

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES
DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS

**MORFOLOGÍA TRÓFICA Y HÁBITOS DE
ALIMENTO DE *Profundulus hildebrandi*
MILLER 1950, PEZ ENDÉMICO DE
CHIAPAS, MÉXICO.**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN **CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA

SARA ELIZABETH DOMINGUEZ CISNEROS

DR. ABRAHAM KOBELKOWSKY DÍAZ
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA
DIRECTOR

DR. ERNESTO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
UNICACH
CO-DIRECTOR

DR. GUSTAVO RIVERA VELÁZQUEZ
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
UNICACH
ASESOR

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Agosto de 2014.



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES
DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS

**MORFOLOGÍA TRÓFICA Y HÁBITOS DE
ALIMENTO DE *Profundulus hildebrandi*
MILLER 1950, PEZ ENDÉMICO DE
CHIAPAS, MÉXICO.**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN **CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA

SARA ELIZABETH DOMÍNGUEZ CISNEROS

DIRECTOR

DR. ABRAHAM KOBELKOWSKY DÍAZ
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

CO-DIRECTOR

DR. ERNESTO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

ASESOR

DR. GUSTAVO RIVERA VELÁZQUEZ
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,

Agosto de 2014.



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
04 de agosto de 2014
Oficio No. DIP-468/2014

C. Sara Elizabeth Domínguez Cisneros
Candidata al Grado de Maestra
en Ciencias Biológicas
P r e s e n t e.

En virtud de que se me ha hecho llegar por escrito la opinión favorable de la Comisión Revisora que analizó su trabajo de tesis denominado “**MORFOLOGÍA TRÓFICA Y HÁBITOS DE ALIMENTO DE *Profundulus hildebrandi*, MILLER, 1950, PEZ ENDÉMICO DE CHIAPAS, MÉXICO**” y que dicho trabajo cumple con los criterios metodológicos y de contenido, esta Dirección a mi cargo le **autoriza la impresión** del documento mencionado, para la defensa oral del mismo, en el examen que usted sustentará para obtener el Grado de Maestra en Ciencias Biológicas. Se le pide observar las características normativas que debe tener el documento impreso y entregar en esta Dirección un tanto empastado del mismo.

Atentamente

“Por la Cultura de mi Raza”


Dra. María Adelina Schlie Guzmán

Directora.


DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO

C.c.p. Expediente

Libramiento Norte Poniente 1150 C.P. 29039
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Tel: 01 (961) 61 70440 ext. 4360



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a 01 de agosto del 2014

(FP-5) DICTAMEN DE PROCEDENCIA

C. MIGUEL ÁNGEL PÉREZ FARRERA

COORDINADOR DEL PROGRAMA DE POSGRADO:

Realizado el análisis y revisión correspondiente al trabajo recepcional denominado: MORFOLOGÍA TRÓFICA Y HÁBITOS DE ALIMENTO DE *Profundulus hildebrandi*, MILLER, 1950, PEZ ENDÉMICO DE CHIAPAS, MÉXICO presentado por Sara Elizabeth Domínguez Cisneros permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que usted proceda a solicitar la autorización de impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de continuar con el trámite que le permita sustentar su Examen de Grado.

ATENTAMENTE
"POR LA CULTURA DE MI RAZA"

*REVISORES:

FIRMAS:

Dr. Gustavo Rivera Velázquez

Dr. Fredi Eugenio Penagos García

Dr. Miguel Angel Peralta Meixueiro

Ccp. El interesado
El asesor

DEDICATORIA

A mi esposo Ernesto, por todo lo que hemos compartido, porque es un privilegio y

una delicia amanecer a tu lado.

A mis dos grandes amores, Jennifer y Ernestito, por su paciencia e inmenso

amor.

AGRADECIMIENTOS

Con gran admiración, respeto y cariño al Dr. Abraham Kobelkowsky por inspirarme en la morfología de los peces, estudio que él transforma en arte. Por darme la oportunidad de ser su alumna y compartir sus conocimientos, por todo el apoyo y paciencia en la dirección de este trabajo, por brindarme su sincera amistad. Fue un deleite trabajar en su laboratorio ¡Muchas Gracias Dr.!

Especialmente al Dr. Ernesto Velázquez Velázquez, por todo el apoyo en el trabajo de campo, laboratorio y para la realización de éste documento, también por compartir la pasión por los peces, eres un ejemplo a seguir.

Al Dr. Gustavo Rivera Velázquez por las revisiones al documento, sus comentarios, sugerencias y por su invaluable amistad.

A los miembros de mi comité y revisores de la tesis, Dr. Gustavo Rivera Velázquez, Dr. Fredy Penagos Gracia y Dr. Miguel Ángel Peralta Meixueiro por las sugerencias y correcciones al documento, por el apoyo en los trámites de titulación.

Al Dr. Miguel Ángel Pérez Farrera coordinador del posgrado, por la disponibilidad en los trámites de titulación, por sus ánimos en momentos difíciles durante el proceso, ¡Gracias Miguel!

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas (COCYTECH), por la beca otorgada en la realización de este trabajo.

Al Museo de Zoología “José Álvarez del Villar” del Instituto de Ciencias Biológicas de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, a cargo del Dr. Ernesto Velázquez Velázquez y del Biól. Manuel Anzueto por todo el apoyo en infraestructura, trabajo de campo y equipo de laboratorio para el desarrollo de ésta investigación.

A mis maestros, compañeros y amigos del posgrado, por compartir experiencias durante esta etapa.

A mis estudiantes, Esmeralda, Hu Mayo, Ariana y Alheli por compartir el estudio de la morfología de los peces y enriquecer mi formación profesional, ¡Gracias chicas!.

A mis familiares, hermanos y sobrinos por sus oraciones y apoyo en la realización de este proyecto. Huguito gracias por tu ayuda en los dibujos.

A alguien muy especial en mi vida, a quien agradezco infinitamente todo lo que soy, ¡Gracias Papá! Eres el mejor del mundo, un gran ser humano, siempre estás en mi corazón y en mi pensamiento.

A Dios, por darme todo para concluir este trabajo, ¡Gracias Padre!

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Antecedentes.....	5
OBJETIVOS	7
2.1. Objetivo General.....	7
2.2. Objetivos Particulares.....	7
MÉTODO.....	8
3.1. Área de estudio	8
3.2. Obtención de los ejemplares	10
3.3. Análisis Morfológico.....	11
3.4. Análisis de la dieta.....	13
3.4.1. Método de la Cuadrícula (MC).....	14
3.4.2. Frecuencia de ocurrencia (FO).....	14
3.4.3. Índice de valor de importancia relativa (IVIr)	15
3.4.4. Índice intestinal (II).....	15
3.4.5. Índice de diversidad trófica (Shannon-Wiener).....	16
3.4.6. Análisis estadístico	17
RESULTADOS	18
4.1. Morfología bucofaríngea y del tubo digestivo de <i>P. hildebrandi</i>	18
4.1.1. Morfología externa.....	18
4.1.2. Musculatura visceral.....	20
4.1.3. Esqueleto visceral	26
4.1.4. Dentición.....	40
4.1.5. Cavidad visceral	40
4.2. Hábitos de alimento	45
4.2.1. Índice intestinal.....	46
4.2.2. Diversidad alimentaria y amplitud de nicho trófico.....	47
4.2.2.1. Diversidad trófica por sexo	47
4.2.2.2. Diversidad trófica por tallas	49
4.2.2.3. Diversidad trófica por temporalidad.	51
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
5.1. Morfología bucofaringea y del tracto digestivo de <i>P. hildebrandi</i>	54

5.2 Hábitos de Alimento y Diversidad trófica por sexos, tallas y temporalidad	59
5.3 Relación de estructuras con la alimentación.	62
CONCLUSIONES.....	65
LITERATURA CITADA	67
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México (Fuente: LAIGE, ECOSUR).	9
Figura 3. Región cefálica de <i>P. hildebrandi</i> : a) Vista lateral izquierda, b) Vista dorsal c) Vista ventral.	19
Figura 4. Musculatura visceral de <i>P. hildebrandi</i> . a) Distribución de los orificios de la línea lateral. b) Exposición de los músculos después de retirar la piel.	20
Figura 5. Musculatura visceral de <i>P. hildebrandi</i> en vista lateral izquierda: a) Vista del <i>adductor mandibulae</i> al reflejar la sección A1. b) Vista del <i>adductor mandibulae</i> al retirar la sección A1 y reflejar la A2.	22
Figura 6. Musculatura branquial de <i>P. hildebrandi</i> en vista lateral izquierda. a) Músculos relacionados con los arcos branquiales, la cintura escapular y el urohial. b) Músculo <i>retractor dorsalis</i>	24
Figura 7. Musculatura ventral de la cabeza de <i>P. hildebrandi</i> : a) Vista ventral de la cabeza, b) Vista ventral de la cabeza, después de retirar la piel.	25
Figura 8. Elementos del esqueleto visceral de <i>P. hildebrandi</i> . Vista lateral izquierda.	26
Figura 9. Mandíbulas de <i>P. hildebrandi</i> . Vista lateral izquierda.	27
Figura 10. Mandíbula superior de <i>P. hildebrandi</i> : a) Vista lateral izquierda, b) Vista dorsal y c) Vista ventral.	28
Figura 11. Mandíbula inferior izquierda de <i>P. hildebrandi</i> : a) Vista lateral externa, b) Vista lateral interna, c) Vista dorsal y d) Vista ventral.	30
Figura 12. Serie hiopalatina de <i>P. hildebrandi</i> . Vista lateral izquierda.	32
Figura 13. Serie opercular de <i>P. hildebrandi</i> , en vista lateral izquierda.	33
Figura 14. Aparato hioideo de <i>P. hildebrandi</i> : a) Vista lateral izquierda, b) Vista lateral izquierda del urohial y c) Vista dorsal del aparato hioideo.	35
Figura 15. Cavidad bucofaringea de <i>P. hildebrandi</i> : Vista lateral izquierda, a) Aparato branquial y aparato hioideo y b) Aparato branquial y esqueleto de la lengua.	37
Figura 16. Aparato branquial de <i>P. hildebrandi</i> : a) Elementos inferiores de aparato branquial en vista dorsal, b) Branquiespina de la serie externa del primer arco branquial y c) Branquiespinas y dientes de los ceratobranquiales.	38
Figura 17. Aparato hioideo y branquial de <i>P. hildebrandi</i> : a) vista dorsal, b) Infrafaringobranquiales en vista ventral, c) Vista ventral y d) Faríngeo inferior en vista dorsal.	39

Figura 18. Cavidad visceral en vista lateral izquierda de <i>P. hildebrandi</i>	42
Figura 19. Disposición de los órganos relacionados con el tracto digestivo de <i>P. hildebrandi</i> . Se muestra el acomodo o arreglo de los sistemas, venoso, urogenital, digestivo, vejiga gaseosa y el bazo.	43
Figura 20. Tubo digestivo e hígado de <i>P. hildebrandi</i> : a) Vista lateral izquierda y b) Vista lateral derecha.	44
Figura 21. Corte transversal del tubo digestivo de <i>P. hildebrandi</i>	45
Figura 22. Relación de la longitud patrón con el índice intestinal en <i>P.hildebrandi</i> . ..	47
Figura 23. Amplitud de la dieta de <i>P. hildebrandi</i> por sexos (F= 0.20, P= 0.65)	49
Figura 24. Diversidad trófica por clases de tallas (índice de Shannon-Wiener) de <i>P. hildebrandi</i>	51
Figura 25 Diversidad trófica por estación climática, de <i>P. hildebrandi</i>	53

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición trófica de la dieta de <i>Profundulus hildebrandi</i>	46
Cuadro 2. Composición trófica por sexos de los alimentos consumidos por <i>P. hildebrandi</i>	48
Cuadro 3. Composición trófica por talla de los alimentos consumidos en <i>P. hildebrandi</i>	50
Cuadro 4 Composición trófica por estación climática de los alimentos de <i>P. hildebrandi</i>	52

RESUMEN

Se describió la morfología del sistema digestivo de *Profundulus hildebrandi*, y se analizó la composición de la dieta con relación al sexo, tallas y épocas climáticas. La preparación del esqueleto visceral fue realizado mediante la técnica de descarnado manual consistente en disecciones y observaciones directas de las estructuras internas. Los contenidos estomacales fueron analizados mediante el método de la cuadrícula y la frecuencia de ocurrencia. La diversidad trófica fue expresada mediante el índice de diversidad de Shannon-Wiener. La organización del sistema digestivo de *P. hildebrandi* corresponde al patrón morfológico general de los teleósteos y en particular de los Cyprinodontiformes. Como caracteres sobresalientes del esqueleto visceral está la presencia del “cartílago coronoides”, la forma tricúspide de las branquiespinas del primer arco branquial y la presencia del hueso esplénico. Como caracteres de la musculatura visceral sobresalen la inserción del músculo *retractor dorsalis* en cuatro vértebras y la división del *pharyngoclavicularis externus* en dos secciones (A y B). Los caracteres notables del tubo digestivo son la presencia de la “válvula intestinal”, la ausencia de ciegos pilóricos y la presencia del estómago como un ensanchamiento del intestino. Presenta un intestino corto (la relación intestinal es menor a 0.5). Se observó que los machos presentan una mayor diversidad trófica que las hembras. Asimismo, se reconoce una tendencia a una mayor diversidad trófica con la talla. Con base a los caracteres morfológicos descritos y al análisis de los componentes alimenticios, se evidencia que *P. hildebrandi* es un carnívoro especialista, y podría ser considerado un controlador biológico por el alto consumo de Chironómidos.

Palabras clave: sistema digestivo, diversidad trófica, *Profundulus hildebrandi*.

ABSTRACT

Morphology of the digestive system *Profundulus hildebrandi* described, and the composition of the diet was analyzed in relation to sex, size and weather seasons. The preparation of the visceral skeleton was performed by manual technique consisting dissections stark and direct observations of structures. Stomach contents were analyzed by the method of the grid and the frequency of occurrence. The trophic diversity was expressed by the index of Shannon-Wiener diversity. The organization of the digestive system of *P. hildebrandi* morphological pattern corresponding to the general teleost and in particular Cyprinodontiformes. As outstanding characters of visceral skeleton is the presence of "coronoid cartilage" tricuspid form of gill rakers of the first gill arch and the presence of bone esplenial. As characters of the visceral muscle insertion protruding *retractor dorsalis* muscle in four vertebrae and the division into two sections *pharyngoclavicularis externus* (A and B). The remarkable characteristics of the gastrointestinal tract are the presence of "intestinal valve" caeca the absence and presence of the stomach as broadening of the intestine. Presents a short bowel (intestinal ratio is less than 0.5). It was observed that the males have a higher trophic diversity than females. There was a trend to greater trophic diversity with size is recognized. Based on morphological characters described and analysis of food components, it appears that *P. hildebrandi* is a specialist carnivore, and could be considered a biological control for the high consumption of chironomids.

Key words: digestive system, trophic diversity, *Profundulus hildebrandi*.

INTRODUCCIÓN

Profundulus hildebrandi Miller, 1950, conocido como “Escamudo de San Cristóbal” o “popoyote de San Cristóbal” es un pequeño pez endémico de Chiapas, México. Pertenece a la familia Profundulidae (Miller *et al.*, 2005; Nelson, 2006), que comprende un conjunto de ocho especies (Matamoros *et al.*, 2012); generalmente habitan los arroyos de las zonas montañosas; constituyendo en las zonas más elevadas la única ictiofauna nativa (Miller *et al.*, 2005).

El popoyote de San Cristóbal es una de las pocas especies con distribución restringida, la cual se localiza en el río Fogótico y sus pequeños tributarios, que incluyen parte de los municipios de Chamula, Tenejapa, Huixtán y San Cristóbal de las Casas, formando un área aproximada de 244 km². Es la única especie nativa que habita el macizo montañoso de los Altos de Chiapas, en un intervalo altitudinal que va de los 2110 a los 2360 msnm (Velázquez-Velázquez y Schmitter-Soto, 2004; Velázquez-Velázquez *et al.*, 2009).

P. hildebrandi es considerado por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) en Peligro de Extinción (Diario Oficial de la Federación, 2010), debido a diversos factores entre los que se incluyen: el crecimiento de la mancha urbana, la deforestación, la contaminación de los ríos y arroyos que drenan la cuenca, la introducción de especies exóticas y la fragmentación de su hábitat (Velázquez-Velázquez *et al.*, 2007). A pesar de esto existen pocos estudios relacionados con la biología, morfología y ecología de esta especie. Estudios que principalmente se enfocan a las especies que tienen importancia comercial y no a las nativas, endémicas o las que por presentar tamaños pequeños quedan fuera de ser consideradas (Trujillo-Jiménez y Díaz-Pardo, 1996).

P. hildebrandi, como las demás especies de la familia, no tiene valor comercial debido a su pequeño tamaño, pero es importante desde el punto de vista ecológico, porque es considerado como especie bandera, dado al papel que tiene en la trama trófica de los ecosistemas que habita (Velázquez-Velázquez *et al.*, 2009). En la trama trófica, uno de los campos más fértiles de investigación en la ictiología, se relacionan la morfología, anatomía y ecología de las especies. Cuando estas son enfocadas a la alimentación, se plantea que la morfología estructural de las especies determina como mínimo una parte de la ecología alimenticia (Zarate-Hernández *et al.*, 2007). Wootton (1990), y Gerking (1994), mencionan que la ecología alimentaria estudia de cuantos y cuales organismos se alimenta un pez, donde y cuando lo hace, y como adquiere su alimento. Los peces presentan una gran diversidad de modificaciones morfológicas asociadas con su régimen alimentario, las cuales van desde los órganos sensoriales que permiten la detección del alimento, pasando por aquellas estructuras que permiten la captura y su manipulación, como la cavidad bucal y su dentición, hasta las modificaciones de los órganos del tracto digestivo (Kobelkowsky, 1998; Pantoja-Escobar, 2008).

La mayoría de los estudios de *P. hildebrandi* se han enfocado sobre la sistemática de la familia y el género (Miller, 1955, Doadrio *et al.*, 1999b; González-Díaz *et al.*, 2005, González-Díaz, 2008; Matamoros & Schaefer, 2010; Matamoros *et al.*, 2012), sobre el estatus de conservación (Velázquez-Velázquez y Schmitter-Soto, 2004; Velázquez-Velázquez *et al.*, 2009). Otros se han enfocado a la biología de la especie (Ovando-Pintado, 2007; Rodríguez-Martínez, 2007) y presencia de parásitos (Velázquez *et al.*, 2011). La información sobre aspectos tróficos del popoyote es escasa, y está relacionada con la dieta general del pez (Ovando-Pintado, 2007; González-Díaz, 2008). Se carece de estudios relacionados con los cambios

ontogénicos de la dieta, la variación estacional y sexual, así como de trabajos sobre la morfología del sistema digestivo y estructuras relacionadas con la alimentación, que complementan información básica y necesaria para comprender el papel biológico y ecológico de la especie. Por tal motivo en este estudio se describió la morfología trófica (cavidad bucal, dentición y órganos del tracto digestivo), se determinaron los hábitos de alimento y la diversidad trófica por tallas, sexo y temporalidad, de *P. hildebrandi*.

