DESCRIPCIÓN HISTOLÓGICA DE LA ORGANOGÉNESIS EN EL DESARROLLO EMBRIONARIO DEL PEZ GUPPY *Poecila reticulata*

DANIELA GONZÁLEZ LOZANO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN
PROYECTO CURRICULAR DE LICENCIATURA EN BIOLOGÍA
BOGOTÁ D.C.
2024

DESCRIPCIÓN HISTOLÓGICA DE LA ORGANOGÉNESIS EN EL DESARROLLO EMBRIONARIO DEL PEZ GUPPY *Poecila reticulata*

DANIELA GONZÁLEZ LOZANO

Trabajo de Grado para optar al título de Licenciado en Biología

Director
JULIÁN YESSID ARIAS PINEDA

Evaluador
ALEXANDER GARCÍA GARCÍA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN
PROYECTO CURRICULAR DE LICENCIATURA EN BIOLOGÍA
BOGOTÁ D.C.
2024

Dedicatoria

Este trabajo de grado está dedicado a unas personas muy especiales en mi vida sin las cuales esto no hubiera sido posible

A la Margarita más linda que han visto mis ojos, abuelita gracias por tu amor incondicional.

A Diana Alejandra que, con su amor, motivación, apoyo, me dio las fuerzas necesarias para no rendirme.

A mi madre que con su amor me demuestra que todo es posible.

Agradecimientos

A **Steeven Flores** por su apoyo, orientación y dedicación, fueron fundamentales en cada etapa de este proyecto. Agradezco su disposición y su tiempo y para revisar este trabajo.

A el profe **Julián Arias** por haberme dado la oportunidad de trabajar con él y darme la confianza de finalizar este proyecto.

A **Kumangui** por haberme acogido en su laboratorio y haberme brindado las herramientas necesarias para la realización de este trabajo de grado

CONTENIDO

RESUMEN 1
ABSTRAC 1
INTRODUCCIÓN 2
PECES EN COLOMBIA 3
DESARROLLO EMBRIONARIO EN PECES 4
EMBRIOLOGÍA 5
HISTOLOGÍA 5
IMPORTANCIA DE LA FAMILIA POECILIIDAE 6
DESARROLLO EMBRIONARIO EN POECILIIDAE 8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 8
JUSTIFICACIÓN 10
OBJETIVOS 11
Objetivo General 11
Objetivos Específicos 11
METODOLOGÍA 12
RESULTADOS Y ANÁLISIS 13
INICIO DE LA ORGANOGÉNESIS 13
ESTADIO 5. Descripción de órganos. 13
ESTADIO 6. Descripción de órganos. 18
ESTADIO 7. Descripción de órganos 24
ESTADIO 8. Descripción de órganos. 27
ESTADIO 9. Descripción de órganos. 32
ESTADIO 10. Descripción de órganos 34
CONCLUISONES 37
REFERENCIAS 38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Corte longitudinal de embrión. 4x. 13
Figura 2. Copa retiniana. 10x. 13
Figura 3. Cabeza de embrión 10x. 15
Figura 4. Corte encéfalo. 10x. 15
Figura 5. Corte encéfalo 40x. 15
Figura 6. Corte encéfalo. 100x 16
Figura 7. Corte de un vaso sanguíneo en el encéfalo. 100x. vaso sanguíneo de gran calibre 17
Figura 8. Corte capilar en el encéfalo. 100x. 17
Figura 9. Corte transversal. 100x. 17
Figura 10. Corte transversal. 100x. 17
Figura 11. Corte de embrión en organogénesis. 4x. 18
Figura 12. Corte longitudinal de corazón. 40x. CP: cavidad pericárdica. 18
Figura 13. Corte de ojo. 40x. 19
Figura 14. Corte de superficie anterior del cristalino. 100x. 19
Figura 15. Corte longitudinal de telencéfalo. 40x. 19
Figura 16. Corte transversal de riñón en formación. 40x. 20
Figura 17. Corte transversal de intestino. 40x ➔: células caliciformes. ES: epitelio simple cilíndrico. CR: células de revestimiento 20
Figura 18. Corte transversal hepatopáncreas. 40x. 21
Figura 19. Corte longitudinal de abdomen. 40x. 21
Figura 20. Adipocitos. 100x. 21
Figura 21. Corte longitudinal de músculo. 100x. 22
Figura 22. Corte transversal de músculo. 40x. 22
Figura 23. Corte transversal de cola de embrión. 40x. 23
Figura 24. Corte transversal de disco intervertebral. 100x. 23
Figura 25. Corte transversal de embrión. 4x. 24
Figura 26. Corte longitudinal embrión. 4x. 24
Figura 27. Corte longitudinal de cabeza. 40x. CAR: tejido cartilaginoso. 24
Figura 28. Laguna de tejido cartilaginoso. 100x. 24
Figura 29. Corte longitudinal de branquia. 40x. ∗: células cartilaginosas ➔: vasos sanguíneos. F: filamentos branquiales. L: láminas branquiales. AAB: arteria de gran calibre de arco branquial. A-: arterias de menor calibre. 25
Figura 30. Corte transversal de branquia. 40x. 25
Figura 31. Arco branquial. 10x. AB: células cartilaginosas del arco branquial. TM: túnica muscular. ➔: lámina basal 26
Figura 32. Corte de arco braquial. 40x. 26
Figura 33. Corte transversal de bazo. 40x. B: pulpa blanca. R: pulpa roja. ➔: capsula. Círculo rojo: trabéculas. 26
Figura 34. Corte longitudinal de embrión. 4x. O: ojo. BR: branquias. MUS: músculos (miocitos). INT: intestino. HP: hepatopáncreas. ADP: tejido adiposo. RÑ: riñón. VN: vejiga natatoria. 27
Figura 35. Corte retina. 100x. 1: coroides. 2: epitelio pigmentario. 3: conos y bastones. 4: nuclear externa. 28
Figura 36. Fibras de cristalino. 100x. 28

Figura 37. Corte transversal de intestino. 10x INT: intestino. TA: tejido adiposo. HP: hepatopáncreas. BZ: bazo 28
Figura 38. Corte transversal de intestino. 40x. TA: tejido adiposo. 29
Figura 39. Corte transversal de intestino. 40x. 29
Figura 40. Corte transversal de tórax. 10x. VN: vejiga natatoria. 30
Figura 41. Corte transversal de branquia. 40x. ➔: lámina basal. AB: arco braquial. L: lámina F: filamento. AAB: arteria de gran calibre del arco braquial. 30
Figura 42. Corte transversal de músculo. 40x 31
Figura 43. Fibras musculares 40x. 31
Figura 44. Cara ventral de embrión. 32
Figura 45. Vista dorsal cabeza de Guppy. 4x. 32
Figura 46. Corte de corazón. 40x. 32
Figura 47. Cartílago cara dorsal. 10x NR: narinas 33
Figura 48. Cartílago en proceso de osificación. 40x. CF: cartílago fetal. 1: cartílago en proliferación. ➔: cartílago hipertrófico 33
Figura 49. Tejido muscular. 40x 33
Figura 50. Corte transversal. 100x. 34
Figura 51. Corte transversal de branquia. 40x. CT: cartílago. Circulo: cartílago en proliferación. ➔: matriz de hueso 34
Figura 52. Corte transversal de branquia. 100x. ➔: matriz. *: cartílago maduro en osificación. Circulo: grupos isogénicos 34
Figura 53. Corte transversal de vejiga natatoria 40x 35
Figura 54. Corte transversal de vejiga natatoria. 100x. GR: glóbulos rojos. ➔: rete mirabile 35

RESUMEN

Poecilia reticulata, es una especie de la Familia Poeciliidae, con una amplia distribución geográfica desde América del Sur, Centro América, y Sur América. Son peces ovovivíparos. Con dimorfismos sexual, los machos poseen un órgano copulador denominado gonopodio y las hembras presentan una mancha en la región abdominal. Al poseer fecundación interna, las hembras de esta especie tienen una adaptación especifica denominada superfetación, en la cual mantienen embriones de diferentes estadios en la región abdominal hasta el desove. La descripción histológica del desarrollo embrionario de *Poecilia reticulata* es necesaria para comprender aspectos fundamentales de la embriología, biología y reproducción de los peces ovovivíparos. Este estudio investigativo se enfocó en la observación histológica de la organogénesis durante el desarrollo embrionario de *Poecilia reticulata,* centrándose en el desarrollo y la descripción detallada de los órganos característicos de cada etapa, se describieron cinco estadios embrionarios a nivel histológico, empleando protocolos con hematoxilina y eosina logrando la observación de esbozos de tejidos y órganos. Esta descripción se llevó a cabo mediante el análisis bajo microscopio de montajes de cotes histológicos realizados en el laboratorio de histopatología de la Universidad Nacional de Colombia. Los principales hallazgos corresponden a la descripción histológica de la vejiga natatoria donde se observaron glándulas de gases y la presencia de rete mirabile; y en el hepatopáncreas se registró su componente pancreático y hepático. Este trabajo postula la importancia de la organogénesis en *Poecilia reticulata* como un modelo significativo para la biología del desarrollo, así como su relevancia en acuicultura y conservación de las especies.

Palabras clave: Embriología, Organogénesis, Peces, ovovivíparos.

ABSTRAC

Poecilia reticulata, is a species of the Family Poeciliidae, with a wide geographic distribution from South America, Central America, and South America. They are ovoviviparous fish. With sexual dimorphism, males have a copulatory organ called gonopodium and females have a spot in the abdominal region. Due to internal fertilization, the females of this species have a specific adaptation called superfetation, in which they maintain embryos of different stages in the abdominal region until spawning. The histological description of the embryonic development of Poecilia reticulata is necessary to understand fundamental aspects of the embryology, biology and reproduction of ovoviviparous fishes. This research study focused on the histological observation of organogenesis during the embryonic development of Poecilia reticulata, focusing on the development and detailed description of the characteristic organs of each stage, five embryonic stages were described histologically, using protocols with hematoxylin and eosin, achieving the observation of tissue and organ outlines. This description was carried out by means of the analysis under microscope of histological cotes assemblies made in the histopathology laboratory of the National University of Colombia. The main findings were the description of the swim bladder Where gas glands were observed and the presence of rete mirabile; and in the hepatopancreas, its pancreatic and hepatic components were recorded. This paper postulates the importance of organogenesis in Poecilia reticulata as a significant model for developmental biology, as well as its relevance to aquaculture and species conservation.

Keywords: Embriology, Organogenesis, Fish, ovoviviparous.

INTRODUCCIÓN

El origen de los peces se remonta al periodo devónico, hace aproximadamente 300 millones de años. Los peces pertenecen a un grupo parafilético del reino animal, subfilo vertebrata, en el cual también están los anfibios (ranas, sapos, salamandras y cecilias), reptiles (lagartijas, lagartos, serpientes y tortugas), aves y mamíferos. Una de las características más relevantes de los vertebrados es la presencia de una notocorda en los especímenes basales, la cual es reemplazada por una columna vertebras en individuos derivados (Campos, 1997). En términos generales, los peces son animales acuáticos, provistos de columna vertebral, con respiración branquial y apéndices locomotores denominados aletas (Barzola, 2019).

Los peces, son poiquilotermos, es decir, la regulación de la temperatura depende de las condiciones ambientales, su dermis está cubierta de escamas, fundamentales para la protección del animal en el medio, este grupo de vertebrados es el más abundante con estimaciones de más de 25.000 especies vivas, 483 familias y 57 órdenes (Mancini, 2002).

Existen dos grandes grupos que clasifican a los peces por sus diferentes caracteres: los agnatos y los gnatostomados, los primeros sin presencia de mandíbula, este grupo comprende aproximadamente 100 especies vivas y gran número de formas fósiles, y, los segundos con mandíbula, lo que les permite abrir y cerrar la boca, en este último grupo, hay una subdivisión; los condrictios como los tiburones, rayas y quimeras, que poseen esqueleto cartilaginoso, escamas placoideas, de 5 a 7 láminas de branquias y varias hileras de dientes puntiagudos; y los osteíctios que comprende gran variedad de especímenes de aguas continentales y marítimas, son peces con estructura óseas, respiración braquial, cuerpo lateral y dorsoventralmente comprimidos (Campos, 1997).

Dentro del grupo de los peces óseos, existen dos clases sarcopterygii y actinopterygii, estos últimos, poseen el 98% de todos los peces actuales, poseen en su mayoría escamas elasmoides y ganoideas con estructuras óseas internas, de igual manera, sus aletas poseen espinas óseas, están previstos de cráneo cartilaginoso, y un par de láminas braquiales cubiertas por opérculo, no poseen coanas ni aletas en el dorso que sean independientes. Los especímenes más conocidos en este grupo son las truchas, salmones, sardinas, atunes, cíclidos, carpas, entre otros. (Hugo, 2009).

PECES EN COLOMBIA

Las cuencas hidrográficas colombianas como la del rio Amazonas, Orinoco, Magdalena-Cauca, Pacifico y Caribe, son el lugar de una amplia variedad de familias de peces con características únicas que se han adaptado a diferentes hábitats acuáticos. Actualmente, se estima que hay alrededor de 1574 especies de peces en Colombia (Chaves *et al.,* 2006).

En cuanto a la diversidad de especies se destaca que 392 de ellas son endémicas, aproximadamente el 30% de las especies son consideradas comerciales, con 106 especies destinadas al consumo humano y 351 especies ornamentales. También se registran alrededor de 106 especies de peces migratorios en Colombia.

Por otra parte, esta diversidad de peces de Colombia se ha visto amenazada por la pérdida de bosques, la erosión del suelo, la acumulación de sedimentos, la contaminación causada por aguas residuales e industriales, y la desaparición de humedales que ponen en riesgo a numerosas especies de estos organismos. Los peces desempeñan un papel fundamental en el país por su contribución tanto económica como social para la seguridad alimentaria de las poblaciones locales, especialmente aquellas que son vulnerables, además, la venta y comercialización de productos pesqueros, mejoran la economía de las comunidades costeras y ribereñas. Además, la actividad pesquera fomenta la creación de empleo y contribuye al desarrollo sostenible de las regiones (Polanco *et al.,* 2019).

Colombia es el tercer exportador de peces ornamentales del mundo, con 4´600.000 ejemplares de Inírida, 3´150.000 del Amazonas y 850.000 del Putumayo. Es poco el conocimiento que se tiene en el país sobre las actividades de pesca ornamental en aguas de la Orinoquia y Amazonia, a pesar de que la gran mayoría de especímenes que se comercializan vienen del medio natural. (Mancera *et al.,* 2014). Una de las familias más conocidas en los peces ornamentales, es la familia Poeciliidae, estos peces tienen una gran distribución a lo largo del Continente Americano, desde Estados Unidos hasta el Norte de Argentina. (Sancho, 2018) La mayoría de las especies de esta familia son de aguas continentales, y cálidas de 20 °C a 24 °C, aunque gracias a su gran tolerancia a los cambios de salinidad, se pueden encontrar en agua salobres o incluso aguas costeras, su hábitat son diversos, van desde manantiales, arroyos, estanques, agua clara, turbia o lodosa, de corrientes nulas o moderadas, con sustratos variados, con vegetación o sin ella (Anzueto, 2013).

Los poecílidos, pertenecen al Orden Cyprinodontiformes, son peces vivíparos, relativamente pequeños, la parte anterior de su cabeza es comprimida, boca protráctil y mandíbula inferior adelantada, provistos de una aleta dorsal simple. Presentan dimorfismo sexual marcado; en machos la aleta anal esta modificada en un órgano copulador. A su vez, en las hembras se observa una "mancha" en la parte anterior del ano, denominada punto grávido (Ghdotti *et al.,* 2002).

Pimentel y colaboradores, (2016) identificaron a siete especies más abundantes en Pinar del Rio, Cuba; en los que se identifican *Poecilia latipinna, Poecilia salvatoris, Poecilia sphenops, Poecilia velífera, Poecilia vivípara, Poecilia wingei y Poecilia reticulata*.

