

Estudio histológico del sistema digestivo en diferentes estadios de desarrollo de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*)

Miguel Ángel Mendoza R.¹ / Jair Comas Corredor² / Clara Stefany Romero Hurtado³

Resumen

La cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) es la segunda fuente de producción piscícola en Colombia, después de la tilapia roja (*Oreochromis* spp.) y antes de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Se destaca, además, como una de las especies con mayor potencial productivo en el país. Se realizó el estudio histológico del sistema digestivo de la *Piaractus brachypomus* a fin de determinar la morfología normal en diferentes estadios de desarrollo. Para ello se clasificaron los animales según la edad, el tamaño y el peso en ovas embrionadas, larvas con saco vitelino, alevinos después de reabsorción de saco vitelino, juveniles (3-5 cm, 5-7 cm, 10 cm, 15 cm) y adultos (300 g). La fijación de los tejidos se realizó en formaldehído al 3,7% y se describió microscópicamente la cavidad bucal, faringe, esófago, estómago, ciegos pilóricos, intestinos y las glándulas anexas, hígado y páncreas. Por último, se describió macroscópicamente la organización anatómica de este sistema.

Palabras clave: peces, hematoxilina-eosina, estadios.

Histological Study of the Digestive System in Different Stages of Development of Pacu (*Piaractus brachypomus*)

Abstract

Pacu (*Piaractus brachypomus*) is the second source of fish production in Colombia after the red tilapia (*Oreochromis* spp.) and before the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). It also stands out as one of the species with the most productive potential in the country. A histological examination was performed on the digestive system of the *Piaractus brachypomus* in order to determine normal morphology at different stages of development. For that purpose, the animals were classified according to age, size and weight in fertilized eggs, yolk-sac larvae, fingerlings after yolk-sac reabsorption, young (3-5 cm, 5-7 cm, 10 cm, 15 cm) and adults (300 g). Tissue fixation took place in formaldehyde at 3.7% and the oral cavity, pharynx, esophagus, stomach, pyloric caeca, intestines and related glands, liver and pancreas were microscopically described. Finally, the anatomical organization of this system was macroscopically described.

Keywords: Fish, hematoxylin-eosin, stadiums.

1 Médico veterinario, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Medicina Veterinaria, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. ✉ mmendoza00@unisalle.edu.co

2 Médico veterinario, Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Sanidad Animal. Ictiopatólogo, Laboratorio Nacional de Diagnóstico Veterinario (LNDV), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, Colombia. ✉ jair.comas@ica.gov.co

3 Médica veterinaria, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. MSc en Fisiopatología Veterinaria, Universidad Nacional de Colombia. Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle. ✉ csromero@unal.edu.co

Estudo histológico do sistema digestivo em diferentes estágios de desenvolvimento do pacu branco (*Piaractus brachypomus*)

Resumo

O pacu branco (*Piaractus brachypomus*) é a segunda fonte de produção originária da piscicultura na Colômbia, depois da tilápia vermelha (*Oreochromis* spp.) e antes da truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). Destaca-se, também, como uma das espécies com maior potencial produtivo no país. Realizou-se estudo histológico do sistema digestivo da *Piaractus brachypomus* a fim de determinar a morfologia normal em diferentes estágios de desenvolvimento. Para isso se classificaram os animais de acordo à idade o tamanho e o peso em ovas embrioadas, larvas com saco vitelino, alevinos depois de reabsorção de saco vitelino, juvenis (3-5 cm, 5-7 cm, 10 cm, 15 cm) e adultos (300 g). A fixação dos tecidos se realizou em formaldeído ao 3,7% e se descreveu microscopicamente cavidade bucal, faringe, esôfago, estômago, cegos pilóricos, intestinos e as glândulas anexas, fígado e pâncreas. Finalmente, descreveu-se microscopicamente a organização anatômica deste sistema.

Palavras chave: peixes, hematoxilina-eosina, estágios.

INTRODUCCIÓN

La cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) es un carácido neotropical originario de las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco. Es autóctona de países suramericanos como Colombia, Venezuela, Perú y Brasil, y ha sido introducida en países asiáticos, africanos y norteamericanos (1).

En Colombia, la mayor producción está localizada en la región de la Orinoquia, en el departamento del Meta con 2000 toneladas por año (t/A). Su importancia comercial radica en la calidad y el sabor de su carne, aceptación en el mercado, hábitos omnívoros y adaptación rápida a diversas dietas, lo que favorece las tasas de conversión alimenticia. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) (1), la especie es una alternativa para satisfacer la seguridad alimentaria como

fuelle proteica para las poblaciones mundiales. Otras de sus ventajas productivas son su manejo zootécnico, ya que es apta para cultivos extensivos y semiintensivos, y es propicia para mono y policultivos (2).

En la *P. brachypomus* se han realizado estudios dirigidos a la biología, anatomía, hematología, sanidad, hábitos alimenticios, requerimientos nutricionales, producción en policultivos, criopreservación de gametos y reproducción en cautiverio (2). Sin embargo, los estudios morfológicos se han concentrado en la descripción de órganos como el bazo, el tejido sanguíneo y la organización general de sistema circulatorio. El sistema digestivo ha sido evaluado por autores como Eslava (3, 4) y Muñoz (5) sin que se realice la descripción en todos los estadios del desarrollo de la especie, destacándose principalmente en estadios juveniles (alevinos).

HISTOLOGÍA DIGESTIVA DE LOS PECES

El sistema digestivo de los peces está compuesto por boca y tubo digestivo, este último consiste en un tubo elongado con una pared muscular (6). Está dividido en cavidad oral, faringe, esófago, estómago e intestino; lo anterior puede variar según la especie y los hábitos alimenticios. Hacen parte del sistema digestivo órganos extramurales o glándulas anexas —hígado y páncreas—, las cuales participan en la síntesis de enzimas necesaria para la digestión del material alimenticio (7, 8).

Histológicamente el tubo digestivo de los teleosteos es simple, comparado con otros organismos superiores evolutivamente y desde víscera anterior hasta víscera posterior; está compuesto por cuatro capas organizadas de manera concéntrica, así (del lumen hacia afuera):

Túnica mucosa: consiste en el epitelio mucoso que da hacia la luz del órgano, seguido de *lámina propia* (intermedia), la cual es un tejido conectivo vascularizado que contiene nervios y leucocitos, y por último la *muscularis mucosae* en la parte más externa.

Submucosa: es una capa adicional de tejido conectivo, con menos celularidad que la primera capa, presenta vasos sanguíneos, tejido linfático y plexos nerviosos (6).

Túnica muscularis (muscular): consiste en una capa de músculo (liso o estriado) distribuida de manera circular (interior) y longitudinal (exterior), algunos peces poseen una capa de músculo oblicuo (lampreas).

Túnica serosa: se encuentra dentro de la cavidad celómica, está constituida por células mesoteliales y tejido conectivo laxo, con vasos sanguíneos y se encuentra rodeada por un epitelio escamoso peritoneal (8).

METODOLOGÍA

Se realizó en cinco etapas: 1) recolección de muestras, 2) procesamiento de muestras, 3) descripción de tejidos, 4) proceso fotográfico y 5) anexos. En la fase de recolección de muestras los animales se clasificaron en estratos según edad productiva, talla o tamaño y peso (tabla 1). El protocolo de eutanasia y necropsias se realizó bajo la metodología descrita por AVMA en su panel de eutanasia, AFS-AIFRB-ASIH (9) y Branson (10).

