branquias. Se observa la formación completa de la válvula espiracular que cierra la totalidad del espiráculo lo que permitirá el bombeo de agua; el diámetro de los espiráculos es de 6,08 mm (SD $\pm 0,08$). Los ojos continúan aumentando su diámetro alcanzando 3,7 mm (SD $\pm 0,15$). En el feto se observa el desarrollo de la espina caudal, la cual puede ser fácilmente diferenciada, presentando una base ancha y ápice agudo con una longitud media de 8,18 mm $\pm 0,30$; la longitud de la cola llega a 95,22 mm SD $\pm 2,049$. El feto presenta una distancia pre-cloacal y boca-cloaca de 49,32 mm $\pm 0,75$ y 37,58 mm $\pm 0,973$, respectivamente. Se observa una ligera reducción del contenido vitelino en el saco de vitelo respecto del estado anterior, pero todavía constituye aproximadamente un 6% del tamaño del embrión. El feto empieza a mostrar leves signos de pigmentación en algunas partes del dorso junto a los radios del disco y dos franjas a lo largo de la cola. Se observa una mayor elongación de los cláser en individuos machos (5mm) (Fig. 11).

Estadio 6

Siete fetos con un AD medio de 58,66 mm $\pm 8,40$ (Fig. 12), provenientes de disección de tres hembras capturadas en Mayo con AD 260-265-255 mm y un aborto de una hembra de AD 168

mm capturada en Marzo. La primera hembra contenía 3 fetos (1 en el útero derecho, 2 en el útero izquierdo); la segunda hembra tenía 2 fetos, uno en cada útero y la hembra más pequeña mantenía un solo feto en su útero izquierdo (Fig. 13).

Este estadio se caracteriza por la fuerte pigmentación presente en todo el cuerpo, exhibiendo en el dorso y la cola un patrón moteado de manchas amarillo oliva con fondo marrón oscuro y ventralmente coloración blanca. Se hacen visibles fácilmente las placas dentarias superior e inferior; el diámetro del ojo alcanza 4,14mm $SD\pm 0,16$ y el diámetro de los espiráculos 6,97mm $SD\pm 0,48$. La espina caudal alcanza una longitud media de 11,87mm ($SD\pm 3,03$), presentando bordes lisos y con una pequeña esfera en la punta. En los individuos machos los cláspes llegan a alcanzar una longitud media de 7,1mm $SD\pm 0,36$. En este estado el feto principalmente aumenta su tamaño corporal, la distancia pre-cloacal llega a 52,67mm ($SD\pm 5,89$) y boca-cloaca a 38,47 mm $SD\pm 2,16$; el largo de la cola tiene 106,01 mm (media $\pm 16,51$). El feto absorbe el vitelo del saco vitelino reduciendo su tamaño hasta 4% del tamaño corporal aproximadamente; se puede observar a través de la cavidad abdominal el vitelo absorbido, ahora presente en el tracto digestivo y el hígado (Fig. 14).

Estadio 7

Tres fetos en estado de pre-alumbramiento con AD media de 72,33 mm $\pm 4,04$ (Fig. 15); los fetos fueron obtenidos mediante el aborto de una hembra con AD 235 mm capturada en el mes de Enero.

En este punto los fetos se encuentran próximos al alumbramiento. La pigmentación corporal es ligeramente más intensa, exhibiendo un tono pardo más oscuro. El globo ocular tiene un diámetro de 4,3 mm \pm 0.1 y los espiráculos miden 7,53 \pm 0,5 mm; las distancias pre-cloaca y boca cloaca aumentan hasta 61,2 mm (media \pm 4,59) y 44,93 mm (media \pm 3,31), respectivamente. La longitud de la cola aumenta a 117,16 mm (media \pm 0,55). La espina caudal pierde la forma esférica en su ápice, pasando a tener un ápice agudo, sin embargo la espina caudal mantiene sus bordes lisos (Fig. 15c); la longitud de la espina caudal es de 15 mm (media \pm 0,79). En individuos machos, los cláster tienen 8,4 mm de longitud. El contenido de vitelo del saco vitelino se encuentra notablemente reducido siendo menos de 4% del tamaño corporal (Fig. 16).

Estadio 8

Dos individuos hembras neonatos muy similares en tamaño y forma capturados con atarraya en el mes de Octubre presentando un AD media de 79,5 mm (Fig.17).

Este estadio corresponde a individuos neonatos, posiblemente con un corto tiempo de vida post-alumbramiento debido a que en este estadio se observa la presencia de rezago del saco vitelino el cual se encuentra muy reducido, presentando una longitud incluyendo el tallo vitelino de aproximadamente 4,5mm (Fig. 18c). La pigmentación corporal se mantiene sin presentar grandes cambios con respecto al estadio 7. Los neonatos tienen un diámetro medio ocular de 4,6 mm; sus espiráculos han alcanzado un diámetro de 7,3 mm. La espina caudal ha alcanzado una rigidez total, presentando bordes ligeramente aserrados muy similares a los de los individuos adultos; la longitud media de la espina caudal alcanza los 14,5mm. La longitud media de la cola

es de 114 mm, la distancia media pre-cloaca es de 66,5 mm y la distancia boca cloaca alcanza una media de 57,93mm.

Estadio 9

Correspondientes a tres juveniles con AD medio 91,6mm ($\pm 14,43$) (Fig. 19). Los individuos han absorbido la totalidad del saco vitelino, dejando una pequeña ranura en la región medial del disco la cual es conocida como cicatriz umbilical. Los individuos han alcanzado una distancia pre-cloaca de 78,9 mm ($\pm 11,73$). El diámetro ocular es de 4,83 mm ($\pm 0,15$) y el del espiráculo es de 7,43 mm ($\pm 0,57$). La espina caudal tiene longitud de 18,63mm ($\pm 1,85$), presentando bordes aserrados iguales a los individuos adultos. Se logra observar dos morfotipos diferenciados por el patrón de coloración y la longitud de la cola. Uno es moteado de manchas amarillas oliva irregular con diámetro superior al del diámetro ocular y de fondo marrón, la longitud de la cola es alrededor de 1,8 veces el largo de disco LD; el segundo tiene un patrón moteado de manchas pardas-oliva con diámetro inferior o igual al diámetro ocular de fondo marrón oscuro y longitud de la cola aproximadamente 1,2 veces LD (Fig. 20). La distancia media pre-cloaca y boca cloaca es de 78,9 mm ($\pm 11,73$) y 59,93 ($\pm 8,35$) respectivamente.

3.2 Fecundidad uterina

Se capturaron 9 hembras grávidas de las cuales la hembra grávida más pequeña fue capturada en el mes de abril y presentó 168 mm de AD y 410 mm de LT; la hembra grávida más grande fue capturada en el mes de mayo y presentó 350 mm de AD y 690 mm de LT, la fecundidad máxima encontrada fue de 5 embriones y la fecundidad media fue de 2.375 (± 1.5), en la Tabla 2 se presentan la cantidad de embriones para cada hembra capturada. En el análisis de regresión lineal se observa que el tamaño de la hembra no se relacionó de manera significativa con el número de embriones uterinos ($r^2 = 0.06$, $p = 0.51$).

4. DISCUSIÓN

El número de embriones capturados en estudio es superior a la cantidad de embriones usados en trabajos de desarrollo embrionario de batoideos vivíparos, como en *Rhinobatos hynnicephalus* (Zheng & Qui, 1993) donde hacen una descripción del desarrollo embrionario con tan solo 5 embriones, de igual manera la cantidad de embriones usados por Ebert & Cowley. (2009) para describir los estados de desarrollo de *Dasyatis chrysonata* fue inferior, usando 27 individuos, esto demuestra las dificultades para la obtención de material biológico batoideos vivíparos.

Este trabajo describe por primera vez el desarrollo embrionario de una raya vivípara aplacentaria perteneciente a la familia Potamotrygonidae. En general el desarrollo embrionario temprano de los condricios es muy similar (Caldeira, 2006). Sin embargo, varios aspectos difieren en el desarrollo entre rayas y tiburones. Una de las diferencias conocidas se relaciona con la migración de las vesículas ópticas desde la posición lateral hacia la región dorsal, que en *P. magdalenae* ocurre entre el estadio 2 y el estadio 3, al igual que el cambio de la posición de los arcos branquiales de su posición lateral hasta la región ventral del embrión, estas son características generales del desarrollo embrionario en todos los batoideos, junto con la reubicación mandibular que está asociada con la depresión corporal y la fusión de las aletas pectorales con el cuerpo, permitiendo así la morfología particular de las rayas (Maxwell et al., 2008) y son la principal diferencia en el desarrollo de batoideos y selacios (McEachran & Carvalho, 2002).

En cuanto al desarrollo de las aletas pélvicas en *P. magdalenae*, se hacen visibles por primera vez en el estadio 2, manteniéndose acorde con el desarrollo de otros batoideos como en *Leucoraja ocellata* (Maxwell et al., 2008) en donde las aletas pélvicas se forman posterior al inicio del desarrollo de las aletas pectorales y se hacen completamente visibles en la organogénesis temprana. Esto ocurre de igual manera en tiburones. En contraste el desarrollo de esta estructura para los holocéfalos sucede un poco más tardío en el desarrollo respecto a las aletas pectorales (Didier et al., 1998). También se encuentran diferencias en el desarrollo de *P. magdalenae* comparado con el desarrollo de batoideos ovíparos con referencia a las membranas caudales; en la raya ovípara *Leucoraja ocellata* se presenta un desarrollo temprano de esta estructura y se evidencia un tamaño considerablemente mayor cuando se compara con *P. magdalenae*. Esto no es de sorprender debido a que en la raya ovípara *L. ocellata* la membrana caudal es usada por el embrión como mecanismo primario para contribuir con la recirculación de agua al interior del huevo, contribuyendo con el intercambio gaseoso (Maxweel et al., 2008, Thomason et al., 1992) y en situaciones de anoxia estos movimientos caudales aumentan permitiendo que al interior del huevo las condiciones de oxígeno mejoren considerablemente como se ha visto en *L. erinacea* (Di Santo et al., 2016).

De otro lado, en *Potamotrygon magdalenae* los filamentos branquiales sobresalen de todas las aperturas branquiales; no obstante no se observó la presencia de filamentos sobresalientes de los espiráculos, lo cual es concordante con lo encontrado en *Rostroraja eglanteria* (Luer & Walsh, 2007) y *Sympterygia acuta* (Caldeira, 2006); sin embargo, en el tiburón *Heterodontus portusjacksoni* (Rodda & Seymour, 2008) si se observan filamentos branquiales sobresalientes de los espiráculos. En cuanto al rostrum en *P. magdalenae* se observa una extensión del rostrum

en el estadio 3, ocurriendo de manera simultánea con la fusión de las aletas pectorales, formando el disco corporal; estos resultados son concordantes con el desarrollo de los demás batoideos vivíparos y ovíparos, como el caso de *Rostroraja eglantera* (Luer & Walsh, 2007) y *Dasyatis chrysonota* (Brant, 2006). Sin embargo esto no es comparable con lo reportado en el desarrollo del tiburón *Scyliorhinus canicula* (Ballard, 1993) en el que la extensión del rostrum ocurre en etapas más tardías debido a las diferencias morfológicas entre rayas y tiburones.

Entre otros aspectos se encontró que como en otras especies de rayas la pigmentación corporal inicia con pequeños puntos aislados al mismo tiempo en que los filamentos branquiales han llegado a su máxima longitud y la pigmentación se desarrolla completamente en el dorso del feto posterior a la retracción total de los filamentos branquiales. Estas mismas características también concuerdan con el desarrollo de batoideos ovíparos como en *Leucoraja ocellata* (Maxwell et al., 2008), *Rostroraja eglantera* (Luer & Walsh, 2007).