1.1. Antecedentes

Se han realizado pocos estudios sobre *Profundulus hildebrandi*, la mayoría tratan sobre la sistemática de la familia y el género, como el de Miller (1955) quién realizó un análisis del género *Profundulus* con información sobre su origen y distribución. Doadrio *et al.* (1999b) realizaron una revisión taxonómica sobre el género *Profundulus*, reconociendo al menos cinco especies sobre la base de caracteres genéticos únicos. González-Díaz *et al.*, (2005) y González-Díaz (2008) realizaron una comparación morfométrica y osteológica de las especies de la familia *Profundulidae*, mencionando que el patrón morfológico de separación es la altura del cuerpo, menor longitud del hocico y menor ancho de la boca, en tanto a que *P. hildebrandi* presenta características diferentes y que las relaciones de similitud establecidas en este análisis concuerdan con las relaciones filogenéticas propuestas por otros autores.

Los únicos trabajos que abordan aspectos biológicos y ecológicos de *P. hildebrandi*, son el de De Vega *et al.*, (2004) sobre la biología alimentaria de *P. hildebrandi*, señalando que la preferencia por el alimento depende de la edad y sexo de los

individuos, donde los juveniles prefieren a los crustáceos y en adultos la tendencia es hacia los plecópteros; y el de Velázquez-Velázquez y Schmitter-Soto (2004), quienes evaluaron el estatus de conservación de *P. hildebrandi*, donde analizaron la distribución y las características del hábitat de *P. hildebrandi* de San Cristóbal en 20 sitios dentro de la cuenca endorreica de San Cristóbal y tres más fuera de esta, donde obtuvieron como resultados que *P. hildebrandi* de San Cristóbal ya había perdido el 60 % de su hábitat y que además compartía este con otras 5 especies exóticas, además proponen a *P. hildebrandi* como una especie bandera para la conservación de los humedales alpinos. Velázquez-Velázquez *et al.*, (2007) realizaron un estudio que abordó aspectos de la biología y ecología de la especie. Recientemente Velázquez-Velázquez y Salgado (2011), estudiaron la presencia de un parásito en *P. hildebrandi*.

Sobre aspectos morfológicos y funcionales del esqueleto y la musculatura, se han realizado pocos trabajos en algunas familias del orden Cyprinodontiformes (Fundulidae, Poeciliidae, Rivulidae, Cyprinodontidae y Atherinopsidae), descritos por Hernández *et al.*, (2008) y Hernández *et al.*, (2009). Sobre el sistema digestivo (Goodeidae y Atherinopsidae) por Kobelkowsky (2005) y Kobelkowsky (2013).

Considerando que *P. hildebrandi* es una especie endémica de San Cristóbal de las Casas, Chiapas y en peligro de extinción, se reconoce la necesidad de estudiar la morfología trófica y hábitos de alimento, como base de su biología.

OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Describir la morfología trófica y evaluar los hábitos de alimento de *Profundulus hildebrandi*.

2.2. Objetivos Particulares

Describir la morfología bucofaríngea y el tubo digestivo de *P. hildebrandi*.

Determinar los hábitos de alimento de *P. hildebrandi*.

Evaluar la diversidad trófica de *P. hildebrandi* por sexos, tallas y temporalidad.

MÉTODO

3.1. Área de estudio

La cuenca hidrológica de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, se localiza en la parte Centro-Norte del estado de Chiapas, en la subprovincia ictogeográfica VII (Sierra de San Cristóbal) de Lozano-Vilano y Contreras-Balderas (1987). El valle de San Cristóbal está ubicado en la región montañosa de los Altos de Chiapas, abarca las coordenadas geográficas 16°46' hasta 16°35' de latitud norte y desde 92°26' hasta 92°43' de longitud oeste; es una pequeña cuenca de 244 Km² con un rango de altitud de 2110 a 2880 msnm (Figura 1) (INEGI, 1979; Gobierno del estado de Chiapas, 1998).

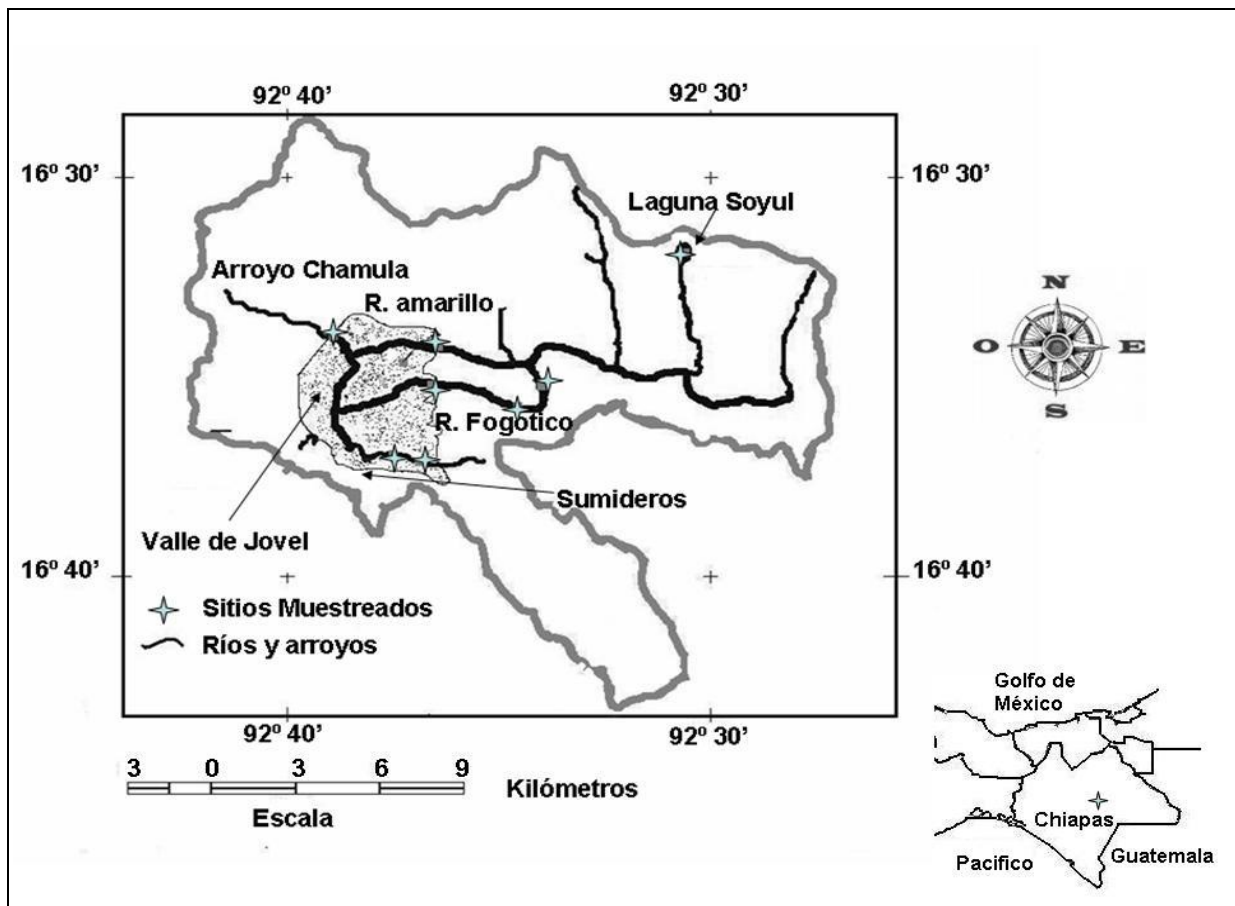


Figura 1. Cuenca de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México (Fuente: LAIGE, ECOSUR).

El área de estudio se encuentra entre la zona templada húmeda y la templada subhúmeda del Municipio de San Cristóbal de Las Casas, en las partes altas se tiene el clima C (m) (templado húmedo con abundantes lluvias en verano) y en las partes bajas que corresponden al Valle se presenta el C (w2) (templado subhúmedo con lluvias en verano). La temperatura media anual es de 14.8 °C y la precipitación media anual de 1157 mm. El clima es estacional presentándose una época de secas de noviembre a abril y una época de lluvias de mayo a octubre (INEGI, 2002).

El municipio de San Cristóbal, pertenece a la cuenca Grijalva-Usumacinta, subcuenca Altos (Carta geográfica 1: 1000,000, INEGI 2002). Las principales corrientes del municipio son: los ríos Amarillo, Fogótico y San Felipe, así como los arroyos Chamula, Peje de Oro y Ojo de Agua. Todos los escurrimientos del Valle de San Cristóbal desembocan en los sumideros a una altitud aproximada de 2095 msnm, conductos por donde penetran al subsuelo, volviendo a la superficie 25 Km después en el municipio de San Lucas para formar el río Frío a unos 1600 msnm (Gobierno del Estado de Chiapas, 1984).

La zona se encuentra cubierta por bosque de Pino-Encino principalmente por las siguientes especies: *Pinus ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *P. oocarpa*, *Quercus acatenangensis* y *Olocarpus pedunculans*, La agricultura predominante es el cultivo de maíz y presenta áreas de pastizal entre los que destaca el *Cenchrus pilosus* (mozote) y el *Bouteloua repens* (navajita) (INEGI, 2002), y como vegetación acuática característica para los humedales de los Altos de Chiapas encontramos a *Typha latifolia*, *Cladium jamaicense*, *Cyperus sp.*, *Juncus sp.*, *Chara sp.* y *Potamogeton sp.* (Breedlove, 1993; Miller, 1950).

3.2. Obtención de los ejemplares

Se revisó la Colección de Peces del Museo de Zoología del Instituto de Ciencias Biológicas de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) para seleccionar ejemplares que estuvieran completos y en condiciones para el estudio morfológico. Como el material no fue suficiente, se recolectaron ejemplares en la Cuenca de San Cristóbal con una red tipo chinchorro, obteniendo un total de 60 ejemplares para la investigación. Los peces recolectados fueron fijados en una

solución de formalina al 10% y posteriormente fueron conservados en alcohol al 70%. La determinación taxonómica de la especie se realizó mediante el uso de las claves de identificación de los peces dulceacuícolas de México de Miller (2009).

3.3. Análisis Morfológico

Debido a que la morfología parcialmente determina cómo los peces se alimentan, se estudió en 20 ejemplares la morfología del sistema digestivo: boca, cavidad bucofaríngea, dientes, branquiespinas, cavidad visceral, organización anatómica del tubo digestivo y estructuras anexas. Las etapas del análisis anatómico fueron las siguientes:

Observación y descripción de las estructuras externas relacionadas con el sistema digestivo (boca y ano). Así como de las que están relacionadas con el reconocimiento del alimento (orificios de la línea lateral, tentáculos, pliegues, cirros, narinas, etc.).

Preparación del esqueleto visceral mediante la técnica de descarnado manual, Castillo-Rivera *et al.* (2000), Ortiz-Burgos y Kobelkowsky (2006), y Pantoja-Escobar (2008), consistente en disecciones y observaciones directas de las estructuras internas. Descripción de los dientes y de los arcos mandibular, hioideo y branquial.

Exposición por niveles de la musculatura visceral. Se retiró la piel de las mejillas, exponiendo los músculos relacionados con las mandíbulas, la suspensión mandibular y el opérculo. Posteriormente se retiraron los músculos superficiales, exponiendo los huesos que forman el paladar y la suspensión mandibular y sus correspondientes músculos. A continuación se desarticularon los huesos de la serie

palatina y la suspensión mandibular, quedando expuestas las branquias, el aparato hioideo y la musculatura.

Exposición de la cavidad visceral. Se retiró la piel del costado izquierdo, marcando la línea dorsal por debajo de la aleta dorsal, la línea media ventral, una línea vertical, por detrás de la cintura escapular y otra que alcanza la aleta anal. Posteriormente se retiró la musculatura axial exponiendo las costillas dorsales y ventrales. Se desarticularon ambas costillas de las vértebras y se quitaron los restos de músculos axiales, hasta exponer las vísceras.

Descripción del tubo o tracto digestivo y sus glándulas anexas. Se describió la organografía de la cavidad visceral en vista lateral. Las estructuras se describieron *in situ* indicando las relaciones topográficas de sus componentes. Posteriormente se extrajo el tubo digestivo y sus glándulas anexas, seccionando transversalmente el esófago, el recto y cortando los vasos sanguíneos, nervios y mesenterios con los que se relaciona el sistema digestivo. A continuación se describieron conjuntamente las estructuras en posición ventral, dorsal y lateral. Luego se separó el tubo digestivo de las glándulas anexas y se describieron por separado. Finalmente se seccionó longitudinalmente el tubo digestivo desde el esófago hasta el ano, con el objeto de observar y describir su superficie interna.

Para el análisis morfológico se utilizó un microscopio estereoscopio marca Zeiss, modelo Stemi CV4. La representación gráfica de las estructuras del sistema digestivo se hizo, mediante el uso de una cámara lucida o tubo de dibujo, acoplado a un microscopio estereoscopio Leica Wild M3Z. Para las fotografías se utilizó una cámara digital AxioCam ERC 5S, de 5 megapíxeles, adaptada a un microscopio Zeiss modelo, Stemi 2000C.

La descripción de las estructuras esqueléticas, se hizo siguiendo la terminología propuesta por Gregory (1959) y para la musculatura visceral, la propuesta por Winterbottom (1974).

3.4. Análisis de la dieta

Para el análisis de la dieta se revisaron 60 individuos a los que se les tomaron medidas morfométricas en mm, tales como la longitud total, longitud estándar y la longitud total del intestino mediante un vernier digital Mitutoyo con una precisión de 0.01 mm. Con una balanza digital OHAUS de capacidad de 400 x 0.01 g, se tomó el peso total de cada organismo y el peso del tracto digestivo. Mediante la observación externa se registró el sexo de los individuos. Posteriormente se realizó una incisión ventral longitudinal desde el orificio anal hasta la mandíbula inferior y otra, a la altura del esófago para extraerles los tractos digestivos. Se dejaron descubiertas las gónadas y se corroboró el sexo.

El contenido de cada estómago se vació en una caja Petri y fue observado en un microscopio estereoscopio marca Zeiss, modelo Stemi CV4. Los diversos componentes de la dieta se identificaron hasta el nivel taxonómico más bajo posible dependiendo del grado de digestión que presentaron los organismos, con claves especializadas para cada grupo.

Los métodos aplicados para el análisis del contenido estomacal fueron:

3.4.1. Método de la Cuadrícula (MC)

Consiste en que las muestras de los contenidos estomacales se esparcen sobre el fondo de una caja Petri con cuadros de 1 cm² y además subdivididos en cuadrículas de 1 mm², en el que cada cuadro representa el uno por ciento. El contenido se extiende lo más homogéneamente posible sobre la caja de Petri auxiliándose con un poco de agua. El número de cuadros que ocupa cada alimento del mismo estómago representa el porcentaje que ocupa en la dieta de ese individuo, obteniéndose de ambos los promedios por muestra. El resultado se interpreta como la cantidad ingerida de cada componente alimenticio. Este método expresa la abundancia de cada componente alimenticio (Pérez-España y Abitia-Cárdenas, 1996).

3.4.2. Frecuencia de ocurrencia (FO)

Se basa en el número de estómagos en que aparezca un tipo de alimento en toda la muestra. Se expresa como un porcentaje o parte proporcional del total de estómagos examinados, este método expresa el alimento preferencial del pez (Hyslop, 1980):

$$FO = \frac{\text{No. de estómagos con determinada presa}}{\text{No. de estómagos analizados}} \times 100$$

Mediante los porcentajes obtenidos por esta fórmula se pueden distinguir tres categorías de presas (Franco y Bashirullan, 1992):

Accidentales $f < 10\%$

Secundarios $10\% < f < 50\%$

Preferenciales $f > 50\%$

3.4.3. Índice de valor de importancia relativa (IVIr)

Con los datos obtenidos de la frecuencia y abundancia (método de la cuadrícula) de los contenidos estomacales, se obtuvo el índice de valor de importancia relativa (IVIr). Este índice utiliza parámetros expresados en una base relativa, se convierte en un excelente denominador de la dominancia de las especies dentro de la comunidad (o la dominancia de un componente alimenticio) ya que hace uso de dos o más parámetros ecológicos (McCune y Grace, 2002).

$$\text{IVIr} = \text{A \%} + \text{F \%}$$

Dónde:

IVIr= Índice de valor de importancia relativa

A%= Abundancia relativa

F%= Frecuencia relativa

3.4.4. Índice intestinal (I_I)

Analiza la proporción de la longitud del intestino en relación con la longitud patrón del pez y expresa los hábitos alimenticios de la especie, es decir relaciona estructuras con la alimentación (Nikolski, 1963). De acuerdo con los resultados interpreta lo siguiente:

$$\text{Índice intestinal (I}_I\text{)} = \frac{\text{Longitud del intestino (mm)}}{\text{Longitud estándar (mm)}}$$

$I_I < 1$ Los peces son carnívoros

$1 < I_I \leq 2$ Los peces son omnívoros

$I_I > 2$ Los peces son herbívoros

3.4.5. Índice de diversidad trófica (Shannon-Wiener)

Las medidas de diversidad y similitud (o disimilitud) son muy útiles en los estudios ecológicos porque intentan sintetizar las interacciones en términos numéricos. Son de gran interés cuando son utilizados para fines de comparación y como indicadores básicos en el manejo y conservación de los recursos. Uno de los más utilizados es el de Shannon-Wiener (Velázquez-Velázquez *et al.*, 2008). Este índice ha sido utilizado como medida de amplitud trófica en varios trabajos de ictiología (Barros, 2004). En la alimentación mide el grado de especialización, lo que nos indica cuantitativamente si los organismos son “generalistas o especialistas” (Krebs, 1989; Saucedo, 2000).

La medida de H' (índice de diversidad) se incrementa con el número de especies en la comunidad y en teoría puede ser un valor muy grande. Esta medida de la diversidad da mayor importancia a las especies raras en la muestra, lo que significa que el aumento de una o dos especies con bajas abundancias automáticamente reflejará un aumento en el valor del índice. El valor del índice de diversidad de Shannon-Wiener suele estar entre 1.5 y 3.5 y raramente sobrepasa los 4.5 (Velázquez-Velázquez *et al.*, 2008).

Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde:

H' = Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

p_i = Proporción de individuos hallados en la especie i -ésima; se calcula mediante la relación n_i/N .

n_i = Número de individuos o cobertura de la especie i .

N = Suma del número total de individuos o de las coberturas de todas las especies.

\ln = Logaritmo natural.

3.4.6. Análisis estadístico

La diversidad trófica fue comparada entre distintos grupos (sexos, tallas y temporalidad), mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Al no cumplirse los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Serrano, 2003). Los análisis se realizaron en el programa STATISTICA versión 7 (Statsoft, 2007) y Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corp.).