Tabla 1. Clasificación de los animales en estudio

Tipo de muestra (edad)	Especificaciones	Número de especímenes
Ovas embrionadas (mm)	1,5	50
Larvas con saco vitelino (mm)	2	50
Alevinos (cm)	1-2	20
Juveniles ^a (cm)	3-5	10
Juveniles (dedinos) ^b (cm)	5-7	10
Juveniles (dedinos) ^c (cm)	10	10
Juveniles ^d (cm)	15	10
Adultos	> 20 cm / 300 g*	5

Nota: clasificación de juveniles: ^aetapa final del alevinaje; ^{b,c}dedinos; ^djuveniles preadultos.

*Promedio de peso de 300 g al finalizar el proceso productivo.

Se accedió a la cavidad celómica a través de un corte parabólico ascendente y se inyectó formaldehído al 10% en los órganos digestivos. Los especímenes de menor tamaño se fijaron sin procesarlos previamente.

Posterior a la fijación se realizó la técnica de procesamiento para tinción por hematoxilina-eosina (H-E) de cortes de 3 μm . La descripción de los tejidos se realizó por las metodologías descritas por Ferguson (7), Mumford et ál. (11) y Genten et ál. (6), las cuales tienen en cuenta la distribución, la organización anatómica de los órganos digestivos y su fisiología.

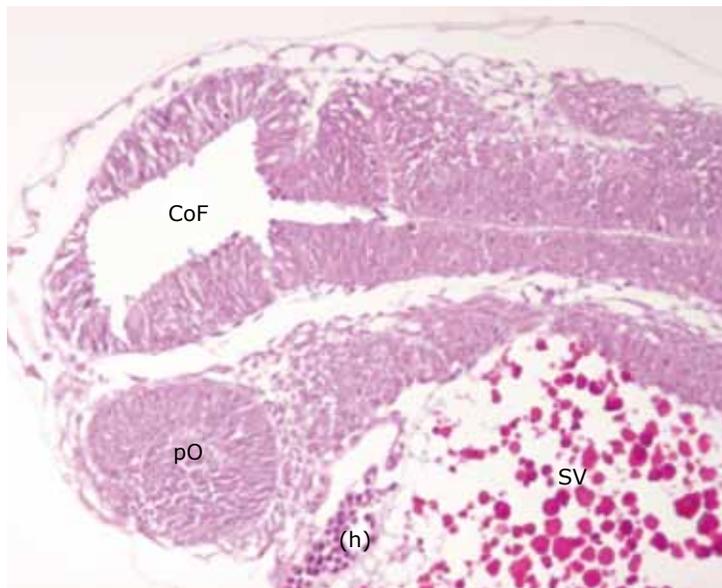
Una vez obtenidos los cortes con tinción se realizó la toma de material fotográfico de cada una de las regiones del tubo digestivo con microscopio de luz Nikon Eclipse E600; cámara Nikon Cam DMX 1200, y el uso del *software* de captura y manejo de imágenes (ACT-1®).

RESULTADOS

Huevos (ovas) embrionados

Macroscópicamente los huevos embrionados recolectados a las 12 h de incubación o fase final de formación poseen un tamaño de 1500 μm , manifiestan una cubierta protectora transparente y el embrión representa el 80 % del contenido del huevo. Microscópicamente, en el embrión se puede observar: el saco vitelino (*vitelo*) y en el polo vegetal el embrión separado por sus regiones cráneo-caudal. Además, se observa la formación de estructuras ópticas. Es posible ver cavidad oral y ano sin orificios de apertura. El tubo digestivo se encuentra como una saculación dispuesta sobre el saco vitelino. No son detectables las diferentes secciones del tubo, y la morfología celular presente en él es de característica oval y de núcleo central cimentada en una capa de tejido mesodérmico (figura 1).

Figura 1. Región craneal de embrión



CoF: cavidad oral cerrada; pO: tejido óptico; SV: saco vitelino; h: hígado en formación. 200X H-E.

Larvas con saco vitelino

En las larvas recién eclosionadas macroscópicamente no se observan estructuras digestivas; sin embargo, es posible ver el saco vitelino en la región ventral. Microscópicamente no se observa una diferenciación celular o tisular de los órganos digestivos. El sistema digestivo se aprecia como un tubo simple, y no se aprecia la formación de la cavidad celómica propiamente dicha (figura 2).

En algunos especímenes se alcanza a ver la apertura de la cavidad oral aunque en otros se observa totalmente cerrada apreciándose una fina capa de epitelio que la recubre; no se ven dientes. El ano también

se encuentra cerrado. Se observó un epitelio cúbico simple, proyectado hacia la luz, desde la boca hasta la parte final. Estas células indiferenciadas son ovoideas con un núcleo central y se ven sustentadas sobre un tejido aparentemente mesodérmico preesentérico, por lo que no se aprecia la diferenciación de las capas concéntricas (figura 3).

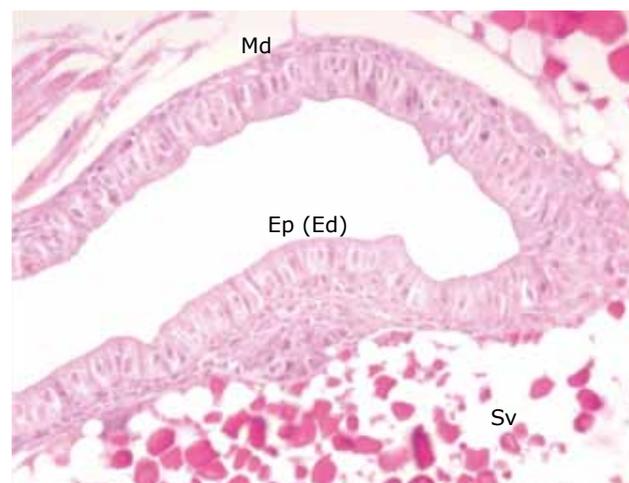
El saco vitelino se ubica hacia la parte ventral de las larvas, en la sección medial. En la parte exterior se observa el tejido tegumentario, y en algunos casos hay melanina. El vitelo está constituido por células adiposas y proteínas empaquetadas. En su interior (ventrolateral) se observa tejido prehepático organizado en acinos rudimentarios.

Figura 2. Corte longitudinal de larva



Ao: apertura oral; Op: opérculo; Sv: saco vitelino; TD: tubo digestivo. 40X H-E.

Figura 3. Tubo digestivo



Ep: epitelio; Md: tejido mesodérmico. Sv: saco vitelino. 400X H-E.