El desarrollo de la espina caudal inicia su desarrollo en el estadio 3, apareciendo como una mancha en la sección media de la cola, la cual posteriormente aumentará su grado de queratinización y longitud, llegando a exhibir en el estadio 6 una punta esférica, sugiriendo que quizá esta modificación evita las perforaciones del útero mientras el feto culmina su formación, siendo esto concordante en Myliobatiformes donde esta morfología se ha descrito como bulbo terminal (Wyffels, 2009). En el estadio 7 (pre-alumbramiento) la punta de la espina adquiere un ángulo agudo, asociándose con la adquisición de un mecanismo de defensa listo al nacimiento.

Existen diferencias en la absorción del vitelo del saco de la yema, ocurriendo de manera más acelerada en los estadios posteriores a la organogénesis en *P. magdalenae* cuando se compara con conductivos ovíparos, los cuales conservan un mayor volumen de vitelo externo. Esta diferencia se explica por la viviparidad matrotrofica, modo reproductivo característico de los potamotrigónidos (Rosa et al., 2010), en los que la producción de un histótrofo complementa la nutrición embrionaria y por tanto una buena parte del saco vitelino es absorbido y almacenado tempranamente en el hígado (Wood-Mason & Alcock, 1891; McMillan, 2007). Así mismo ha sido reportado para *Myliobatis goodei* (Colonello et al., 2013) especie en la que los trofonemata ingresan por la boca liberando histótrofo para completar la nutrición embrionaria. Así mismo se ha reportado en otros trabajos (Babel, 1967; Smith & Merriner, 1986) y el ingreso de trofonemata a través de los espiráculos (White et al., 2001). Para nuestra especie en estudio no logramos sin embargo determinar el sitio de ingreso de los trofonemata en el embrión debido a la facilidad con la cual las hembras de *P. magdalenae* desprenden sus embriones y abortan, imposibilitando una observación detallada de la disposición de los trofonemata y del embrión dentro del útero.

La talla de nacimiento para *P. magdalenae* ha sido reportada entre 87 y 100 mm AD (Ramos-Rocha y Grijalba-Bendeck, 2011; Tashima & Takeshita, 1992), sin embargo en este trabajo se registraron individuos neonatos de menor talla, encontrando una talla de nacimiento de entre 75 mm y 77 mm AD, siendo estas las tallas del neonato más pequeño y del feto más grande respectivamente.

Potamotrygon magdalenae presenta una fecundidad uterina para este estudio entre 1 y 5 embriones, lo cual concuerda con lo reportado para esta misma especie por Ramos-Rocha y Grijalba-Benedeck (2011), aun así, otros estudios han reportado fecundidades más altas, llegando hasta 10 embriones intrauterinos (Pedreros-Sierra et al., 2016; Lasso et al., 2013), la baja fecundidad en esta especie es concordante a las características generales de los demás condrictios, esta baja fecundidad propicia la susceptibilidad de los condrictios a la sobrepesca y dificultan los esfuerzos de conservación (Bonfil, 1994).

No se encontró una relación significativa entre la talla de las hembras grávidas (AD) y la cantidad de embriones intrauterinos. Sin embargo, el número de hembras obtenidas en este trabajo es pequeño así como el rango de tamaños de las hembras madres y es posible que no tengamos un espectro de tamaño corporal poblacional amplio, como sí lo tuvo Pedreros-Sierra et al. (2016) para una población que incluye una de las localidades de este trabajo. Para esta población de *P. magdalenae* se encontró una relación positiva de la talla de las hembras con la fecundidad uterina; así mismo se han reportado correlaciones positivas para otros batoideos, como en las rayas guitarra *Pseudobatos leucorhynchus* (Payán et al., 2011); *Rhinobatos hynnicephalus* (Kume et al., 2009), por lo que es una relación común en el grupo.

Debido a que los embriones y fetos de *P. magdalenae* en los diferentes estados de desarrollo se obtuvieron en distintos meses de año, sin que se aprecie claramente una secuencia de desarrollo a través de los meses, se puede sugerir que el ciclo reproductivo en esta especie es posiblemente continuo, y sería concordante con lo encontrado por Pedreros-Sierra et al. (2016).

La viviparidad aplacentaria y la no estacionalidad en la reproducción y el desarrollo embrionario características en esta especie hicieron imposible la comparación con tablas temporales para registrar el momento de cada evento o aparición de una característica, debido a la dificultad para conocer el tiempo del inicio y desarrollo de la gestación de las hembras. Este limitante se ha encontrado en la mayoría los estudios de desarrollo embrionario en condriictios vivíparos. Aún con este limitante, los estados embrionarios descritos en este documento son de gran importancia y permiten establecer estados de desarrollo equivalentes con otros batoideos y condriictios en general, permitiendo entender la secuencia de cambios morfológicos en el desarrollo embrionario ocurridos en *P. magdalenae* importantes para estudios posteriores en órganos o estructuras particulares.

En términos generales el desarrollo embrionario en *Potamotrygon magdalenae* es similar al reportado para otros batoideos vivíparos como *Rhinobatos hynnicephalus* (Zheng & Qiu, 1993) y *Dasyatis chrysonota* (Ebert & Cowley, 2009).

CONCLUSIONES

Se describieron 9 estados de desarrollo embrionario para *Potamotrygon magdalenae*, establecidos según características macroscópicas, obteniendo estados desde faríngrula, hasta neonatos y describiendo además los cambios morfológicos entre neonatos e individuos juveniles. El desarrollo de *P. magdalenae* mantiene la secuencia general de desarrollo para batoideos y condrictios en general, con algunas diferencias en la tasa y momento de absorción de vitelo y la ausencia de filamentos branquiales sobresalientes de los espiráculos.

La fecundidad de *Potamotrygon magdalenae* fue de 1 a 5 embriones por hembra, inferior a la fecundidad conocida por otros registros en la misma especie. Así mismo, no encontramos relación de la fecundidad con el tamaño corporal de las hembras grávidas, relación que sí se ha registrado como significativa para la misma especie.

BIBLIOGRAFÍA

- Araújo, M. L. G., Charvet-Almeida, P., Pinto de Almeida, M. & Pereira, H. (2004). Freshwater Stingrays (Potamotrygonidae): status, conservation and management challenges. *Information document presented to CITES Animals Committee, AC 20, Inf. 8: 1-6.*
- Ballard, W. W., Mellinger, J., & Lechenault, H. (1993). A series of normal stages for development of *Scyliorhinus canicula*, the lesser spotted dogfish (Chondrichthyes: Scyliorhinidae). *Journal of Experimental Zoology*, 267(3), 318-336.
- Barbarino, A., & Lasso, C. (2005). Pesquería y aspectos biológicos de la raya manta *Paratrygon aiereba* (Müller y Henle, 1841) (Myliobatiformes, Potamotrygonidae), en el río Apure (Venezuela). *Memorias de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 163, 93-108.
- Bonfil, R. (1994). Overview of world elasmobranch fisheries. FAO Fisheries Technical Paper No. 341. 119p.
- Brant, F. C. (2006). Morfologia e biometria do desenvolvimento embrionário da raia *Sympterygia acuta* Garman, 1877 (Elasmobranchii; Rajidae) (Doctoral dissertation, Fundação Universidade Federal do Rio Grande), Recuperado de <http://repositorio.furg.br/handle/1/4194>.
- Caldas, J. P., Castro-González, E., Puentes, V., Rueda, M., Lasso, C., Duarte, L. O., Grijalba-Bendeck, M., Gómez, F., Navia, A. F., Mejía-Falla, P. A., Bessudo, S., Diaz-granados, M. c. & zapata, L. A. (2010). Plan de Acción Nacional para la Conservación y Manejo de Tiburones, Rayas y Quimeras de Colombia (PAN -Tiburones Colombia). Bogotá: *Instituto Colombiano Agropecuario*. 68
- Charvet-Almeida, P. & Pinto de Almeida, M. 2009. *Potamotrygon magdalenae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009: e.T161385A5412045. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161385A5412045.en>.

- Lasso, C., Mesa-Salazar, L., Sanchez-Duarte, P., Usma, S. & Villa-Navarro, F. 2016. *Potamotrygon magdalenae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T161385A61472512.<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20161.RLTS.T161385A61472512.en>
- Dahl, G. (1971). Los peces del norte de Colombia. Bogotá: *Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables*.
- Didier, D. A., LeClair, E. E., & Vanbuskirk, D. R. (1998). Embryonic staging and external features of development of the chimaeroid fish, *Callorhinchus mili* (Holocephali, Callorhinchidae). *Journal of Morphology*, 236(1), 25-47.
- Di Santo, V., Tran, A. H., & Svendsen, J. C. (2016). Progressive hypoxia decouples activity and aerobic performance of skate embryos. *Conservation Physiology*, 4(1), cov067.
- Ebert, D. A., & Cowley, P. D. (2009). Reproduction and embryonic development of the blue stingray, *Dasyatis chrysonota*, in southern African waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89(04), 809-815.
- Kume, G., K. Furumitsu, S. Tanaka & A. Yamaguchi. 2009. Reproductive biology of the guitarfish *Rhinobatos hynnicephalus* (Batoidea: Rhinobatidae) in Araiike Bay, Japan. *Environmental Biology of Fishes*, 85(4), 289-298.
- Luer, C. A., Walsh, C. J., Bodine, A. B., & Wyffels, J. T. (2007). Normal embryonic development in the clearnose skate, *Raja eglanteria*, with experimental observations on artificial insemination. *Environmental Biology of Fishes*, 80(2-3), 239.
- Maxwell, E. E., Fröbisch, N. B., & Heppleston, A. C. (2008). Variability and conservation in late chondrichthyan development: ontogeny of the winter skate (*Leucoraja ocellata*). *The Anatomical Record*, 291(9), 1079-1087.

- Mojica, J. I., Usma, J. S., Alvarez-Leon, R. and Lasso, C. A. 2012. Libro rojo de peces dulceacuicolas de Colombia. Instituto de Investigacion de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Mc Eachran J. y M. Carvalho. 2002. Batoid fishes. *The living marine resources of the Western Central Atlantic, 1*, 507-599.
- Payán, L. F., Navia, A. F., Rubio, E. A., & Mejía-Falla, P. A. (2011). Biología de la raya guitarra *Rhinobatos leucorhynchus* (Günther, 1867) (Rajiformes: Rhinobatidae) en el Pacífico colombiano. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 39(2), 286-296.
- Pedrerros-Sierra, T., Arrieta, D., Mejía, P. (2016). Reproductive system of Females of Magdalena River Endemic Stingray *Potamotrygon magdalenae*: Anatomical and Functional Aspects. *Journal of Morphology*, 277(5), 680-697.
- Ramos-Socha, H. B., & Grijalba-Bendeck, M. (2011). Bioecology of the freshwater stingray *Potamotrygon magdalenae* (Duméril, 1865)(Myliobatiformes) from the Ciénaga de Sabayo, Guaimaral, Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 109-118.
- Rosa, R., Charvet-Almeida, P. & Diban, C. (2010). Biology of the South American Potamotrygonid Stingrays, pp. 241-281. En: Carrier, J., Musick, J. & Heithaus, M., (eds.). *Sharks and their Relatives II: Biodiversity, Adaptive Physiology, and Conservation* New York: CRC Press.
- Rodda, K. R., & Seymour, R. S. (2008). Functional morphology of embryonic development in the Port Jackson shark *Heterodontus portusjacksoni* (Meyer). *Journal of Fish Biology*, 72(4), 961-984.
- Teshima, K. Y H. Takeshita. (1992). Reproduction of the freshwater stingray, *Potamotrygon magdalenae* taken from the Magdalena River system in Colombia, South America. *Bulletin Seikai National Fisheries Research Institute*, 70, 11-27.