RESULTADOS

4.1. Morfología bucofaríngea y del tubo digestivo de *P. hildebrandi*.

4.1.1. Morfología externa.

El Popoyote *Profundulus hildebrandi* presenta el cuerpo largo (fusiforme), la boca relativamente grande en posición terminal, la mandíbula inferior con mayor altura y orientación ligera hacia arriba (Figura 2). Se reconocen un par de narinas en la región cefálica y una red de canales del sistema de la línea lateral con un máximo de 74 poros, mínimo 65 (modal 74, promedio 70) en la cabeza (Figura 3 a, b y c).



Figura 2. Ejemplar hembra de *Profundulus hildebrandi* Miller, 1950.

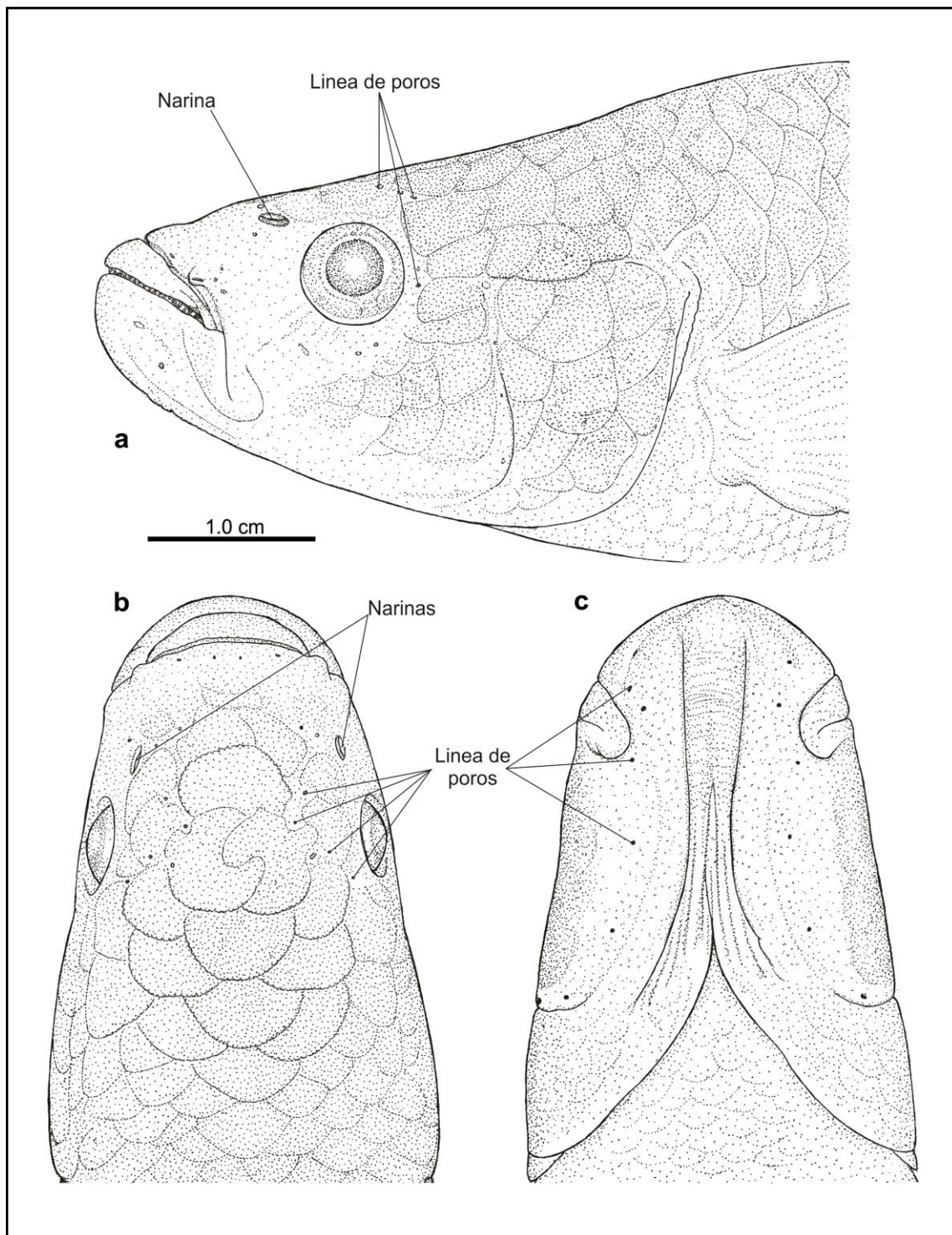


Figura 2. Región cefálica de *P. hildebrandi*: a) Vista lateral izquierda, b) Vista dorsal
c) Vista ventral.

4.1.2. Musculatura visceral

Musculatura mandibular

Sobresalen los músculos *adductor mandibulae*, *adductor arcus palatini*, *levator arcus palatini*, *dilatator operculi* y *levator operculi* (Figura 4).

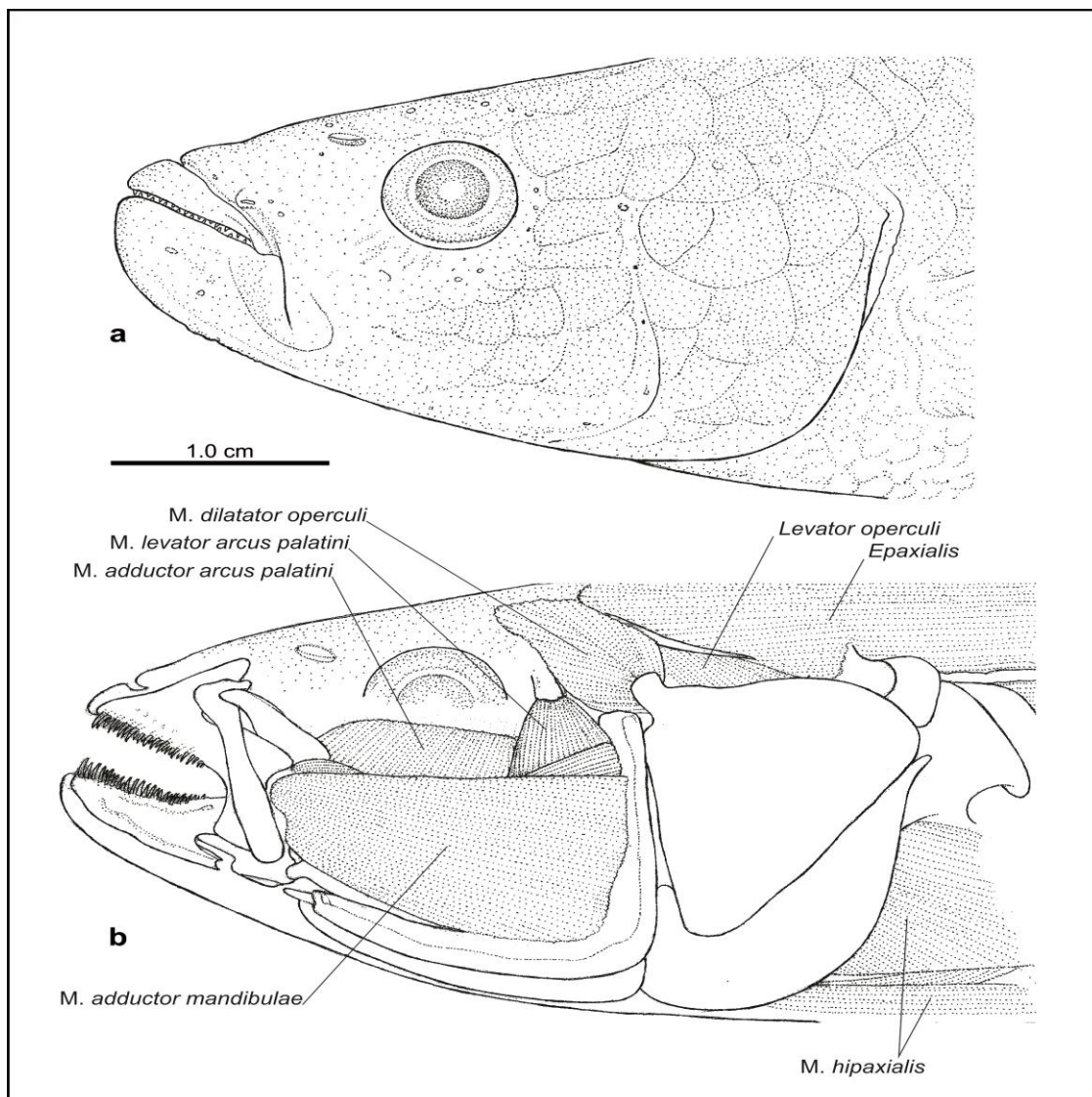


Figura 3. Musculatura visceral de *P. hildebrandi*: a) Distribución de los orificios de la línea lateral, b) Exposición de los músculos después de retirar la piel.

El *adductor mandibulae* es recto, orientado longitudinalmente y dividido en secciones A1, A2 y A3. La sección A1 se origina en el preopercular y se inserta de la cara interna del maxilar hacia la parte posterior del mismo. Anteriormente el músculo

produce una fascia (ligamento maxilomandibular), que lo une al cartílago coronoides entre el dentario y el anguloarticular, llegando hasta el premaxilar. Lateralmente A1 se inserta al cuadrado, haciendo contacto con A2 (Figura 5a). La sección A2 se origina desde la parte dorsal y margen anterior del preopercular. Está subdividido por el nervio trigémino y se distribuye por el simpléctico, endopterigoides y lateralmente por el cuadrado. Se inserta en el anguloarticular. La sección A3 es muy corta, se ubica por encima de A2, llegando hasta la mitad, por lo que su origen es A2. Se inserta en la parte inferior del dentario, por debajo del cartílago coronoides (Figura 5b).

El *adductor arcus palatini* es extenso, se origina en el parasfenoides y se inserta en la cara ventral del endopterigoides y symplectico. Lateralmente se inserta en la parte superior del hiomandibular (Figura 5a y b). El *levator arcus palatini* se origina en el proceso lateral del esfenótico y se inserta en la superficie lateral del hiomandibular.

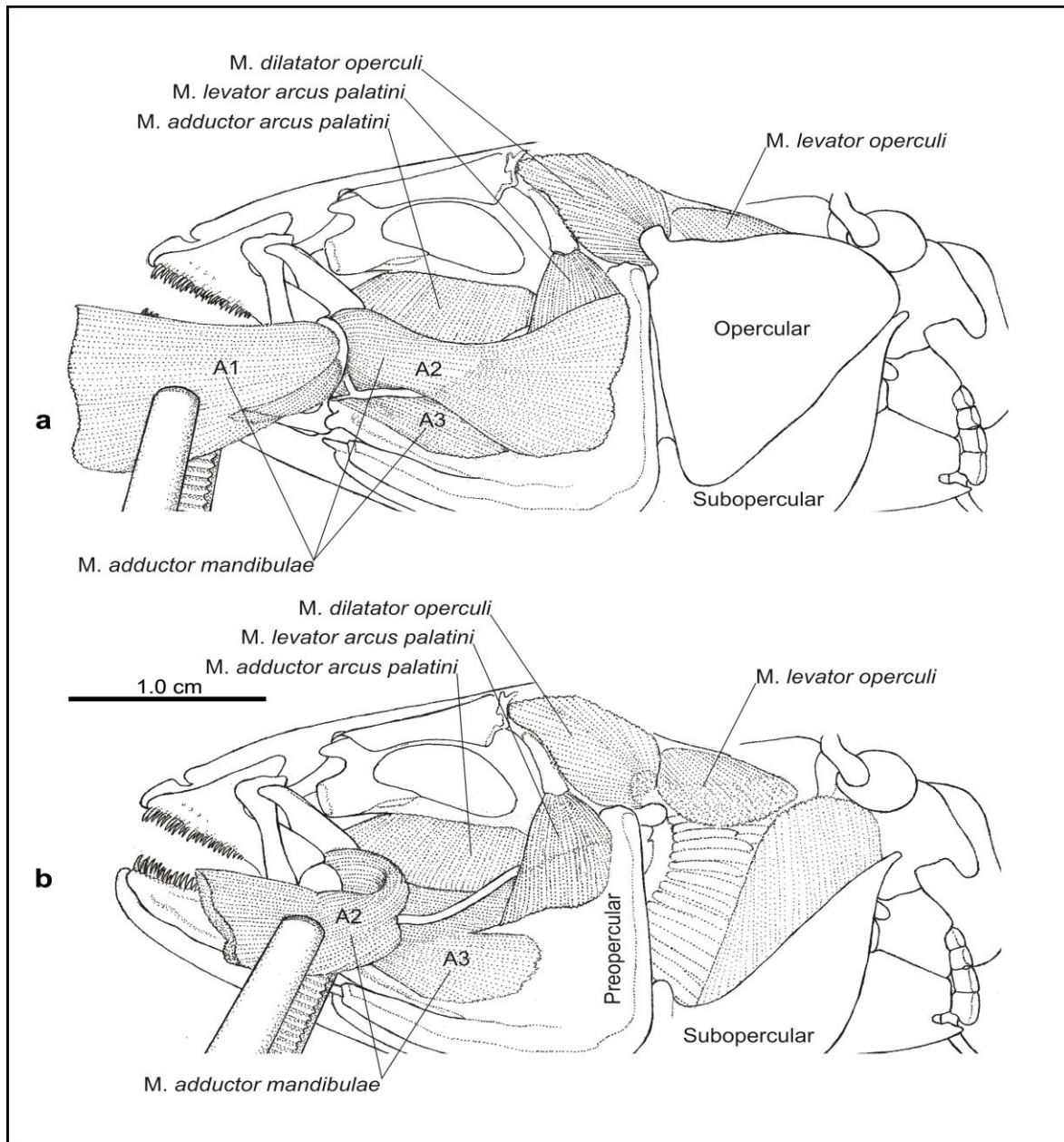


Figura 4. Musculatura visceral de *P. hildebrandi* en vista lateral izquierda: a) Vista del *adductor mandibulae* al reflejar la sección A1. b) Vista del *adductor mandibulae* al retirar la sección A1 y reflejar la A2.

Musculatura branquial

Sobresalen los cuatro músculos *levatores externi*, *levator posterior* y *retractor dorsalis*.

Los *levatores externi* son cuatro, se originan del esfenótico y se insertan en la superficie dorsal de los cuatro epibranchiales (Figura 6a). Internamente se localiza el *levator posterior*.

El músculo *retractor dorsalis* está formado por varias secciones que se originan de las partes ventrales y laterales de la primera, segunda, tercera y cuarta vértebra; se inserta en el borde posterior del faringobranquial tres (Figura 6b).

Musculatura entre la cintura pectoral y el arco branquial.

Son notables los músculos *pharyngoclavicularis externus* e *internus*. El primero dividido en dos secciones (A y B) desde su base y separado en su extremo posterior, se origina en la región anteroventral del cleitrum, tiene disposición vertical y se inserta en dos sitios de la superficie ventral del hueso faríngeo inferior. El segundo es simple, no está dividido, se origina de la superficie anterior media del cleitrum y se inserta en la superficie ventral del hueso faríngeo inferior; se dispone horizontalmente (Figura 6a).

De los músculos ventrales de los arcos branquiales, sobresale el músculo *rectus communis* y el *sternohyoideus*. El primero se origina en los arcos branquiales y se inserta en el borde superior del urohial (Figura 6a).

El *sternohyoideus* se origina en la parte inferior del cleitrum y se inserta en el borde posterior del urohial (Figura 6a).

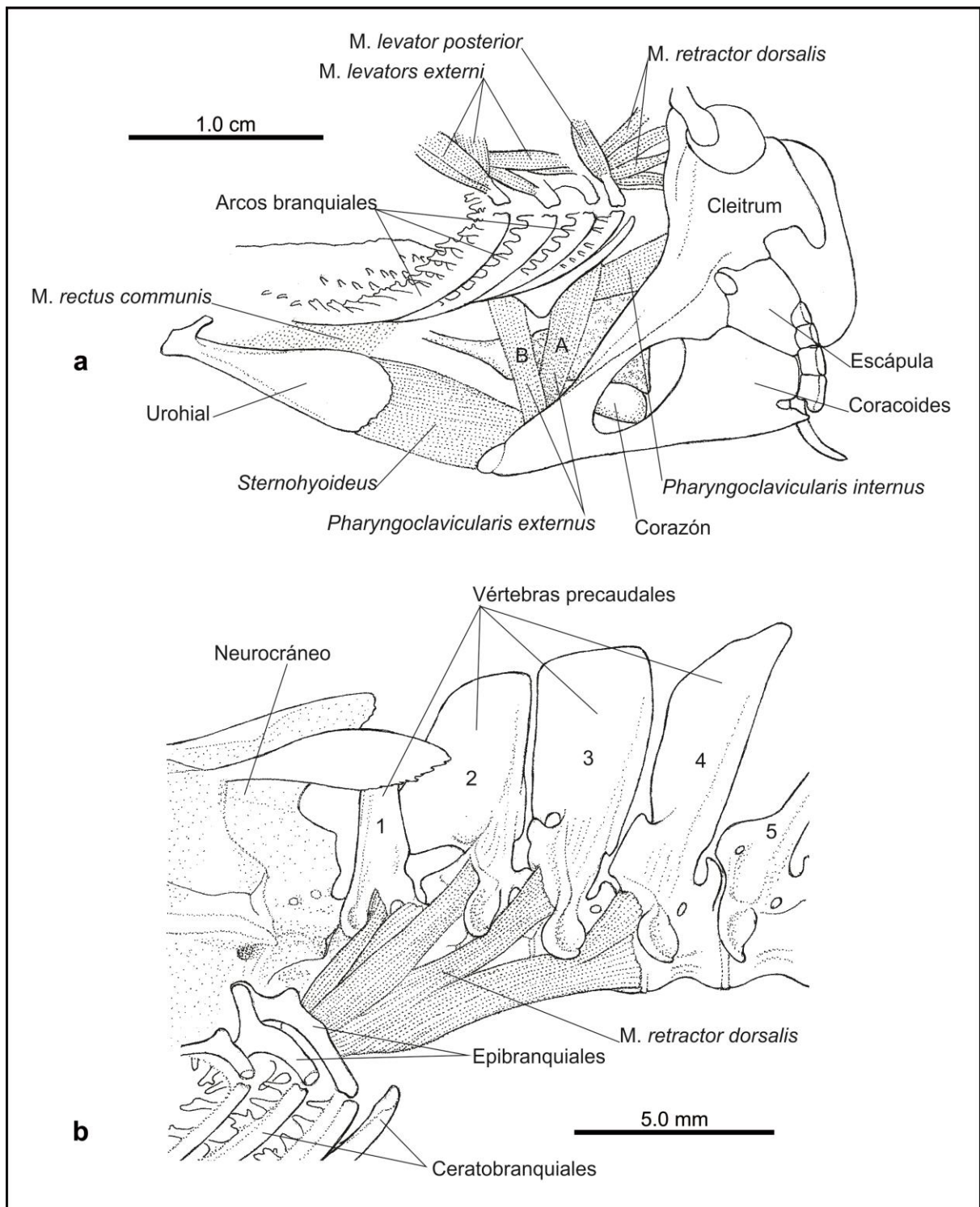


Figura 5. Musculatura branquial de *P. hildebrandi* en vista lateral izquierda. a) Músculos relacionados con los arcos branquiales, la cintura escapular y el urohial. b) Músculo *retractor dorsalis*.