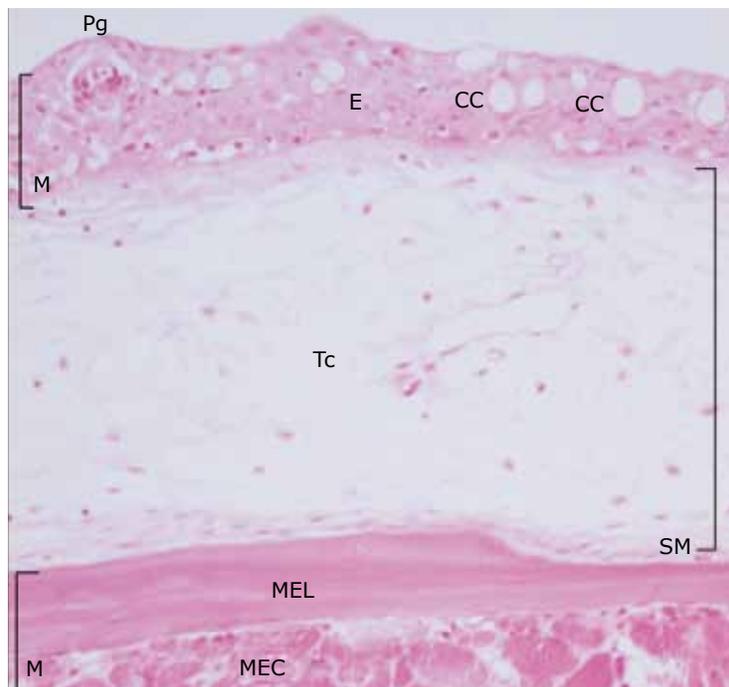
Cavidad oral y faringe

Vista de manera macroscópica la cavidad oral es amplia ya que ocupa el 60% de la superficie de la cabeza. Se encuentra rodeada por estructuras labiales, las premaxilas, los paladares superior e inferior, los opérculos y los arcos branquiales. Microscópicamente esta cavidad está recubierta por un epitelio escamoso estratificado en el cual se observan células caliciformes. Hacia el interior se encuentra un tejido conectivo denso en donde es posible observar plexos nerviosos y vasos sanguíneos, hay también una capa de músculo estriado longitudinal y posteriormente músculo estriado circular. Son apreciables a esta altura papilas gustativas fungiformes a lo largo de toda la mucosa oral (figura 4).

Los dientes son molariformes y se encuentran ubicados en la premaxila. Están constituidos por esmalte, dentina y pulpa. Los odontoblastos son visibles entre la dentina y la pulpa. La porción más interna del diente está constituida por una estructura ósea con apariencia de hueso trabecular. Existen a su vez dos estados de desarrollo dental: en formación y completamente formados. Los dientes en formación están por dentro de los huesos premaxilares; estos están compuestos por escleroblastos, odontoblastos, pre-dentina y esmaltoide (figura 5).

La faringe es un tubo corto que conecta la cavidad bucal con el esófago. Es la primera estructura tubular del sistema digestivo que posee componentes de las capas concéntricas, mucosa, submucosa y la

Figura 4. Mucosa oral



M: mucosa; E: epitelio escamoso estratificado; CC: células caliciformes; Pg: papila gustativa fungiforme; SM: submucosa; Tc: tejido conectivo denso; M: muscular; MEL: músculo estriado longitudinal; MEC: músculo estriado circular. 100X H-E.

muscular. La mucosa está compuesta por un epitelio escamoso estratificado, organizada a manera de pliegues. Es de notar que aumenta la cantidad de células caliciformes dispuestas en este epitelio, en comparación con las de la cavidad oral. La submucosa es una capa delgada de tejido conectivo laxo, con tejido nervioso y tejido sanguíneo, la cual se muestra inmersa en los pliegues mucosos. La capa muscular está compuesta por dos tipos de músculo estriado, el longitudinal y el circular, dispuestos externa e internamente, respectivamente. Los dientes faríngeos están compuestos por dentina y bulbo interno, estos dientes son mucho más pequeños que los ubicados en la cavidad oral, y su forma es puntiaguda (figura 6).

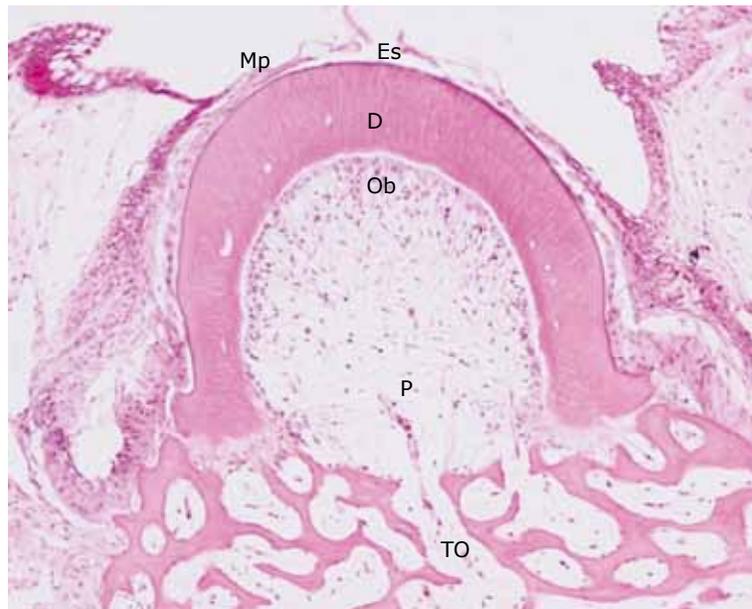
Esófago

El esófago es un tubo corto ubicado en la parte anterior de la cavidad celómica, y es la primera sección de tubo digestivo que está dentro de esta. Se localiza entre la faringe y el estómago. A nivel

macroscópico es casi imposible distinguirlo de la faringe.

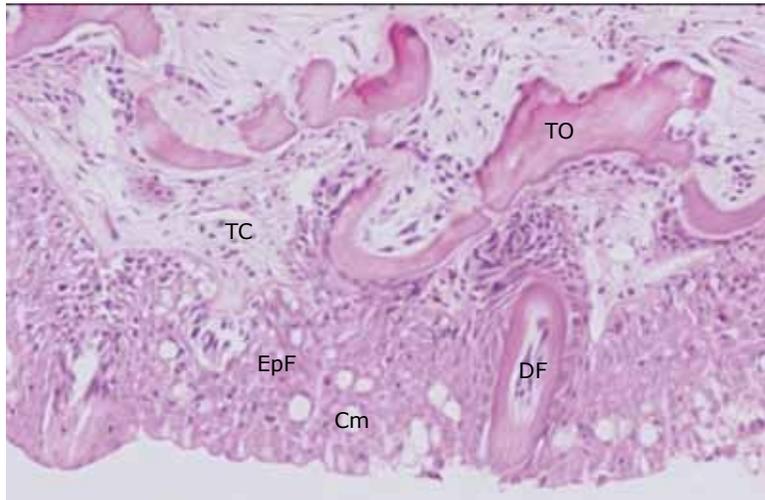
Histológicamente el esófago se divide en dos regiones: esófago anterior y esófago posterior. Las capas concéntricas (mucosa, submucosa, muscular, serosa) están presentes en ambas. El esófago se caracteriza por tener pliegues mucosos longitudinales ramificados compuestos por el borde de la mucosa y la submucosa que se interioriza. La mucosa está formada por un epitelio escamoso simple, y la submucosa, por tejido conectivo laxo, con presencia de fibras nerviosas, vasos sanguíneos y, en algunos casos, paquetes musculares longitudinales. En la submucosa se observan dos fases tisulares del tejido conectivo: el *stratum granulosum* y el *stratum compactum*. La capa muscular está constituida por músculos estriados circulares y longitudinales ubicados externa e internamente, respectivamente. La serosa se observa como una monocapa de tejido escamoso que se completa con secciones de mesenterio que lo recubre (figura 7).

Figura 5. Diente molariforme corte transversal



Mp: capa mucosa; Es: esmalte; D: dentina; Ob: odontoblastos; P: pulpa; TO: tejido óseo maxilar. 200X H-E.

Figura 6. Mucosa faríngea



DF: diente faríngeo; Cm: células mucígenas; EpF: epitelio; TC: submucosa; TO: tejido óseo. 200X H-E.