- Thorson, T. B., Langhammer, J. K., & Oetinger, M. I. (1983). Reproduction and development of the South American freshwater stingrays, *Potamotrygon circularis* and *P. motoro*. *Environmental Biology of Fishes*, 9(1), 3-24.
- Thomason, J. C., Davenport, J., & Le Comte, E. (1996). Ventilatory mechanisms and the effect of hypoxia and temperature on the embryonic lesser spotted dogfish. *Journal of Fish Biology*, 49(5), 965-972.
- Villa-Navarro, F. A. (1999) Estudio biológico pesquero de la represa de Prado, para la determinación de especies promisorias en acuicultura. Universidad del Tolima, CORTOLIMA, INPA, Gobernación del Tolima y Comité Departamental de Cafeteros del Tolima. Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. 105 p. + 2 anexos.
- Walker, T. (2005). Reproduction in Fisheries Science; pp. 81-128. En Hamlett, W.C., (ed.). Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes: Sharks, Batoids and Chimaeras. Enfield (NH): Science Publishers.
- Wyffels, J. T. (2009). Embryonic development of Chondrichthyan fishes-A review. Development of Non-Teleost Fishes. Enfield: *Science Publishers*, 1-103
- Zheng, W., & Qiu, S. (1993). Reproductive biology of the guitarfish, *Rhinobatos hynnicephalus*. In The reproduction and development of sharks, skates, rays and ratfishes (pp. 81-93). Springer Netherlands.

Tabla 1.

Morfometría de los estados de desarrollo ontogenético de Potamotrygon magdalenae (medidas en mm).

Estadio	N	LT	SD	LD	SD	AD	SD
1	1	8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	1	22,98	N/A	N/A	N/A	5	N/A
3	3	112,33	2,51	46	3,60	42	1,73
4	4	135,5	4,12	50,5	1	45,25	1,5
5	5	149,8	1,09	58	0,70	53	0,70
6	6	157,33	19,96	63,5	8,66	58,66	8,40
7	3	184,66	4,50	77,33	1,15	72,33	4,04
8	2	200,5	N/A	84	N/A	79,5	N/A
9	3	236,66	43,68	98,33	11,54	91,66	14,43

LT: longitud total; LD: longitud de disco; AD: ancho de disco; SD: desviación estándar; N: número de muestras.

Tabla 2.

Fecundidad uterina en Potamotrygon magdalenae.

Ancho de disco (mm)	Número de embriones
235	3
255	1
260	3
265	2
280	5
300	1
340	4
350	1
168	1



Figura 2. Fotografía del embrión de *Potamotrygon magdalenae* en estadio 1 (estado embrionario faríngrula). Se retiró el saco de la yema para mejor observación del embrión.

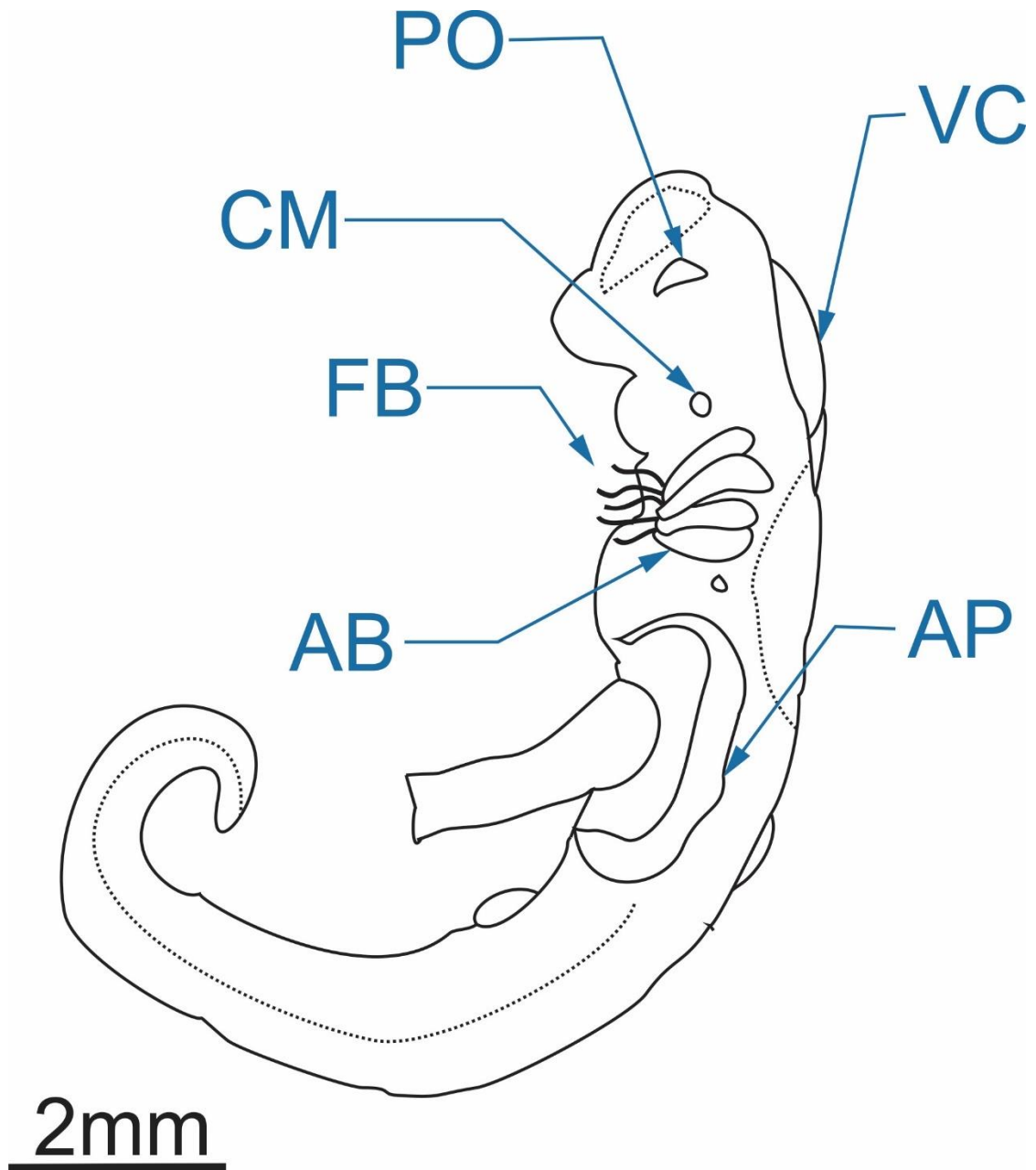


Figura 3. Embrión en estado de faríngrula de *Potamotrygon magdalenae*. FB: filamentos branquiales; PO: placa óptica; CM: cavidad celómica mandibular; VC: ventrículo cerebral; AP: Aleta pectoral; AB: arcos branquiales.

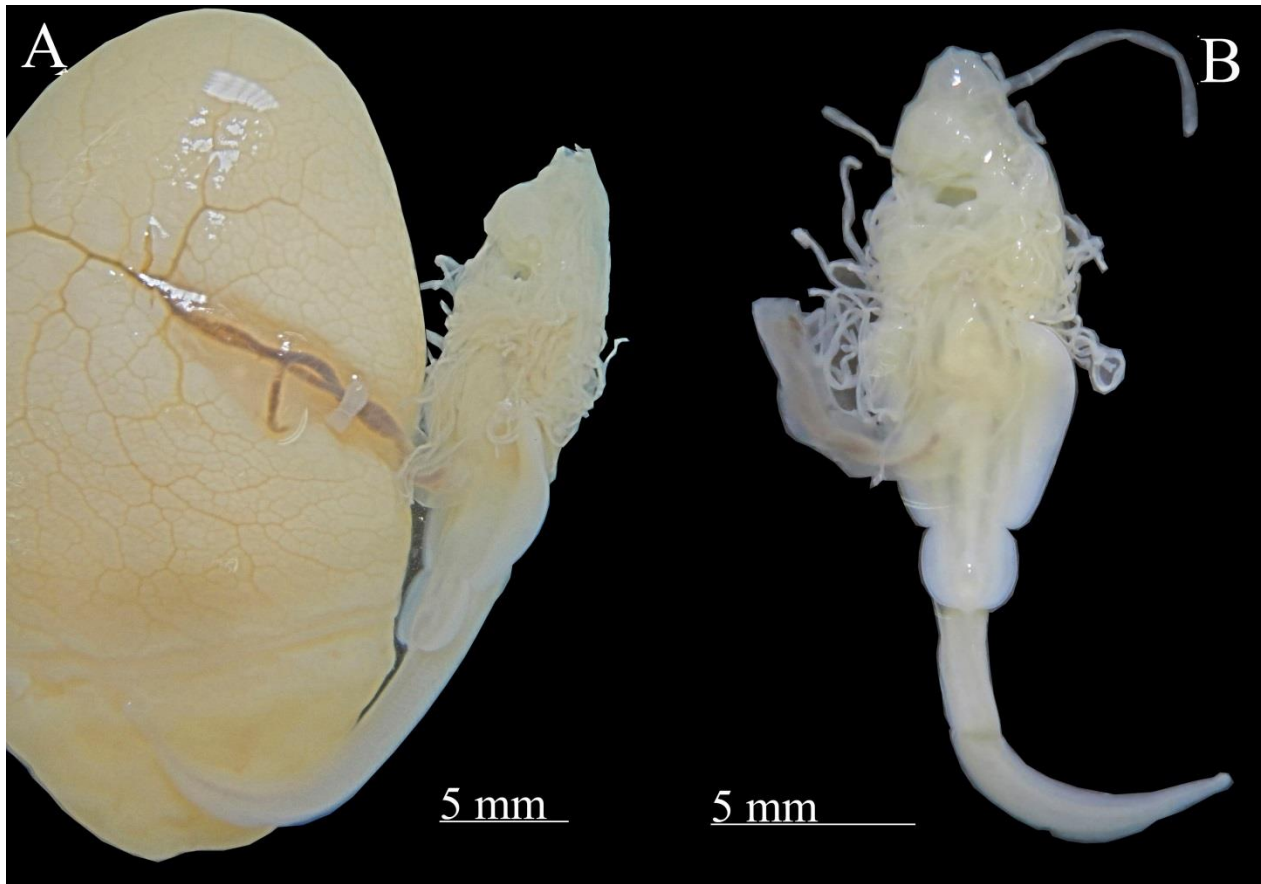


Figura 4. Fotografías del embrión de *Potamotrygon magdalenae* en estadio 2 (organogénesis), (A): embrión en vista completa unido al saco vitelino altamente vascularizado; (B): vista ventral del embrión separado del saco de la yema.