Musculatura hioidea

Sobresalen los músculos *intermandibularis*, *protractor hyoideus*.

El músculo *intermandibularis* es angosto y se dispone transversalmente en la superficie interna del dentario. El *protractor hyoideus* es largo, relaciona el aparato hioideo con la mandíbula inferior, se origina anteriormente en el tercer radio branquiostego unido al ceratohial. Se fija en la cara interna de los dentarios cubriendo la sínfisis mandibular (Figura 7a).

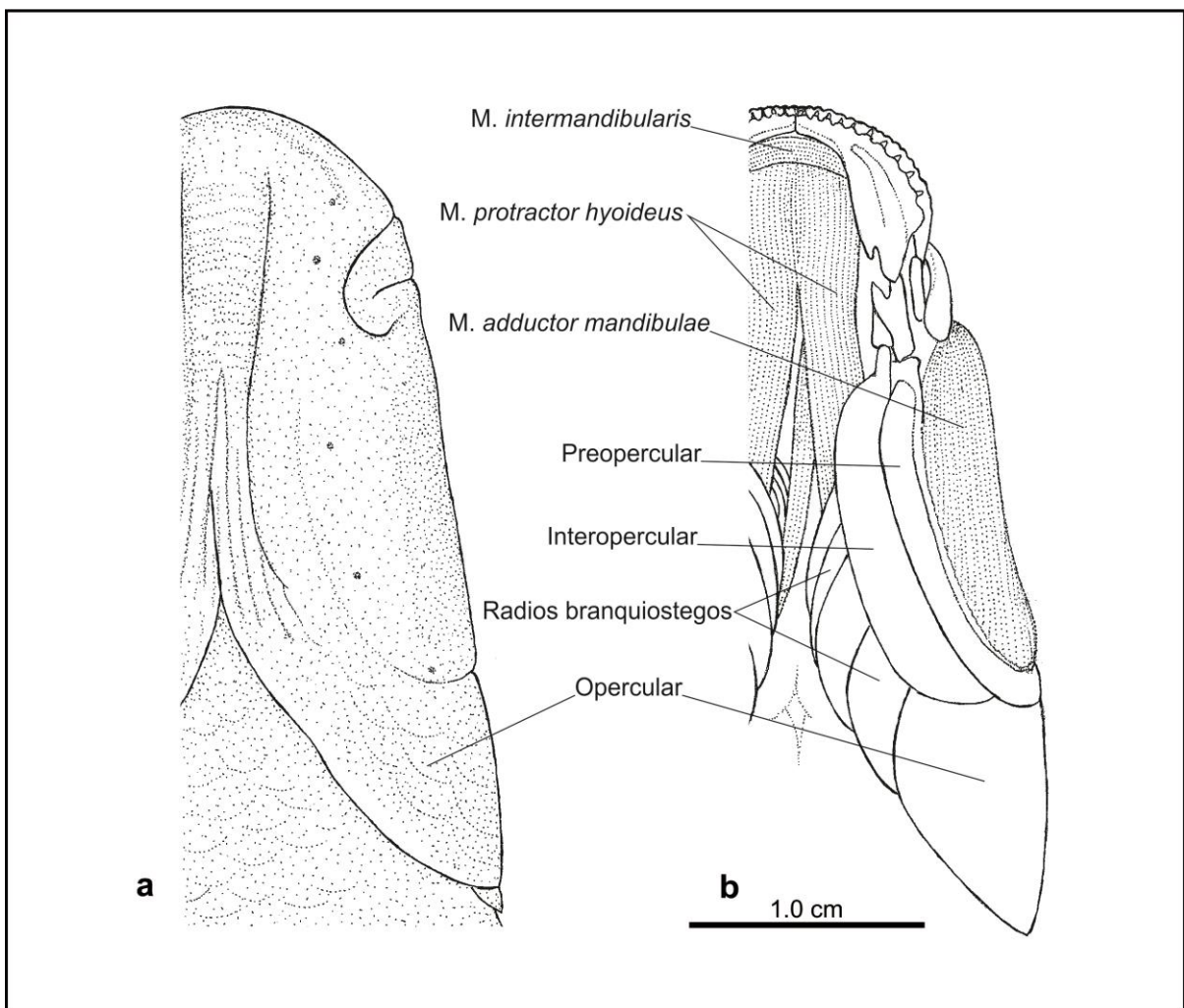


Figura 6. Musculatura ventral de la cabeza de *P. hildebrandi*: a) Vista ventral de la cabeza, b) Vista ventral de la cabeza, después de retirar la piel.

4.1.3. Esqueleto visceral

Formado por distintos elementos: Mandíbulas, suspensión mandibular, serie opercular, aparato hioideo y aparato branquial (Figura 8).

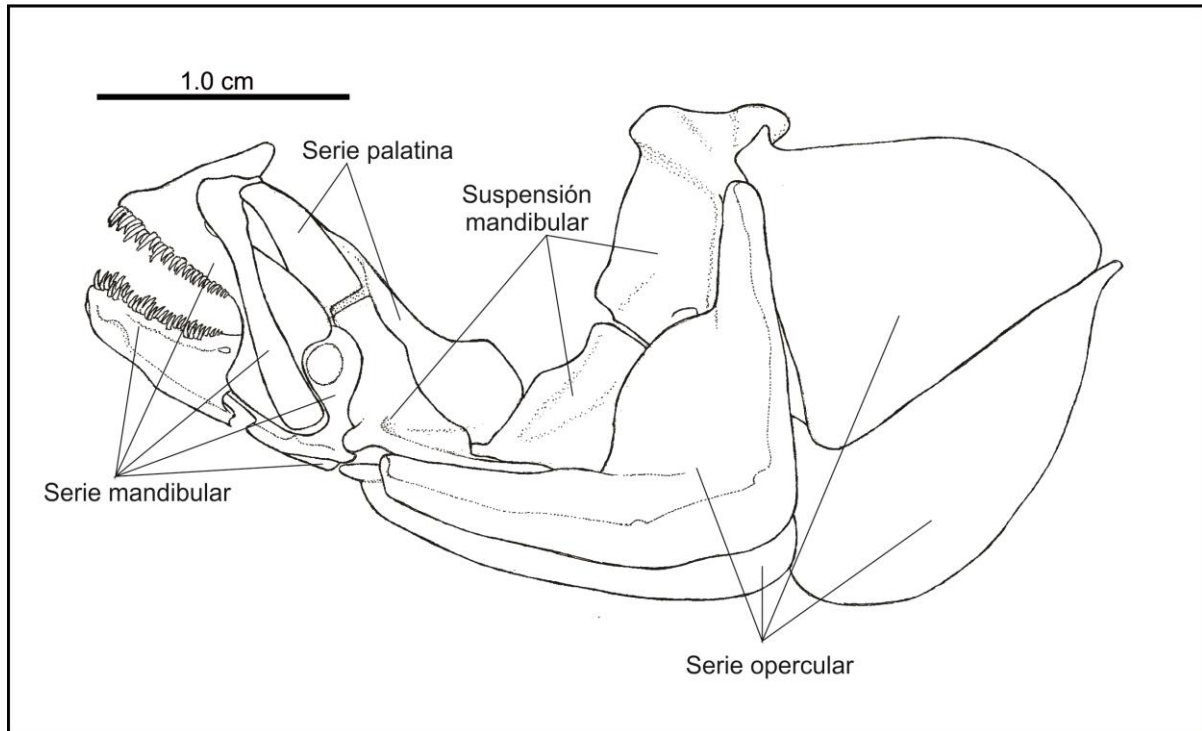


Figura 7. Elementos del esqueleto visceral de *P. hildebrandi*. Vista lateral izquierda.

Mandíbulas.

El arco mandibular incluye a los huesos de la mandíbula superior: premaxilar y maxilar, y de la mandíbula inferior: dentario, anguloarticular y retroarticular. El premaxilar presenta el proceso ascendente amplio y el borde bucal dentado. Es largo lateralmente y su extremo anterior proyecta un proceso ascendente amplio y de borde romo, que hace contacto con la región antero-ventral del neurocraneo (Figura 9, 10a y b). La porción posterior presenta una amplia escotadura, donde

coincide el cartílago coronoides, que aparentemente limita el desplazamiento del premaxilar hacia atrás (Figura 9 y 10a). El maxilar, es alargado, recto, delgado y laminar, presenta en la porción anterior dos procesos en los cuales se ubica parte del borde superior del premaxilar. En la cara externa cerca del proceso externo se marca un área cóncava que articula con el extremo anterior del palatino. A lo largo de la misma cara se marca la inserción del ligamento maxilo-mandibular (Figura 9 y 10a).

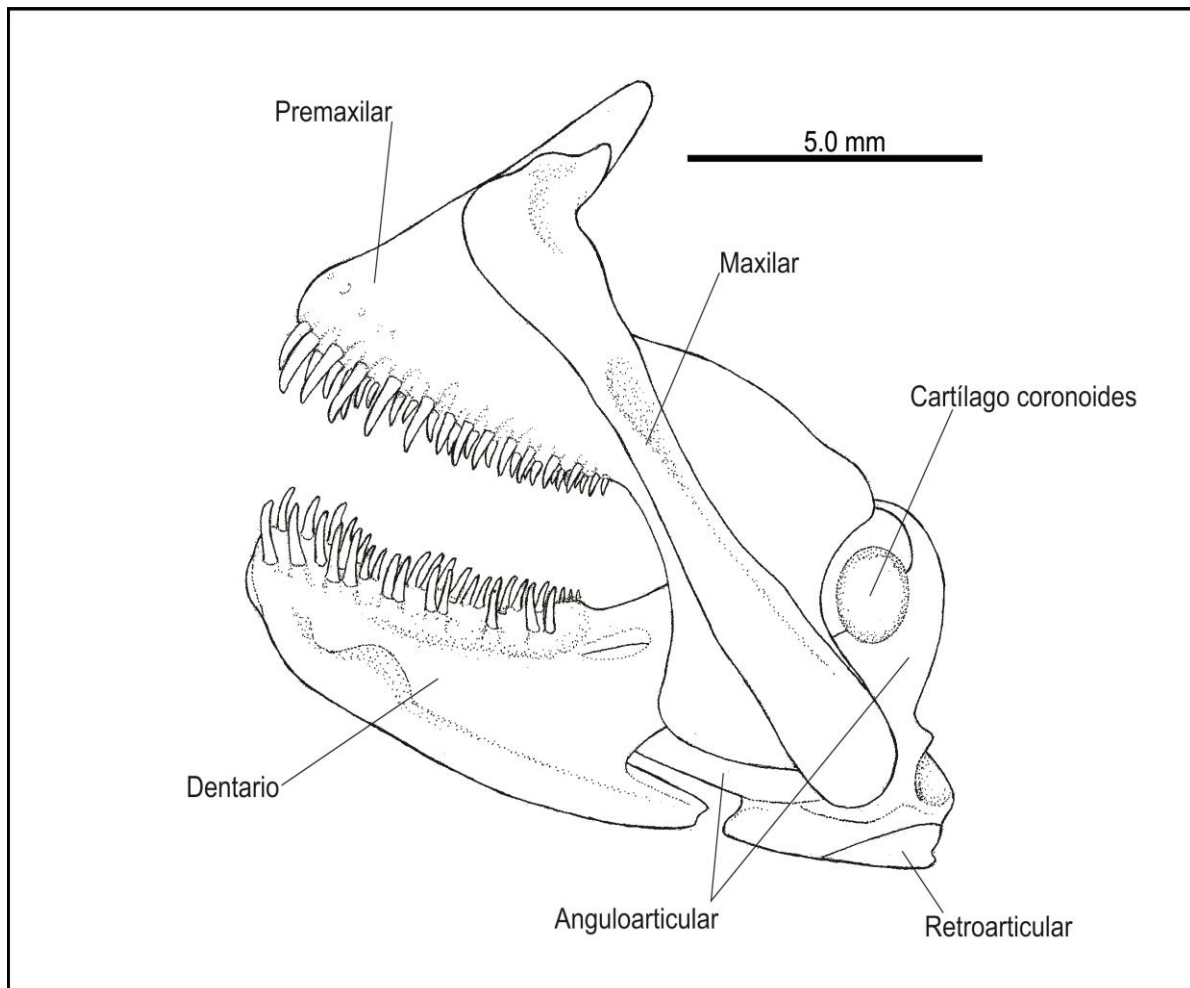


Figura 8. Mandíbulas de *P. hildebrandi*. Vista lateral izquierda.

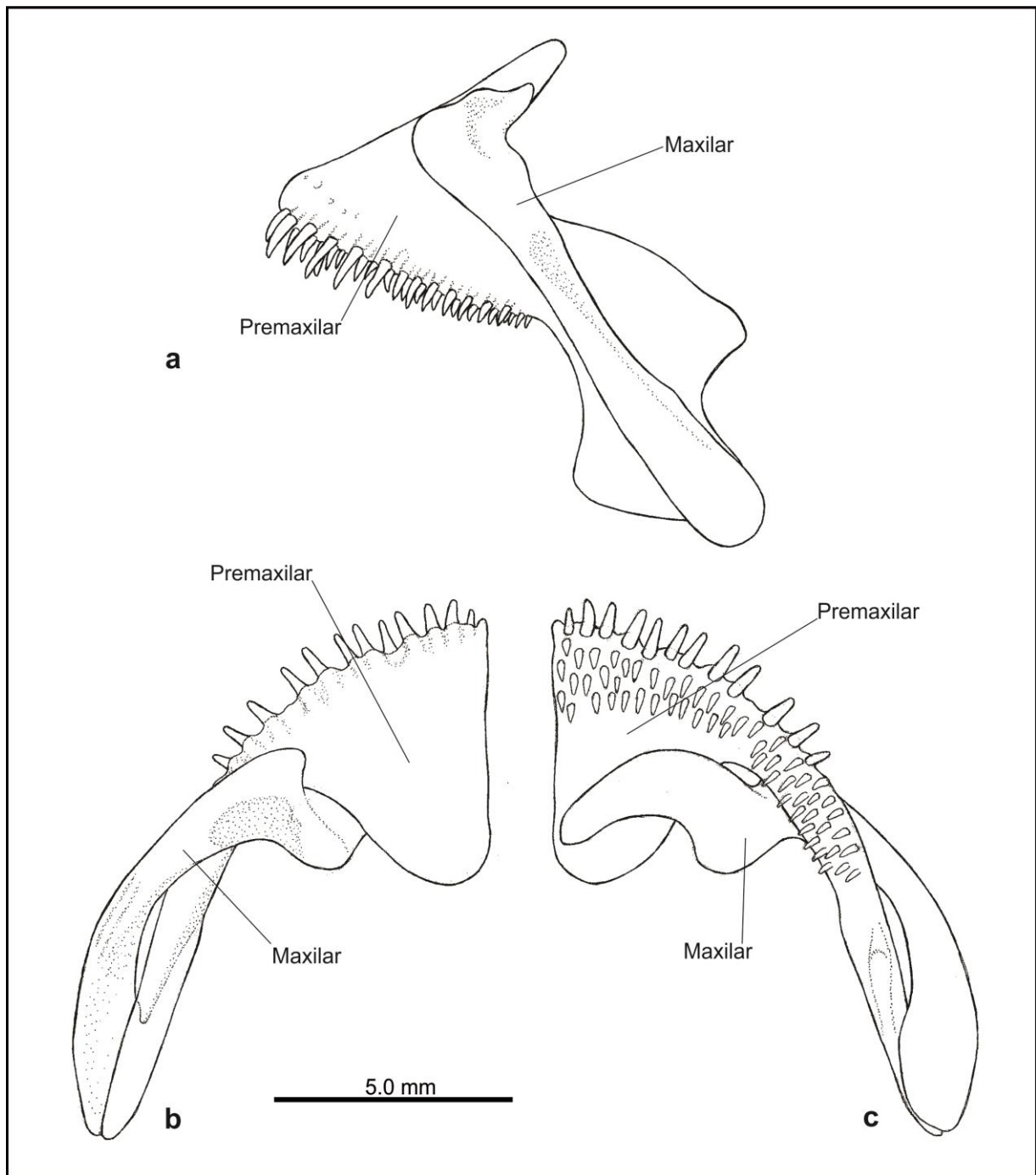


Figura 9. Mandíbula superior de *P. hildebrandi*: a) Vista lateral izquierda, b) Vista dorsal y c) Vista ventral.

En la mandíbula inferior se distinguen los huesos: anguloarticular, retroarticular, fusionados al dentario (Figura 9 y 11a). En la cara interna del anguloarticular, se

distingue el esplenial y un proceso tubular que es el cartílago de Meckel (Fosa meckeliana) (Figura 11b).

El dentario es un hueso grande de la mandíbula inferior, en la superficie externa se marca el canal de la línea lateral. El borde anterior tiene forma de repisa, con un conjunto de dientes. Presenta un proceso coronoides recto y oblicuo en el borde posterior, el cual posee en la superficie un grueso cartílago coronoides que abarca al hueso anguloarticular (Figura 11a).

El anguloarticular tiene un proceso anterior triangular amplio que se incrusta en el dentario. Hacia arriba forma un proceso coronoides que se une al proceso correspondiente del dentario, donde se localiza el cartílago coronoides. En su ángulo postero-inferior se encuentra la foseta articular, que recibe al cóndilo del cuadrado (Figura 11a).

El esplenial es un hueso laminar, notablemente pequeño y de forma trapezoidal. Está adosado firmemente a la cara interna del ánguloarticular (Figura 11b y c).

El retroarticular es relativamente pequeño de forma triangular, se encuentra en la parte ventral y posterior del ánguloarticular; en él se inserta el ligamento del interopercular (Figura 11a, b, c y d).