Histológicamente el esófago se divide en dos regiones: esófago anterior y esófago posterior. Las capas concéntricas (mucosa, submucosa, muscular, serosa) están presentes en ambas. El esófago se caracteriza por tener pliegues mucosos longitudinales ramificados compuestos por el borde de la mucosa y la submucosa que se interioriza. La mucosa está formada por un epitelio escamoso simple, y la submucosa, por tejido conectivo laxo, con presencia de fibras nerviosas, vasos sanguíneos y, en algunos casos, paquetes musculares longitudinales. En la submucosa se observan dos fases tisulares del tejido conectivo: el *stratum granulosum* y el *stratum compactum*. La capa muscular está constituida por músculos estriados circulares y longitudinales ubicados externa e internamente, respectivamente. La serosa se observa como una monocapa de tejido escamoso que se completa con secciones de mesenterio que lo recubre (figura 7).

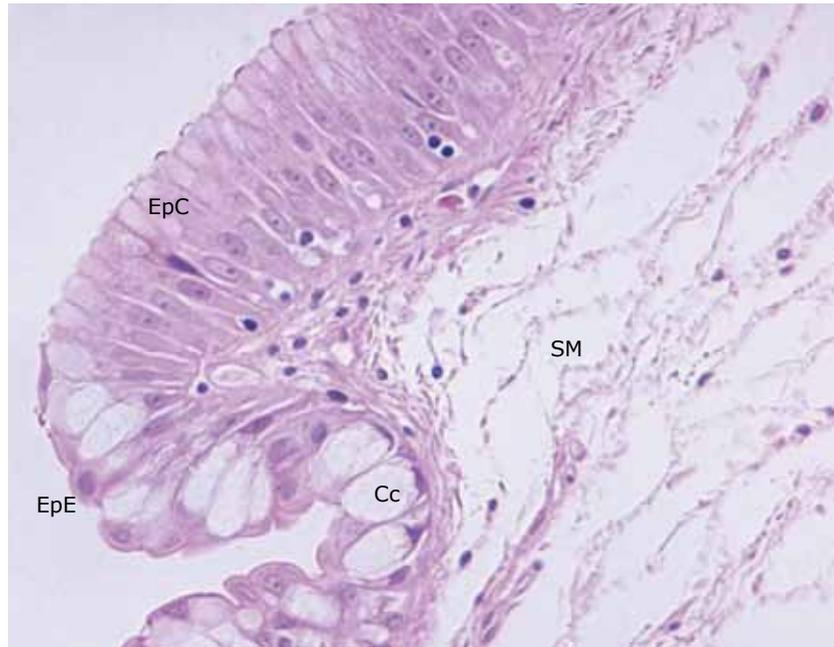
En la región posterior del esófago la variación histológica se denota principalmente en la capa mucosa y submucosa, ya que la capa muscular permanece

como músculo estriado circular y longitudinal, y la capa serosa sigue siendo la unión de tejido conectivo laxo mesentérico y células escamosas. Los cambios en la mucosa ocurren en el epitelio que pasa de plano simple a un epitelio columnar simple con presencia de células caliciformes. La submucosa es de mayor grosor en comparación con la región anterior (figura 8). Esta porción del esófago limita con el estómago; histológicamente se nota el cambio por la disminución y la desaparición de las células caliciformes y la aparición de las glándulas gástricas de la región fúndica del estómago.

Estómago

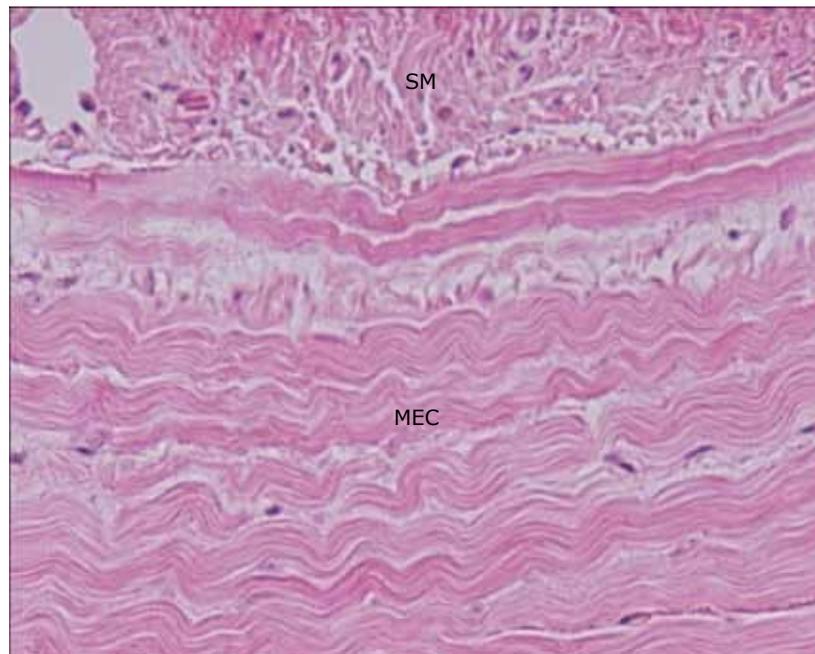
Macroscópicamente el estómago está ubicado posterior al esófago, tiene forma de jota y es el órgano digestivo que presenta cambios evolutivos representativos dados por posición, tamaño y forma. Histológicamente se diferencian las capas concéntricas del tubo digestivo —mucosa, submucosa, muscular, serosa— y se divide en dos regiones topográficas diferentes, la región cardiaca o fúndica y la pilórica. En la región cardiaca la mucosa está compuesta por

Figura 7. Transición esófago



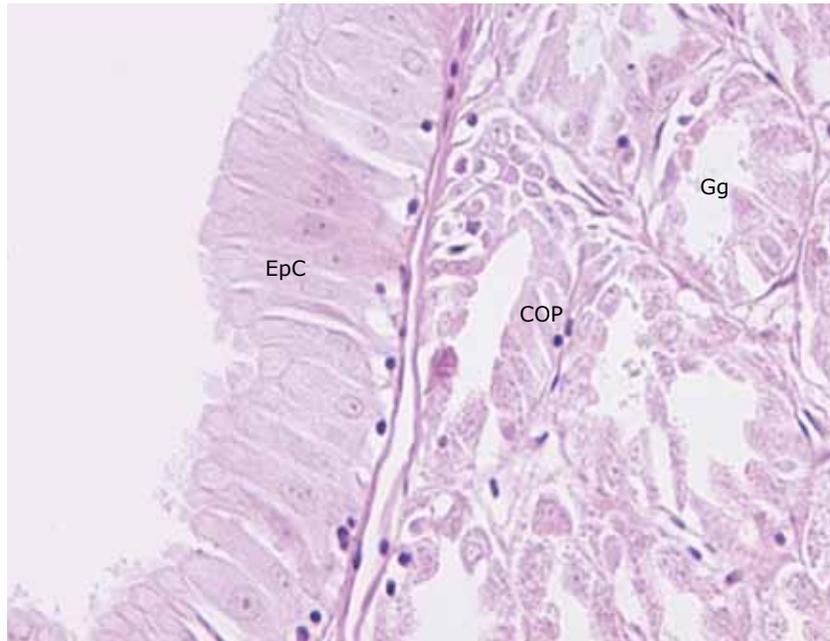
EpE: epitelio escamoso; Cm: células calciformes; EpC: epitelio columnar; SM: submucosa. 400X H-E.