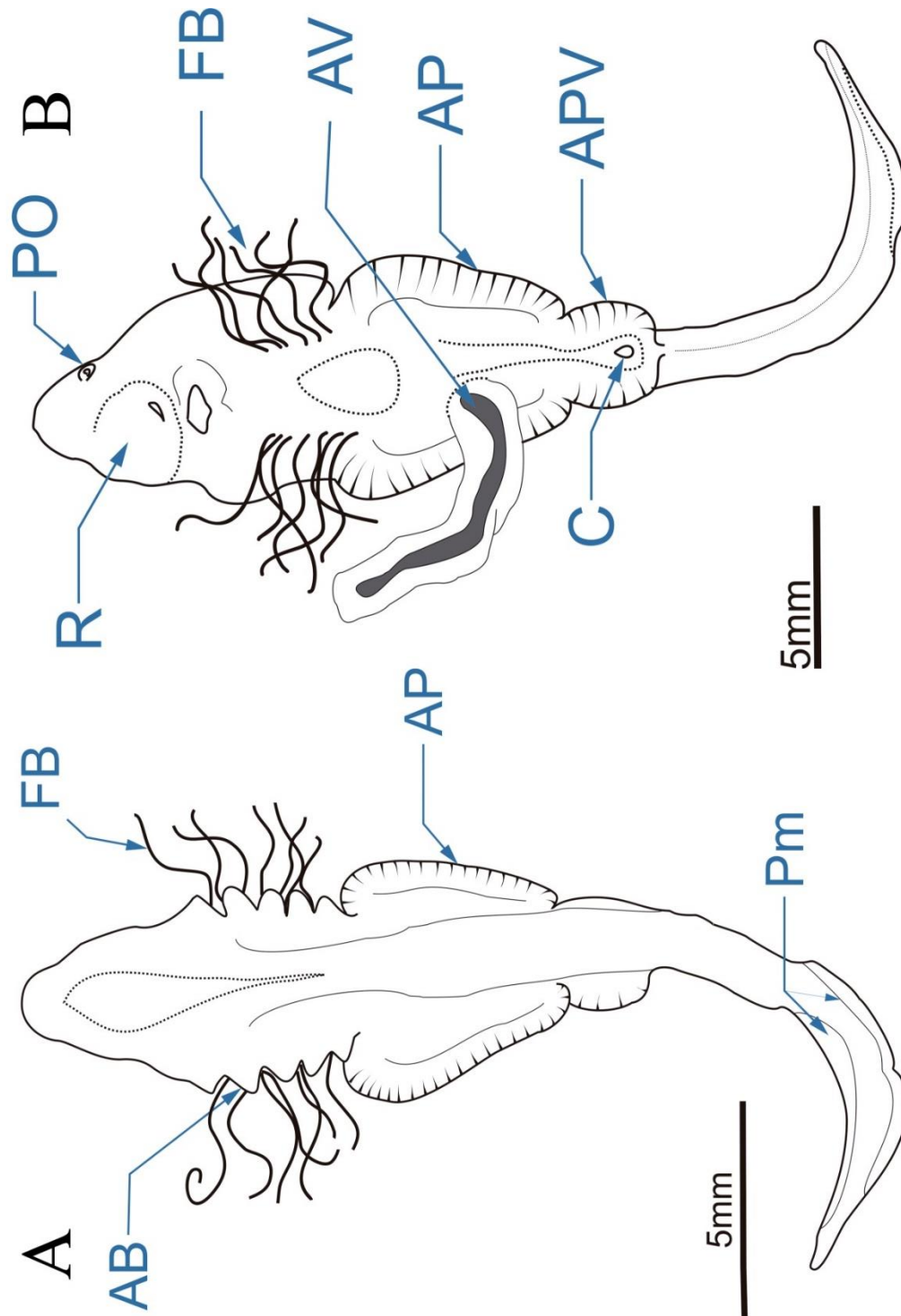


Figura 5. Esquemas de embriones de *Potamotrygon magdalenae* en el estadio 2 en vista dorsal (A) y ventral (B); AB: arcos branquiales; PO: placa óptica; FB: filamentos braquiales; APV: aletas pélvicas; Cl: cloaca; R: Rostrum; Pm: Pliegues membranosos caudales; AV: Arteria vitelina.

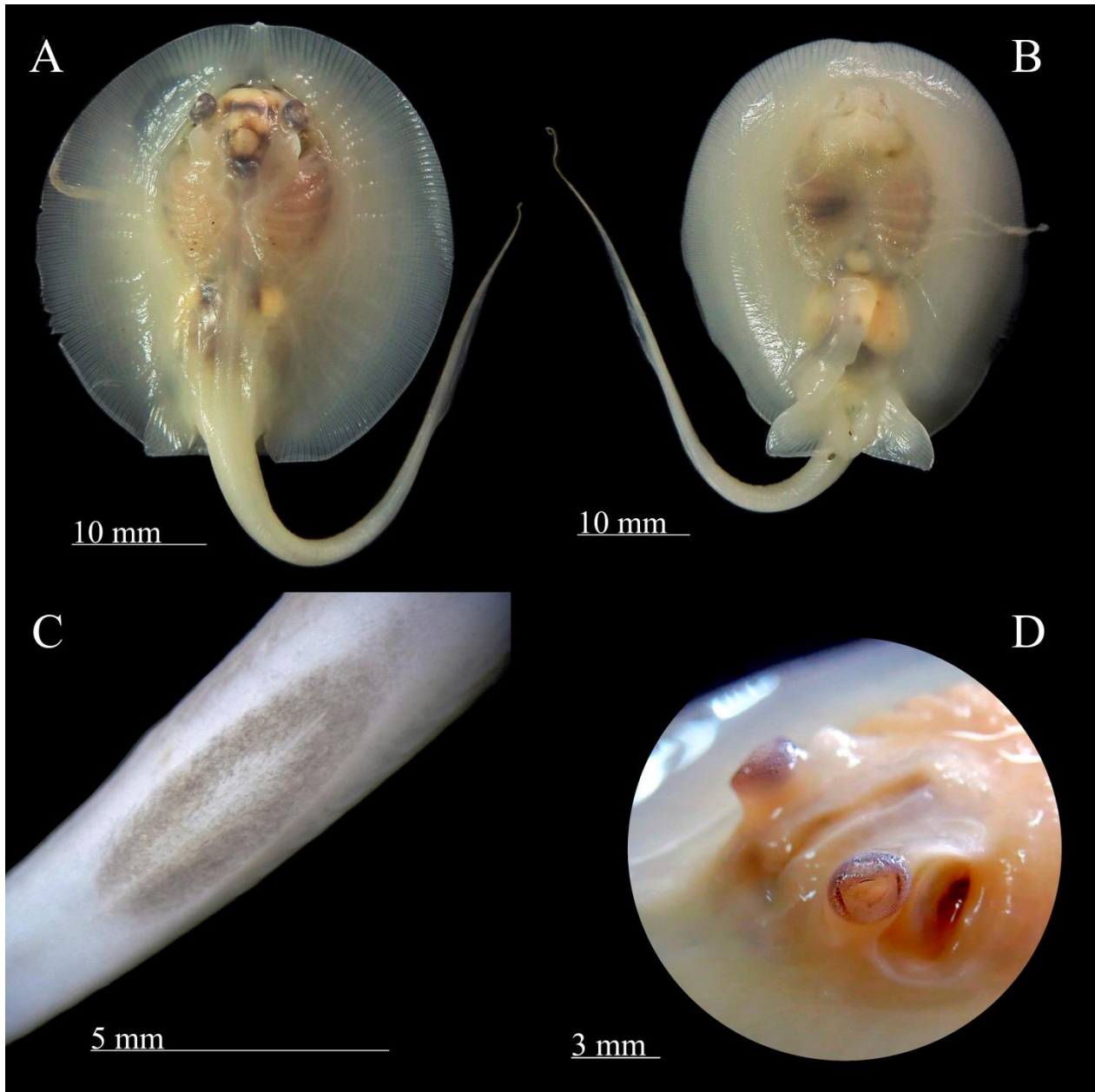


Figura 6. Fotografías estadio 3 (organogénesis) de desarrollo de *Potamotrygon magdalenae*; (A): vista dorsal del embrión; (B): vista ventral; (C): detalle de la mancha caudal en la región media de la cola; (D): detalle vesícula óptica.

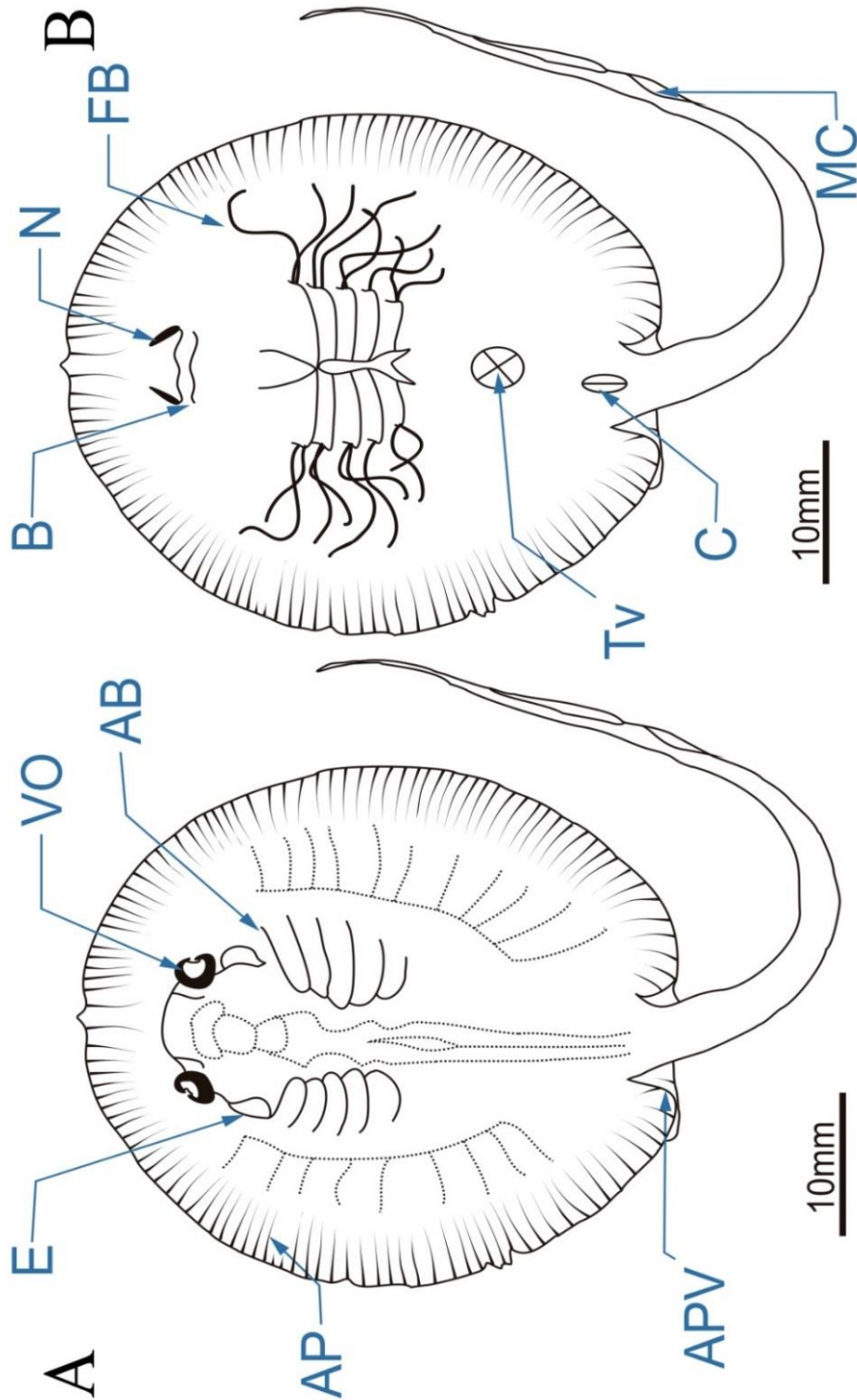


Figura 7. Esquema embrión de *Potamotrygon magdalenae* en estadio 3. (A) vista dorsal, (B) vista ventral. E: espiráculo; VO: vesícula óptica; FB: filamentos branquiales; AP: aleta pectoral; AB: Arcos branquiales; APV: aleta pélvica; MC: mancha caudal; CL: cloaca; Tv: Tallo vitelino; N: Narinas; B: Boca.