Poecilia reticulata, comúnmente conocido como pez Guppy, son peces ovovivíparos, de cuerpo pequeño que presentan dimorfismo sexual y un amplio rango de distribución demográfica, donde incluyen América del Sur, Central, del Norte y las Indias Occidentales (López *et al.,* 2021). El sistema reproductor de la hembra está constituido por ovarios en pares fusionados dentro de un saco largo vascularizado (Urriola *et al.,* 2004) y en los machos, presentan un gonopodio, que es la transformación de la aleta anal en un órgano intromitente usado para la transferencia de esperma a las hembras (López *et all.,* 2021). Una vez el macho haya depositado el esperma en la hembra, el periodo gestacional de los alevines es de 25 días aproximadamente a temperatura constante de 25 °C y agua con pH neutro. De igual manera se ha evidenciado que a temperatura bajas la gestación es más lenta Casas,. s.f.).

DESARROLLO EMBRIONARIO EN PECES

El desarrollo embrionario es un proceso biológico complejo. Kimmel (1995), explica que las etapas iniciales son por poco las mismas para todos los vertebrados. El desarrollo embrionario en peces consiste en siete etapas; el periodo cigótico, el período de clivajes, la blástula, la gástrula, la segmentación, faríngula u organogénesis y la eclosión (Barzola, 2019)

Este proceso inicia inmediatamente después de la implantación, la célula se ve como una burbuja de aire, la cual dura aproximadamente 45 minutos; el periodo de clivajes consiste en la división celular cada 15 minutos, lo que permite la acumulación de células para su próxima distinción, este proceso dependiendo del pez puede durar de 45 minutos a 2 horas. Cuando el embrión inicia el periodo de blástula, el cual dura de 2 a 5 horas, dependiendo la complejidad del pez, las células comienzan a distribuirse por el vitelo formando el disco germinal, seguido a esto, algunos órganos se lograrán visualizar y la cola será más prominente, en este punto el

embrión está en periodo de gástrula y faríngula, este proceso puede durar entre 24 a 48 horas. Las siguientes 48 a 72 horas, se podrán ir observando caracteres externos del pez, como la mandíbula, las aletas, las escamas, hasta empezar el proceso de eclosión, las larvas brotan de los huevos en diferentes tiempos y velocidades (Sancho, 2018).

EMBRIOLOGÍA

Gueimundi, (1989) describió los procesos relacionados con formación, crecimiento y los periodos juveniles dentro del huevo, los cuales constituyen varias fases.

1. *Gametogénesis,* comienza con la maduración del óvulo y formación de espermatozoides, en este punto inicia la embriogénesis (Gueimundi, 1989).
2. *Fertilización,* el espermatozoide penetra el óvulo e inicia su desarrollo (Gueimundi, 1989)
3. *Clivajes o segmentación*, el ovocito fertilizado es una sola célula, compuesta de núcleo y citoplasma, a partir de ahí, las células germinales comienzan una serie de divisiones mitóticas generando un organismo pluricelular. En este punto la célula no cambia de tamaño, ya que las segmentaciones son cada vez más pequeñas. Luego de estas divisiones verticales, las posiciones de los blastómeros cambian su organización iniciando la siguiente fase (Gueimundi, 1989).
4. *Gastrulación*, el blastodermo origina las capas germinales (ectodermo, mesodermo y endodermo), de las cuales se derivan los diferentes órganos (Gueimundi, 1989) La primera estructura embrionaria que se forma es el gastrocele que da origen a la cavidad del sistema digestivo (Gordillo, L. 2017).
5. *Faríngula u organogénesis*, subdivisión del embrión, las capas germinales se separan en grupos para generar cada órgano, luego de esto se observa crecimiento y diferenciación histológica, tomando propiedades bioquímicas que permiten la realización de diferentes funciones, que llevan al organismo a una vida independiente (Gueimundi, 1989).

HISTOLOGÍA

El objeto de estudio de la histología son los tejidos y las células que los componen, para esto se utilizan dos herramientas fundamentales que les sirven para visualizar las microestructuras celulares, estas herramientas son; la microscopia y las técnicas histológicas. Existen diferentes técnicas histológicas las cuales se basan en una serie de pasos que permiten preparar los

diferentes tejidos para su posterior observación en el microscopio de campo claro. La técnica más común para disponer el tejido es una inclusión en parafina. En esta técnica la muestra es introducida en bloques con esta sustancia (parafina), para posteriormente llevarlos a corte a una maquina llamada micrótomo, en la cual se obtienen cortes extremadamente delgados (de micrómetros de espesor), lo que permite observar las estructuras celulares y tisulares de la muestra. Seguido a esto, comienza un proceso de tinción, el cual da una información más detallada del individuo, estas tinciones dan diferentes colores a la muestra indicando estructuras específicas. Estas tinciones pueden ser: monocrómicos; colores azulados, bocrómicos; azul/morado o rosa/naranja o tricrómicos; rojo/azul rey o amarillo/ verde o rojo/verde brillante. (Guerrero, 2017).

Brusco y colaboradores (2014) determinaron la importancia de estudiar histología, ya que es un complemento de la morfología de los individuos, dado que da conocimientos estructurales de los diferentes organismos y así poder comprender el funcionamiento normal de órganos y tejidos y las posibles bases patológicas que se puedan presentar.

IMPORTANCIA DE LA FAMILIA POECILIIDAE

La familia Poeciliidae comprende 22 géneros y 180 especies reconocidas, con una amplia distribución que va desde Estados Unidos hasta el noroeste de Argentina. Los estudios de esta familia de peces son de gran importancia, ya que las investigaciones sobre su biología de desarrollo han clarificado diferentes relaciones evolutivas las cuales han sido relevantes para su conservación y el conocimiento de su viviparidad (Sancho, 2018).

Los poecilidos, tiene gran importancia ecológica, ya que en los ecosistemas que habitan son muy apreciados por su valor nutritivo para gran variedad de especies, estos organismos en ocasiones entran en competencia con especies exóticas por alimento y comida lo que los ha llevado a estar en peligro de extinción (Rodriguez, 2007).

De igual manera las especies de la familia Poeciliidae, son importantes para investigaciones en varios campos como la genética, la oncología, la ecología y biología del desarrollo, pues estos individuos responden fácil y rápidamente a diferentes condiciones ambientales sin afectar su éxito reproductivo (Sancho, 2018).

El desarrollo embrionario permite establecer fases cronológicas de los cambios morfológicos de cualquier organismo, en cuanto a tamaño de tejidos o aparición de órganos y estructuras

(Gordillo, L, 2017). El primer desarrollo embrionario en peces fue descrito en 1995 por Kimmel *y* colaboradores clasificando las etapas en zigoto, clivaje o segmentación, blástula, gástrula, faríngula y eclosión (Sancho, 2018). A su vez, otros estudios han evidenciado que existen diferencias significativas en el desarrollo embrionario entre especies del mismo orden o familia de peces, particularmente variaciones en tiempos de desarrollo, por lo que se sugiere realizar trabajos específicos para reconocer las características embriológicas de cada especie en particular.

La familia Poeciliidae, tiene gran importancia en diferentes ámbitos investigativos de la biología y la ecología, en áreas como genética y evolución, donde han sido utilizados como modelos de estudio por su comportamiento, reproducción vivípara y la capacidad de producir grandes cantidades de crías en cortos periodos de tiempo (Budaev, 1997) lo que aporta a la variabilidad genética y los procesos evolutivos (Shaddock, 2009). Del mismo modo, esta familia es indicador en la calidad del agua y el estado de los sistemas acuáticos, pues responden rápidamente a cambios ambientales contribuyendo a el cuidado de los recursos hídricos (Pennisi, 2012).

Conforme a ello, *Poecilia reticulata* también posee considerable importancia en diferentes aspectos biológicos, por su capacidad adaptativa y resistente a condiciones ambientales variables (Budaev, 1997) en el entorno ecológicos, también, son conocidos por ser consumidores de larvas disminuyendo así la sobrepoblación de plagas reduciendo enfermedades y problemas de salud pública como el dengue o la malaria (García *et al*., 1991).

Por otro lado, los estudios embriológicos son de gran importancia para conocer la biología reproductiva, la fisiología, la ecología y como esto contribuye a la conservación de las especies. El estudio del desarrollo embrionario en peces permite observar el proceso cronológico desde la fertilización hasta la eclosión, y desde la fase larval hasta convertirse en alevín (Gordillo, 2017). Estos estudios en conjunto con la histología dan una visión integral, pues esta última posibilita la observación de todo el proceso, permitiendo el estudio de los tejidos y las células que van conformando los órganos y sistemas (Gao, 2018).

En Colombia hay evidencia de estudios histológicos en campos como la oncología; en donde se muestra cómo se ven alterados los órganos de diferentes especies al estar expuestos a ciertos contaminantes Wester y Hans (1992) & Wester y Canton (1987), pero existen pocas investigaciones sobre descripciones histológicas en cuanto al desarrollo embrionario en peces, pese a que Hernández *et al.,* (2014) explica como la histología desempeña un papel

fundamental en este tipo de descripciones ya que proporciona diferentes detalles de la formación y desarrollo de los órganos, puesto que, identifica cambios celulares y tisulares en este proceso, lo cual es necesario para comprender la morfología y fisiología de los órganos. Por tal motivo, y al realizar una amplia consulta de bases bibliográficas se evidencia falta de estudios y observaciones histológicas en diferentes campos, por esta razón, en este caso se realizó un trabajo de investigación del desarrollo embrionario centrándolo en la organogénesis del pez *Poecilia reticulata*, para proponerlo como un modelo de desarrollo.

DESARROLLO EMBRIONARIO EN POECILIIDAE

Los peces Guppy se reproducen con gran facilidad en ambientes óptimos como la temperatura del agua y el pH adecuado. *P. reticulata*, al ser un pez ovovivíparo, sus huevos se desarrollan dentro de la madre antes de nacer, una vez fecundada la hembra, Urriola *et al.,* (2004) describe que esta puede realizar de tres a cinco partos sin presencia de macho, con un periodo de gestación de 30 días, ya que las hembras almacenan el esperma en sus espacios reproductores, lo que les permite fertilizar varios huevos y tener varias camadas posteriores a la cópula, esto ocurre por un fenómeno denominado superfetación (Murillo *et all.,* 2004).

Kimmel *et al.,* (1995), describe que las etapas iniciales del desarrollo embrionario para los Poecilidos son casi idénticas para la mayoría de vertebrados, ya sean superiores o inferiores, las investigaciones sobre su biología embrionario han descrito un total de diez estadios, los cuales se dividen en tres de pre-fertilización y siete post-fertilización, iniciando así la organogénesis con la notocorda, seguido del sistema nervioso, digestivo, cardiovascular, finalizando con un sistema muscular y los ojos (Sancho, 2018).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La histología como una de las ramas de la biología permite el reconocimiento de las estructuras y funcionamiento de tejidos de los individuos, así como reconocer malformaciones o enfermedades, también la calidad de ambientes en el que viven los peces y como estos afectan o alteran su desarrollo embrionario.

A pesar de la gran cantidad de investigaciones en biología del desarrollo, actualmente, existen pocos estudios sobre descripciones histológicas durante la organogénesis en peces en general, y específicamente en *P. reticulata,* lo que evidencia vacíos de conocimiento acerca de los eventos celulares que ocurren en el proceso de desarrollo. Estos vacíos no permiten una

descripción detallada de etapas especificas en la organogénesis, ni dan la posibilidad de caracterizar de manera precisa estos cambios tisulares y formación de órganos; esto, no solo es un problema en cuanto al conocimiento biológico de la especie, si no también es un problema para prácticas como la acuicultura y la conservación de especies, ya que teniendo la información detallada de los cambios celulares observados mediante cortes histológicas permitiría, por ejemplo, comprender las estrategias de conservación y preservación de especies.

P*oecilia reticulata* tiene importancia biológica, ya que poseen gran capacidad adaptativa a ambientes hostiles, tolerancia a cambios de temperatura y cambios de salinidad (Anzueto, 2013), respecto a su ecología, se reproducen con gran facilidad, son peces ovovivíparos, las hembras almacenan el esperma en su cavidad abdominal para posteriores fertilizaciones y tener varias camadas posteriores a la cópula (Murillo *et all.,* 2004), lo anterior también se basa en la importancia económica de estos peces, ya que su desarrollo es rápido y la cantidad de crías que tienen las hembras oscilan entre 20 a 100 por camada, lo que es bastante beneficioso ya que esta especie es utilizada como alimento para otros peces (Urriola, *et al.,* 2004). Por otro lado, refiriéndose a la importancia en cuanto a la salud pública los Poecilidos de vida libre son fundamentales para el control de sobrepoblación de plagas, pues son grandes consumidores de larvas acuáticas, lo que disminuye enfermedades como el dengue y la malaria (García *et al*., 1991).

Los estudios histológicos en *Poecilia reticulata* se basan en la comparación de órganos y estructuras alteradas por la presencia de agentes tóxicos y contaminantes, como se evidencia en tesis de Cermeño, (2020), en la que realizan una descripción histológica del hígado, las branquias y los músculos expuestos a aguas residuales industriales, del mismo modo Beñova *et al, (*2006), registra los síntomas clínicos y los cambios histológicos en *Poecilia reticulata* bajo irradiación de rayos gamma. Según la literatura consultada, no existen registros de descripciones sobre el desarrollo embrionario, específicamente la organogénesis de esta especie de pez, por tal motivo, no hay registros de tejidos control sanos, con el fin de poder comparar los cambios morfológicos que pueden presentar bajo las condiciones destacadas. La descripción histológica de la organogénesis en esta especie de pez resultaría útil para diferentes cambios, incluyendo las ciencias biomédicas ya que esta especie posee gran similitud con otros vertebrados incluyendo humanos (Ospina y Castaño, s.f) contribuyendo a avances del conocimiento en áreas de la medicina, toxicología, biología del desarrollo y genética. Como se mencionó anteriormente son varios los campos de aplicación que tiene el estudio de la

histología en peces específicamente en *P. reticulata,* ya que es un modelo fácil y de rápido desarrollo y se pueden realizar diferentes investigaciones en cuanto s su desarrollo y ecología.

En biología del desarrollo, la organogénesis es un proceso crucial para el crecimiento de los individuos de cualquier especie, aunque la falta de análisis sobre los cambios celulares no permite una amplia comprensión para profundizar en este campo. La escasa información limita el conocimiento e impacta directamente a ámbitos sociales y económicos por prácticas como la acuicultura y la conservación de las especies. Por tal motivo, esta investigación tiene como objetivo realizar descripciones histológicas de la organogénesis en el desarrollo embrionario de *Poecilia reticulata.*

JUSTIFICACIÓN

Abordar las descripciones histológicas durante la organogénesis influye directamente en ambientes educativos, sociales, ecológicos y económicos, ya que, estos estudios permiten conocer estructuras funciones de diferentes tejidos y órganos que componen los sistemas del cuerpo de individuos sanos o no. Sousa (2018) realiza una descripción morfológica del hígado de *Poecilia reticulata,* en el cual evidencio la importancia de este órgano no solo en su función excretora y almacenadora de sustancias; si no también como bioindicador de la calidad del agua, ya que este órgano altera su morfología en presencia de ciertos contaminantes.

Por otro lado, Wester y Hans (1992) presentaron como diferentes tejidos y órganos de *P. reticulata* cambian su histopatología al estar expuestos a varias concentraciones de Cloruro de metilmercurio, en otro estudio similar Wester y Canton (1987), mostraron como peces de la misma especie al estar contacto con di-n-butiltindicloruro (DBTC), presentan daños irreversibles en el timo. Estos estudios indican como los individuos reaccionan al estrés ambiental y sirven como indicadores en evaluaciones de la calidad de agua y el desarrollo de estrategias de conservación.

Teniendo en cuenta los artículos mencionados anteriormente, se evidencia que la falta de información detallada limita el conocimiento y los planes de acción en cuanto a la preservación de las especies, de igual manera se precisa la relevancia de los estudios y observaciones histológicas en diferentes campos, en este caso el desarrollo embrionario centrándolo en la organogénesis del pez *Poecilia reticulata*, y proporcionar herramientas prácticas como un modelo de desarrollo para la biología, sostenibilidad y conservación. Pues, teniendo en cuenta la evidencia no hay registros de órganos sanos para contrastar con paradigmas ya existentes.