Figura 8. Músculo estriado circular y submucosa del esófago



MEC: músculo estriado circular. Sobre este se aprecia la submucosa (SM). 400X H-E.

Figura 9. Mucosa gástrica cardiaca



EpC: epitelio columnar; Gg: glándulas gástricas; COP: células oxitincopépticas. 400X H-E.

epitelio columnar simple y casi nula presencia de células mucígenas (figura 9). La submucosa es tejido conectivo laxo con presencia de células granulares eosinofílicas, también se encuentran tejidos nerviosos y vasos sanguíneos. La capa muscular pasa de ser una musculatura estriada a una lisa, la serosa permanece igual a la presente en el esófago. Se observan las glándulas gástricas con forma acinar.

La región pilórica del estómago difiere de la cardiaca por la progresiva desaparición de las glándulas gástricas. Los pliegues de la mucosa disminuyen en grosor horizontal y la altura es variable, al corte transversal se observan como pliegues cónicos, con un ángulo dorsal agudo. En el interior se observa la submucosa, que disminuye en su ocupación espacial. En algunas secciones del estómago pilórico no se observan pliegues. La capa muscular va aumentando en su grosor; esto, dado por el músculo liso circular, a medida que se acerca al intestino anterior, lo que forma una estructura muscular estrecha con

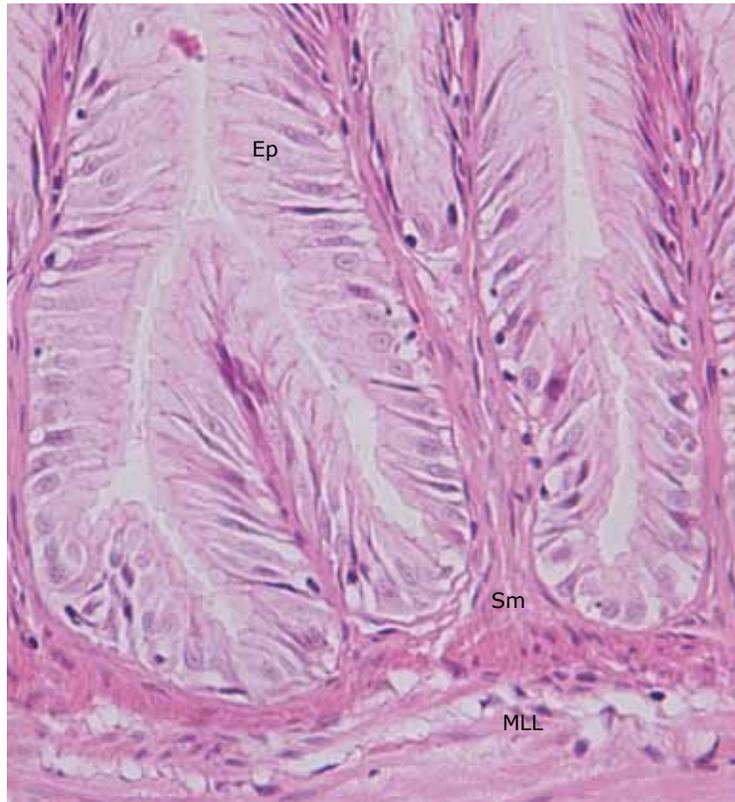
características de esfínter pilórico. En la serosa aumenta la cantidad de fibras de tejido conectivo laxo (figura 10).

Intestino

El intestino es un tubo sigmoideo con dos asas intestinales, una craneal y una caudal. Esta porción medioposterior del tubo digestivo alcanza una elongación tres veces el largo total del cuerpo del pez. Se divide anatómicamente en tres regiones: anterior, media y posterior. Esta división es exclusivamente topográfica, ya que macroscópica e histológicamente no existen diferencias claras entre las porciones intestinales (figura 11).

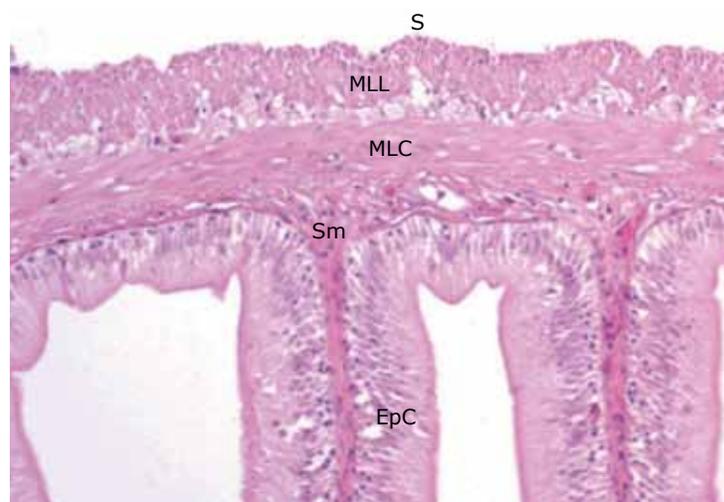
En cuanto a la histología intestinal se observan claramente las capas concéntricas características del tubo digestivo. La mucosa en conjunto con la submucosa forma los pliegues mucosos longitudinales, los cuales están proyectados hacia la luz intestinal. El revesti-

Figura 10. Estómago pilórico



Ep: epitelio; Sm: submucosa; MLL: músculo liso longitudinal. 400X H-E.

Figura 11. Intestino



EpC: epitelio columnar; Sm: submucosa; MLL y MLC: músculos liso longitudinal y liso circular; S: serosa. 200X H-E.

miento intestinal es por un epitelio columnar simple con presencia de células mucígenas. La submucosa está constituida por fibras de tejido conectivo laxo y es la que define la forma de los pliegues intestinales longitudinales. La capa muscular se encuentra desarrollada, en especial el músculo liso longitudinal ubicado internamente, mientras que la capa de músculo liso de orientación circular se observa delgada y en estrecha relación con la capa serosa, rodeada de plexos nerviosos, vasos sanguíneos y tejido pancreático difuso, inmerso de tejido graso.

Ciegos pilóricos

Los ciegos pilóricos se ubican en la región anterior del intestino después del estómago pilórico. Se observan como prolongaciones intestinales o apéndices tubulares a manera de filamentos. El número promedio de ciegos pilóricos encontrados en el presente trabajo fue de 20 a 35 paralelos al eje anteroposterior de la cavidad celómica y de la superficie dorsal, ventral y anterior del estómago pilórico.

Microscópicamente poseen las capas concéntricas mucosa, submucosa, muscular y serosa. La capa mucosa está compuesta por epitelio columnar simple y escasas células caliciformes; la submucosa, por tejido conectivo laxo. Esta túnica, en conjunto con la mucosa, forma pliegues mucosos similares a los intestinales. La capa muscular está constituida por músculo liso, en su mayoría de orientación circular, ya que el músculo liso longitudinal no se evidencia con claridad. La serosa es delgada y está compuesta por una monocapa de células escamosas; en ella no se observan plexos nerviosos. Las células caliciformes están presentes, pero en baja proporción. El borde de cepillo de las células epiteliales tampoco se aprecia (figura 12).

Glándulas anexas

Las glándulas anexas corresponden a dos órganos extramurales, el hígado y el páncreas, y de estos el que se distingue macroscópicamente es el hígado, mientras que el páncreas es apreciable solo microscópicamente.