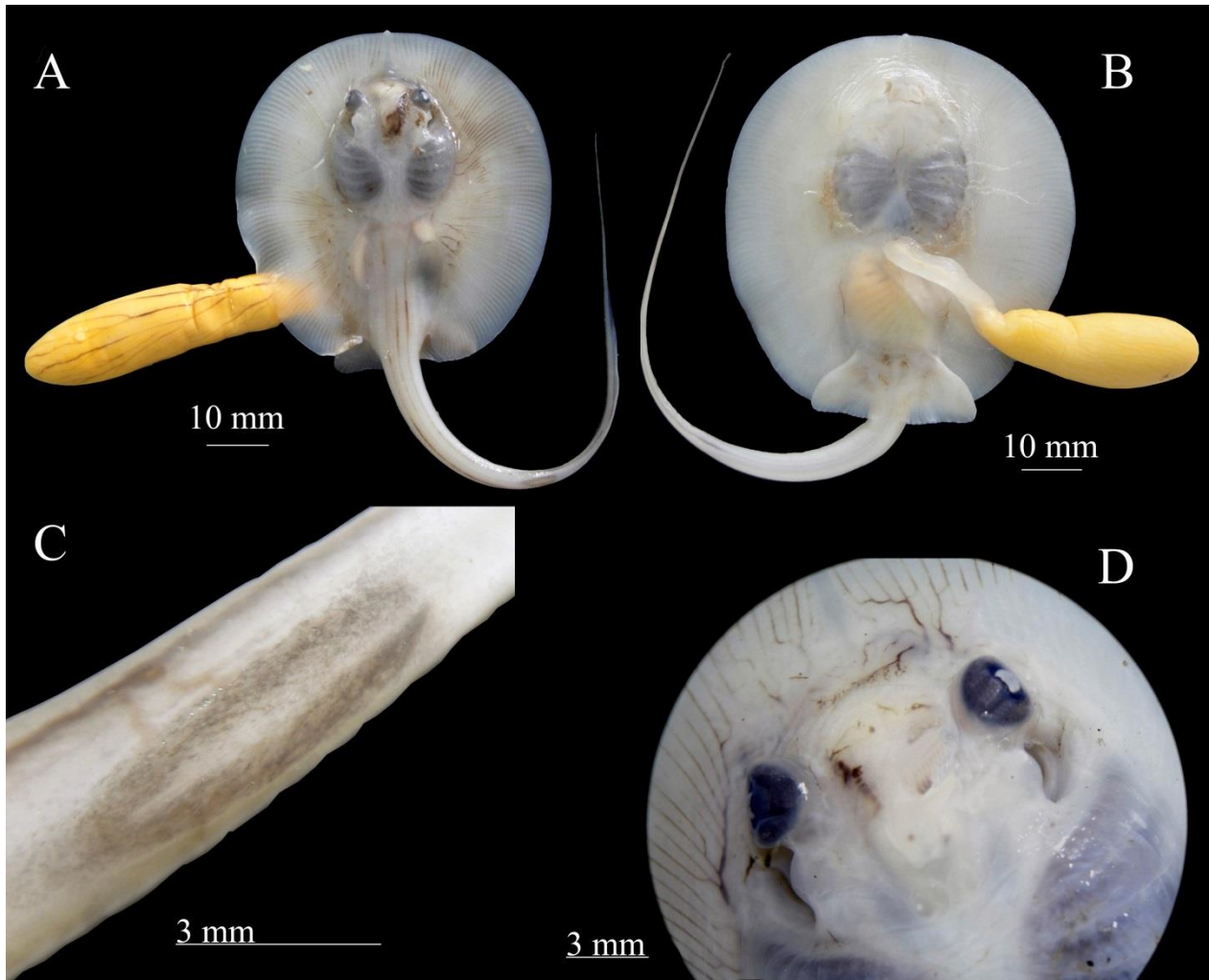


Figura 8. Fotografías del estadio 4 (organogénesis tardía) de *Potamotrygon magdalenae*. (A): vista dorsal; (B): vista ventral; (C): detalle de leve queratinización de lo que será la espina caudal; (D): detalle del glóbulo ocular.

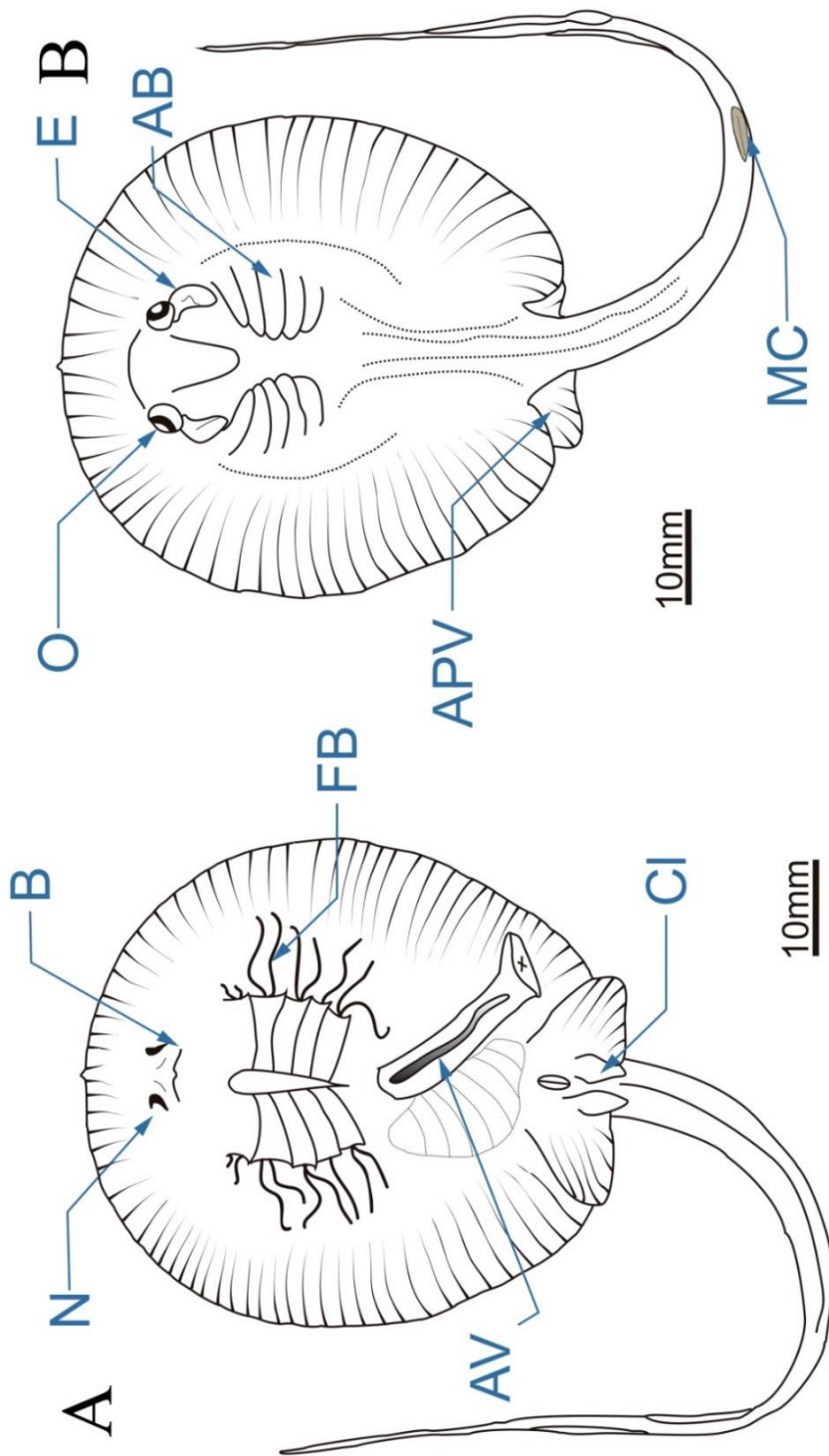


Figura 9. Esquema de embrión de *Potamotrygon magdalenae* en estadio 4, vista ventral (A), vista dorsal (B) O: Ojos; E: Espiráculo; MC: Mancha caudal; FB: Filamentos branquiales; APV: Aletas pélvicas; AB: Arcos branquiales; N: Narinas; B: Boca; CL: Cláspes; AV: Arteria vitelina.

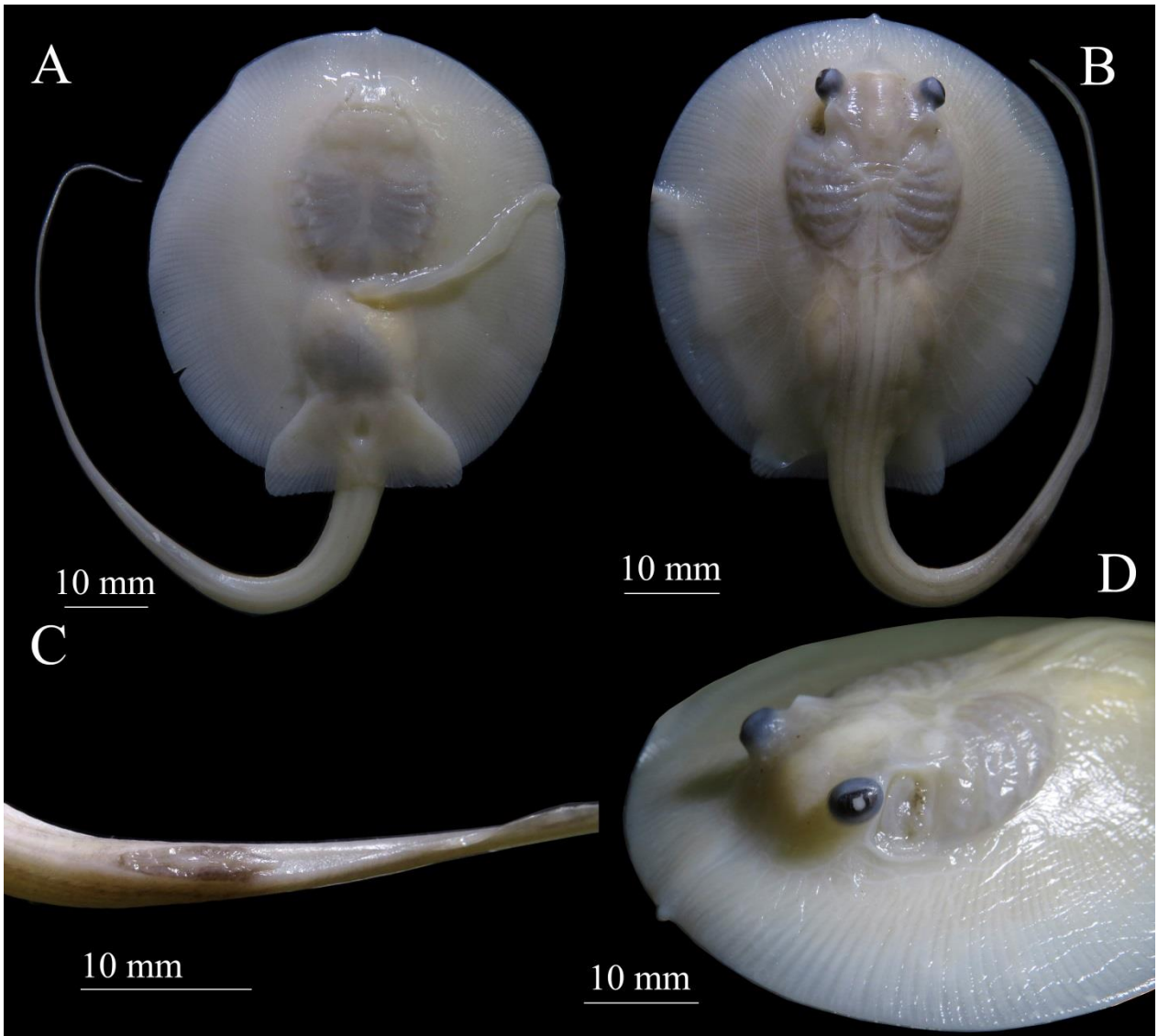


Figura 10. Fotografías del estadio 5 de desarrollo en *Potamotrygon magdalenae*. (A): vista ventral; (B): vista dorsal; (C): detalle del desarrollo de la espina caudal; (D): detalle del globo ocular y Válvula espiracular.