OBJETIVOS

Objetivo General

1. Realizar descripciones histológicas de la organogénesis en el desarrollo embrionario de *Poecilia reticulata.*

Objetivos Específicos

1. Identificar los esbozos de órganos en diez (10) etapas del desarrollo embrionario del pez *Poecilia reticulata*.
2. Registrar fotográficamente por microfotografías el desarrollo embrionario del pez *P. reticulata*)

METODOLOGÍA

Para la obtención del primer material embrionario se escogieron 20 hembras grávidas de *Poecilia reticulata*, las cuales fueron sacrificadas para la posterior disección de su aparato reproductor, en este proceso se obtuvieron aproximadamente 25 huevos y embriones por hembra en diferentes estadios, estas muestras se observaron y clasificaron en un estereoscopio. Seguido esto, con ayuda de una pipeta Pasteur los embriones fueron fijados en formol buferizado al 10% en tubos eppendorf previamente rotulados. En este primer muestreo se observaron embriones en estadios avanzados, lo cual no permitió ver el inicio de la organogénesis, por esta razón fue necesaria una segunda recolección de material embrionario; en esta ocasión se sacrificaron 15 hembras de *Poecilia reticulada*, de las cuales se obtuvieron 20 embriones por hembra que comparados con la literatura atendían a los estadios primarios de la embriogénesis.

Las muestras se llevaron al laboratorio de histopatología de la Universidad Nacional, donde realizaron los cortes longitudinales y transversales para obtener las láminas que fueron observadas bajo el microscopio en los laboratorios de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. La observación y registro fotográfico se realizó en microscopio Leica ICC 50 HD en aumentos 4, 10, 40 y 100. La descripción de los órganos y tejidos característico de cada estado embrionario, se compararon con libros y atlas de histología animal, como la Histología y Biología celular de Teresa Fortoul, Sabotta Histología de Welsh en colaboración con Thomas Deller, Ross Histología de Pawlina Wojciech, entre otros.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

INICIO DE LA ORGANOGÉNESIS

ESTADIO 5. Descripción de órganos.

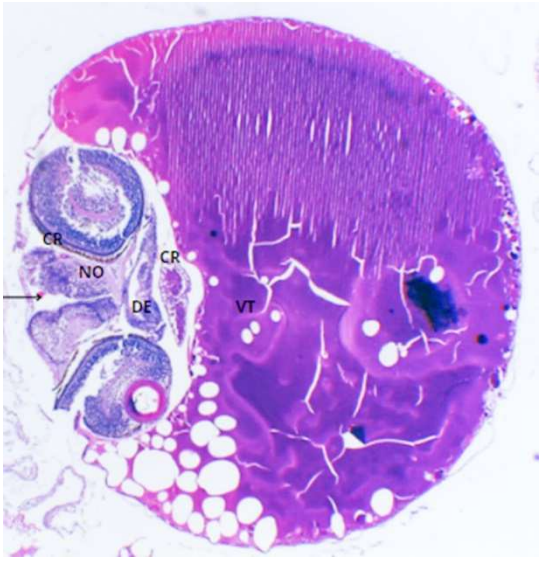


Figura 1. Corte longitudinal de embrión. 4x.

CR: copa retiniana. **NO:** nervio óptico. **DE:** diencéfalo. **CR:** corazón. **SV:** saco vitelino. ➔: Tercer ventrículo

En el Estadio 5 están definidas las cuencas oculares, se identifican capas de retina no desarrollados, también está bien diferenciado el diencéfalo y el tercer ventrículo, se observa gran cantidad de vitelo y el esbozo del corazón **Figura 1.**

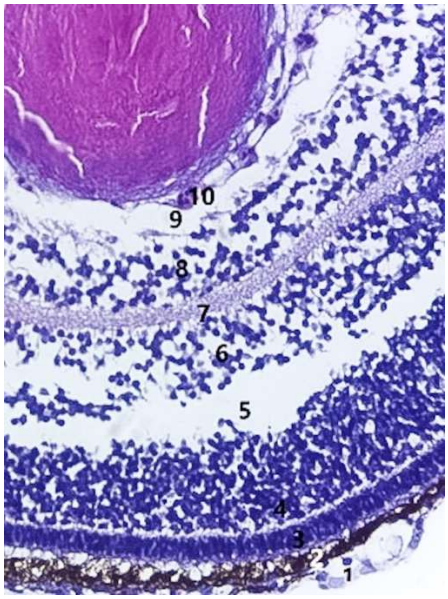


Figura 2. Copa retiniana. 10x.
Vista general de la capa más externa a la más interna 10x.

1: coroides; **2:** epitelio pigmentario; **3:** Segmentos internos y externos de células fotorreceptoras, **4:** capa nuclear externa, **5:** capa plexiforme externa, **6:** capa nuclear interna, **7:** capa plexiforme interna, **8:** capa ganglionar, **9:** cuerpo vítreo, **10:** arteria.

Figura 2 La retina se divide en dos áreas específicas; la posterior (porción óptica) y la anterior (porción ciega), la primera contiene las células sensibles a la luz y tejido nervioso y la segunda, consta de células pigmentarias carentes de tejido nervioso. (Welsch y Deller, 2010). Cada una de estas capas cumple diferentes funciones en el proceso visual. (Ovalle y Nahirney, 2008). El **coroides** es una capa vascularizada entre la esclera y la retina la cual está constituida por vasos sanguíneos, fibras nerviosas y células pigmentadas; el **epitelio pigmentario** o (EPR) es una capa importante en los ojos de los Guppy ya que desempeña importantes roles en la visión, como la posición y ubicación del individuo, absorbe la luz que no usan los fotorreceptores por medio de los melanocitos y evita dispersión de luz dentro del ojo mejorando la agudeza visual, también interviene en la regeneración visual, por medio de las microvellosidades presentes en la superficie apical optimiza la fagocitosis de los segmentos desgastados de los fotorreceptores; las **células fotorreceptoras** de los segmentos celulares, incluyen los conos y los bastones encargados de la detección de luces brillantes y tenues respectivamente, y convertirlas en señales eléctricas que son transmitidas al cerebro por medio de células bipolares y ganglionares de la retina, lo que permite un campo visual de 180°; la **capa nuclear externa**, es un tejido en el cual se hallan las células fotorreceptoras, lo que permite la transducción de la luz en señales eléctricas que permiten la visión; la **capa plexiforme externa**, se encuentra ubicada entre las capas nucleares interna y externa, en esta capa se da la comunicación sináptica entre las células fotorreceptoras y las células bipolares, allí la información de amplifica y se transmite a las células ganglionares para enviarlas posteriormente al cerebro; la **capa nuclear interna,** en esta capa se encuentran las células bipolares y las células amacrinas, las cuales intervienen en la organización y procesamiento de la información permitiendo la sinapsis química; la **capa plexiforme interna**, en esta capa se integra la información visual para posteriormente ser transmitida a las células ganglionares; la **capa ganglionar**; es la capa más interna de la retina, allí están ubicados las neuronas o células ganglionares, estas estructuras, envían la información ya procesada al cerebro por medio del nervio óptico: el **cuerpo vitreo**, es una sustancia compuerta de agua, colágeno y ácido hialuronato, mantiene la forma del ojo y adecua el medio para que la luz pase por medio de la retina (Ross *et al.,* 2020).

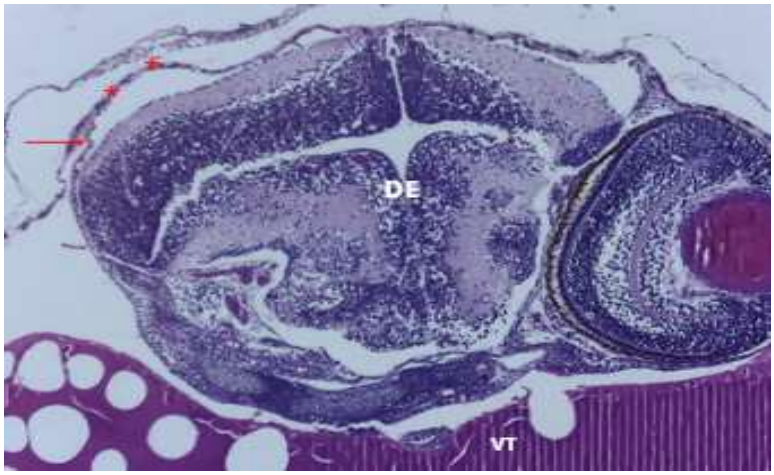


Figura 3. Cabeza de embrión 10x.
Corte transversal de cabeza de embrión.
*: membrana coriónica. ➔: Ectodermo epidermal. **VT:** vitelo.

Figura 3 El sistema nervioso posibilita al cuerpo a responder a diferentes cambios externos e internos, también, controla las funciones de los órganos y sistemas del cuerpo. El tejido nervioso está compuesto por dos células principales; las neuronas y las células de sostén. La neurona, es la unidad funcional del sistema nervioso, y está especializada para recibir diferentes estímulos de otras células, pasar el impulso nervioso o la información eléctrica a través de las invaginaciones hacia otras partes del sistema nervioso. Y las células de la glía o de sostén, son células no conductoras, ubicadas cerca de las neuronas con funciones específicas (Ross *et al.,* 2020).

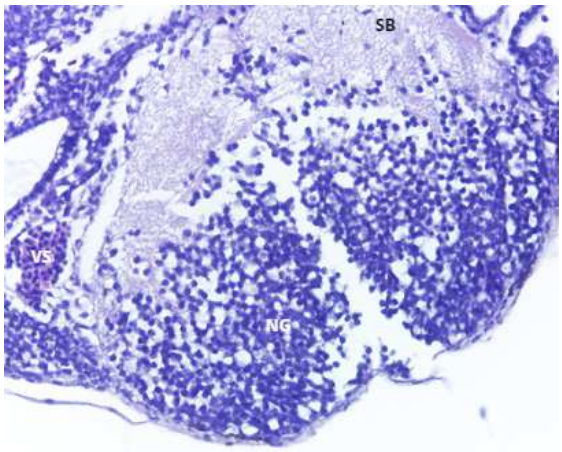


Figura 4. Corte encéfalo. 10x.
¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**SB:** sustancia blanca. **NG:** neurona granular. **VS:** vaso sanguíneo

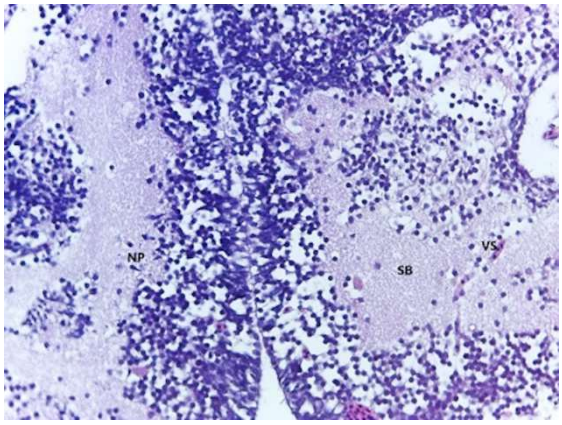


Figura 5. Corte encéfalo 40x.
SB: sustancia blanca. **NG:** neurona granular. **VS:** vaso sanguíneo. **NP:** neurona piramidal

Figura 4 Se observa gran cantidad de neuronas granulares y neuronas piramidales, pero no se logran identificar estructuras. De igual manera, se observan varios vasos sanguíneos.

Figura 5 El sistema nervioso central (SNC) está conformado por sustancia blanca y gris, posee la consistencia de un gel semiduro. (Colin, 2010). La sustancia blanca tiene alto contenido de grasas (mielina), pero no tiene cuerpos celulares neuronales y se compone principalmente de prolongaciones neuronales y células de neuroglia (Brusco *et al*, 2014). La sustancia gris contiene somas neuronales, las prolongaciones axónicas, dendríticas y células de neuroglia como astrocitos protoplásmicos, microglías. (Colin, 2010).

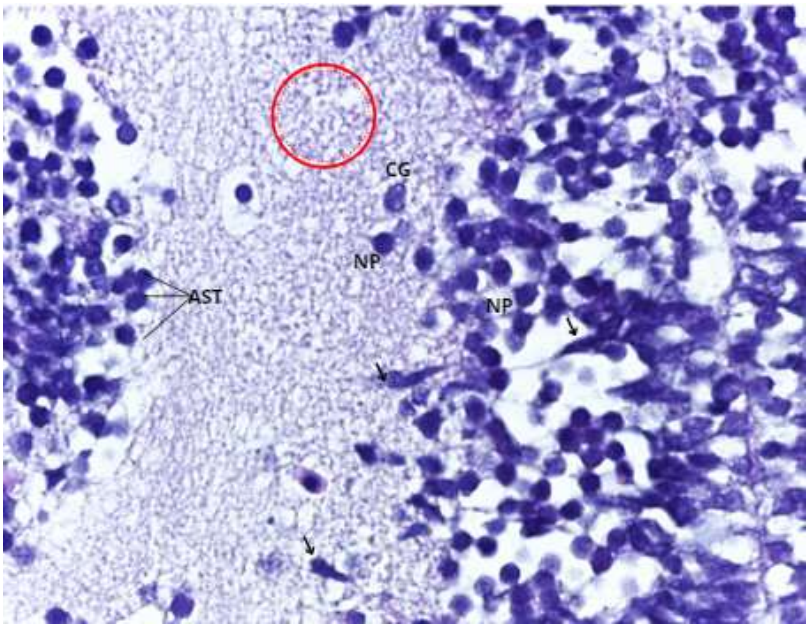


Figura 6. Corte encéfalo. 100x
AST: astrocitos. **CG:** células granulares. **NP:** neuronas piramidales. ➔: microglía.
CIRCULO ROJO: sustancia blanca.

En la **Figura 6** se observan las células del sistema nervioso, como los astrocitos, las neuronas granulares, las neuronas piramidales y las microglías, así como la sustancia blanca. Los **astrocitos** siempre abundantes y cerca de las neuronas, poseen funciones relevantes en el sistema nervioso, son los encargados de formar la barrera hematoencefálica, regulan el flujo sanguíneo, dan soporte metabólico y antioxidante a las neuronas y reciclan neurotransmisores como el glutamato (Megías, *et al.,* 2022). Del mismo modo, y también de gran proporción se observan las células o neuronas **piramidales,** estas estimulan el cerebro liberando glutamato (neurotransmisor), el cual desempeña un papel primordial en la regulación de sistemas motores, sensitivos y cognitivos (Bekkers, J. "s.f."). Por otro lado, las células **granulares,** potencializan la acción de las células piramidales enviando pulsos de calcio, el cual intensifica la actividad neuronal (Buzsáki y Czeh, 1992). La **sustancia blanca**, contenedora de los axones neuronales, células gliales como astrocitos, oligodendrocitos y vasos sanguíneos, tiene tres funciones

generales; da soporte estructural, conecta diferentes partes del cebro y la medula espinal por su gran contenido mielinizante, y, transmite información sensorial externa como dolor y temperatura (Colín y Carrillo, 2017).

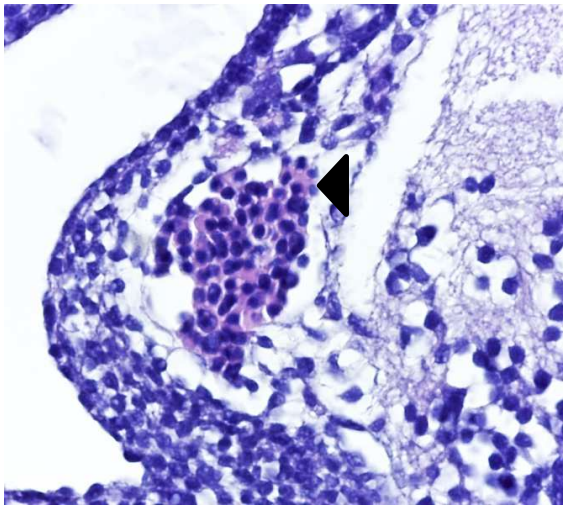


Figura 7. Corte de un vaso sanguíneo en el encéfalo. 100x.
vaso sanguíneo de gran calibre

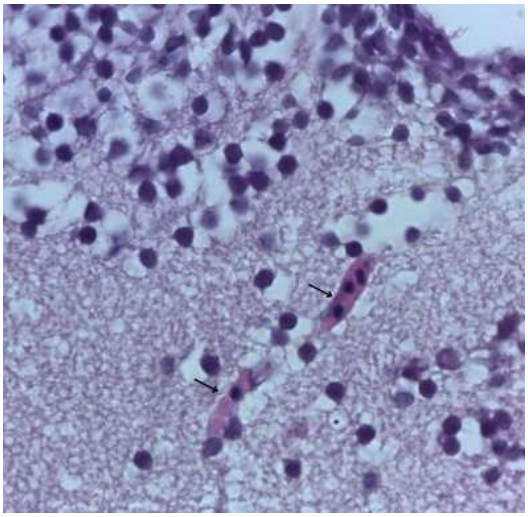


Figura 8. Corte capilar en el encéfalo. 100x.
➔: capilares

Los capilares **Figura 8** son vasos sanguíneos de pequeño calibre, de paredes delgadas, son el contacto directo entre la circulación venosa y la arterial. Como en el resto de los vertebrados los vasos de grande calibre **Figura 7** como las arterias llevan la sangre oxigenada por todas las áreas del cuerpo en este caso el cerebro.