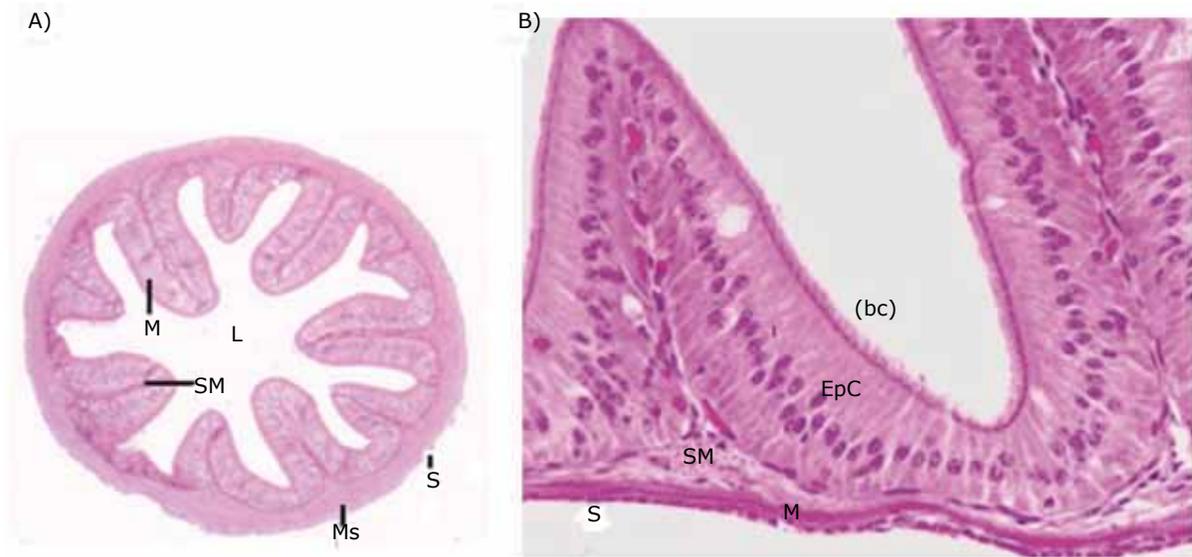
Hígado

El hígado se observa macroscópicamente como un órgano parenquimatoso de gran tamaño, ocupa cerca del 40 % de la cavidad celómica, es de coloración rojiza oscura, con apariencia brillante. No es un órgano lobulado, pero se distribuye lateralmente en la región anterodorsal de la cavidad celómica, en lo que puede ser descrito como dos segmentos hepáticos —lóbulo izquierdo y derecho—.

Histológicamente en todos los estadios de desarrollo se observan hepatocitos, sinusoides hepáticos, canalículos biliares y tejido pancreático intrahepático. En el borde del estroma hepático existe una capa de tejido epitelial escamoso simple y tejido conectivo laxo el cual forma la cápsula del órgano. Los hepatocitos tienen forma poligonal o poliédrica y núcleo. Los sinusoides hepáticos se distribuyen de manera difusa entre los hepatocitos, tienen una forma tubular y están revestidos en su interior por una monocapa endotelial de células escamosas con núcleos ovoides (figura 13).

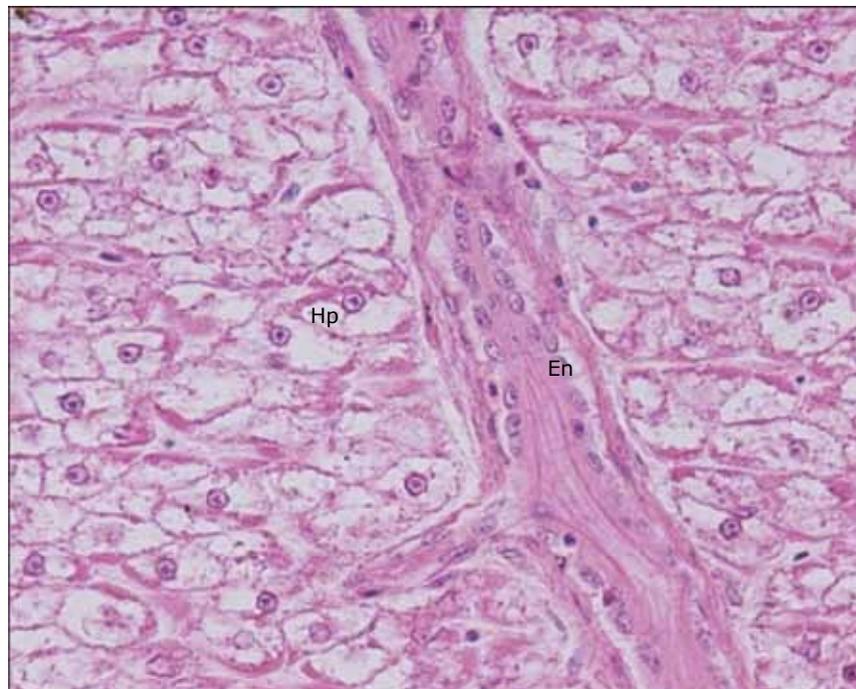
Los canalículos biliares se distribuyen entre los hepatocitos, están formados por un epitelio cúbico simple interno con una capa externa de tejido conectivo rodeada por músculo liso; además, se aprecia el aumento progresivo de estos canalículos hasta que desembocan en la vesícula biliar. Microscópicamente, el tejido biliar se compone de epitelio cúbico simple, seguido por un tejido conectivo laxo y posteriormente una capa de músculo liso longitudinal, bordeado por una capa serosa donde es posible observar plexos nerviosos.

Figura 12. Ciegos pilóricos



A) M: mucosa; SM: submucosa; Ms: muscular; S: serosa; L: músculo liso. 100X H-E. B) Detalle de borde de cepillo (bc) sobre el epitelio columnar simple (EpC). 400X H-E.

Figura 13. Hígado



Hp: hepatocitos; En: endotelio de canalículo biliar. 400X H-E.

En el interior del hígado se observa tejido pancreático, en su mayoría páncreas exocrino, especialmente en las regiones ventrales. El páncreas y el hígado no se fusionan, por lo que es más acertado describir este tejido como páncreas intrahepático que como hepatopáncreas.

Páncreas

Macroscópicamente el páncreas no es evidente. En general, en todos los estadios del desarrollo al microscopio se observan dos tipos de tejido pancreático: exocrino y endocrino. El páncreas exocrino es el tejido pancreático predominante, se observan en él células de forma piramidal con citoplasma basófilo y núcleo notablemente más oscuro ubicado hacia la parte medio-basal de la célula. Se observan además pequeñas estructuras circulares eosinofílicas refringentes distribuidas en el citoplasma, compatibles con los gránulos cimógenos. Estas células piramidales se organizan a manera de acinos con un ducto pancreático central. Histológicamente estos ductos están compuestos por epitelio cúbico simple rodeado por una fina capa de músculo liso y desembocan en las asas intestinales anteriores.

El páncreas endocrino se observa íntimamente relacionado con el páncreas exocrino, general-

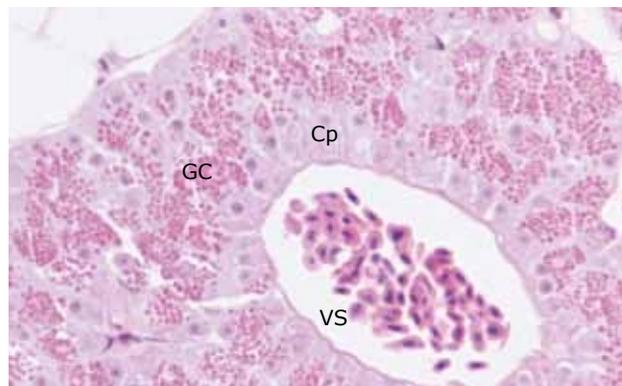
mente este último lo rodea. Su conformación es circular, constituido por islotes de Langerhans en forma de racimos, con una coloración más tenue que las células exocrinas; también se observa gran cantidad de núcleos basofílicos redondeados (figura 14).