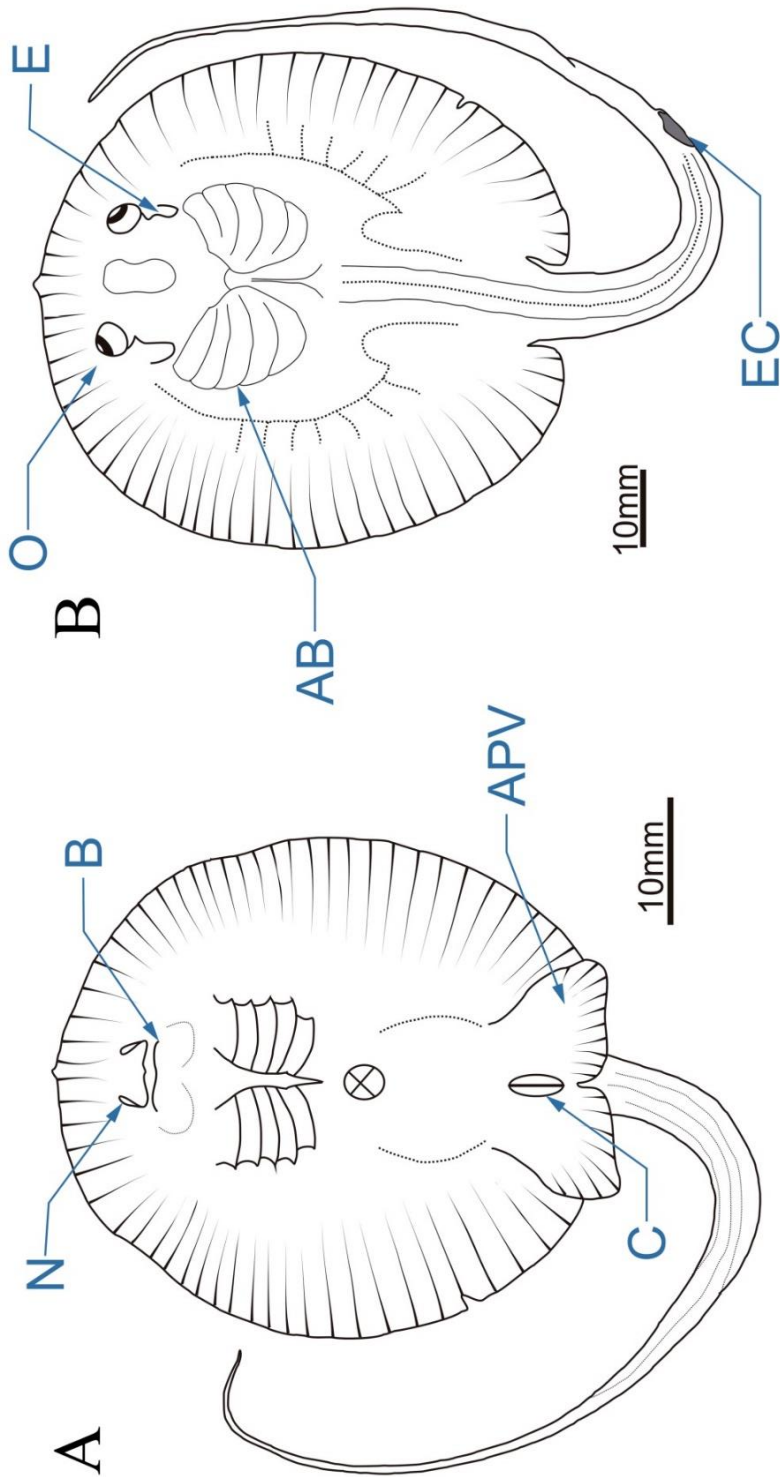


Figura 11. Esquemas de un embrión de *Potamotrygon magdalenae* en estadio 5, vista ventral (A) APV: Aleta pélvica; C: Cloaca; B: Boca; N: Narinas. Vista dorsal (B). O: Ojos; EC: Espina caudal; AB: Arco branquial; E: Espiráculo.

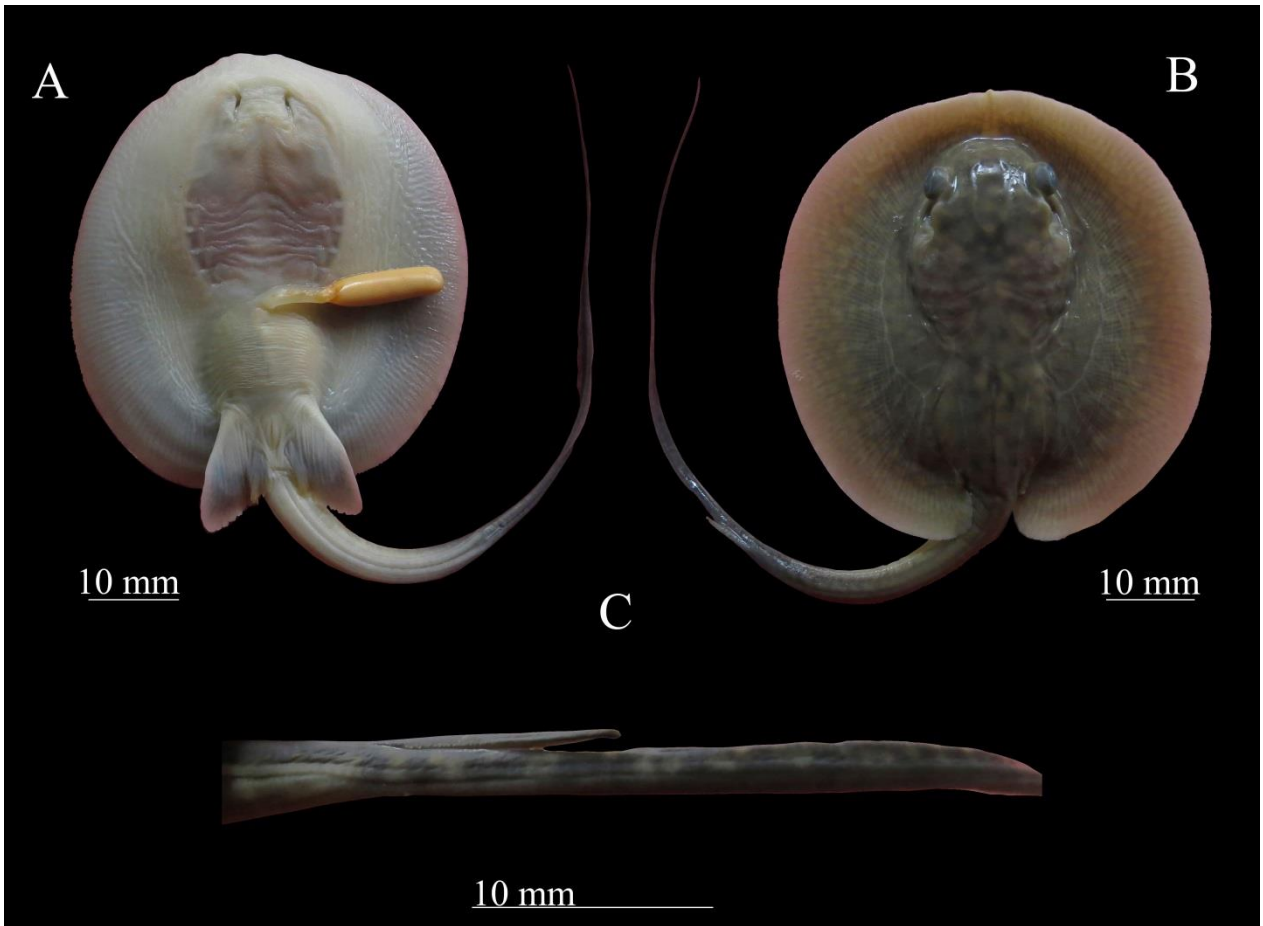


Figura 12. Fotografías del estadio 6 de *Potamotrygon magdalenae* (A): embrión vista ventral; (B): vista dorsal; (C): detalle espina caudal (punta redondeada).



Figura 13. Fotografía de la disección de hembras grávidas de *Potamotrygon magdalenae*. (A): los asteriscos muestran fetos desarrollándose en los dos úteros; (B): la punta de flecha muestra al único feto en el útero izquierdo.

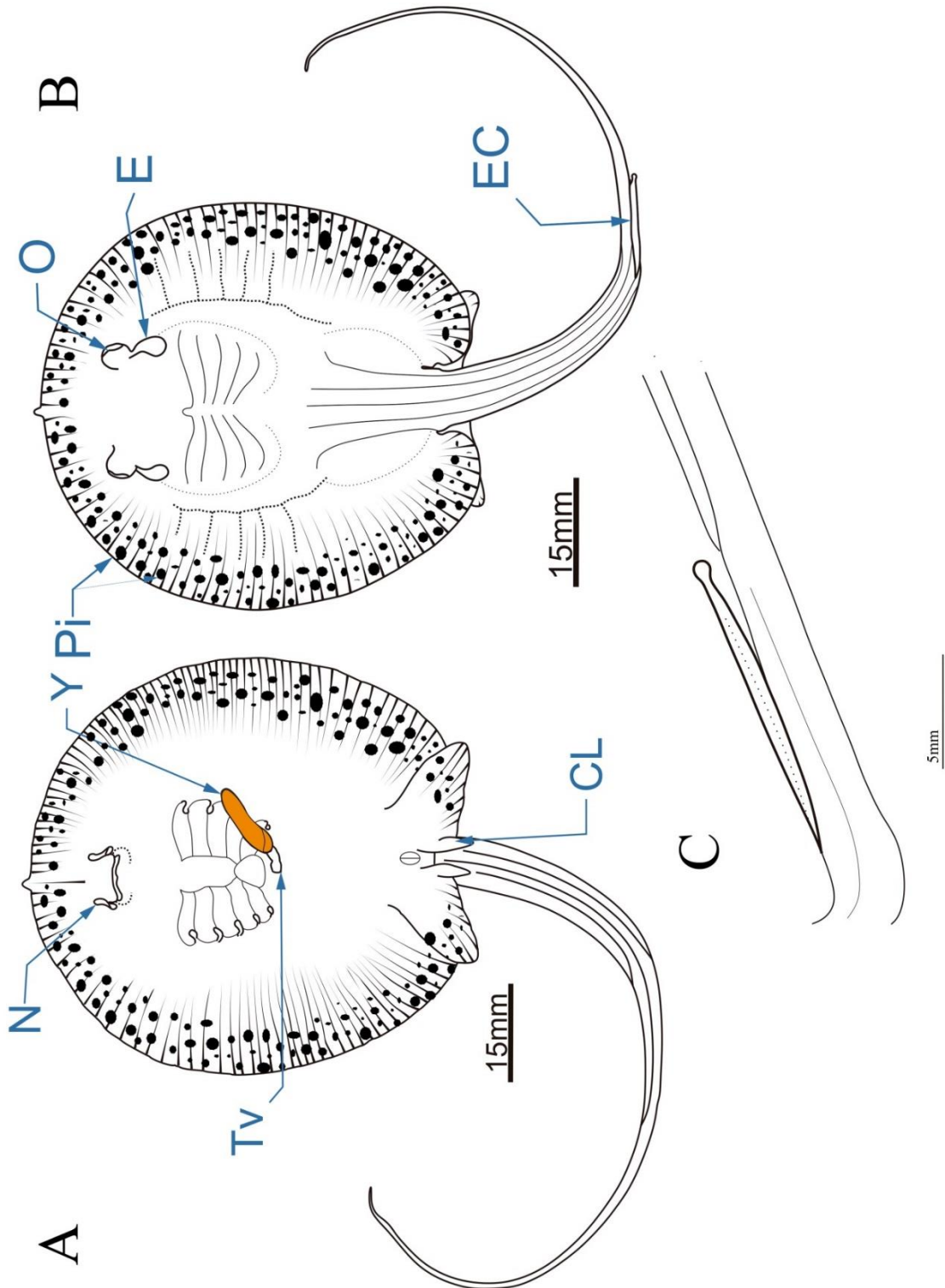


Figura 14. Esquema del feto en estadio 6 de *Potamotrygon magdalenae* Vista dorsal (A) vista ventral (B) Esquema detalle espina caudal (C). Pi: pigmentación corporal; Y: Yema; CL: cláspes; Tv: Tallo vitelino; N: Narinas; O: ojos; E: espiráculos.