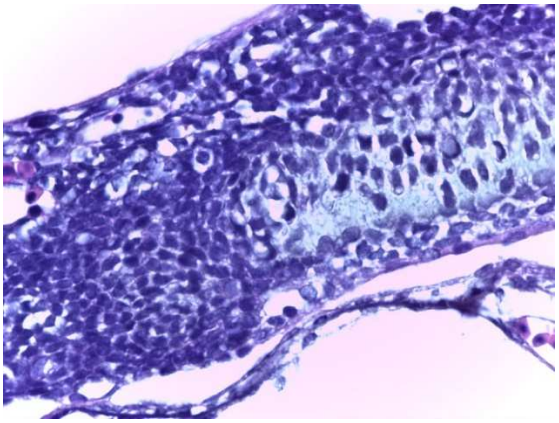


Figura 9. Corte transversal. 100x.
Tejido nervioso en fase de diferenciación

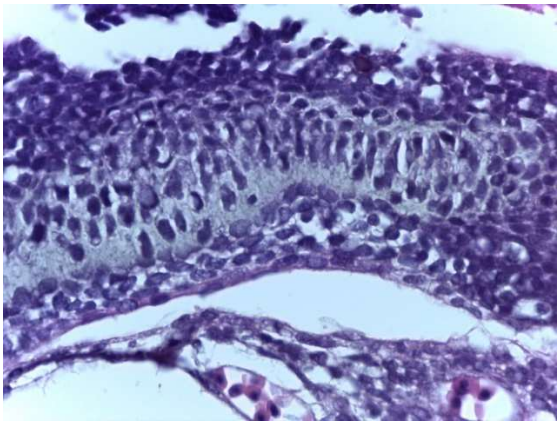


Figura 10. Corte transversal. 100x.
Tejido nervioso en fase de diferenciación

Figura 9 y Figura 10 Se observan diferentes tejidos en fase de diferenciación, denotando características no específicas.

ESTADIO 6. Descripción de órganos.

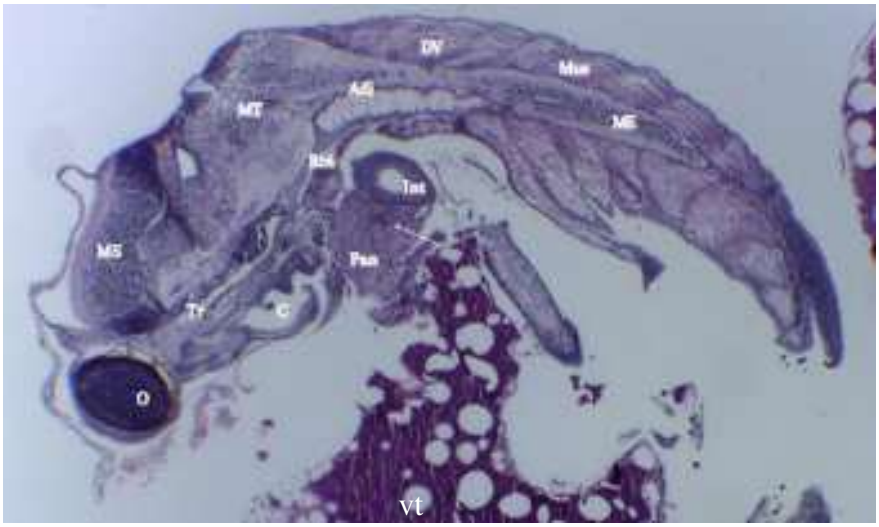


Figura 11. Corte de embrión en organogénesis. 4x.
MT: metencéfalo. **MS:** mesencéfalo. **O:** ojo**. C:** corazón**. Tr:** Tráquea**. C:** corazón. **Rñ**: riñón**. ➔:** Hígado **Pan**: páncreas**. Int:** intestino**. Adi**: adipocitos. **Mus:** musculatura axial**. Vt:** vitelo. **DV:** discos intervertebrales. **ME:** medula

En la etapa 6 se pueden identificar esbozos de órganos pertenecientes a diferentes sistemas, como el excretor, intestinal, circulatorio y sistema nervioso incluyendo órganos de los sentidos **Figura 11.**

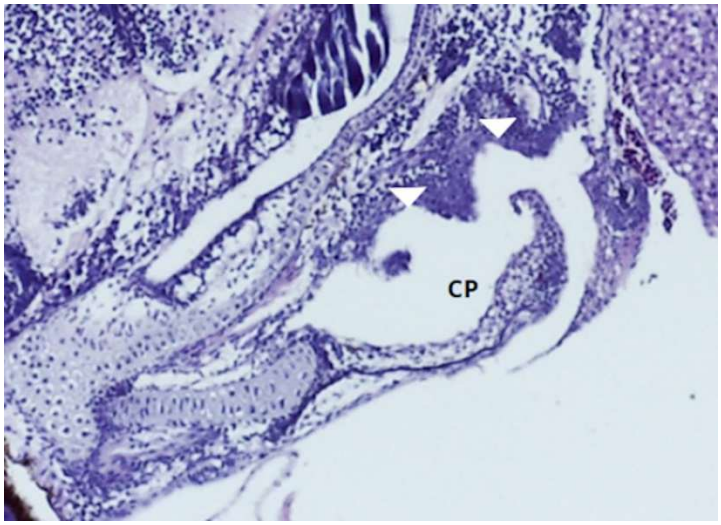


Figura 12. Corte longitudinal de corazón. 40x.
CP: cavidad pericárdica.

Figura 12 Se observa el corazón como una estructura tubular sin diferenciación, comúnmente conocida como cavidad pericárdica, está ubicada en la zona ventral del embrión cerca de las

branquias y saco vitelino. De igual manera, se observa el esbozo de las 3 cavidades próximas a formarse (Dunaevskaya, 2010).

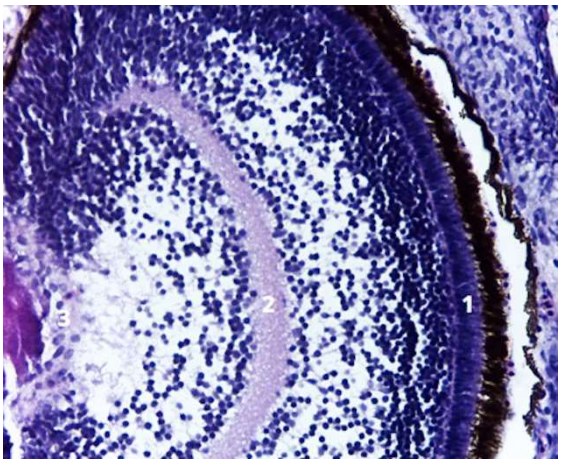


Figura 13. Corte de ojo. 40x.
1: Segmentos internos y externos de células fotorreceptoras. **2:** capa plexiforme interna. **3:** cuerpo vitreo

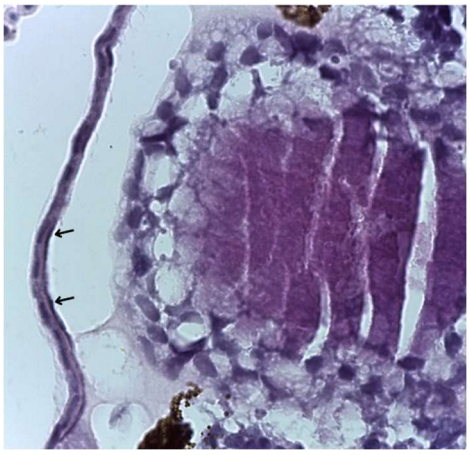


Figura 14. Corte de superficie anterior del cristalino. 100x.
→: epitelio del cristalino

Figura 13 Se observa aumento de tamaño en las estructuras especializadas del ojo. **Figura 14** El epitelio del cristalino conformado por epitelio simple cubico (Welsh, 2014).

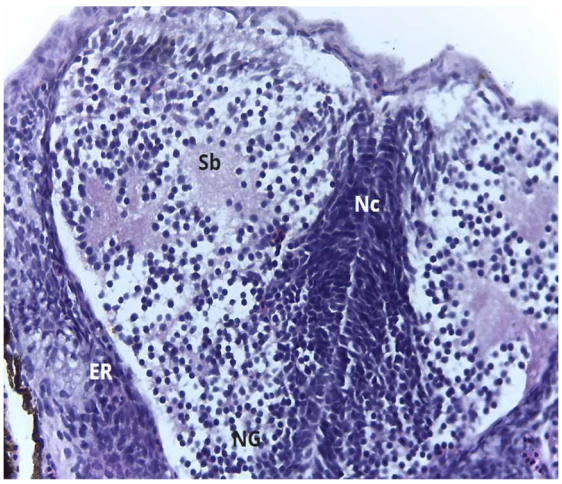


Figura 15. Corte longitudinal de telencéfalo. 40x.
Nc: esbozo de cuerpo calloso. **ER:** epitelio de revestimiento. ***SB:*** sustancia blanca. **NG:** neuronas granulares

Figura 15 Se observa diferenciación de cuerpo calloso, lo que da lugar a los hemisferios cerebrales y engrosamiento de epitelio de revestimiento, aumento de neuronas granulares y diferenciación de sustancia blanca.

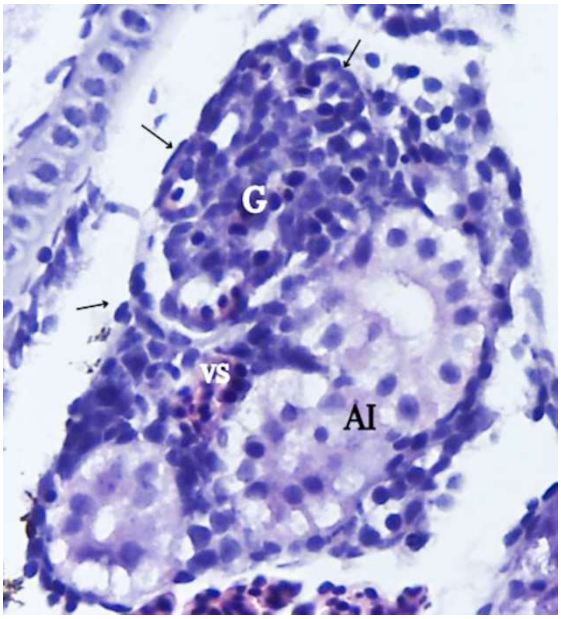


Figura 16. Corte transversal de riñón en formación. 40x.
➔: capsula de Bowman**. G:** glomérulo**.** AI: asa intestinal. **VS:** vasos sanguíneos

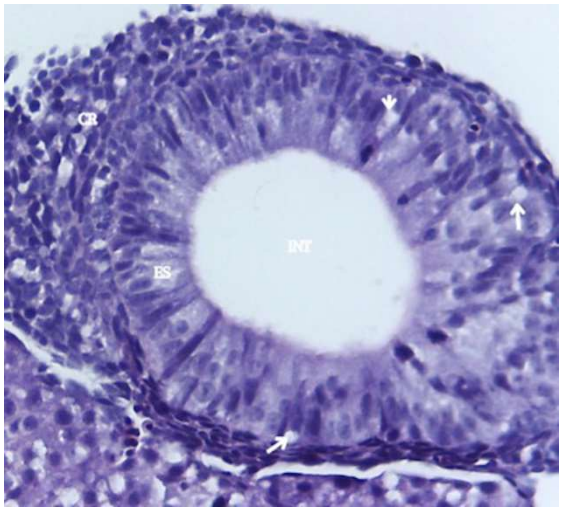


Figura 17. Corte transversal de intestino. 40x
➔: células caliciformes. **ES:** epitelio simple cilíndrico. **CR:** células de revestimiento

Figura 16 Se observa la capsula de Bowman compuesta por tejido epitelial simple plano rodeando el glomérulo; esta estructura es un conjunto de capilares, que filtran pequeñas moléculas y líquidos desde la sangre hacia la capsula de Bowman (Rojas *et al.,* 2012). Lo que permite que los desechos metabólicos sean eliminados del cuerpo a través de la orina (Plaul *et al.,* 2012). De igual manera, se observa una porción del intestino; las Asas Intestinales, formadas por tejido epitelial simple cubico, estos conductos absorben nutrientes y agua del tracto digestivo.

Figura 17 se observan células caliciformes, las cuales se distribuyen a lo largo del intestino, estas células absortivas, productoras de glucoproteínas acidas de mucina se hidratan y forman el moco que protege y lubrica el intestino (Junqueria y Caerneiro, 2013). De igual manera se evidencian las células características del intestino; células cilíndricas dispuestas en forma de columna con núcleos alargados ubicados en la base de las células, estas están especializadas en absorber nutrientes, secretar moco y producir enzimas digestivas (Ovalle *et al.,* 2008).

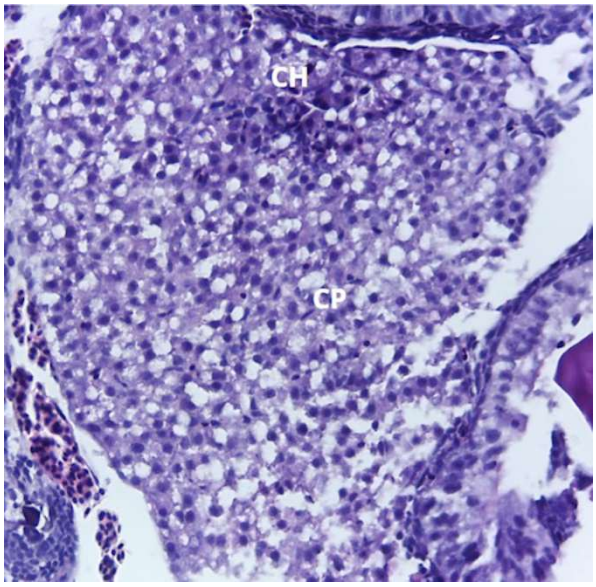


Figura 18. Corte transversal hepatopáncreas. 40x.
CH: componente hepático. **CP:** componente pancreático.

Figura 18 El hígado, es una glándula que metaboliza el alimento, sintetiza la bilis almacenada en la vesícula biliar y transportada al intestino. De igual manera, el hígado almacena carbohidratos y es participe de la vitelogénesis en las hembras. Por otro lado, el páncreas, es otra glándula que en los peces teleósteos superiores se encuentra dentro del hígado, por lo que a este órgano se le denomina hepatopáncreas (Torres *et al,* 2010). Es una glándula mixta, ya que se divide en una parte exocrina la cual sintetiza las enzimas digestivas, que se transportan por los conductos pancreáticos al duodeno, y la porción endocrina, constituida por los islotes de Langerhans, sintetizan las hormonas de la insulina y el glucagón (Salinas, 2011).