Finalmente, en la figura 15 se muestra la evolución del sistema digestivo de *Piaractus brachyomus* desde larva hasta el estado adulto. Se observan cambios relacionados con el grosor o las dimensiones de las capas concéntricas a medida que avanza el desarrollo del tubo digestivo. En los estadios iniciales de vida la evolución del tubo digestivo tiene diferencias en cuanto a la posición dentro de la cavidad celómica, plasticidad fenotípica, presencia de células específicas y, por ende, la organización de las capas mucosas, submucosas, musculares y serosas.

DISCUSIÓN

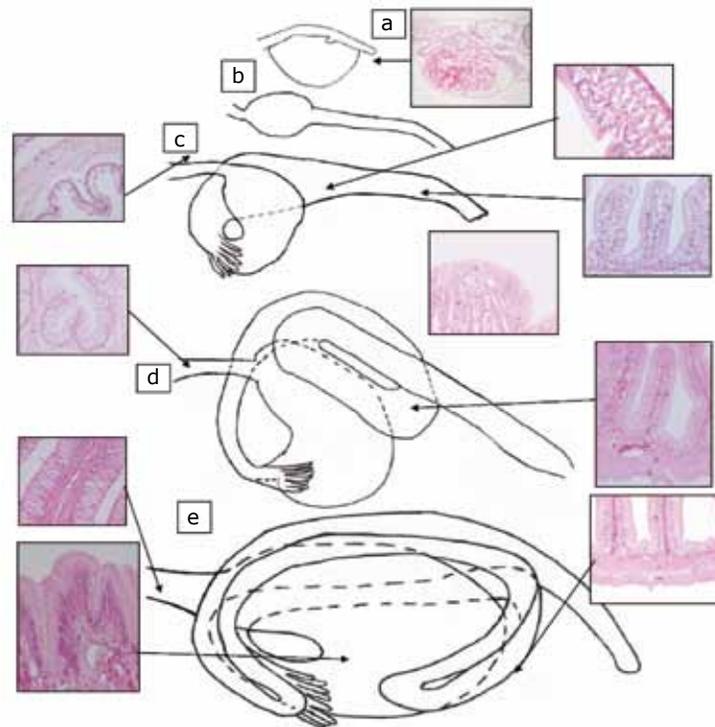
Los hallazgos asociados a la organización morfológica del sistema digestivo de la cachama blanca *Piaractus brachyomus* indican que no existe variación en cuanto a la distribución del tubo digestivo y glándulas anexas comparado con lo descrito en teleósteos en general (7, 6, 9, 13-17).

Figura 14. Páncreas endocrino (PEx)



Cp: células piramidales; GC: gránulos de cimógeno; VS: vaso sanguíneo; TG: tejido graso. 400X H-E.

Figura 15. Evolución del sistema digestivo de *Piaractus brachypomus*



a) larva, b) prealevino, c) alevino, d) alevino-prejuvenil, e) juvenil-adulto. Órganos seleccionados: esófago, estómago, intestino.

Fuente: basado en las ilustraciones de Yamanaka (1998) que aparecen en Grosell (6) y Tesser (12) sobre *Piaractus mesopotamicus*. Dibujos de Mendoza (2012).

En cuanto a la boca, esta es inmóvil ya que no existe el aparato de protrusión mandibular descrito por Shadwick (18) en peces de la *Actinopterygii*. Lo anterior puede ser asociado a la dieta omnívora de la especie. Histológicamente todos los segmentos del tubo digestivo tienen las cuatro capas concéntricas: mucosa, submucosa, muscular y serosa. Es evidente el cambio de morfología dada por forma y grosor según la función que cumple cada órgano digestivo.

En un estudio previo sobre el sistema digestivo de esta especie (5) se menciona la ausencia de microvellosidades específicamente en alevinos. En el presente trabajo no se descarta la presencia del borde de cepillo. Esto se debe a que aunque no es clara su apariencia por microscopía de luz, en algunos cortes

es posible observar un borde ubicado en la región superior de los enterocitos de coloración intensamente eosinofílica; sin embargo, no son claras las prolongaciones de la membrana celular que confieren la apariencia de chapa estriada. Grosell (9) describe las microvellosidades como estructuras apicales de las células epiteliales entéricas que confieren más del 90% de la actividad de absorción donde confluyen múltiples enzimas digestivas, además menciona que estas estructuras pueden variar en altura y densidad según la especie y las condiciones nutricionales, por ejemplo, estados de inanición producen disminución en densidad.

Múltiples estudios del sistema digestivo de varias especies de peces describen la presencia de estas estruc-

turas lamelares; por ejemplo, en peces de la misma familia Characidae, como *Mylossoma acanthogaster*, *M. duriventre*, *M. aureum*, *Pygocentrus cariba* y *Cynopotamus venezuelae* (19); *Serrasalmus nattereri* (20). Así como especies productivas de importancia mundial (salmónidos, ciprinidos, cíclidos) como *Oncorhynchus mykiss* (21), *Hypophthalmichthys nobilis* (22), *Oreochromis* sp. y *Tilapia spilurus* (23).

También han sido descritas en especies misceláneas silvestres u ornamentales, tanto dulceacuícolas como marinas: *Dentex dentex* (24), *Aphanius persicus* (25), *Rhamdia quelen* (26), *Sander lucioperca* (27). En un estudio realizado por Naguib et ál. (28) se mencionan varias especies con *microvilli*, entre ellas: *Solea solea*, *Poecilia* spp., *Tilapia nilotica*. Cabe resaltar que en estudios similares realizados en Colombia en *Ariopsis seemanni* (29) y en *Paracheirodon axelrodi* (30) no se mencionan estas estructuras, por lo que no se puede descartar la presencia de las microvellosidades en esta especie en particular.

La presencia y el número de ciegos pilóricos concuerdan con los hallazgos previos de esta especie con un promedio de 12 a 38 apéndices distribuidos latero-ventralmente (3, 4, 31, 32).

Los resultados histológicos en cuanto al hígado son similares a los demostrados por Muñoz et ál. (5) para *Piaractus brachypomus* y concuerdan con lo descrito para los teleósteos en general (6, 7, 11, 14, 17, 25).

El páncreas se observó a nivel microscópico. No se evidenció su presencia en los estados larvales, e histológicamente comparte similitud con lo reportado para teleósteos (5, 6, 9, 14).