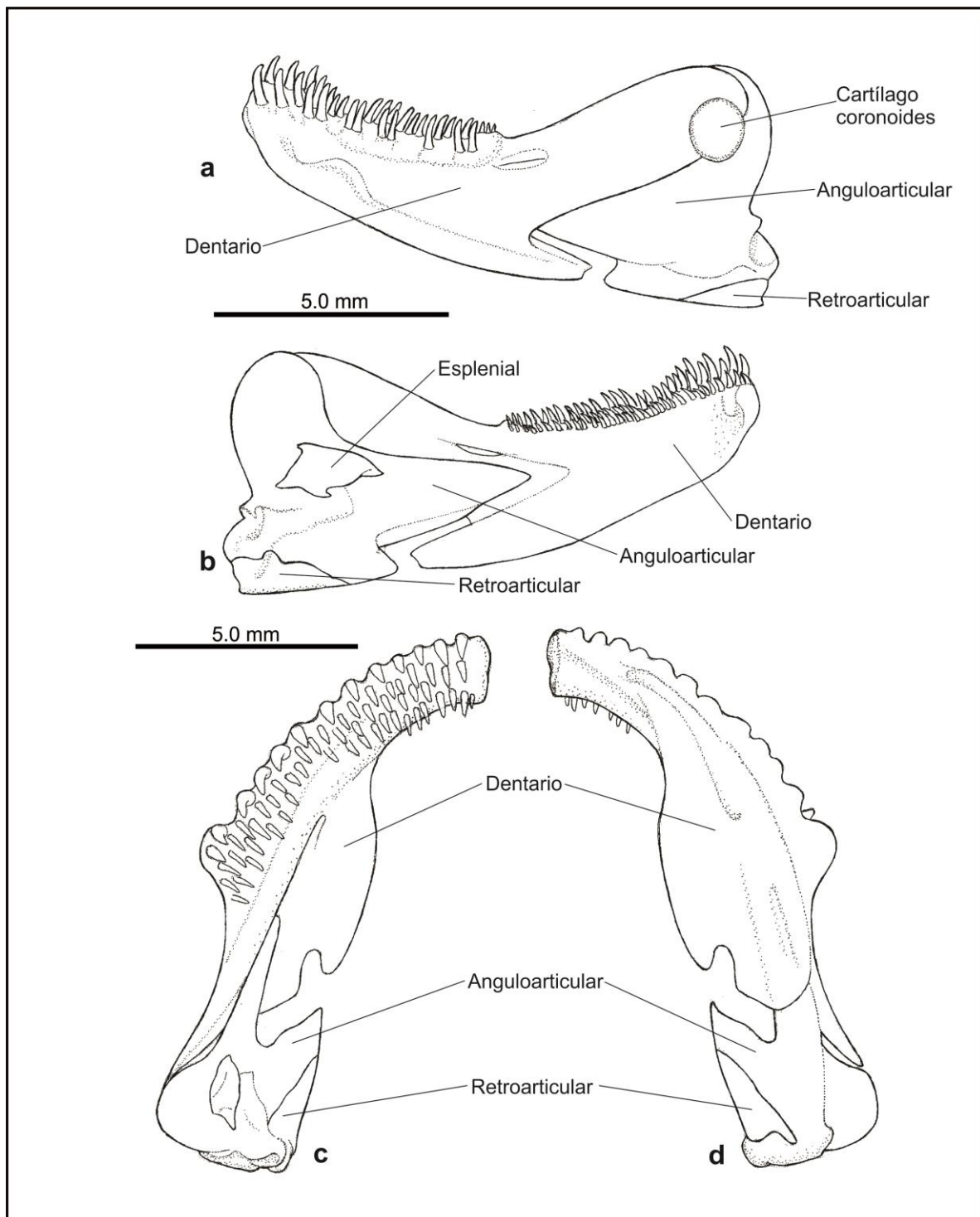


Figura 10. Mandíbula inferior izquierda de *P. hildebrandi*: a) Vista lateral externa, b) Vista lateral interna, c) Vista dorsal y d) Vista ventral.

Suspensión Mandibular.

Está formado por los huesos palatino, endopterigoides, hiomandibular, simpléctico y cuadrado.

El palatino es plano, recto y con el extremo anterior adosado al maxilar. Posteriormente hace contacto mediante cartílago con el cuadrado, y medialmente con parte del endopterigoides (Figura 12).

El endopterigoides es laminar, tiene su borde interno cóncavo y forma un proceso anterior que cubre la superficie interna del palatino. Se adosa internamente al cuadrado y posteriormente al simpléctico (Figura 12).

El hiomandibular es un hueso grande de forma rectangular. Se articula mediante el cóndilo anterior con el esfenótico, mediante el cóndilo superior con el pterótico y mediante el posterior con el hueso opercular. Su borde anterior es ondulado y el inferior o tallo es recto y se une por una membrana laminar al simpléctico. Lateralmente forma un reborde vertical, que coincide con la parte superior del preopercular (Figura 12).

El simpléctico es amplio y laminar, de posición oblicua, con su porción media maciza fusionada lateralmente al preopérculo. Su extremo inferior agudo se coloca entre el endopterigoides y el cuadrado (Figura 12).

El cuadrado es relativamente grande e irregular, con una porción anterior trunca orientada hacia adelante y arriba que se une al palatino. Posteriormente con un proceso delgado, que se une firmemente al preopercular. Presenta un cóndilo que coincide con la fosa articular del ánguloarticular (Figura 12).

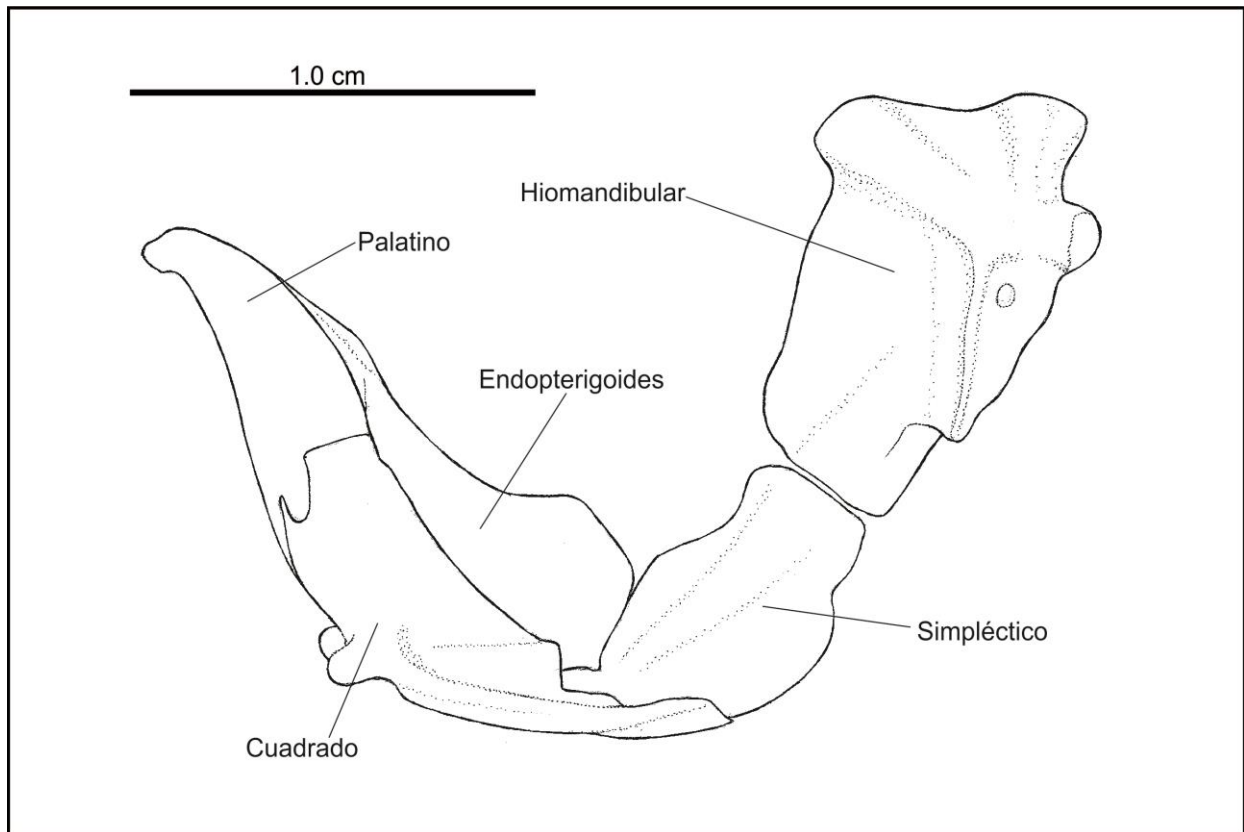


Figura 11. Serie hiopalatina de *P. hildebrandi*. Vista lateral izquierda.

Serie opercular.

Está formado por el opercular, subopercular, preopercular e interopercular.

El opercular tiene forma triangular, con su borde superior convexo y un proceso anterosuperior trunco. El borde posteroinferior es recto. El subopercular es amplio con un proceso anterosuperior tubular y posteriormente agudo. El preopercular es anguloso tiene forma de bumeran, con un borde anterior convexo. Lateralmente tiene un canal de la línea lateral. Se relaciona estrechamente con el margen posterior de la suspensión mandibular. El interopercular es alargado, con su extremo anterior dorsal puntiagudo y macizo, del cual parte un ligamento que se une al retroarticular. En la cara interna presenta una fosa que se articula con el interhial (Figura 13).

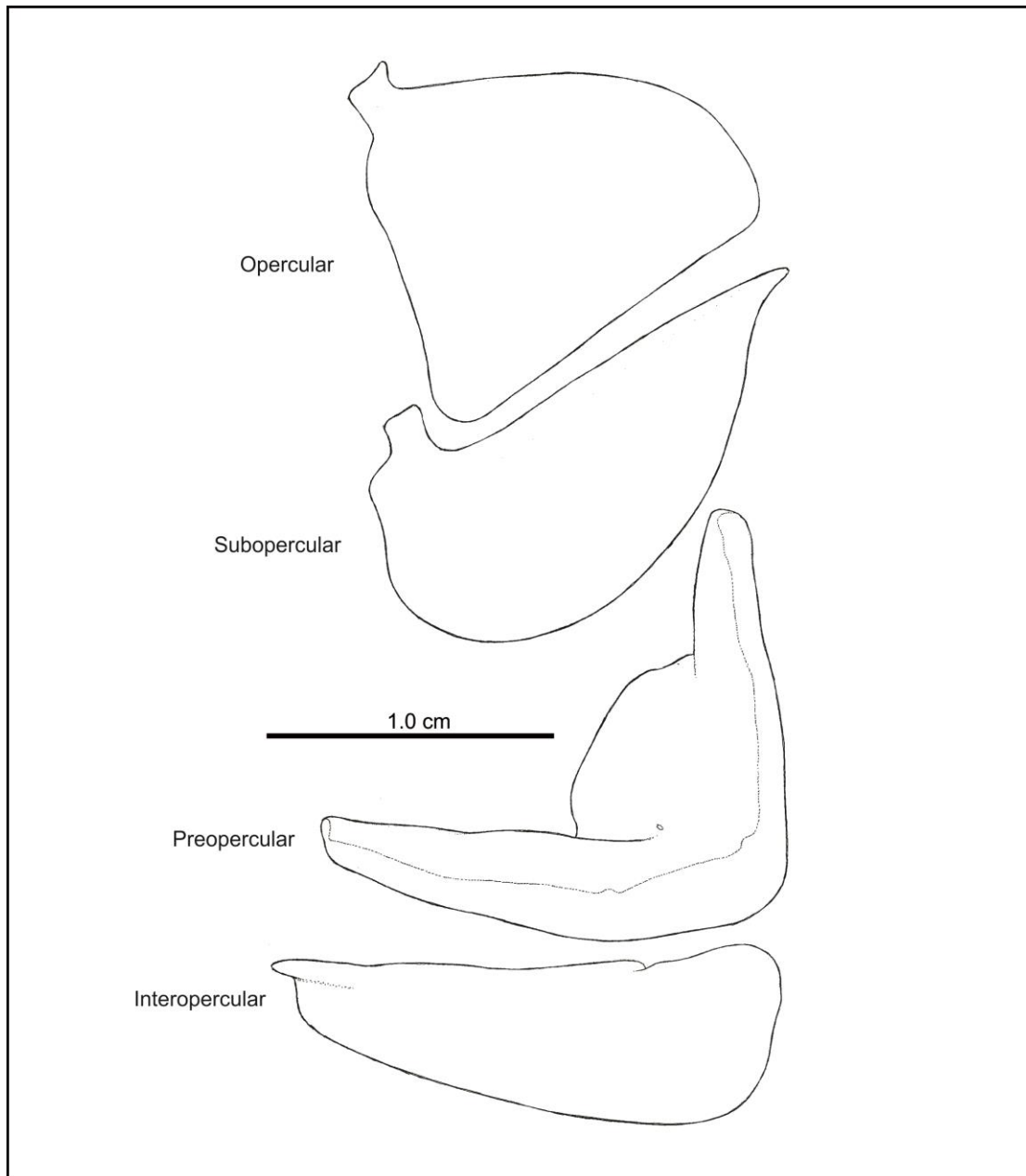


Figura 12. Serie opercular de *P. hildebrandi*, en vista lateral izquierda.

Aparato hioideo.

El aparato hioideo está formado por los huesos; glosohial, basihial, hipohial superior e inferior, ceratohial, epihial, interhial, seis radios branquiostegos y el urohial.

El glosohial es cartilaginoso y forma el extremo anterior del piso de la cavidad bucal, carece de dientes, es triangular y está aplanado dorsoventralmente. Se une posteriormente con el basihial que es alargado (Figura 14a, c).

Los hipohiales tienen forma cónica. El hipohial superior es pequeño y orientado hacia el plano sagital, se une al hipohial inferior y al ceratohial. El hipohial inferior es más grande y orientado hacia adelante, se une posteriormente al ceratohial (Figura 14a, c).

El ceratohial es alargado, más angosto en la parte media donde sostiene dos radios branquiostegos y amplio en su extremo posteroventral, donde sostiene a otros tres radios branquiostegos. Posteriormente se une al epihial (Figura 14a, c).

El epihial es de forma triangular, en la cara externa sostiene al último radio branquiostego (seis). En la parte dorsal de su extremo posterior se articula al interhial.

El interhial es cilíndrico, delgado y se articula mediante cartílago con el interopercular (Figura 14a, c).

Los branquiostegos son seis, de forma alargada. Los dos primeros muy delgados y los cuatro restantes laminares y angulosos (Figura 14a, c, 15a).

El urohial es alargado y laminar, con un proceso dorsal pequeño, orientado hacia atrás. El borde posterior es convexo y muy delgado (Figura 14b).

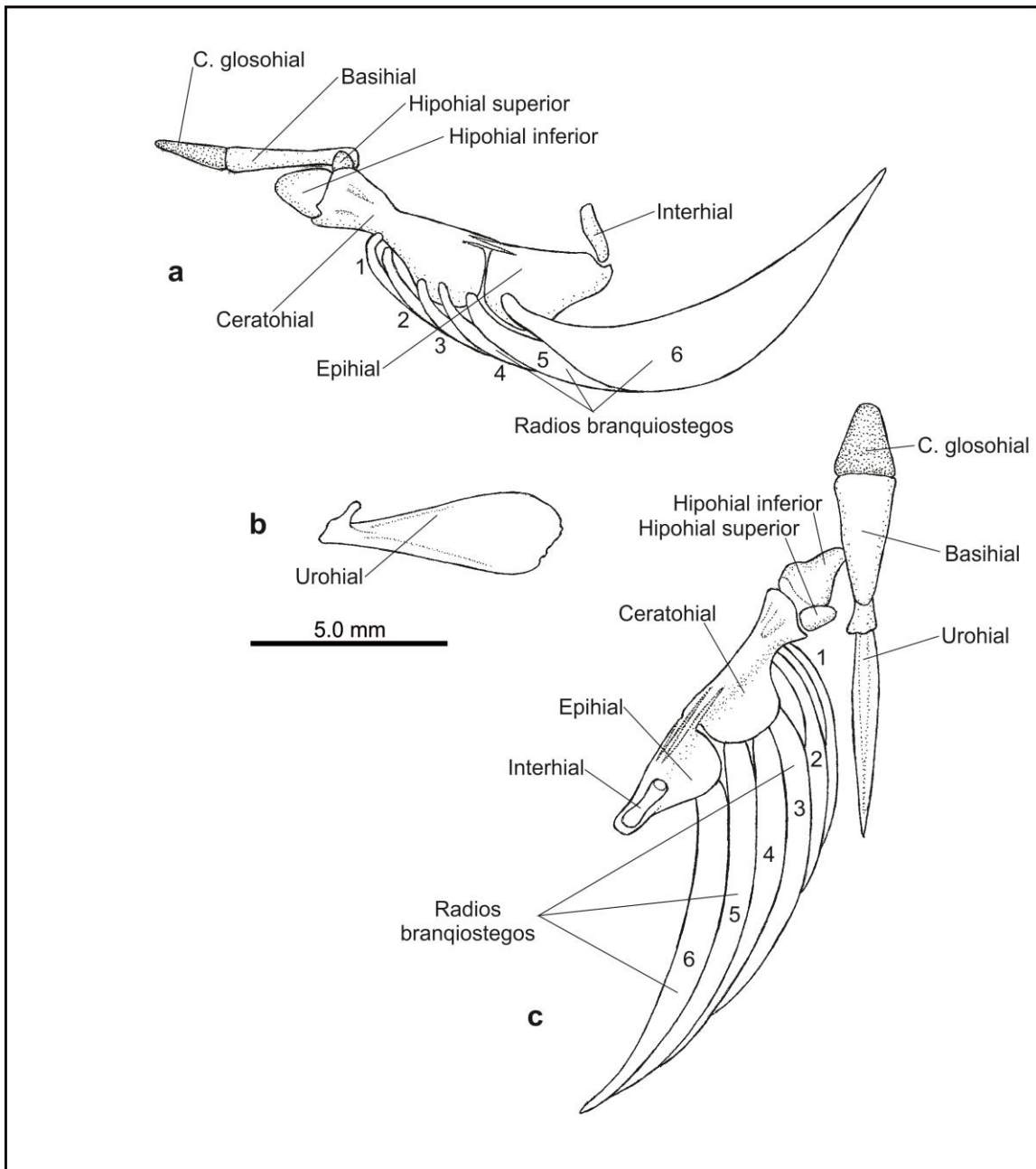


Figura 13. Aparato hiideo de *P. hildebrandi*: a) Vista lateral izquierda, b) Vista lateral izquierda del urohial y c) Vista dorsal del aparato hiideo.

Aparato branquial.

El aparato branquial está constituido por tres basibranchiales, tres hipobranchiales, cinco ceratobranchiales, cuatro epibranchiales y tres faringobranchiales. Los surcos para las arterias branquiales se encuentran en la cara externa de los cinco

ceratobranquiales. Los huesos ceratobranquiales cuatro, cinco y faringobranquiales, presentan dientes en la cara interna. Las branquiespinas están presentes en los cuatro ceratobranquiales (Figura 15a, b, 16a).

Los basibranquiales son delgados, el primero tiene forma exagonal, el segundo tiene forma de botella y el tercero es de tamaño pequeño y cartilaginoso. Los hipobranquiales son cortos la longitud disminuye notablemente del uno al tres (Figura 16a, 17a, c).

Los cerato branquiales del uno al cuatro, son largos y delgados, mientras que el cerato branquial cinco o hueso faríngeo inferior es robusto, con el extremo anterior romo y el posterior agudo. Este último lleva los dientes faríngeos inferiores al igual que el ceratobranquial cuatro (Figura 17 a, c y d).