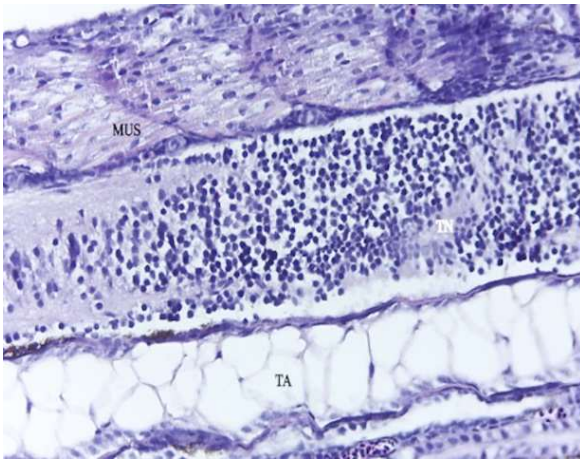


Figura 19. Corte longitudinal de abdomen. 40x.
TA: tejido adiposo**. TN:** tejido nervioso**. MUS:** músculo

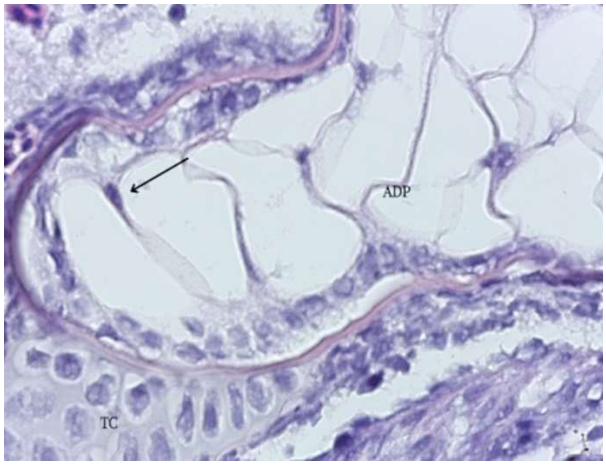


Figura 20. Adipocitos. 100x.
ADP: adipocitos. ➔: núcleo de adipocito

En la parte inferior de la **Figura 19** y en la **Figura 20,** se puede observar células de tejido conectivo el cual se especializa en almacenar triacilgliceroles que aportan cantidades elevadas de energía, los adipocitos (Welsh, 2014). El tejido adiposo, comúnmente se halla en grupos pequeños o zonas aisladas dentro del tejido conjuntivo laxo (Junqueria y Caerneiro, 2013). Este tejido tiene funciones como el almacenamiento de energía, proveniente de la glucosa y los ácidos grasos; también poseen una función reguladora, ya que los adipocitos no se proliferan, si no que aumentan o disminuyen su contenido de triacilgliceroles. La flecha señala los núcleos de la célula, que por la presión de los lípidos se comprimen contra la membrana celular. De manera similar ocurre en el citoplasma (Welsh, 2014).

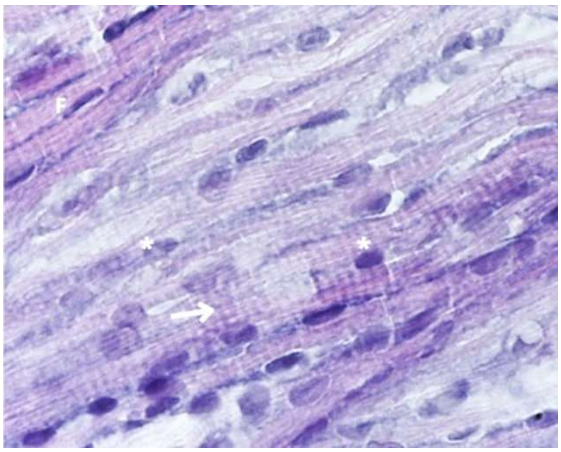


Figura 21. Corte longitudinal de músculo. 100x.
➔: fibras musculares. ∗: núcleos del miocito. **F:** núcleo de fibroblastos

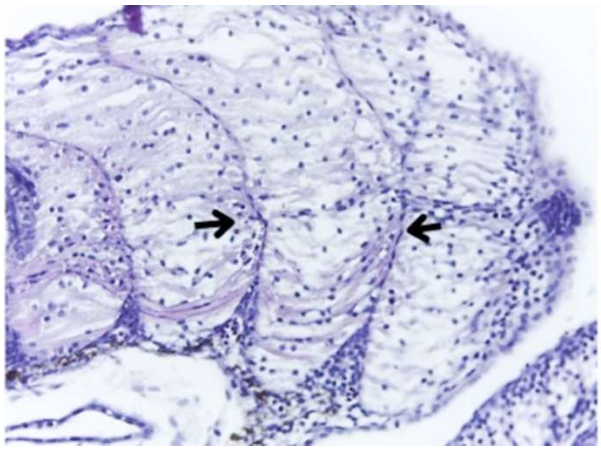


Figura 22. Corte transversal de músculo. 40x.
➔: miómeros

Figura 21 Se observan estructuras características del tejido muscular esquelético, propios del sistema locomotor, las flechas indican las bandas A (líneas rojas) y las bandas I (líneas blancas). Las unidades estructurales del tejido muscular son las fibras musculares. En los peces, los músculos están organizados en miómeros **Figura 22**; son segmentos que permiten el movimiento y la flexibilidad, la gran cantidad de bandas rojas y núcleos indican que el musculo es especializado para la natación rápida y de largas distancias, al contrario de las bandas blancas, pues estas se encargan de movimientos más lentos y sostenidos (Mescher, 2018).

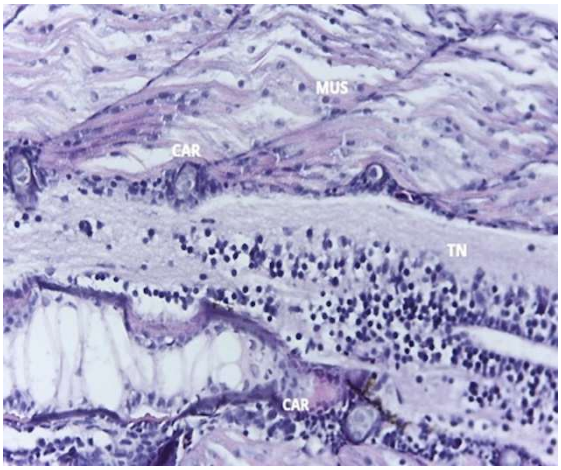


Figura 23. Corte transversal de cola de embrión. 40x.
CAR: cartílago **TN:** tejido nervioso **MUS:** músculo

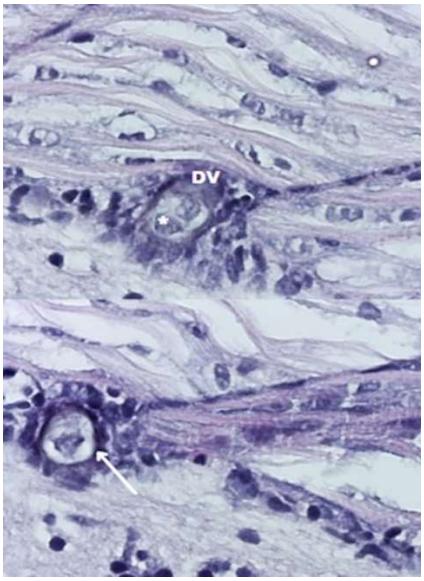


Figura 24. Corte transversal de disco intervertebral. 100x.

➔: anillo fibroso**. ∗**: células redondeadas, dentro de colágeno con HyE. **DV:** discos intervertebrales.

Figura 23 En esta etapa se observa el inicio de la formación de los discos intervertebrales, alrededor de los músculos de la cola del embrión se van formando anillos fibrosos con núcleos pulposos derivados de la notocorda, **Figura 24** estos anillos están constituidos por tejido conectivo denso y fibras de colágenos en capas concéntricas. El centro de los anillos fibrosos está compuesto por células redondas dispuestas en un líquido gelatinoso con hialuronato y colágeno tipo II. (Junqueria y Caerneiro, 2013). Los discos intervertebrales son amortiguadores lubricados de las vértebras y la columna, absorbe los golpes y las presiones como un colchón para evitar lesiones (Rodriguez, *et al.,* 2017) su formación en la etapa 6 del desarrollo es fundamental, ya que en esta etapa se establecen estructuras básicas de la columna y si los discos no se forman adecuadamente pueden surgir malformaciones, que afecten el desarrollo del embrión o daños en la movilidad del alevín (Olivares y Rojas, 2013).

ESTADIO 7. Descripción de órganos

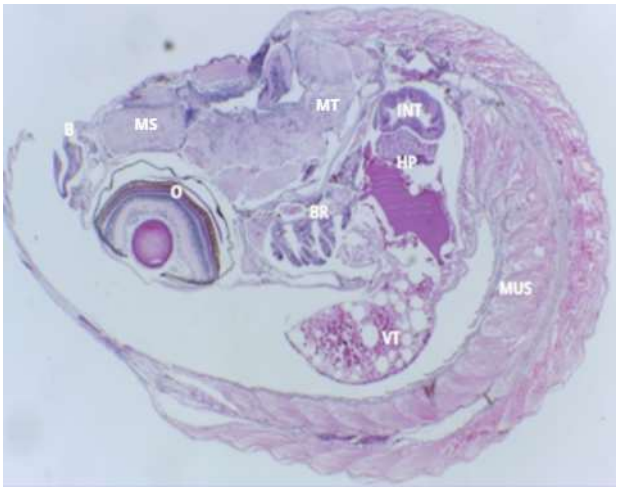


Figura 25. Corte transversal de embrión. 4x.
B: boca. **O:** ojo. **BR:** branquia. **INT:** intestino. **HP:** hepatopáncreas. **MUS:** músculos. **VT:** vitelo

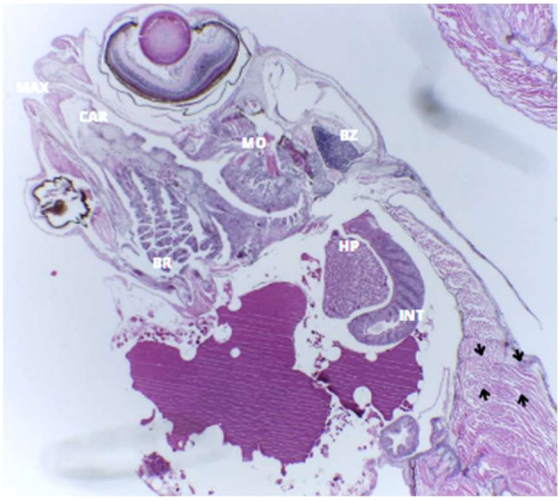


Figura 26. Corte longitudinal embrión. 4x.
MAX: maxilar inferior. **CAR:** esqueleto cartilaginoso. **BR**: branquia. **MO:** musculatura opercular. **BZ:** bazo. **HP:** hepatopáncreas. **INT:** intestino. →: musculatura axial

Figura 25 y **Figura 26** Muestran el desarrollo de nuevos órganos para esta etapa; las branquias, ubicadas a ambos costados de la cabeza detrás de los ojos, el esqueleto cartilaginoso, que forma la estructura de la cabeza, el bazo un órgano impar ubicado en la zona abdominal posterior al estómago. Así mismo, se observa apertura bucal.

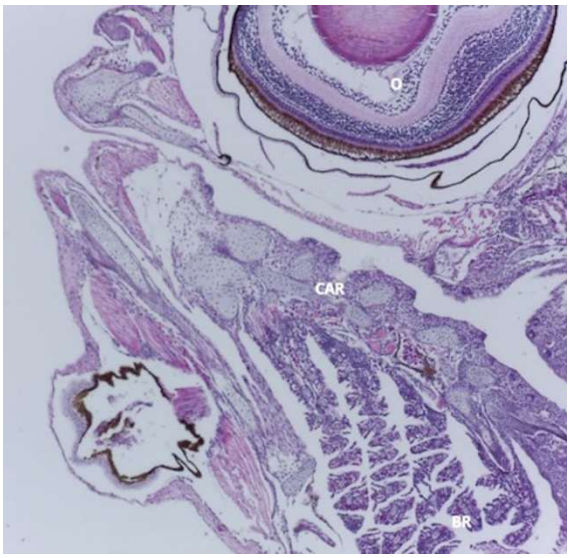


Figura 27. Corte longitudinal de cabeza. 40x.
CAR: *tejido cartilaginoso.*

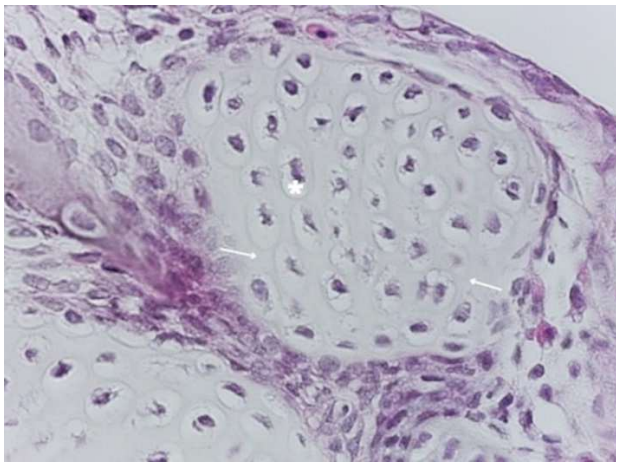


Figura 28. Laguna de tejido cartilaginoso. 100x.
∗: condrocito. ➔: matriz extracelular

Figura 28 El cartílago es un tejido conectivo especializado compuesto por células denominadas condrocitos y una matriz extracelular constituida por fibras de colágeno,

proteoglucanos y glucoproteínas adhesivas. Estas células ocupan espacios denominados lagunas **Figura 27** Este tipo de tejido constituye la totalidad del esqueleto en el desarrollo embrionario, para posteriormente volverse esqueleto sólido. (Rodríguez *et al.,* 2017).

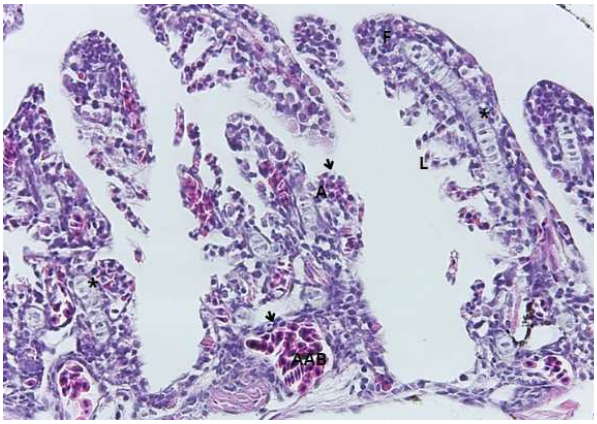


Figura 29. Corte longitudinal de branquia. 40x.

⁎: células cartilaginosas **➔:** vasos sanguíneos. **F:** filamentos branquiales. **L:** láminas branquiales. **AAB:** arteria de gran calibre de arco branquial. **A-:** arterias de menor calibre.

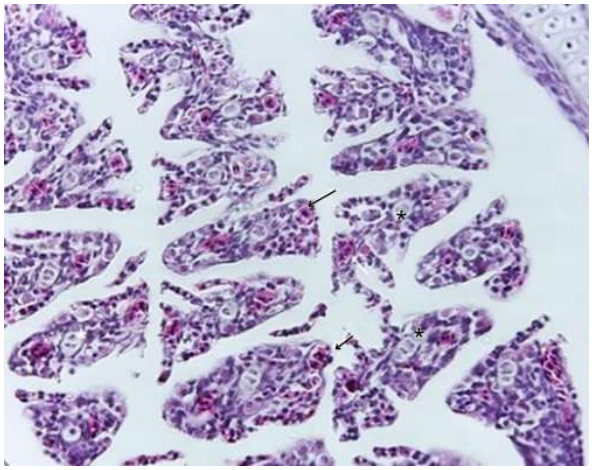


Figura 30. Corte transversal de branquia. 40x.

⁎: células cartilaginosas **0** vasos sanguíneos.