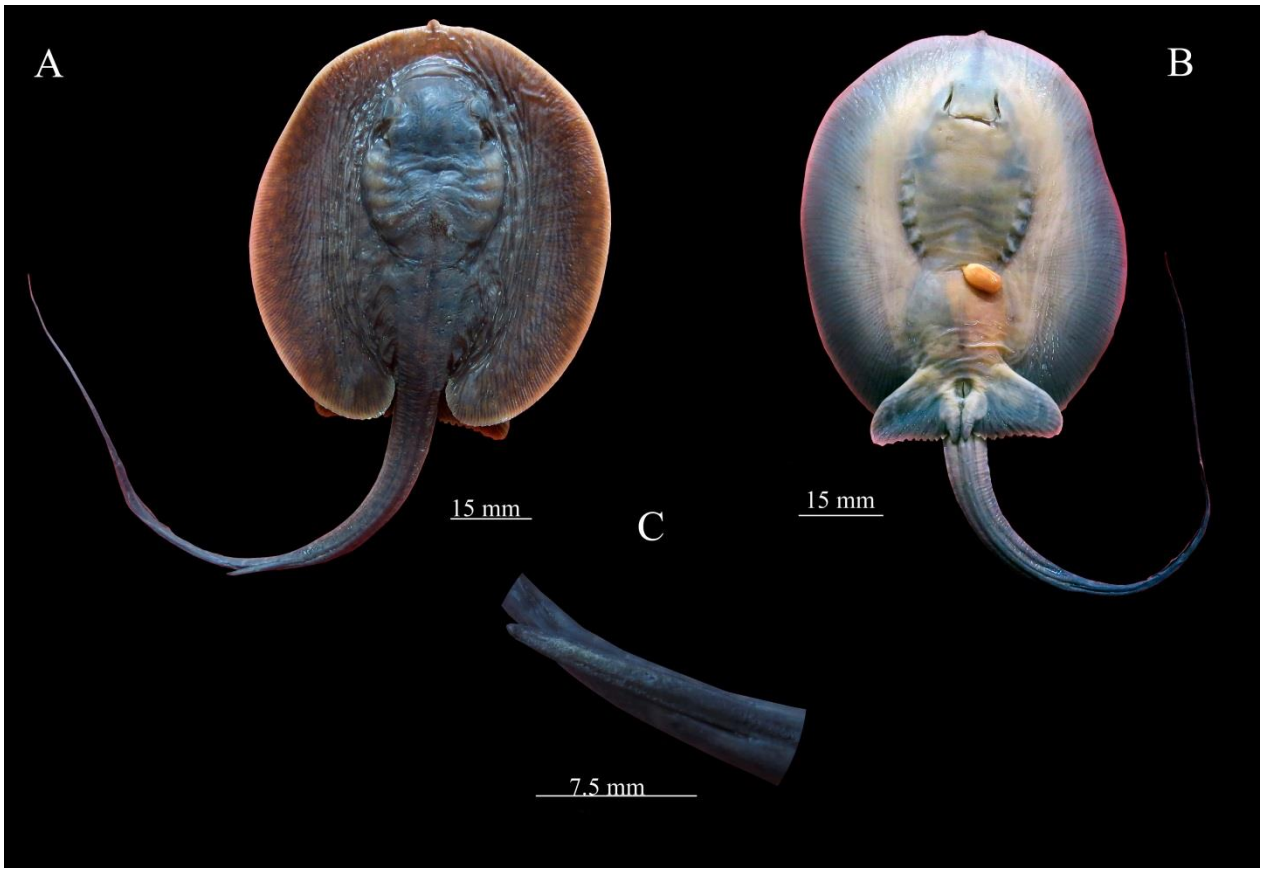


Figura 15. Fotografías feto en estadio 7 (pre- alumbramiento) de *Potamotrygon magdalenae*. (A) Vista Dorsal, (B) Vista ventral, (D) Detalle de la espina caudal.

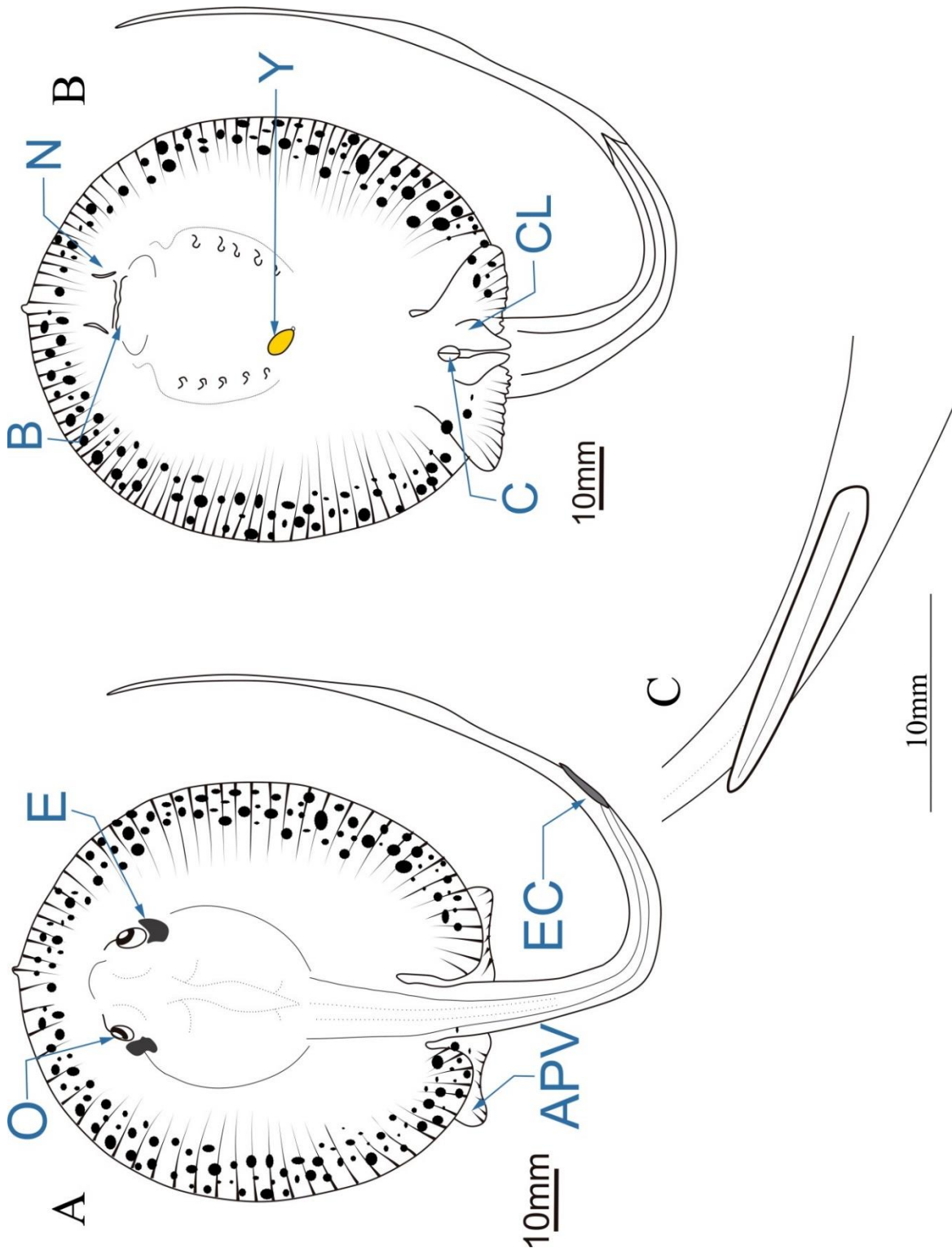


Figura 16. Esquema general de feto pre-alumbramiento de *Potamotrygon magdalenae*. (A) Vista dorsal, (B) vista ventral, (C) esquema detalle espina caudal. Y: yema; EC: espina caudal; CL: Cláspes; C: Cloaca; E: espiráculos; O: Ojos; APV: Aletas pélvicas; B: Boca; N: Narinas.

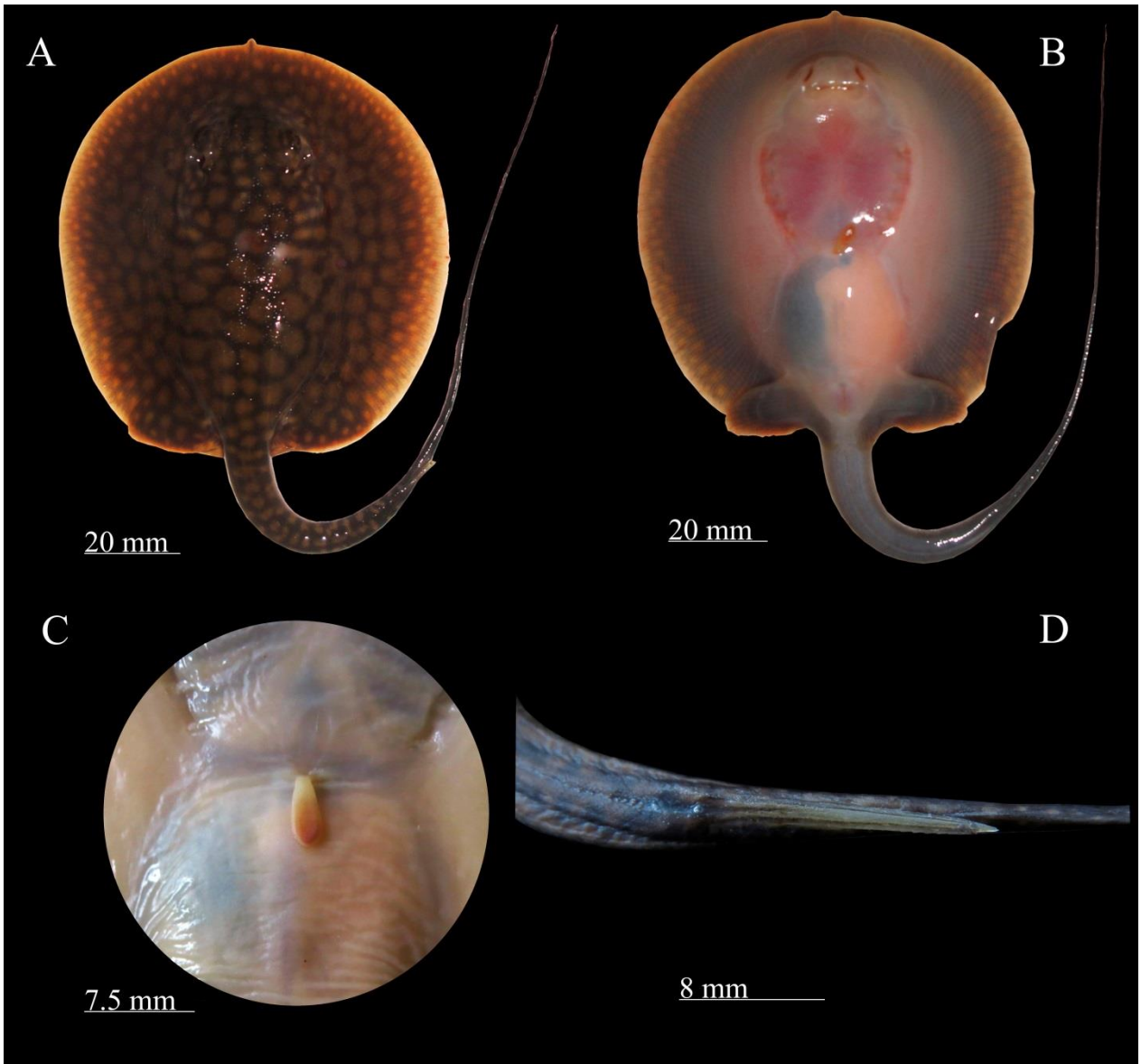


Figura 17. Fotografías de neonato estadio 8 de *Potamotrygon magdalenae*. (A): Vista dorsal; (B): Vista ventral (C): Detalle rezago del saco vitelino; (D): Detalle espina caudal.