CONCLUSIONES

La anatomía y distribución macroscópica de los órganos digestivos de la cachama blanca están

dadas por los parámetros nutricionales y hábitos omnívoros de la especie, que varían según la edad, siendo estos desde componentes de plancton, zooplancton y fitoplancton, hasta frutos, semillas, follaje y proteína de origen animal. La variación de la morfo-histología de las porciones del tubo digestivo se debe a las funciones específicas de cada órgano según el proceso digestivo que desempeña. En la mucosa se evidenció el cambio de un epitelio escamoso estratificado en la cavidad oral, pasando por uno escamoso simple en el esófago anterior a uno columnar simple desde el esófago posterior, el cual continúa hasta el recto. La presencia de células caliciformes se destaca en todas las porciones, las células *rodlet* se restringen únicamente al intestino, las glándulas gástricas se distribuyen entre la mucosa y submucosa del estómago cardinal. La submucosa está constituida por tejido conectivo laxo, excepto en la boca donde es denso. La capa muscular presenta un cambio en la región anterior del tubo digestivo ya que en la boca, la faringe y el esófago el tipo de músculo es estriado y la orientación difiere de la región posterior debido a que la capa de músculo estriado longitudinal se encuentra hacia el interior y el músculo circular está hacia el exterior, mientras que en los órganos celómicos como estómago, intestinos y ciegos pilóricos el músculo liso circular se encuentra hacia el interior y el músculo liso longitudinal está periférico. La serosa es la última capa, se origina en la entrada de la cavidad celómica, es ausente en boca y faringe, inicia en el esófago anterior y no presenta cambios histológicos en el recorrido digestivo.

RECOMENDACIONES

Se requieren investigaciones posteriores que amplíen el conocimiento del sistema digestivo de la cachama blanca, especialmente en la fisiología digestiva, ba-

sados en las acciones enzimáticas y condiciones de pH, por lo que se sugieren estudios histoquímicos en las diferentes edades que brinden comprensión de los requerimientos alimenticios reales para el óptimo desarrollo productivo. Además, se sugiere realizar estudios profundos ultraestructurales para la determinación de los componentes celulares y sus funciones como las microvellosidades con el uso de microscopía óptica de alta resolución o microscopía electrónica.

REFERENCIAS

1. FAO Corporate document repository. Fisheries and aquaculture department. Chapter 1. Digestion in Teleost Fishes. L. S. Smith. [citado 2011 Dic. 10]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/X5738E/x5738e02.htm#3>. Anatomy and general physiology of the gut.
2. Mesa-Granda M, Botero M. La cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), una especie potencial para el mejoramiento genético. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 2007;20(1):340-69.
3. Eslava P, Iregui C, Vásquez W. Estudio sobre anatomía macro y microscópica del sistema digestivo de la cachama blanca *Piaractus brachypomus*. s. l.: Unillanos/Colciencias; 1997.
4. Eslava P, Casallas P, Vásquez W, Iregui C. Morfología del sistema digestivo de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Revista MVZ. Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia Unillanos. 2000; 2 (fasc 2):22-31.
5. Muñoz A, Caldas M, Giraldo H. Análisis histomorfológico del sistema digestivo y glándulas anexas en alevinos de cachama blanca, *Piaractus brachypomus*. Revista Facultad de Ciencias Básicas. 2007;2(1):137-64.
6. Genten F, Terwinghe E, Danguya A. Atlas of fish histology. Science Publishers; 2009.
7. Ferguson H. Systemic pathology of fish: A text atlas of normal tissue in teleosts and their responses in disease. Second edition. Scotian Press; 2007.
8. Grosell M. The multifunctional gut of fish. Volume 30 in the fish physiology series. New York: Elsevier, Academic Press; 2011.
9. AVMA Guidelines on euthanasia. American Veterinary Medical Association; 2011.
10. Branson, E. Fish welfare. New York: Blackwell-Fish Veterinary Society; 2008.
11. Mumford S, Heidel J, Smith C, Morrison J, Macconnell B, Blazer V. Fish histology and histopathology manual. USFWS-NCTC; 2007.
12. Tesser MB. Desenvolvimento do trato digestório e crescimento de larvas de pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) em sistemas de co-alimentação com nauplios de *Artemia* e dieta microencapsulada. Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista. Master Dissertation; 2002.
13. Aughey E. Comparative veterinary histology. London: Manson publishing; 2001.
14. Harder W. Anatomy of fishes. Stuttgart: Schweizer bart'scheVerlagsbuchhandlung; 1975.
15. Halver J. Fish nutrition. 3rd edition. Elsevier Science; 2002.
16. Val A. The physiology of tropical fishes. Volume 21 in the fish physiology series. Elsevier, Academic Press; 2009.
17. Kapoor BG, Smit H, Verighina IA. The alimentary canal and digestion in teleosts. Advanced Marine Biology. 1975;13:109-239.
18. Shadwick R. Fish biomechanics. Elsevier; 2008.
19. Medina Z, Martínez T, Machado A, Bonilla A, López H. Histología de los ciegos pilóricos en cinco especies de peces de la familia Characidae. Revista Científica, Universidad de Zulia. 2009;XIX(6):607-18.
20. Raji A, Norouzi E. Histological and histochemical study on the alimentary canal in Walking catfish (*Claris batrachus*) and piranha (*Serrasalmus nattereri*). Iranian Journal of Veterinary Research, Shiraz University. 2010; 11(3):1120-90.
21. Sarieyyüpoğlu M, Girigin A, Köprücü S. Histological study in the digestive tract on larval develop-

- ment of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792). *Turk Journal Zoo*. 2000;10:9-18.
22. Delashoud M, Pousty I, Banan M. Histology of bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) intestine. *Global Veterinaria*. 2010;5(6):302-6.
 23. Abdullah H. Some comparative histological studies on alimentary tract of tilapia fish (*Tilapia spilurus*) and sea bream (*myliocuvieri*). *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 2005;31(1):113-28.
 24. Carrassón M. A histological, histochemical and ultrastructural study of the digestive tract of *Dentex dentex* (Pisces, Sparidae). *Histology and Histopathology, Cellular and Molecular Biology*. 2006;21:579-93.
 25. Monsefi M, Gholami Z, Esmaeili H. Histological and Morphological Studies of digestive tube and liver of the Persian tooth-carp, *Aphanius persicus* (Actinopterygii: Cyprinodontidae). *IUFS Journal of Biology*. 2010;69(1):57-64.
 26. Hernandez D, Perez M, Domitrovic H. Morphology, Histology and Histochemistry of the Digestive System of South American Catfish (*Rhamdia quelen*). *Int J Morphol*. 2009;27(1):105-11.
 27. Ostaszewska T. Developmental changes of digestive system structures in pike-perch (sander lucioperca). *Electronic Journal of Ichthyology*. 2005;2:67-78.
 28. Naguib A, Shabaka H, Ashour F. Comparative Histological and Ultrastructural Studies on the Stomach of *Schilbemystus* and the Intestinal Swelling of *Labeoniloticus*. *Journal of American Science*. 2011;7(8).
 29. Gomez E, Tovar M, Obando M, Hurtado H. Estudio histológico del tubo digestivo del pez *Ariopsis seemanni* (Ariidae). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 2010;6(2):216-25.
 30. Gomez E, Obando M, Tovar M, Caldas M, Hurtado H. Estudio histológico del tubo digestivo del neón cardenal *paracheirodon axelrodi* (Characidae). *International Journal of Morphology*. 2011;29(3):782-786.
 31. Machado A. Estudios sobre la Sistemática de la Subfamilia Serrasalminae (Teleostei-Characidae). Parte (I) Estudio Comparado de los Juveniles de las "Cachamas" de Venezuela (Géneros: *Colossoma* y *Piaractus*). *Acta Bio Venezuela*. 1982;11(3):1-102.
 32. Machado A. Los peces de los llanos de Venezuela. Un ensayo sobre su historia natural. Caracas: Universidad Central de Venezuela, CDCH; 2005.