Los epibranquiales de forma tubular y cortos; el primero bifurcado anteriormente, cada rama se continua con un cartílago y no presenta el proceso dorsal. Del dos al cuatro con proceso dorsal para la inserción de los músculos *levatores externi* y *levator posterior*. Los epibranquiales tres y cuatro hacen contacto por el proceso dorsal (Figura 15b y 17a).

Los faringobranquiales (faringobranquial superior) uno al tres son laminados y ensamblados. El primero con una fila de dientes en el borde posterior, el segundo muy amplio, con dientes en la superficie ventral y el tercero más pequeño con la misma disposición de los dientes. Este último recibe posteriormente al músculo *retractor dorsalis* (Figura 17b).

Las branquiespinas se presentan en dos series (externas e internas) en los huesos ceratobranquiales uno, dos, tres y cuatro, aunque éste último no presenta la serie interna, solo la externa. Las branquiespinas no llevan dientes. En la serie externa del primer ceratobranquial son largas, laminares y ramificadas, en el resto de los

ceratobranquiales son cónicas y pequeñas (Figura 16b, c). En promedio el número de branquiespinas de la serie externa del primer ceratobranquial es 16.

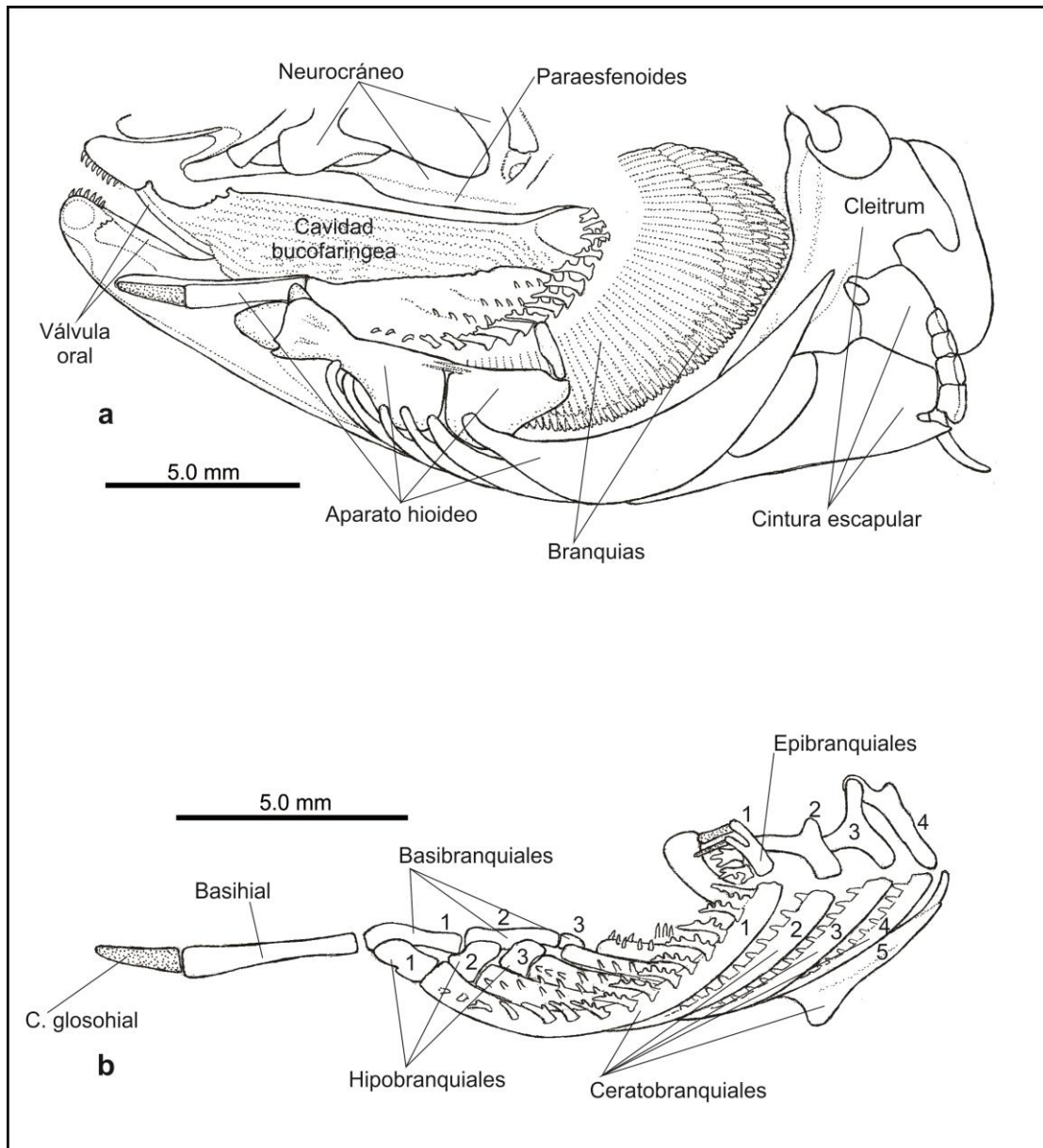


Figura 14. Cavity bucofaringea de *P. hildebrandi*: Vista lateral izquierda, a) Aparato branquial y aparato hioideo y b) Aparato branquial y esqueleto de la lengua.

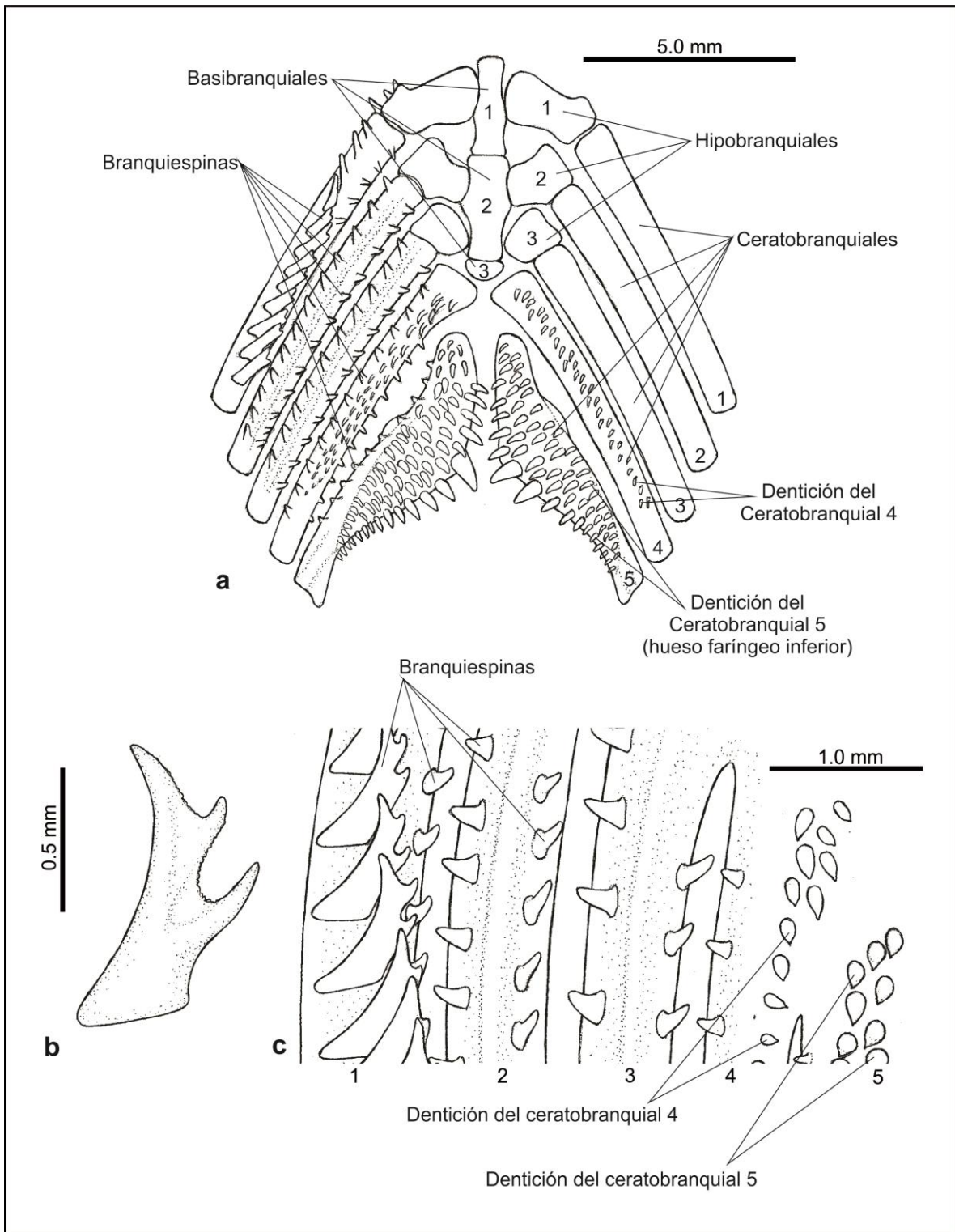


Figura 15. Aparato branquial de *P. hildebrandi*: a) Elementos inferiores de aparato branquial en vista dorsal, b) Branquiespina de la serie externa del primer arco branquial y c) Branquiespinas y dientes de los ceratobranchiales.

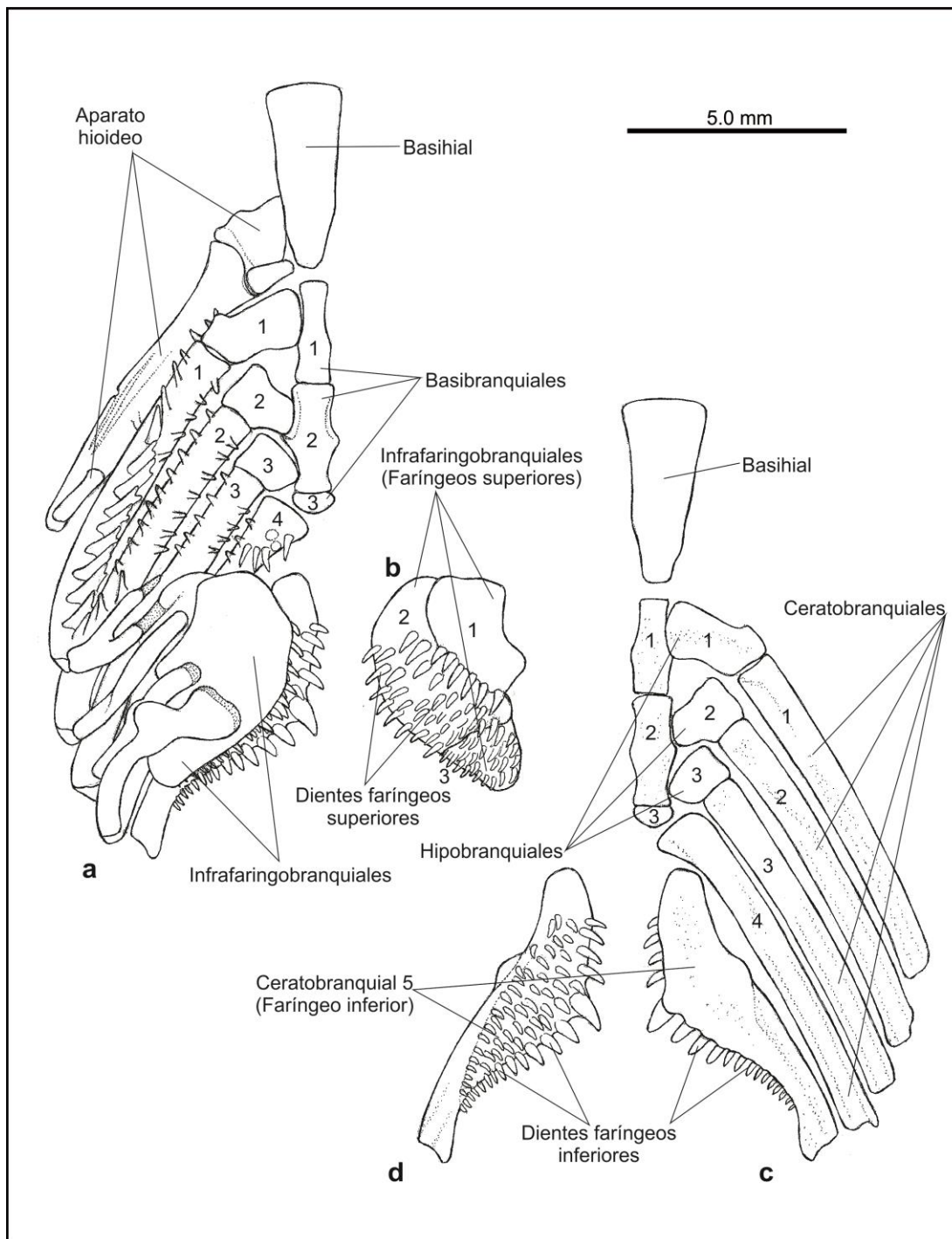


Figura 16. Aparato hioideo y branquial de *P. hildebrandi*: a) vista dorsal, b) Infrafaríngobranquiales en vista ventral, c) Vista ventral y d) Faríngeo inferior en vista dorsal.

4.1.4. Dentición

Presenta dientes en los arcos mandibular y branquial, carece de dientes en el paladar (vómer y palatino) y la lengua (glosohial).

El arco mandibular (premaxilar y dentario) tiene dos grupos de dientes. Los externos en una sola serie y de mayor tamaño que los internos que se encuentran de tres a cuatro series dispuestos irregularmente. La forma de los dos grupos de dientes es similar, tubulares con los extremos distales puntiagudos y curvados hacia dentro (Figura 10a, c, 11a, b, c).

Los arcos branquiales tienen dientes en el cuarto ceratobranquial, faringeo inferior (quinto ceratobranquial) y faringobranquiales superiores uno, dos y tres. Los dientes son de forma tubular con los extremos distales puntiagudos. El cuarto ceratobranquial tiene de una a dos series de dientes irregulares, pequeños y delgados (Figura 16a, c). Los dientes de los huesos faringeos superior e inferior presentan la misma forma; los últimos tienen series dispuestas irregularmente, los dientes del borde interno son ligeramente más grandes y disminuyen de tamaño hacia el borde externo. En el faringobranquial superior uno, se restringen a su borde posterior; los dientes del faringobranquial dos, cubren la mayor parte de la superficie ventral del hueso y los del faringobranquial tres, cubren toda su extensión y son más pequeños (16a, 17b, d).

4.1.5. Cavity visceral

La cavidad visceral es amplia y está delimitada por las vértebras precaudales, el primer arco hemal, la musculatura de los pterigióforos anales, los músculos *infracarinalis medius*, la cintura pélvica, los músculos *infracarinalis anteriores*, la

cintura escapular, las costillas pleurales y la musculatura axial. El extremo anterior de la cavidad visceral, está delimitado por el septo transversal, que aloja al corazón. El tubo digestivo hace contacto con el seno venoso de la cavidad pericárdica, específicamente el esófago. La región posterior está ocupada por la última porción del intestino, el recto y el sistema urogenital. Lateralmente presenta una serie de costillas dorsales y ventrales que se insertan a los músculos epiaxiales e hipoaxiales, en este último se diferencia el músculo *infracardinalis medius*. Cerca del 50% del volumen de la cavidad visceral está ocupado por los riñones mesonéfricos y la vejiga gaseosa. El resto de la cavidad está ocupada por el tubo o tracto digestivo, el hígado, el bazo y las gónadas. El riñón forma dos notables lóbulos laterales, de los cuales el izquierdo hace contacto con el hígado. El hígado cubre al estómago, que hace contacto con las gónadas maduras. La vejiga gaseosa, la cual no presenta conducto neumático, hace contacto con la parte dorsal del estómago y de las gónadas. Las gónadas se desarrollan entre la vejiga gaseosa y el intestino, alcanzando mayor volumen los ovarios maduros que los testículos maduros. El gonoducto femenino y el conducto urogenital se localizan de manera inmediata detrás del recto (Figura 18).

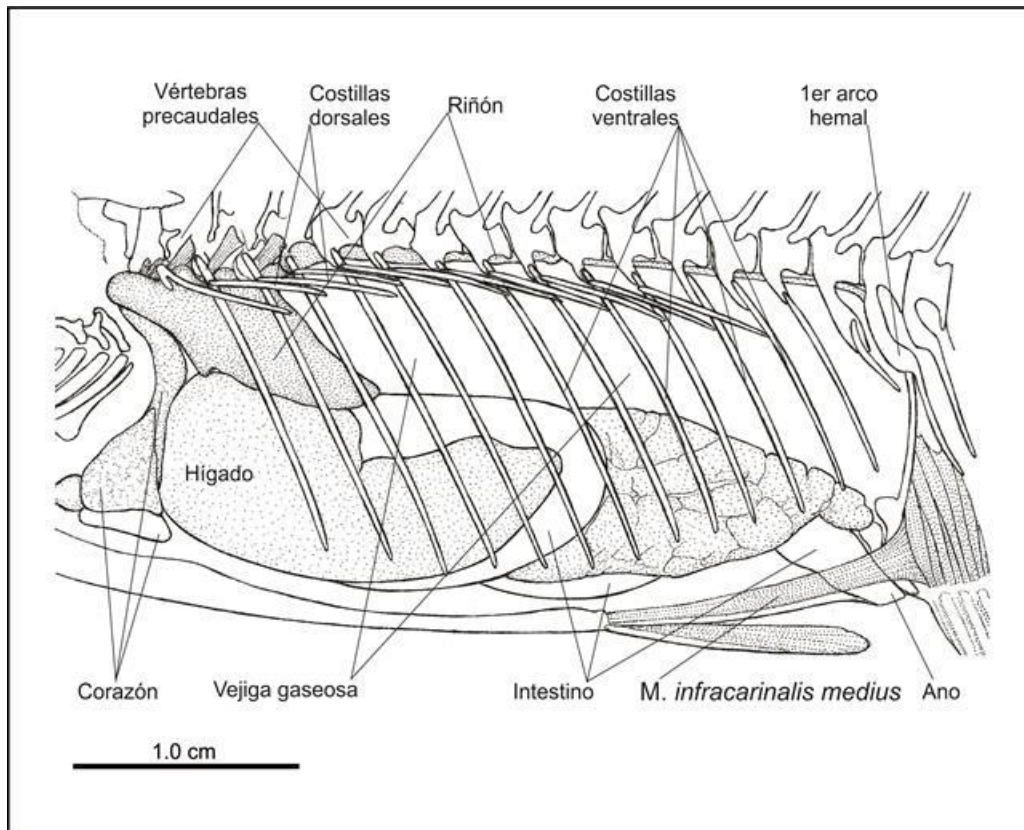


Figura 17. Cavity visceral en vista lateral izquierda de *P. hildebrandi*.

Tracto digestivo

Está formado por el esófago, el estómago, el intestino y glándulas anexas. No se desarrollan ciegos pilóricos.