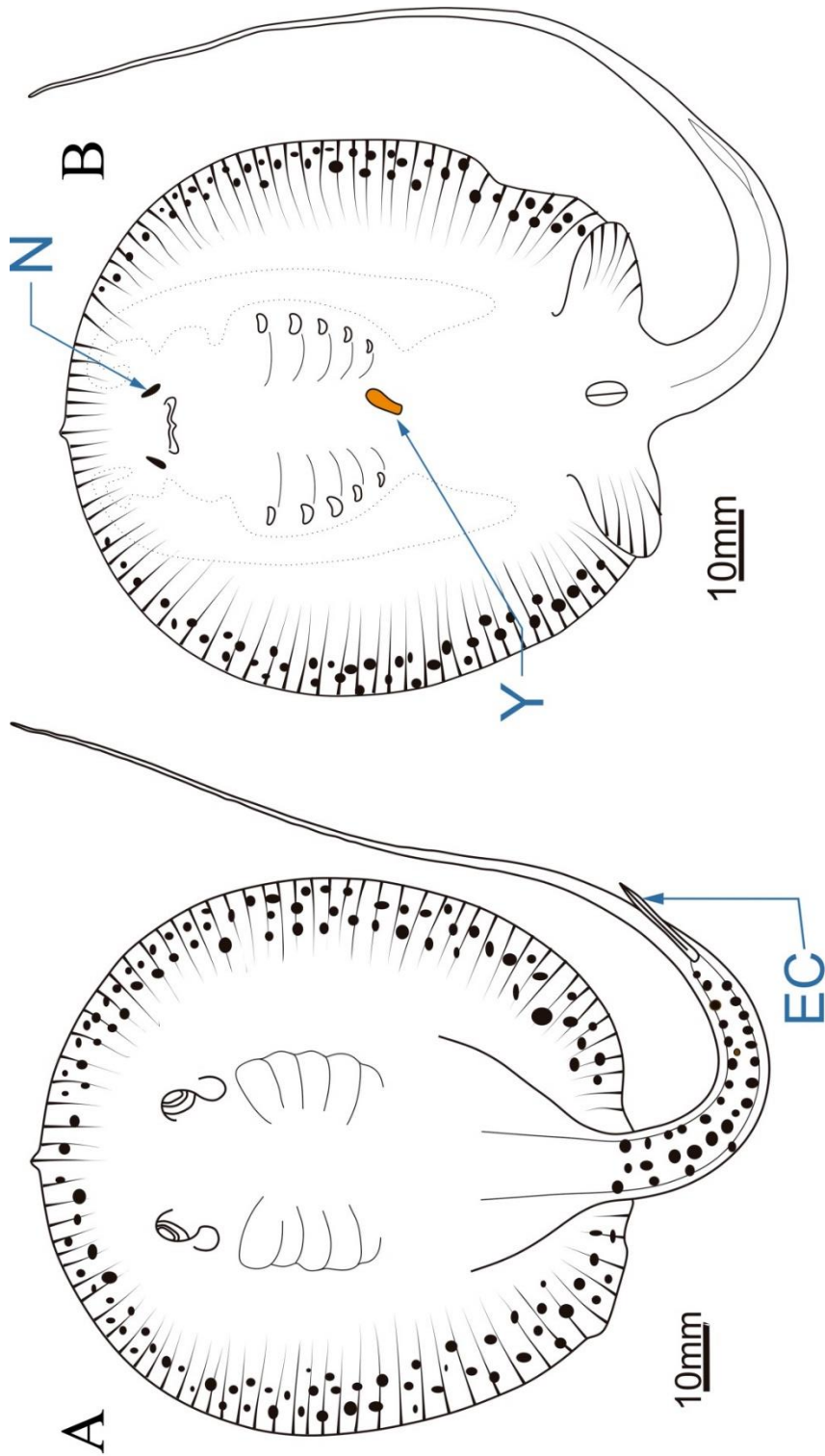


Figura 18. Esquema de un neonato de *Potamotrygon magdalenae* en estadio 8, vista dorsal (A), vista ventral (B). EC: espina caudal; N: narinas; Y: yema.

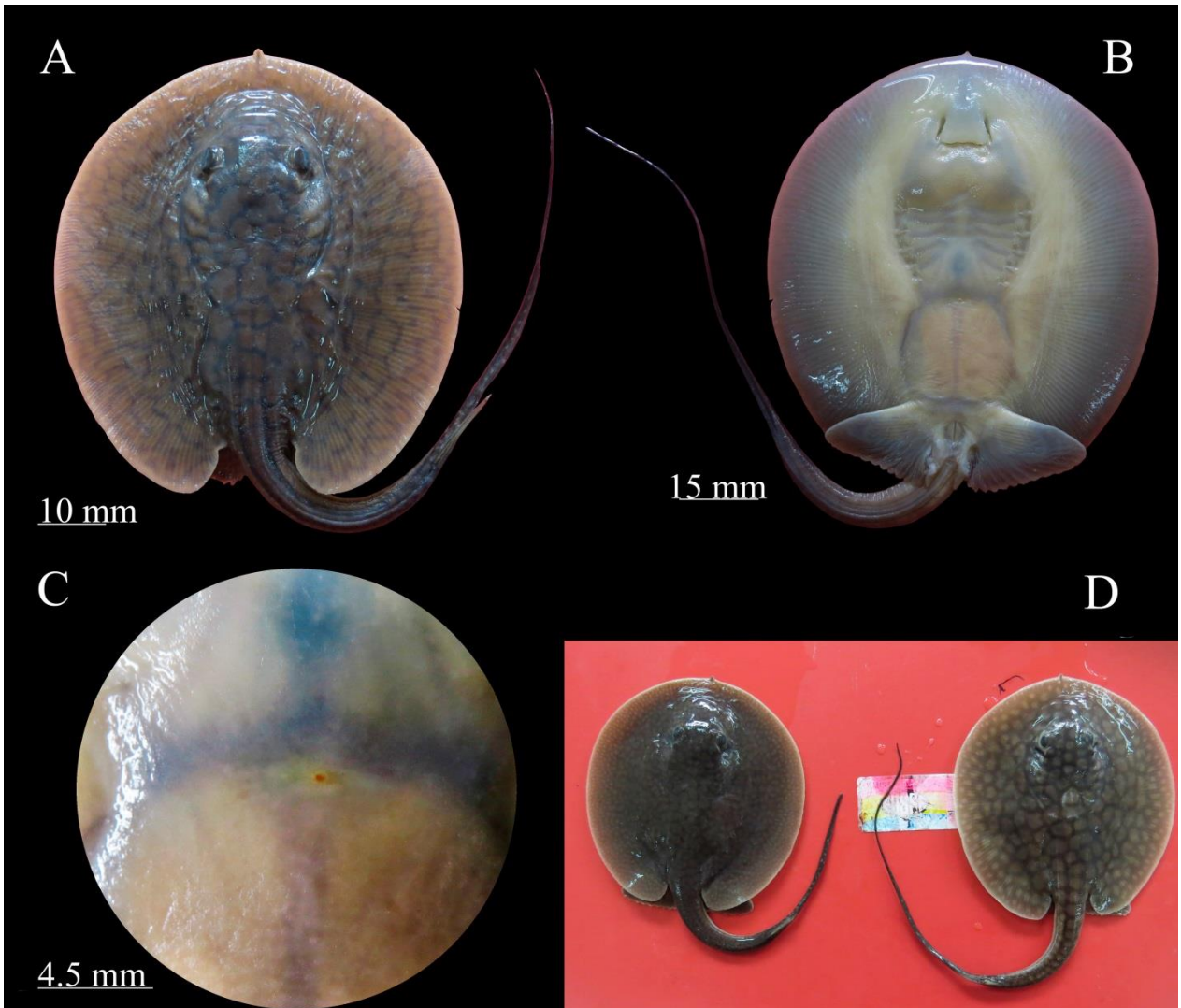


Figura 19. Fotografías estadio 9 (Juveniles) de *Potamotrygon magdalenae*. (A): vista dorsal; (B): vista ventral; (C): detalle de la cicatriz umbilical; (D): fotografía de los dos patrones de coloración encontrados.

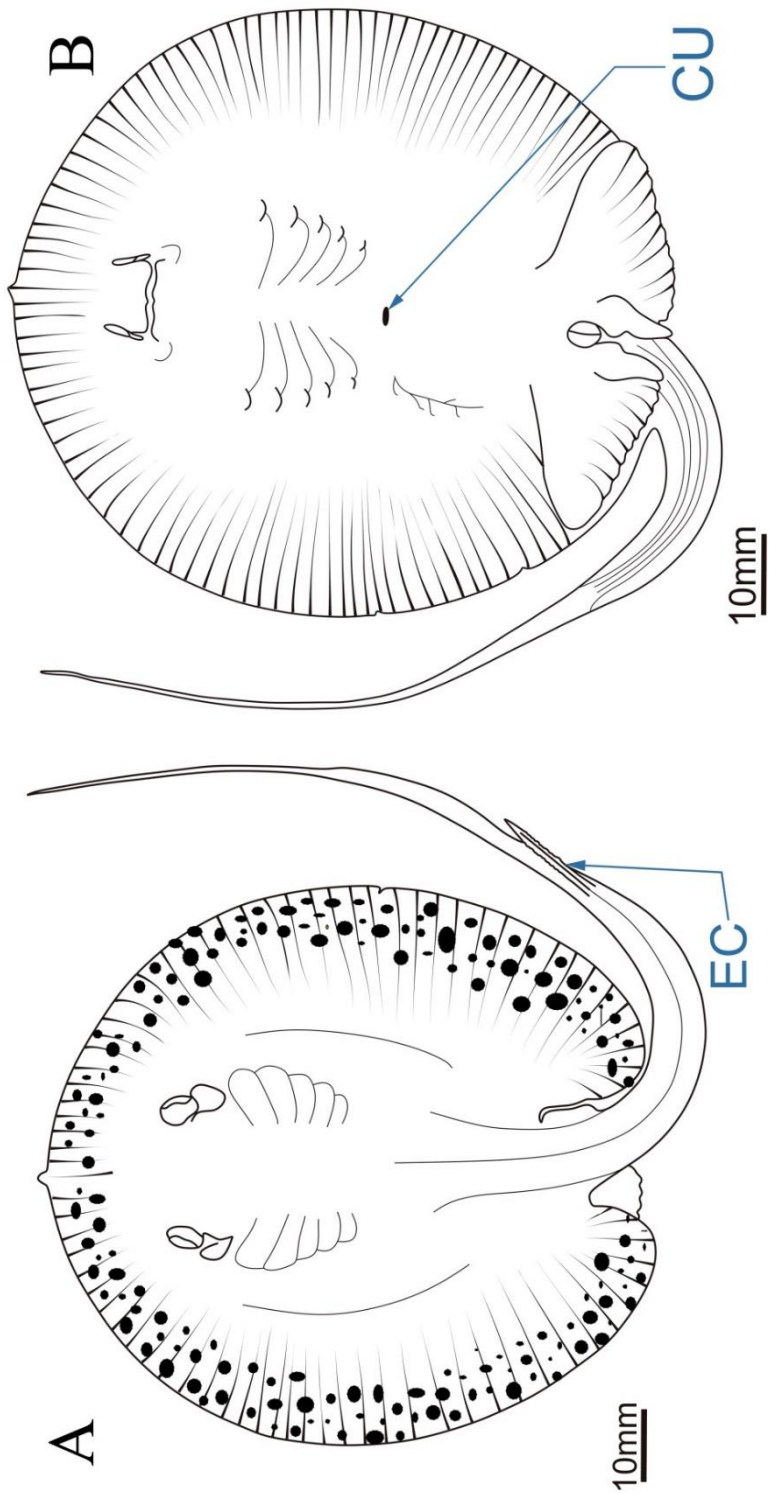


Figura 20. Esquema de individuo juvenil de *Potamotrygon magdalenae* en vista dorsal (A), vista ventral (B). CU: Cicatriz umbilical, EC: espina caudal.