Figura 29 Las branquias son órganos pares ubicados simétricamente detrás de la cabeza a ambos costados del cuerpo. Se pueden delimitar dos regiones características: el arco branquial **Figura 31** y los filamentos **Figura 29** Las branquias en los peces Guppy, son similares a las detalladas en los peces teleósteos, brotan desde el arco branquial los filamentos branquiales que soportan las láminas branquiales o lamelas. La lamina basal **Figura 31** está compuesta por tejido conectivo y epitelio plano estratificado, este tejido está rodeando al arco branquial, primeramente, constituido por cartílago hialino que luego se convertirá en hueso. Allí también están dispuestos los vasos sanguíneos de gran calibre como las arterias aferentes del arco branquial las cuales desembocan en los filamentos en vasos sanguíneos de menor calibre dispuestos para nutrición de sangre oxigenada en el intercambio gaseoso (Cruz *et al,* 2022) En la base de cada filamento se observa la túnica muscular que genera pequeños movimientos facilitando el intercambio gaseoso (Torres *et al,* 2010). En general, los filamentos son anchos en toda su extensión, al contrario de las laminillas que son delgadas y cortas (Cruz *et al,* 2022)

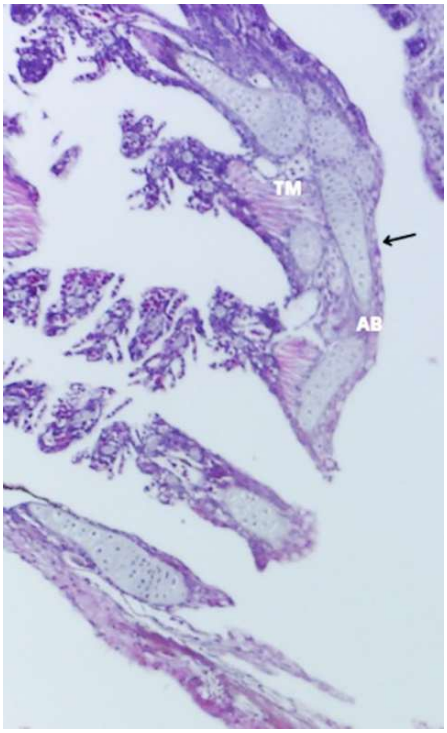


Figura 31. Arco branquial. 10x.
AB: células cartilaginosas del arco branquial.
TM: túnica muscular. **➔:** lámina basal

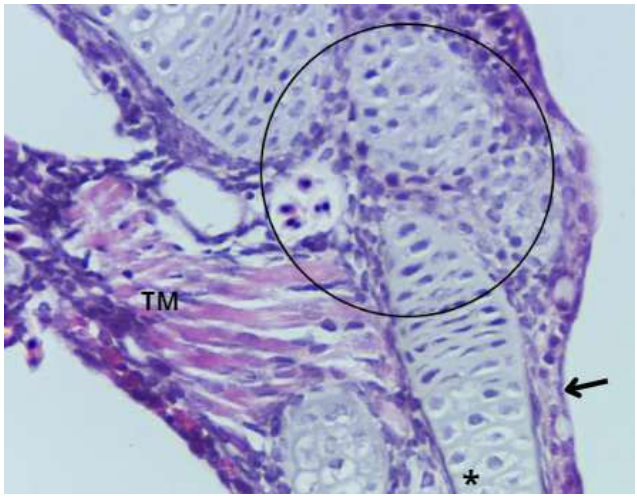


Figura 32. Corte de arco braquial. 40x.
. **➔**: Tejido epitelial plano estratificado (lámina basal). **TM:** fibras musculares (túnica muscular). **Circulo:** tejido cartilaginoso en proceso de osificación (arco branquial)

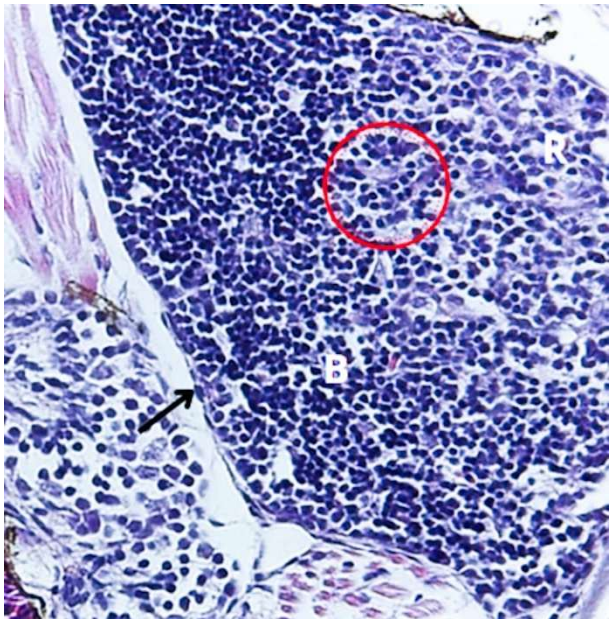


Figura 33. Corte transversal de bazo. 40x.
B: pulpa blanca. **R:** pulpa roja. **➔:** capsula. **Círculo rojo:** trabéculas.

El bazo es un órgano impar linfático asociado al intestino, con dos componentes importantes: la capsula y las trabéculas, y la pulpa esplénica que es un tejido especializado que se divide en dos: la pulpa roja y la pulpa blanca (Welsch y Deller, 2010) **Figura 33** Posee una capsula compuesta por tejido conectivo denso regular y con células cubicas simples, de esta salen las

trabéculas hacia el interior del órgano formando un esqueleto de sostén rodeando la pulpa blanca y la pulpa roja (Castell, *et al.,* 2017) La pulpa blanca, es un componente inmunitario, ya que es semejante a los ganglios linfáticos; y la pulpa roja, es una sección que filtra y elimina eritrocitos envejecidos (Welsch y Deller, 2010).

ESTADIO 8. Descripción de órganos.

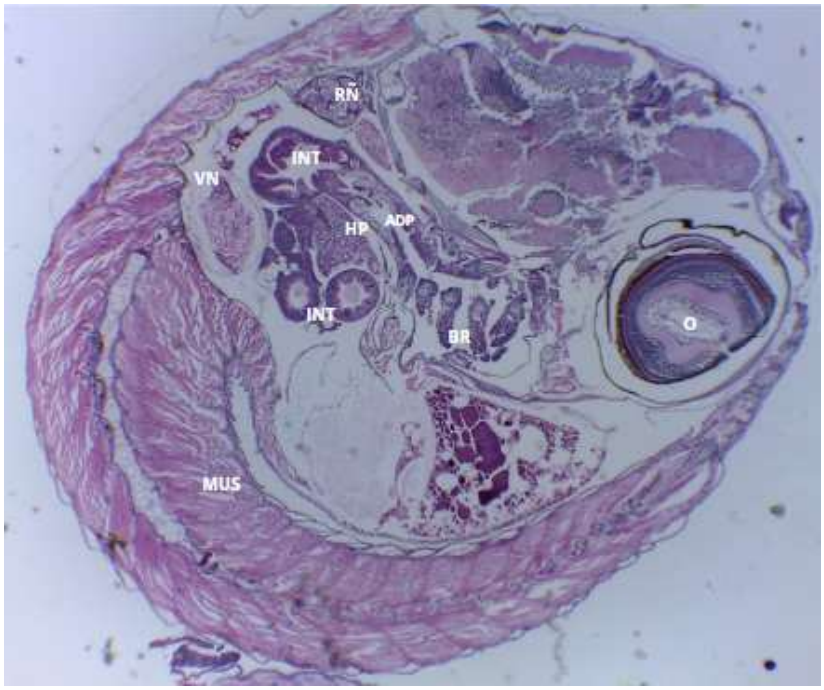


Figura 34. Corte longitudinal de embrión. 4x.
O: ojo. **BR:** branquias. **MUS:** músculos (miocitos). **INT:** intestino. **HP:** hepatopáncreas. **ADP:** tejido adiposo. **RÑ:** riñón. **VN:** vejiga natatoria.

En esta etapa se identifica la especialización celular, el crecimiento de órganos mencionados con anterioridad y la completa formación de sistemas. De igual manera, en la **Figura 34** se evidencia por primera vez en todo el desarrollo la presencia de la vejiga natatoria.

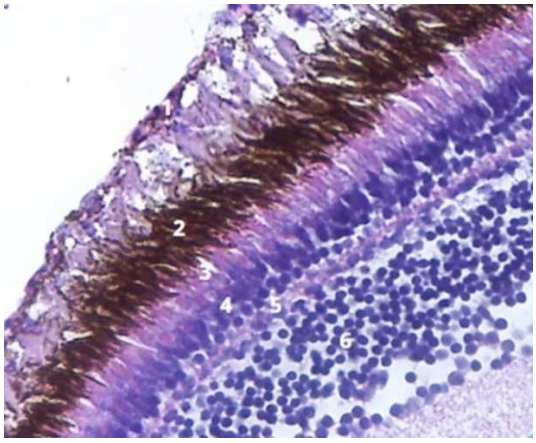


Figura 35. Corte retina. 100x.
1: coroides**. 2:** epitelio pigmentario**. 3**: conos y bastones**. 4:** nuclear externa**.**

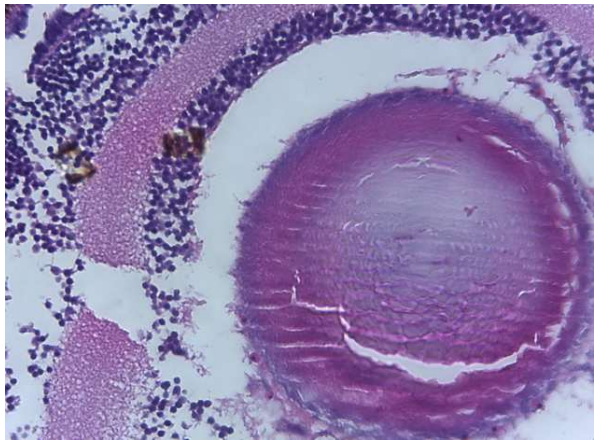


Figura 36. Fibras de cristalino. 100x.

Figura 35 Durante esta etapa, la retina presenta cambios significativos en su desarrollo, las diferentes capas celulares se observan más organizadas y especializadas, en cuanto a tamaño y grosor (Gracia *et al.,* 2017). **Figura 36** De igual manera, en el cristalino se van observando las hendiduras ver las fibras individuales, estas células son prismáticas hexagonales, transparentes, sin núcleo y escasos organelos. Poseen proteínas especificas llamadas cristalinas α, β y γ, al igual que la proteína filensina (Welsch y Deller, 2010)

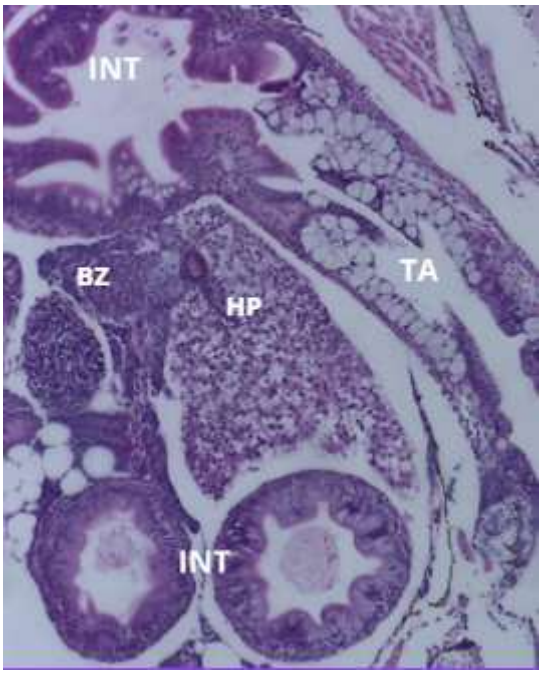


Figura 37. Corte transversal de intestino. 10x
INT: intestino. **TA:** tejido adiposo. **HP:** hepatopáncreas. **BZ:** bazo

La **Figura 37** muestra el aumento del tamaño del sistema digestivo y las células características del intestino, de igual manera, se observa gran cantidad de tejido adiposo.

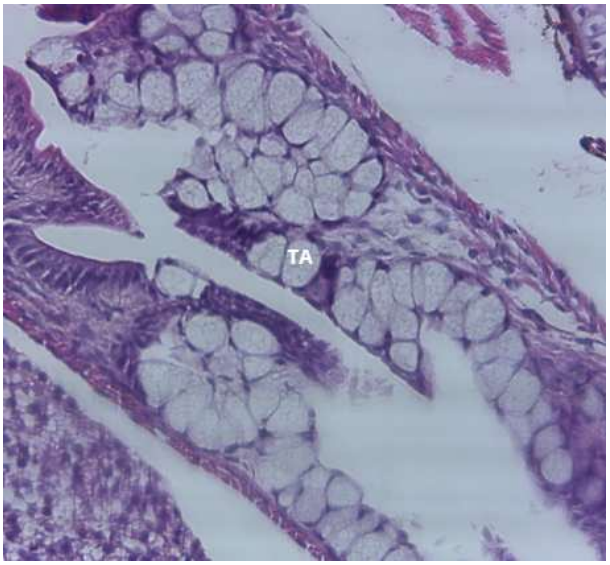


Figura 38. Corte transversal de intestino. 40x. TA: tejido adiposo.

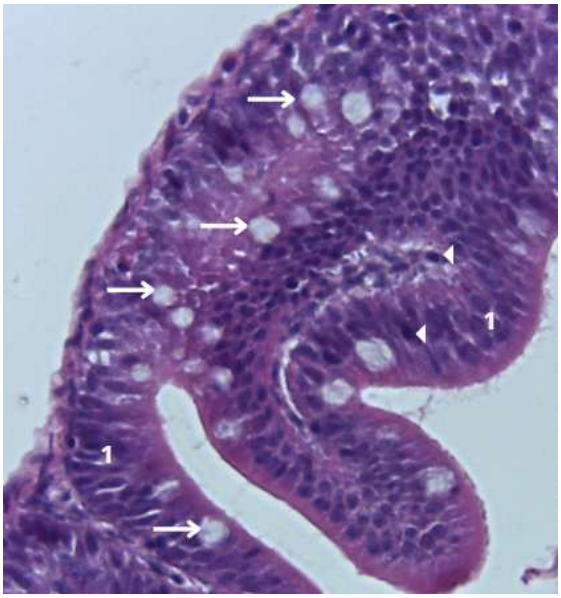


Figura 39. Corte transversal de intestino. 40x. **➔:** células caliciformes. ►: núcleos de células epiteliales apoptósicas. **1:** células epiteliales absortivas.

Figura 38 Se observa gran cantidad de tejido adiposo blanco en medio de los órganos del sistema digestivo, este tipo de tejido se dispone en diferentes partes del cuerpo y de esto varia su nombre; el tejido adiposo blanco visceral omental ocupa los espacios entre los órganos abdominales y los mantiene en su lugar: el omento, cubre y conecta bazo, estomago, páncreas e intestino (Vega y Rico, 2020). **Figura 39** muestra diferentes células características del sistema digestivo maduro, como lo son las células epiteliales absortivas, las cuales transportan el agua a lo largo de todo el intestino, de igual manera intervienen gradientes como el sodio y el potasio para que este proceso ocurra. Por otro lado, se encuentran abundantes células caliciformes; estas células productoras de moco lo liberan de forma continua por exocitosis, su volumen aumenta dependiendo de la captación de agua, formando una capa gelatinosa sobre las microvellosidades del intestino, su función es proteger y lubricar la superficie de este, como también poseen una función inmune, ya que secretan proteínas antimicrobianas, quimiocinas y citocinas (Welsch y Deller, 2010).

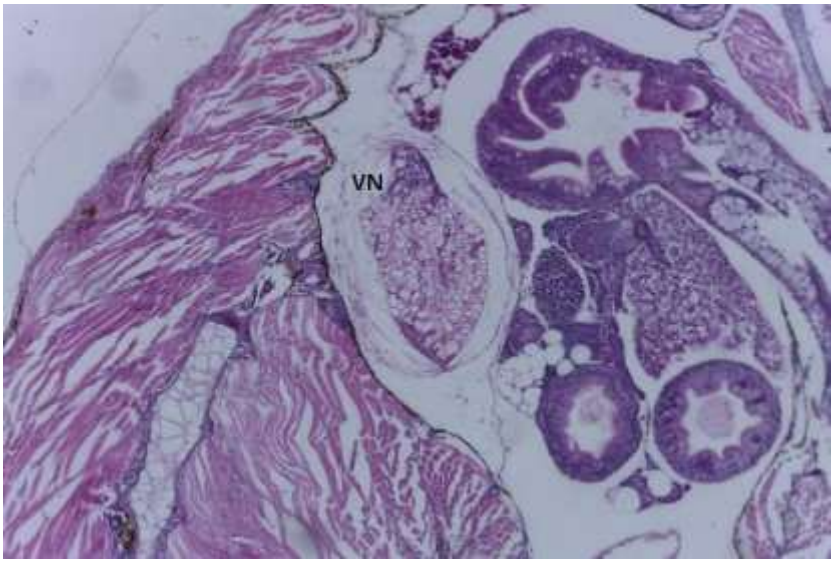


Figura 40. Corte transversal de tórax. 10x.
VN: vejiga natatoria.

La vejiga natatoria es un órgano impar, ubicada debajo de la columna vertebral, encargado de la flotabilidad de peces teleósteos, ayuda a profundizar a los peces sin gastar energía. El gas de la vejiga este compuesto por O_2. El volumen o tamaño se regula por el intercambio gaseoso con la sangre y el lumen de la vejiga, esto se da, ya que al salir los gases de la vejiga por compresión muscular aumenta el peso específico, gracias a la acidificación de la sangre al convertir la glucosa en ácido láctico (Umezawa, *et al,* 2012).