El hígado es grande, cubre centralmente al esófago. Tiene dos lóbulos, el izquierdo es largo y cubre al estómago y a una parte inicial del intestino (Figura 19, 20a). El lóbulo derecho es pequeño y forma una escotadura donde se ubica la vesícula biliar (Figura 21b). La vesícula biliar es esférica, se encuentra del lado derecho en el extremo anterior del hígado (Figura 20b, 21a, b). El bazo es de forma circular, pequeño y se encuentra en la cara interna del hígado (Figura 19).

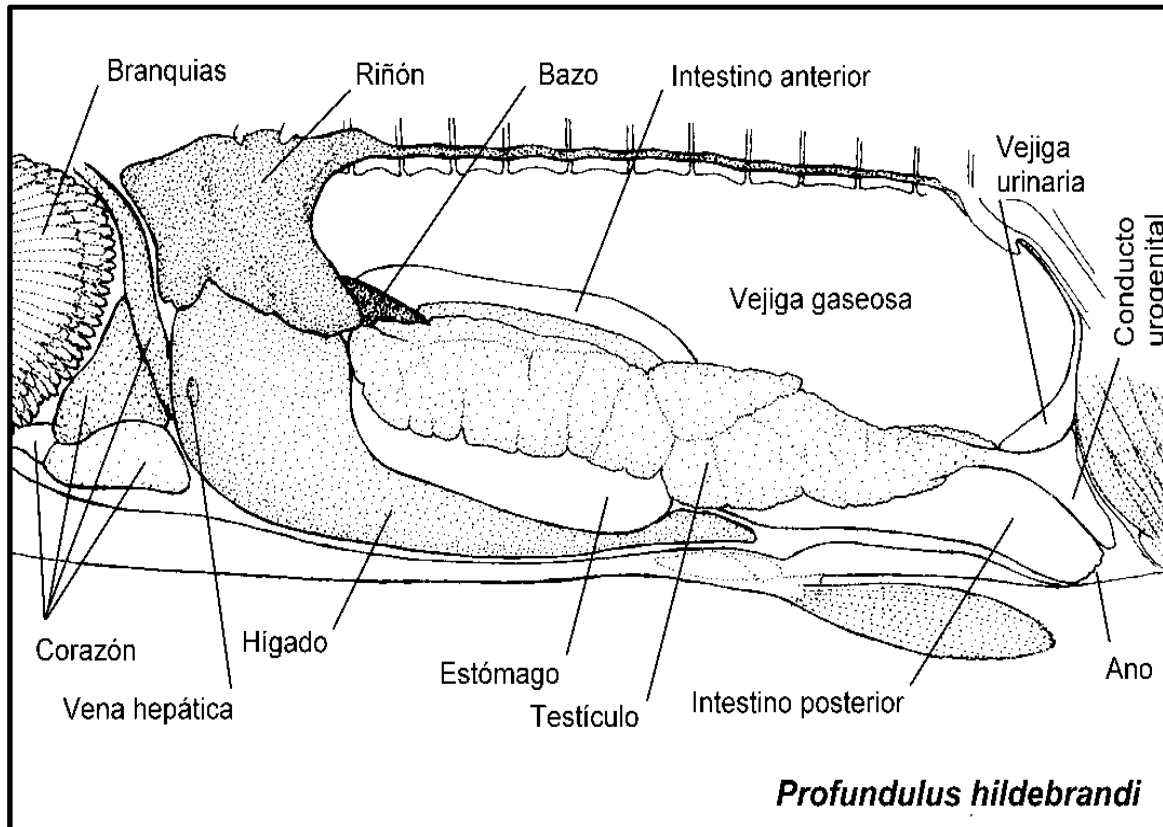


Figura 18. Disposición de los órganos relacionados con el tracto digestivo de *P. hildebrandi*. Se muestra el acomodo o arreglo de los sistemas, venoso, urogenital, digestivo, vejiga gaseosa y el bazo.

El esófago es corto, su extremo anterior es puntiagudo, corresponde a los huesos faríngeos superiores e inferiores del aparato branquial. Tiene forma de embudo con el extremo posterior angosto (Figura 20a, b, 21). La superficie interna está formada por numerosos pliegues y surcos longitudinales finos (Figura 21).

El estómago es recto y relativamente largo, tiene forma de J (Figura 20b, 21); la superficie interna presenta pliegues irregulares en forma de Z, que forman crestas de gran amplitud (Figura 21).

El intestino es de tamaño corto, y forma una sola asa, la cual queda ventral al estómago y desde la cual se orienta hacia atrás de manera recta. En

aproximadamente la tercera parte de la longitud intestinal se forma la válvula intestinal orientada hacia atrás, la cual divide al intestino en dos regiones (anterior y posterior) (Figura 20a, b). Tiene aspecto de membrana delgada, es corta y crece de las paredes del intestino formando una circunferencia (Figura 21). Externamente no es muy visible; asemeja a un anillo muy delgado. En la región anterior del intestino desemboca el conducto biliar y en la superficie interna presenta pliegues y surcos muy bajos, que en conjunto proporcionan un aspecto reticulado. En la superficie interna de la región posterior los pliegues son irregulares y poco profundos. La última porción del intestino posterior es el recto, diferenciado por la presencia de surcos y pliegues longitudinales muy bajos. Finalmente el ano, que muestra su borde finamente orlado.

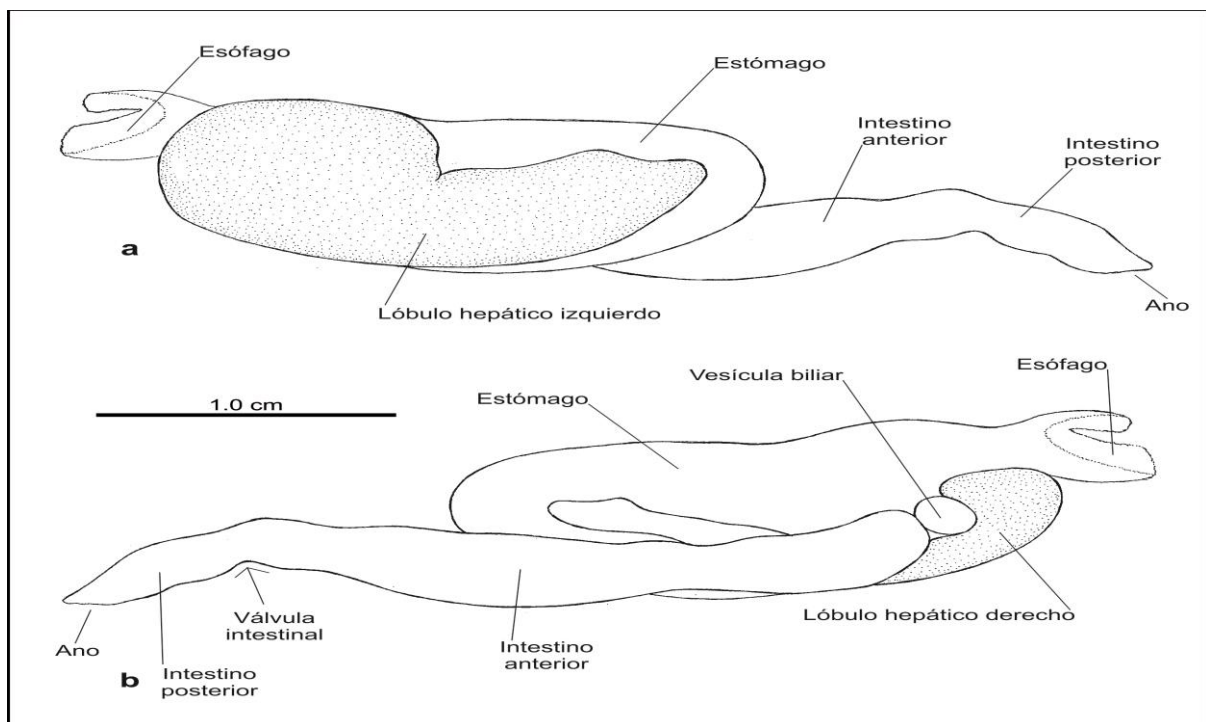


Figura 19. Tubo digestivo e hígado de *P. hildebrandi*: a) Vista lateral izquierda y b) Vista lateral derecha.

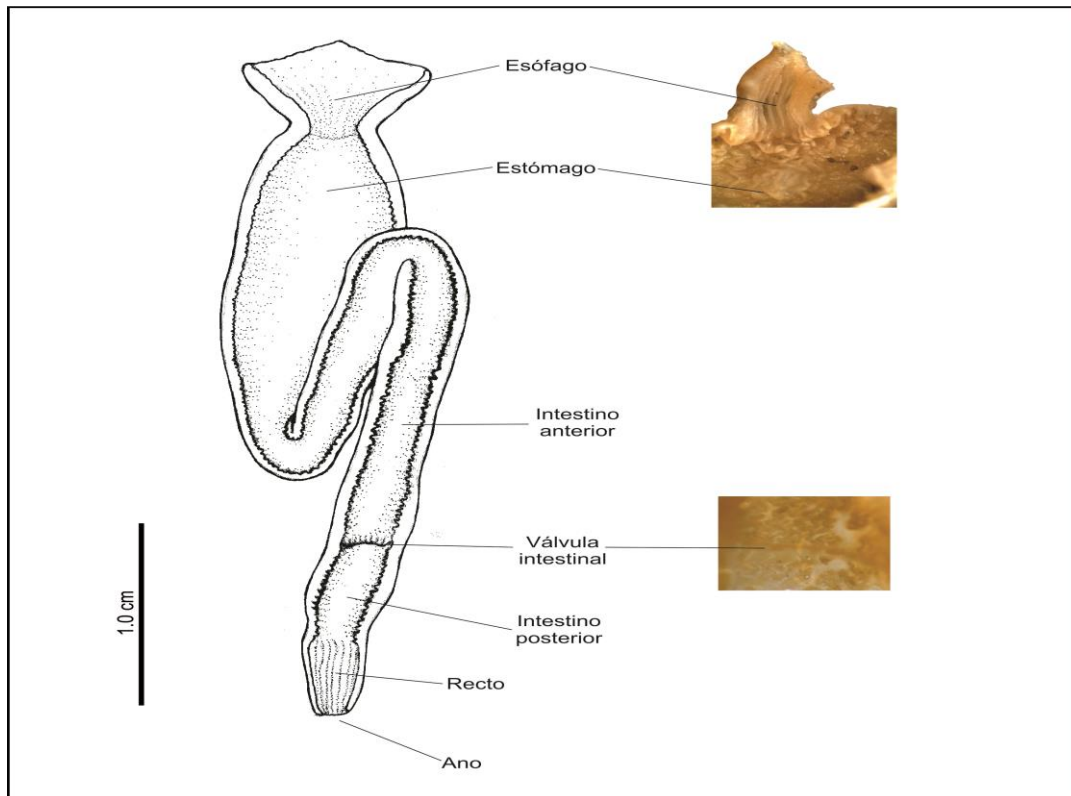


Figura 20. Corte transversal del tubo digestivo de *P. hildebrandi*.

4.2. Hábitos de alimento

Se analizaron 60 ejemplares de *P. hildebrandi* con una talla máxima de 114.18 mm de longitud total y mínima de 24.82 mm. El peso máximo de los organismos fue de 19.33 g y el mínimo de 0.15 g. Del total de estómagos obtenidos, 7 (11.7%) se encontraron vacíos y 53 (88.3%) con contenido estomacal. Los taxa identificados en los estómagos se agruparon en 18 categorías tróficas pertenecientes a 3 grandes taxones: insectos, crustáceos y diplópodos. Por el grado de digestión algunos componentes no se agruparon dentro de una clasificación taxonómica: materia orgánica (MO), escamas e insecto no identificado (INI). Los insectos de la familia Chironomidae (53.1% IVIr) fueron el alimento preferencial de la dieta de *P.*

hildebrandi. Los microcrustáceos, representados por los ostrácodos (13% IVI), se presentaron en la dieta como alimento secundario y el resto de los componentes alimentarios como accidentales (menores del 10%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición trófica de la dieta de *Profundulus hildebrandi*

ITEM	%abundancia	%FO	IVI%
INSECTA			67.3
Chironomidae	55.9	50.4	53.1
Chaobonidae	2.4	5.0	3.7
Simulidae	1.7	1.4	1.6
Dixidae	0.9	1.4	1.2
Syrphydae	1.6	1.4	1.5
Stratiomyidae	0.2	1.4	0.8
Ephemeroptera	3.4	4.3	3.8
Hymenoptera	0.2	0.7	0.7
Coleoptera	0.3	0.7	0.5
CRUSTACEA			31.3
Ostracoda	14.0	13.5	13.7
Copepoda	0.2	1.4	0.8
Amphipoda	6.2	5.7	5.9
Isopoda	9.6	8.5	9.1
Cladocera	2.0	1.4	1.7
INI	0.6	0.7	0.7
MON	0.3	0.7	0.5
Escamas	0.1	0.7	0.4
Diplopodos	0.4	0.7	0.6
Total	100.0	100.0	100.0

4.2.1. Índice intestinal

El comportamiento del índice intestinal en relación a la longitud patrón, no cambia durante el desarrollo ontogénico (Figura 22). El índice intestinal fue de 0.3 (rango de 0.24 a 0.45) (DE= 0.04). Un intestino corto característico de peces carnívoros.

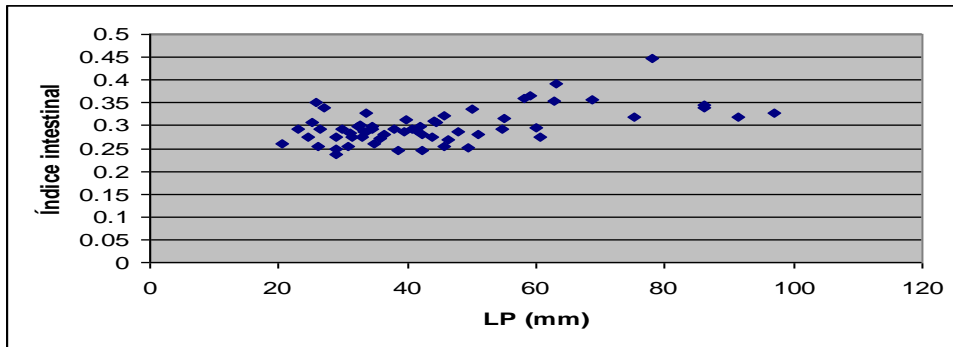


Figura 21. Relación de la longitud patrón con el índice intestinal en *P.hildebrandi*.

4.2.2. Diversidad alimentaria y amplitud de nicho trófico

Se estimó el índice de diversidad de Shannon-Wiener en la dieta por sexo, talla y temporalidad de *P. hildebrandi*.

4.2.2.1. Diversidad trófica por sexo

Se revisaron un total de 36 estómagos de hembras y 24 estómagos de machos, de los cuales 30 y 23 estómagos respectivamente presentaron alimento. Ambos sexos consumen en desiguales proporciones los componentes de la dieta, aunque los dos sexos presentaron porcentajes arriba del 50% de ingestión por Chironomidae (hembras 54.5% y machos 51.4%). Las hembras presentan un mayor número de componentes alimenticios (15) en la dieta, que los machos (12) (Cuadro 2). La diversidad trófica en los machos fue mayor ($H' = 0.46$, $DS = 0.42$), que en las hembras ($H' = 0.41$, $DS = 0.39$). Sin embargo las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($F = 0.20$, $P = 0.65$) (Figura 23).

Cuadro 2. Composición trófica por sexos de los alimentos consumidos por *P. hildebrandi*.

<i>ITEMS</i>	<i>HEMBRAS IVI%</i>	<i>MACHOS IVI%</i>
Chironomidae	54.5	51.4
Chaobonidae	3.6	3.8
Simulidae	0.9	2.5
Dixidae	2.1	0.0
Ostracoda	13.0	14.6
Copepoda	0.0	1.8
Amphipoda	3.7	8.8
Isopoda	6.7	12.0
Cladocera	2.1	1.2
INI	1.2	0.0
Ephemenoptera	6.9	0.0
Hymenoptera	0.8	0.0
Coleoptera	0.9	0.0
MON	0.9	0.0
Syrphydae	1.9	0.9
Stratiomyidae	0.8	0.8
Escamas	0.0	0.9
Diplopodos	0.0	1.2
Total	100.0	100.0

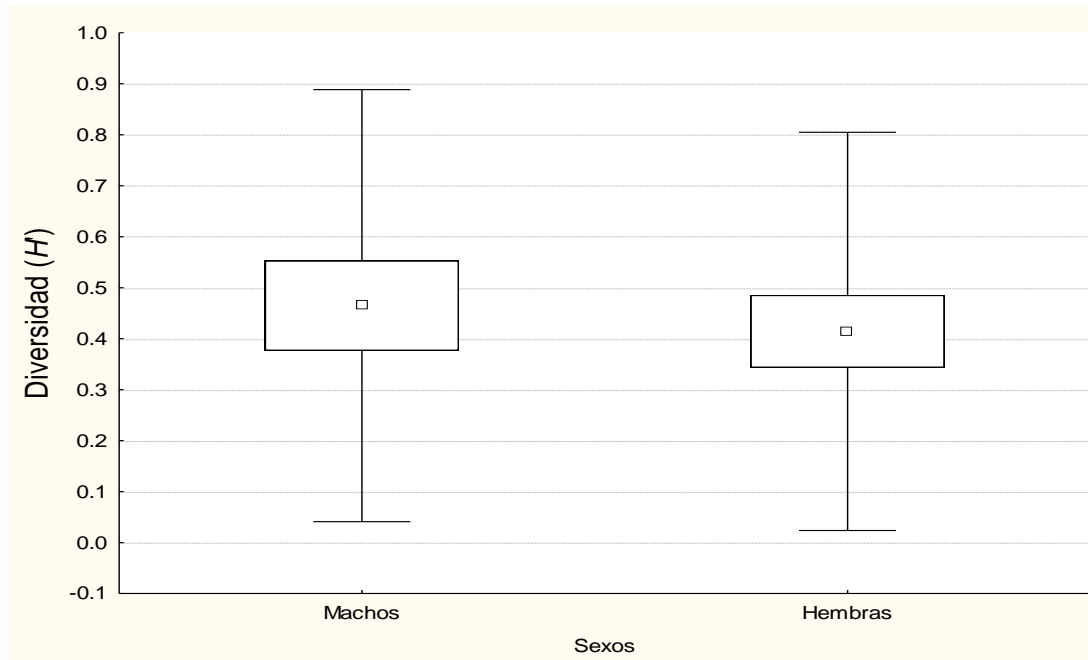


Figura 22. Amplitud de la dieta de *P. hildebrandi* por sexos (F= 0.20, P= 0.65)

4.2.2.2. Diversidad trófica por tallas

Con base en la longitud patrón y la madurez sexual de los ejemplares se establecieron tres clases de edad, juveniles (talla I menor a 30 mm), preadultos (talla II entre 30 y 60 mm) y adultos (talla III mayor a 60 mm). La talla II presentó un mayor número de alimentos consumidos (17 alimentos), seguida de la talla III (10 alimentos) y la talla I (6 alimentos) (Cuadro 3). La diversidad trófica (índice de Shannon-Wiener) por tallas muestra que los organismos de *P. hildebrandi* de la talla III tienen un mayor espectro trófico ($H' = 0.54$, $DS = 0.20$) que la talla II ($H' = 0.49$, $DS = 0.43$) y la talla I ($H' = 0.18$, $DS = 0.27$). El análisis no paramétrico de los promedios por clases de tallas, indicó que las diferencias son significativas (k-w $H = 6.07$, $p = 0.04$) (Figura 24). El alimento preferencial para las tallas I, II y III fueron los Chironomus, con valores de 67, 50.7 y 49 % respectivamente. Los Ostrácodos fueron el segundo alimento de interés con porcentajes de 14.3, 13.7 y 11.8 % en las

tallas I, II y III, respectivamente. La talla I evidencia los porcentajes más altos de Chironomus (67%) y Ostracodos (14.3) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición trófica por talla de los alimentos consumidos en *P. hildebrandi*.