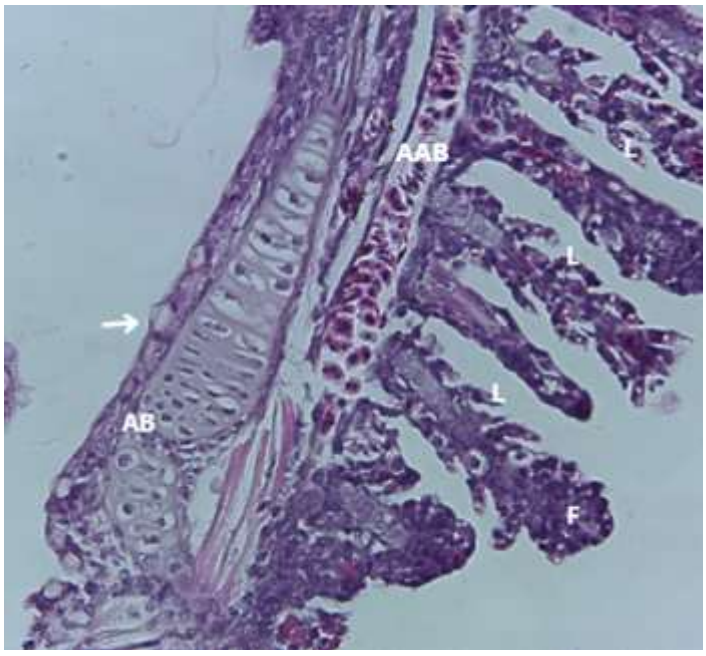


Figura 41. Corte transversal de branquia. 40x.
➔: lámina basal. **AB:** arco braquial. **L:** lámina **F:** filamento. **AAB:** arteria de gran calibre del arco braquial.

En cuanto a las branquias **Figura 41** se aprecia un aumento del tamaño de todas las estructuras mencionadas con anterioridad en la etapa 7. En la lámina basal se puede diferenciar el tejido conectivo y el epitelio plano estratificado. Del mismo modo, el tejido cartilaginoso del arco braquial ha aumentado de tamaño respondiendo también al aumento de tamaño de los filamentos y las láminas que conforman las branquias.

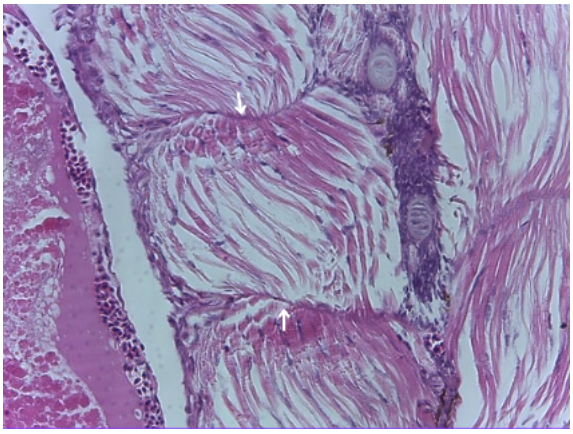


Figura 42. Corte transversal de músculo. 40x
➔: miocitos

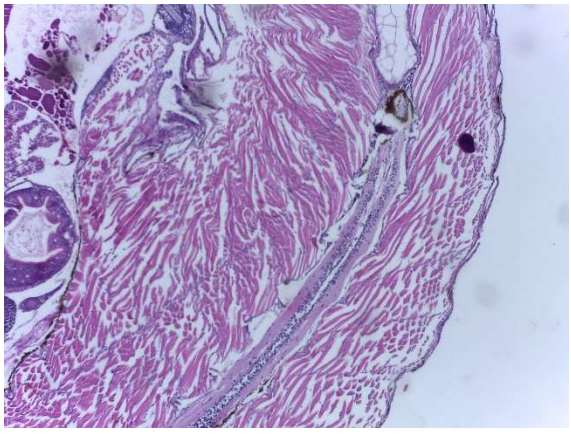


Figura 43. Fibras musculares 40x.

El sistema muscular en esta etapa se observa un aumento en la cantidad de las fibras, así como la longitud de estas, lo que hace ver aumento en el tamaño de la cola del pez Guppy. El tejido muscular es el responsable del movimiento, pero también es un aspecto importante para el crecimiento y tamaño de los vertebrados. Como se puede observar en la **Figura 42**, las fibras musculares son células especializadas, alargadas y multinucleadas. Las fibras musculares se disponen paralelamente; el movimiento de estas células es posible gracias al desplazamiento de los filamentos de actina sobre los de miosina, por un complejo proceso que transforma la energía química en energía mecánica (Fernández, 2000).

ESTADIO 9. Descripción de órganos.



Figura 44. Cara ventral de embrión.

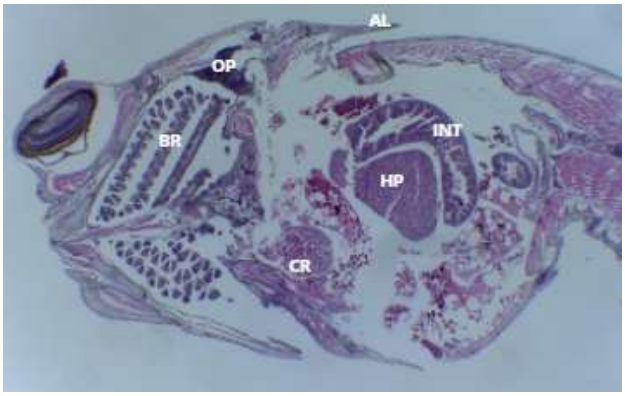


Figura 45. Vista dorsal cabeza de Guppy. 4x.
AL: aleta dorsal. **OP:** opérculo. **BR:** branquias. **CR:** corazón. **HP:** hepatopáncreas. **INT:** intestino

En esta nueva etapa, **Figura 44** el embrión presenta mayor densidad de tejido muscular en la región de la cola y el tórax, lo que indica madurez en los tejidos y un crecimiento significativo del embrión. Estas características sugieren que el pez se encuentra en etapas finales de su desarrollo y lo que se espera es un crecimiento adicional de órganos y tejidos. Del mismo modo, **Figura 45** se observa como la aleta dorsal es claramente visible en el corte ventral, algo que no era tan evidente en etapas anteriores, esto señala un notable crecimiento y desarrollo de órganos externos del pez, del mismo modo, se observa el corazón como un órgano ya formado.

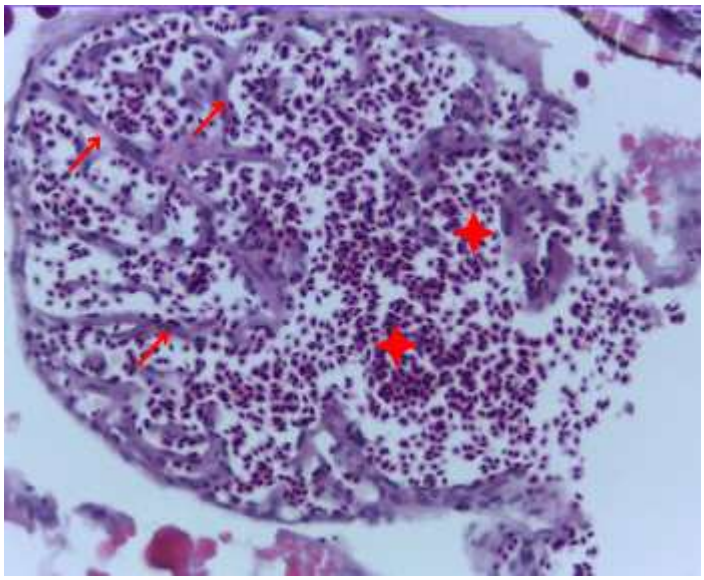


Figura 46. Corte de corazón. 40x.
➔: fibras de Purkinje. ✻: glóbulos rojos

En esta etapa se observa el corazón con gran cantidad de glóbulos rojos y fibras de Purkinje, estas células especializadas indispensables para la conducción eléctrica, presente en los vertebrados, incluyendo los peces, son de gran importancia para la regulación del ritmo

cardiaco, ya que transmiten el impulso eléctrico que coordina la contractibilidad del músculo cardiaco (Ross y Wojciech, 2020)

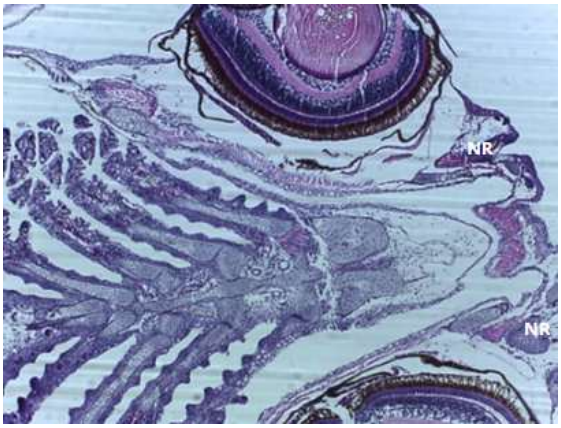


Figura 47. Cartílago cara dorsal. 10x
NR: narinas

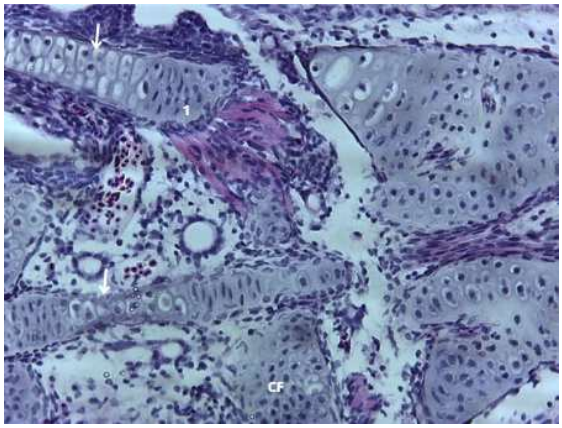


Figura 48. Cartílago en proceso de osificación. 40x.
CF: cartílago fetal. **1:** cartílago en proliferación. ➔: cartílago hipertrófico

En esta etapa se puede observar que la cabeza del pez está cubierta por cartílago hialino, de igual manera las branquias **Figura 47,** así mismo, observan las agrupaciones celulares características del cartílago en proliferación.

En etapas avanzados del desarrollo embrionario, el tejido cartilaginoso comienza su osificación; se observan lagunas con cartílago fetal, este es el más duradero de los cartílagos luego se convierte en piezas de sistema esquelético óseo. En el proceso de osificación, en etapa temprana, el cartílago en proliferación se observa en dirección a la zona de osificación; los condrocitos en general aplanados se proliferan y se organizan en hileras. Seguido a esto, se aprecia el cartílago hipertrófico, allí las células son grandes, provistas de gran cantidad de mitocondrias, y su matriz cartilaginosa se comienza a calcificar (Welsch y Deller, 2010)

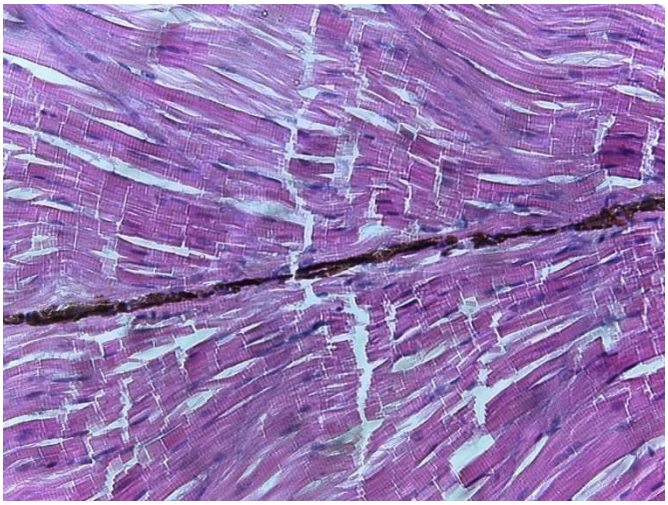


Figura 49. Tejido muscular. 40x

Conforme el embrión continuo su desarrollo, se pueden apreciar con mayor detalle las fibras del tejido muscular, las cuales han aumentado su tamaño y cantidad, lo que indica que el individuo está en etapas avanzadas y su sistema locomotor esta desarrollado.

ESTADIO 10. Descripción de órganos

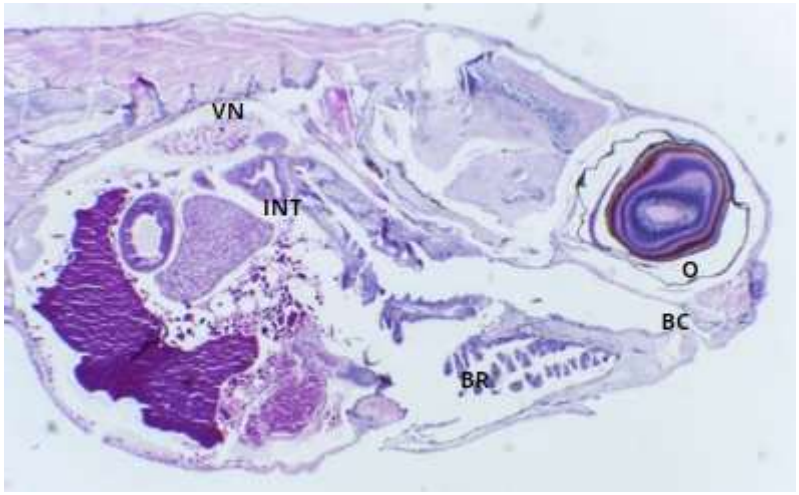


Figura 50. Corte transversal. 100x.
O: ojo. **BC:** boca. **BR:** branquias. **INT:** intestino. **VN:** vejiga natatoria.

En el estadio 10, también se puede evidenciar un aumento de tamaño de los órganos ya descritos. La apertura bucal más clara y la vejiga natatoria.

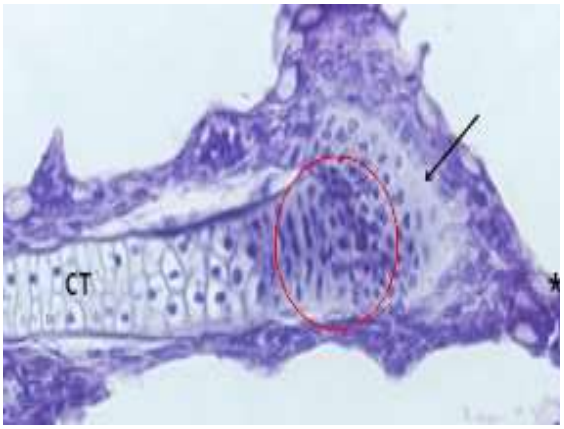


Figura 51. Corte transversal de branquia. 40x.
CT: cartílago. **Circulo:** cartílago en proliferación.
➔: matriz de hueso



Figura 52. Corte transversal de branquia. 100x.
➔: matriz. *: cartílago maduro en osificación**. Circulo:** grupos isogénicos

En esta etapa se observa el cartílago en proliferación, formando grupos isogénicos, es decir, haciendo mitosis, esto muestra un crecimiento intersticial del cartílago, lo que lleva al aumento de matriz extracelular y que los condrocitos maduros se osifiquen (Welsch y Deller, 2010).

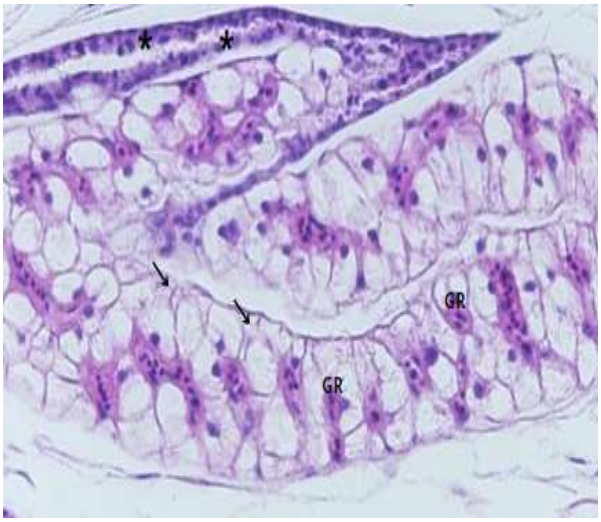


Figura 53. Corte transversal de vejiga natatoria 40x

GR: glóbulos rojos. ➔: rete mirabile. ✻**:** células de glándulas gaseosas.

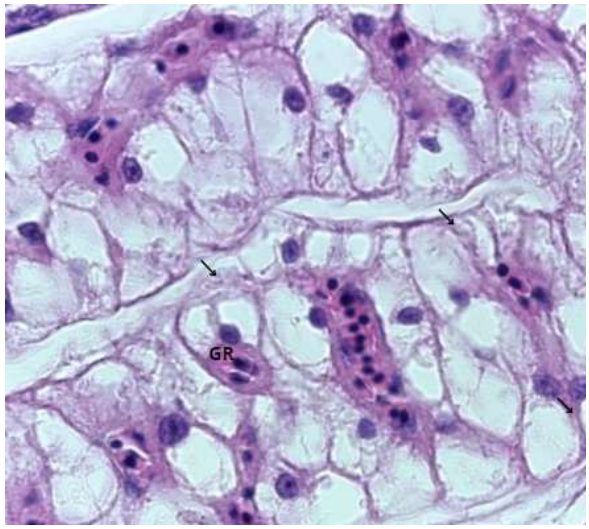


Figura 54. Corte transversal de vejiga natatoria. 100x.

GR: glóbulos rojos**. ➔:** rete mirabile

La vejiga natatoria se observó en estadios anteriores un poco más pequeña, en este estadio, se evidencia más grande, con gran cantidad de glándulas gaseosas, lo que permite su flotabilidad, está vejiga está conectada al sistema digestivo, es allí donde depositan el gas que expulsan por compresión muscular para poder hundirse en el agua (Umezawa, *et al,* 2012)

Producción Académica

Este trabajo ha sido presentado como producción académica en modalidad de póster durante el XVII Congreso de Ictiología, X Simposio de Latinoamérica de Ictiología y VIII Encuentro Suramericano de Ictiología. Este formato ha permitido compartir los resultados y conclusiones obtenidos en esta investigación de una manera visual y accesible para la comunidad académica. La elaboración del póster no solo ha sido una oportunidad para condensar la información clave del trabajo, sino también para promover el intercambio de ideas y el debate en entornos académicos y profesionales.

Además, este trabajo ha servido como base para la creación de una cartilla ilustrativa. Esta herramienta visual ha sido diseñada con el objetivo de difundir de manera accesible y didáctica los principales hallazgos derivados de esta investigación.


Universidad de los Llanos

Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería

Certifican que:

Daniela González Lozano

Cédula de ciudadanía: 1024562958

Participó en calidad de ponente en el:

XVII Congreso Colombiano de Ictiología
X Simposio Latinoamericano de Ictiología
VIII Encuentro Suramericano de Ictiólogos

Con el trabajo: CARACTERÍSTICAS HISTOLÓGICAS EN LA ORGANOGÉNESIS DEL DESARROLLO DEL PEZ GUPPY Poecila reticulata

Villavicencio, Colombia, 8 al 10 de mayo de 2024

ROSA ELENA AJIACO
Presidente Asociación Colombiana de Ictiología

FRANCISCO JAVIER GARCÍA DE LEÓN
Presidente
SOCIEDAD ICTIOLÓGICA MEXICANA, A.C. - SIMAC

ELVIS MIGUEL PEREZ RODRÍGUEZ
Decano Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería

Se expide a los veintiséis (26) días del mes de mayo de 2024



CONCLUISONES

- Los riñones de los peces poseen estructuras análogas con los humanos como la cápsula de Bowman, en el intestino las células caliciformes y las estructuras específicas del bazo como las trabéculas.
- *Poecilia reticulata p*osee una glándula mixta (exocrina y endocrina) denominada hepatopáncreas, es decir, no posee órganos divididos; por el contrario, tiene un solo órgano con componente hepático y componente pancreático.
- El crecimiento de órganos y tejidos se evidencio desde la etapa 5 hasta la 7, en las etapas 8, 9 y 10 solo se observó crecimiento en tamaño y cantidad de células específicas.
- Se llevo a cabo la primera descripción de vejiga natatoria para la especie *Poecilia reticulata*, en la cual se observaron glándulas gaseosas y gran cantidad de glóbulos rojos.

REFERENCIAS

Álvarez, C. (2011). Efectos teratogénicos del nitrato de plomo en el desarrollo embrionario del pez cebra *Danio rerio* (Hamilton, 1822) a cinco dosis subletales. Recuperado de: http://hdl.handle.net/10554/8844.

Anzueto, M. (2013). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Barzola. (2019). SCIELO. Obtenido de hidrobiología.

Bekkers, J. (s.f.). Pyramidal neuroms. John Curtin School of Medical Research, The Australian National University, Canberra, Australia.

Botta, P., Sciara, A., Arranz, S., Murgas, L., Pereira, G., Oberlender, G (2010). Estudio del desarrollo embrionario del sábalo *(Prochilodus lineatus)*. Archivos de Medicina Veterinaria. http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2010000200014

Brusco, H., López, J., Loidl, C., (2014). Histología médico-práctica. Editorial Elsevier España, SL. Barcelona, España. Pág. 120.

Budaev, SV (1997). "Personalidad" en el Guppy (*Poecilia reticulata*): un estudio correlacional del comportamiento exploratorio y la tendencia social. *Revista de Psicología Comparada, 111* (4), 399–411. https://doi.org/10.1037/0735-7036.111.4.399

Buzsáki, G., & Czéh, G. (1992). Physiological function of granule cells: a hypothesis. *Epilepsy research. Supplement*, *7*, 281–290.

Calderón, D., Ruiz, D. (2009). Descripción morfométrica e histológica de la madurez gonadal del pulpo común (*Octopus cf. vulgaris*) durante una época seca en la bahía de Taganga, caribe colombiano. Universidad Militar Nueva Granada.

Campos, H. D. (1997). Categorías de conservación de peces nativos de aguas. En B. D. Natural. 10

Casas, A., Martin, L. (s.f.). Sociedad Acuariología del Plata. Recuperado el 26 de junio de 2023

Castel, A., Herrera, M., Ustarroz, M. (2017). Histología y Biología celular. 3° edición. Capítulo 11. Tejido y órganos linfoides.

Cermeño, E. (2020). Evaluación histológica de hígado, branquias y musculo en el organismo modelo *Poecilia reticulata* "Guppy" por efecto de la exposición de agua residual industrial. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ciencias Biológicas. Perú.

Chaves, M. &. Santamaria, M. (2006). Informe sobre el avance en el conocimiento (2 ed.). Bogotá: Colombia. Recuperado el 2023

Colin, L., Carrillo, P. (2017). Histología y Biología celular. Tercera Edición. Cap. 8. Tejido nervioso. Pag 151.

Corredor, N., Silva., A. (s.f.). Comparación histológica y morfológica del hígado de *Poecilia reticulata* (Guppy) y *Danio rerio* (Zebrafish). Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada.

Cruz, A., Sánchez, R., Martínez, V. (2022). Diversidad celular del epitelio branquial de dos especies endémicas del género *Corydoras* que habitan los ambientes con diferente salinidad. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, Argentina.

Dunaevskaya, E. (2010). Investigaciones histológicas del desarrollo de los órganos y tejidos de las larvas de pez ballena durante la ontogénesis.

ECOVIDA. Recuperado el 2023, de Revista científica sobre diversidad Biológica y gestión Integrada

Fernández, D. (2000). Caracterización histoquímica, distribución y crecimiento de las fibras musculares en nototénidos subantárticos. Análisis inicial de dos factores relacionados con la natación: flotabilidad y temperatura. Universidad De Buenos Aires Facultad De Ciencias Exactas Y Naturales.

Fish, J. Wolf, N. Harris, M. Planas, J. (2020). A comprehensive description of oocyte developmental stages in Pacific halibut, Hippoglossus stenolepis. Wiley Journal of Fish Biology.

Fuentes, S. Awrunch, C. Moya, C, Wehitt, A. Díaz, M. (2023). First detailed description of follicle development in a chimaeroid, the American elephant fish *Callorhinchus callorhynchis*. Argentina: Instituto de Ciencias Biológicas y Biomédicas del Sur.

Gao Xiaoqiang, Huang Bin, Guan Changtao, Liu Baoliang, Jia Yudong, Hong Lei. (2018). Estudio sobre la aparición temprana y el desarrollo de los órganos de los peces. Revista de Investigación Pesquera, 2018, 5(2): 51-63. https://doi.org/10.12677/OJFR.2018.52008

García Avila, I., Koldenkova, L., Santamarina Mijares, A., & González Broche, R. (1991). Introducción del pez larvívoro Poecilia reticulata (Peters, 1895) (*Cyprinodontiformes: Poeciliidae*), agente biorregulador de culícidos en lagunas de oxidación y zanjas contaminadas en la Isla de la Juventud [The introduction of the larvivorous fish Poecilia reticulata (Peters, 1895) (Cyprinodontiformes: Poeciliidae), a bioregulator of culicids in oxidation ponds and contaminated drainage ditches on the Isla de la Juventud]. *Revista cubana de medicina tropical*, *43*(1), 45–49.

García, I., Cervantes, S., Ustarroz, M., Fortoul, T. (2017). Histología y biología. 3° edición. Capítulo 21. Ojos y sus anexos.

Ghdotti, M. and Wiley, E. (2002). American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Recuperado el 2023

Gordillo, L (2017). estudio del desarrollo embrionario del pez *amatitlania nigrofasciata* (Perciformes: Cichlidae).

Gueimundi, J. (1989) Embriología. Editorial Pueblo y Educación. SNLC:CU 01.52630.8; La Habana, Cuba

Guerrero, R (2017). Técnicas histopatológicas. Histología y Biología celular 3 edición. Departamento de Biología Celular y Tisular, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. (UNAM)

Hernández, David R, Santinón, Juan J, Sánchez, Sebastián, & Domitrovic, Hugo A. (2014). Estudio histológico e histoquímico de la organogénesis del tubo digestivo de Rhamdia quelen en condiciones de larvicultura intensiva. *Latin american journal of aquatic research*, *42*(5), 1136-1147. https://dx.doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-17

Hugo, V. (2009). Biología Marina y Oceanografría: Conceptos y Procesos. En C. Werlinger, La vida en el mar (pág. 255).

Iva, D. Jacub, Z. Radim, B. Martin, R. Soucková, K. Ondrej, S. (2022). Bioone Digital Library. doi: https://doi.org/10.25225/jvb.21074

Junqueria, L., Carneiro, J. (2013). Histología Básica: Textoy Atlas. 12 edición. Editorial Médica Panamericana. Pág. 297.

Lambert, J. (1970). The Ovary of the Guppy, Poecilia reticulata

Lee†, L. and Young, K. (2014). National Center for Biotechnology Information.

López, C. Velásquez, E. Anzuelo, M. Matamoros, W. Salgado, W. (2021). Cuaderno de Investigación UNED. doi: https://dx.doi.org/10.22458/urj.v13i1.3266

Mancera, N., Álvarez, R. (2014). Comercio de peces Ornamentales en Colombia. Recuperado el junio de 2022

Mancini, M. (2002). Nociones sobre anatomía y fisiología de los peces. En Introducción a la Biología de los peces (págs. 1-5).

Megías, M., Molist, P., Pombal, M. (2022). Atlas de Histología Vegetal y Animal. Tipos celulares: ASTROCITOS. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo.

Mokhlar, J. (2015). Comparative Structural Organization of Skin in Red-Tail Shark Epalzeorhynchos Bicolor) and Guppy (Porcilia reticulata).

Moncalerano, E., Sánchez, C., Prieto, C. (2018). Estudio histológico y morfológico del desarrollo embrionario del pez Capitán de la Sabana *(Eromophilus mutisii*). Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica. https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n22018.1073

Moshayed, E. Jailili, S. Mausavi, S. (2015). International Journal of the Bioflux Society Research Article. Recuperado el 18 de junio de 2023,

Murillo, P. Reto, J. Basillo, L. (2004). Scielo. Recuperado el 2023, de Revista de Biología Tropical

Olivares, R., Rojas, M. (2013). Esqueleto Axial y Apendicular de Vertebrado. DOI: 31(2):378-387

Ovalle, W., Nahirney., P. (2008). Netter´s histology flas cards updated edition. Section 2: SYSTEMS. Cap 19. Eye an Adnexa. Retina. pag. 433.

Ovalle, W., Nahirney., P. (2008). Netter´s histology flas cards updated edition. Section 2: System. Cap 13. Lower Digestive System. Pág. 321.

Pennisi, E. (2012). El gran experimento de los uppys. Ciencia, 337(6097), 904–908. doi:10.1126/ciencia.337.6097.904. 10.1126/ciencia.337.6097.904

Pimentel, A. Izquierdo, K. Costales, A. Bello, O. Fajardo, A. Marquez, C. Cáceres, A. (2016).

Plaul, S. Diaz, A. Barbeito, G. (2012). Aspectos comparativos de la morfología del riñón de los peces. Universidad La Plata, Argentina.

Polanco, A., Acero, A. (2019). Biodiversidad de los peces de agua dulce en Colombia. Colombia.

Rodríguez, A.J. 2007. Hábitos alimenticios de Micropterus salmoides (Pisces: Centrarchidae), Lepomis gibbosus (Pisces: Centrarchidae) y Gambusia affinis (Pisces: Poeciliidae) en las orillas del embalse de Proserpina (Extremadura, España). Limnética 5: 13-20

Rodriguez, V., González, A., Caffagi, D., Fortoul, T., Rojas, M. (2017). Histología y Biología celular. 3° edición. Capítulo 6, Tejido conectivo (propiamente dicho y especializado).}

Rojas, L., Mata, C., Oliveros, A., Salazar, R. (2012). Histología de branquías, hígado y riñón del pez neotropical *Colossoma macropomum* (Characiformes, Characidae) expuesto a tres temperaturas.

Ross, M y Wojciech, P. (2020). Cap 24, OJO. Histología texto y atlas. Correlacion con biología molecular y celular. Editorial Wolters Kluwer. Pág., 972, 973, 976.

Salazar, R. Romero, Z. Centeno, L. (2012). Caracterización morfológica y citoquímica de leucocitos del pez dulceacuícola *Colossoma macropomum* (CHARACIFORMES: CHARACIDAE). Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Escuela de Ciencias, Postgrado de Biología Aplicada, Cumaná.

Salinas, D. (2011). El sistema digestivo de peces teleósteos. México D.F.

Sancho, C. (2018). Desarrollo embrionario en peces dulceacuícolas de la familia Poeciliidae, estrategias de conservación. México.

Shaddock, P. (2009). El guppy transparente: un modelo de pez transparente. *Aacl Bioflux, 2*, 137-145.

Sousa, S. (2018). Microscopic morphology of the liver of the guppy.

Torres, G., González, S., Peña, E. (2010). Descripción Anatómica, Histológica y Ultraestructural de la Branquia e Hígado de Tilapia (*Oreochromis niloticus)*

Umezawa, T., Kato, A., Ogoshi, M., Ookata, K., Munakata, K., Yamamoto, Y., Islam, Z., Doi, H., Romero, M., Hirose, S. (2012). La vejiga natatoria llena de O2 emplea monocarboxilato Transportadores para la Generación de O2 por Lactato Inducido Hemoglobina de efecto raíz.

Urriola, M. Cabrera, J. Protti, M. (2004). Fecundidad, fertilidad e índice gonadosomático de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae) en Heredia, Costa Rica. Revista de Biología Tropical. Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre (LARNAVISI), Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional. Apdo.Postal 86-3000 Heredia, Costa Rica

Vega, G., Rico, M. (2020). Tejido adiposo: función inmune y alteraciones inducidas por obesidad.

Welsch, U., Deller, T. (2010). Sobotta Histología. 3° edición. Capítulo 3. Tejidos; tejido conjuntivo, tejido adiposo. Capítulo 6. Sistema inmunitario (sistema linfático, sistema de defensa). Capítulo 10. Sistema digestivo. Capítulo 17. Órganos de los sentidos; órgano de la visión.

Wester, P. and Canton, J. (1987). Histopathological study of Poecilia reticulata (Guppy) after-term exposure to bis(tri-n-butyltin) oxide (TBTO) and di-n-butyltindichloride (DBTC). Wester, P. Hans, C. (1992). Histopathological Effects in Poecilia reticulata (Guppy) Exposed to Marthyl Mercury Chloride.