<i>ITEM</i>	<i>Talla I</i>	<i>Talla II</i>	<i>Talla III</i>
Chironomidae	67.0	50.7	49.0
Chaobonidae	4.9	3.5	2.6
Simulidae	0.0	1.6	3.1
Dixidae	4.1	0.7	0.0
Ostracoda	14.3	13.7	11.8
Copepoda	3.0	0.5	0.0
Amphipoda	0.0	7.2	7.1
Isopoda	0.0	12.7	3.0
Cladocera	0.0	0.8	8.2
INI	0.0	0.0	4.5
Ephemeroptera	6.5	3.9	0.0
Hymenoptera	0.0	0.6	0.0
Coleoptera	0.0	0.8	0.0
MON	0.0	0.7	0.0
Syrphyidae	0.0	0.6	7.6
Stratiomyidae	0.0	0.5	2.9
Escamas	0.0	0.6	0.0
Diplopodos	0.0	0.8	0.0
Total	100.0	100.0	100.0

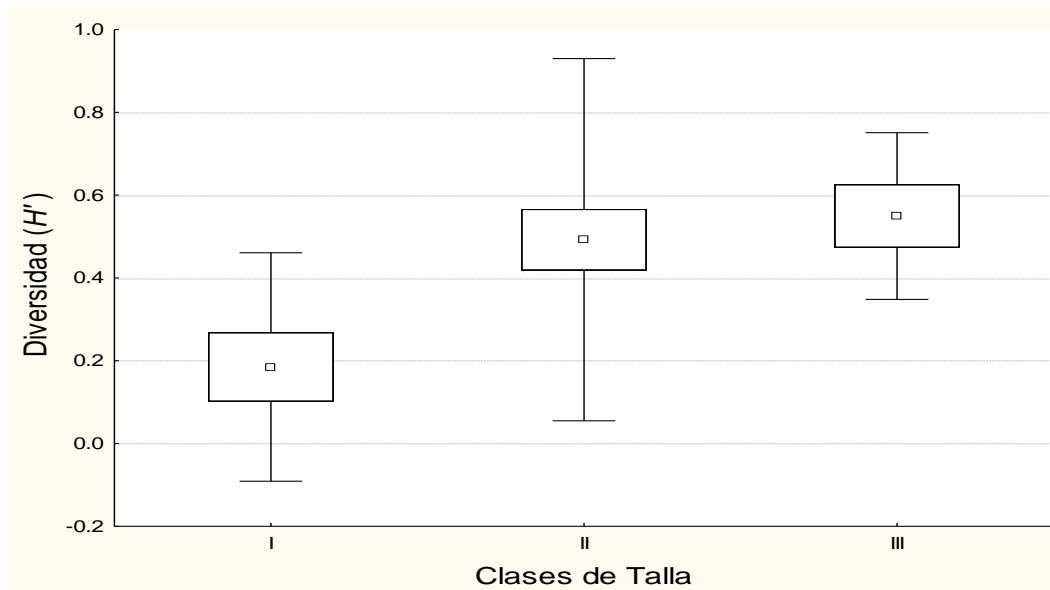


Figura 23. Diversidad trófica por clases de tallas (índice de Shannon-Wiener) de *P. hildebrandi*.

4.2.2.3. Diversidad trófica por temporalidad.

Para el análisis de la estacionalidad, se agruparon los contenidos alimenticios por meses de seca (febrero, abril y noviembre) y lluvia (mayo y junio). En la temporada de seca los ejemplares presentan un mayor número de componentes alimenticios (13), que en la temporada de lluvia (11). El alimento preferencial, fueron los Chironomus (68%) en temporada de seca, el resto de los alimentos fueron presas accidentales con valores menores al 10%. En la temporada de lluvia los Chironomus, Ostracodos, Amphipodos e Isopodos, presentaron valores menores al 50% y mayores al 10%, por lo que se agrupan como alimento secundario (Cuadro 4). La diversidad trófica (índice Shannon-Wiener) por estacionalidad muestra mayor diversidad trófica en la época de lluvia ($H' = 0.66$, $DS = 0.44$) que en la época de seca ($H' = 0.32$, $DS = 0.32$). Estas diferencias observadas fueron estadísticamente significativas ($F = 9.896$, $P = 0.003$) es decir los organismos de la época de lluvia

presentan una mayor diversidad trófica que los organismos de la época de seca (Figura 25).

Cuadro 4. Composición trófica por estación climática de los alimentos de *P. hildebrandi*.

ITEM	SECAS	LLUVIAS
Chironomidae	68.0	26.1
Chaobonidae	5.8	0.0
Simulidae	2.4	0.0
Dixidae	1.8	0.0
Ostracoda	8.0	23.9
Copepoda	0.7	1.0
Amphipoda	1.8	13.5
Isopoda	0.7	24.0
Cladocera	2.6	0.0
INI	1.0	0.0
Ephemeroptera	5.3	1.2
Hymenoptera	0.7	0.0
Coleoptera	0.8	0.0
MON	0.0	1.3
Syrphydae	0.0	4.2
Stratiomyidae	0.0	2.2
Escamas	0.0	1.1
Diplopodos	0.0	1.5
Total	100	100.0

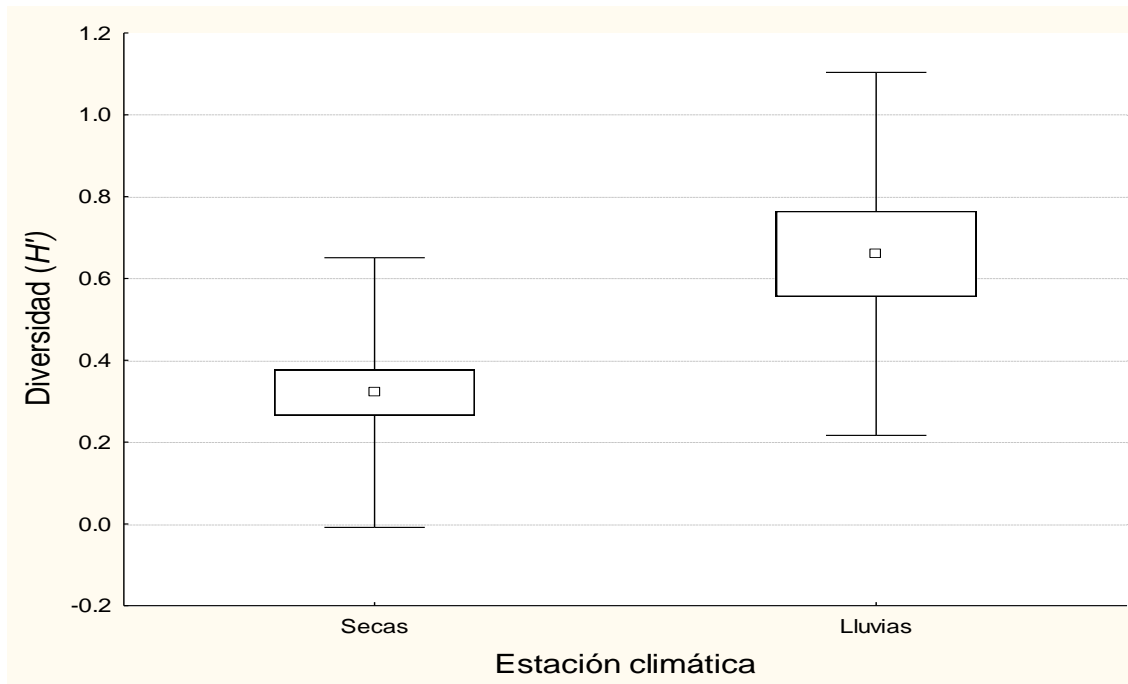


Figura 24 Diversidad trófica por estación climática, de *P. hildebrandi*.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Morfología bucofaríngea y del tracto digestivo de *P. hildebrandi*

Los trabajos osteológicos recientes han sido útiles para entender la relación entre la morfología y el ambiente con la finalidad de interpretar cómo funcionan los organismos en un contexto evolutivo y ecológico (Strauss y Bond, 1990; Wainwright y Reilly, 1994). En este último se ha documentado cómo la morfología puede determinar la conducta alimentaria de los organismos y sus interacciones espaciales y temporales. Varios autores consideran que los peces pueden presentar cambios morfológicos y tróficos que se interpretan como características importantes para reducir la competencia por los recursos (hábitat y alimento) (Schoener, 1974; Gatz, 1979; Wainwright y Reilly, 1994; Zárate-Hernández *et al.*, 2007; González, 2008 y Bohórquez-Herrera, 2009).

La morfología general del sistema digestivo de *P. hildebrandi* corresponde al patrón general de los Teleostei, sin embargo, presenta caracteres que son propios de los Cyprinodontiformes. Como la organización de la musculatura visceral que de acuerdo a Winterbottom (1974), corresponde al patrón general de los teleósteos; sin embargo, se reportan estructuras que nunca antes se habían estudiado en *P. hildebrandi*; por ejemplo, la complejidad morfológica del músculo *adductor mandibulae*, ampliamente descrito por Winterbottom (1974), que controla los movimientos de las mandíbulas en la alimentación (Hernández *et al.*, 2009). En *P. hildebrandi*, está formado por tres secciones A1, A2 y A3, como en numerosos teleósteos. Aunque en algunos ciprinodontiformes este músculo se divide en dos, como en *Goodea atripinnis* (No presenta la sección A3) (Kobelkowsky, 2005). El mayor volumen de la sección A1, posiblemente implique un movimiento fuerte de la

mandíbula inferior durante el cierre de la boca. La sección A2 que se inserta en el hueso anguloarticular, como en la mayoría de los teleósteos (Winterbottom, 1974; Friel y Wainwright, 1997), inclusive como en el más basal de los Cyprinodontiformes (Hernández *et al.*, 2009). Funcionalmente se relaciona con la fuerza anterior de las mandíbulas, es decir con los dientes (IDEM). La sección A3 que se origina en la mitad de A2 y se inserta por debajo del cartílago coronoides, que coincide con el proceso coronioide del dentario, posiblemente reafirma el cierre anterior de las mandíbulas. Hernández *et al.*, (2009), señala que la complejidad del *adductor mandibulae* en algunos cyprinodontiformes, se relaciona con el control de las mandíbulas al funcionar como pinzas y en la fuerza de los dientes para la alimentación.

Winterbottom (1974), señala que el origen e inserción del músculo *retractor dorsalis* puede tener importancia filogenética. En esta especie se reporta la división del músculo *retractor dorsalis* en secciones que se originan de las cuatro primeras vértebras precaudales y se inserta en el faringobranquial tres. Probablemente implique una fuerte deglución del alimento, en contraste con teleósteos que tienen un reducido número de secciones de dicho músculo. Por ejemplo en *Goodea atripinnis*, donde el músculo se origina en las dos primeras vertebras precaudales (Kobelkowsky, 2005). En otros músculos branquiales como *levatores externi* y *levator posterior*, Winterbottom (1974), señala la prioridad del origen e inserción, debido a la relación con los huesos faríngeos. En la especie estudiada, se distinguen cuatro *levatores externi*, que se insertan en los cuatro epibranchiales, e internamente se localiza el *levator posterior*. Kobelkowsky y Pantoja (2007), mencionan que el proceso de la presa en la cavidad faríngea, es debido a estos músculos que dan movimiento a los epibranchiales.

Mientras que en muchos teleósteos, el músculo *pharyngoclavicularis externus* es un solo elemento de cada lado, en *P. hildebrandi* se encuentra dividido en dos secciones (A y B) desde su base, parecido como registra Kobelkowsky (2013), en *Chirostoma estor*. Difiriendo de grupos cercanos como *Goodea atripinnis*, donde el músculo no está dividido y es muy amplio Kobelkowsky (2005). En *P. hildebrandi* son notables otros músculos como *pharyngoclavicularis internus*, *adductor arcus palatini*, *levator arcus palatini*, *dilator* y *levator operculi* entre otros, por su parecido con los músculos de *Goodea atripinnis* del mismo orden, que estudio Kobelkowsky (2005).

En términos generales, la organización del esqueleto visceral de *P. hildebrandi* corresponde al patrón general descrito por Gregory (1933), para los Cyprinodontiformes y actualmente al que describe Nelson (2006), para el mismo grupo. Confirmándose lo que señala el último sobre la ausencia del ectopterigoides y metapterigoides en los Cyprinodontiformes. Debido a que en la especie estudiada, estos huesos no se encontraron. Sin embargo, se reconocen estructuras que podrían ser consideradas características exclusivas de la familia Profundulidae.

El carácter morfológico más notable del esqueleto visceral de *P. hildebrandi* es la presencia del cartílago coronoides, del cual este es el primer registro en la literatura. Se ubica entre el proceso coronoide del dentario y el ángulo articular. Estrechamente relacionado con este cartílago está la escotadura posterior del premaxilar, de tal manera que el movimiento hacia atrás está limitado por dicho elemento, y probablemente intervenga en la abertura de la mandíbula superior. Hernández *et al.*, (2008), reporta en el género *Fundulus*, dos cartílagos rostrales ubicados en los procesos ascendentes del premaxilar, que ayudan por medio de ligamentos, al movimiento de la mandíbula superior.

Se coincide con la forma triangular del hueso anguloarticular con González-Díaz (2008), quien lo reporta como articular, señalando que en la cara interna del mismo presenta un proceso articular de forma tubular. Posiblemente se refiere al cartílago de Meckel, estructura que se reconoce en este trabajo. En la cara interna del mismo hueso (anguloarticular), se ubica al esplenial, un hueso laminar, pequeño, de forma trapezoidal. La dificultad en la identificación del esplenial y del cartílago de Meckel en el hueso anguloarticular, implica la necesidad de una cuidadosa revisión de la mandíbula inferior en los grupos de teleósteos. En la región posteroventral del mismo hueso se reconoce al retroarticular, que no es mencionado por González-Díaz (2008), y conecta al interopercular por un ligamento.

La suspensión mandibular en este trabajo está conformada por los huesos, palatino, endopterigoides, simpléctico, cuadrado e hiomandibular; aunque González-Díaz (2008), se refiere al mesopterigoides y en este trabajo es endopterigoides, se coincide en la ubicación anterior del hueso, porque hace contacto con el palatino, y un poco en la descripción laminar del hueso.

El mismo autor menciona que el borde ventral del cuadrado se prolonga formando una espina, aquí se considera como un proceso delgado que se une firmemente al preopercular. La extensión del cuadrado hacia adelante compensa funcionalmente la ausencia del ectopterigoides, la cual es característica de los Cyprinodontiformes como se ha mencionado anteriormente.

El número de huesos que llevan dientes en *P. hildebrandi* es relativamente reducido (premaxilar, dentario, ceratobranquial cuatro y faringobranquial superior e inferior). En comparación con otros teleósteos que presentan dientes en el paladar y la lengua. Asimismo, es notable la ausencia de dientes en las branquiespinas; aunque se reporta en esta especie, la presencia de dientes en el hueso ceratobranquial

cuatro. Posiblemente esto se relaciona con el tipo de alimentación de la especie. La forma general de los dientes de *P. hildebrandi*, se relaciona con lo que se describe para el grupo, porque son tubulares (largos) en su base, con los extremos distales puntiagudos y curvados hacia dentro. Dispuestos en varias filas o series de dientes (Gregory, 1933).

El número de branquiespinas en la rama inferior del primer arco branquial queda dentro del intervalo que Nelson (2006), proporciona para la familia Profundulidae. Es notable el aspecto largo, laminar y ramificado de las branquiespinas de la serie externa del primer arco ceratobranquial, que coincide con González-Díaz (2008), pues menciona que *P. hildebrandi* y *P. punctatus*, presentan branquiespinas largas, aunque no ramificadas. El resto de las branquiespinas en los huesos ceratobranquiales son cónicas y pequeñas. Se ha documentado por varios autores que estas características se relacionan con la alimentación de los peces (Wootton, 1990; Miller et al., 2005).

De acuerdo con Moyle & Cech (2000) el sistema digestivo de los peces teleósteos está conformado por un tubo o tracto digestivo y glándulas anexas (hígado, páncreas). El tubo digestivo se inicia con la boca y termina con el ano; está regionalizado en cavidad bucofaríngea, esófago estómago e intestino.

La organización de la cavidad visceral de *P. hildebrandi* es la típica de los teleósteos, en la cual el tracto digestivo y el hígado ocupan la porción ventral, mientras que la vejiga gaseosa, el riñón y las gónadas ocupan el resto.

La morfología del tubo digestivo y del hígado de la especie en estudio proporcionaría información útil en la taxonomía, así como hace Harder (1958), con especies de Clupeiformes.

Aunque Wilson & Castro (2011) señalan que los Cyprinodontiformes carecen de estómago, en el presente trabajo se considera su presencia en *P. hildebrandi*, así como también Kobelkowsky (2005) lo hace en *Goodea atripinnis*.

A diferencia de numerosos teleósteos, en *P. hildebrandi* no se encuentran ciegos pilóricos.

El carácter más sobresaliente del intestino de *P. hildebrandi* es la presencia de la válvula intestinal descrita por Gisbert *et al.*; (2004), en el lenguado *Paralichthys californicus* y Kobelkowsky (2007), en el lenguado *Cyclopsetta chittendeni*, que divide al intestino en anterior y posterior. La descripción que hacen Cataldi *et al.*, (1987) de una válvula en forma de embudo en la porción inferior del intestino de *Sparus aurata* probablemente corresponda a la denominada válvula intestinal.

El mayor desarrollo del lóbulo hepático izquierdo corresponde a la generalidad de los teleósteos.

5.2 Hábitos de Alimento y Diversidad trófica por sexos, tallas y temporalidad

El análisis de la dieta de los peces mediante el estudio de las presas encontradas en los estómagos, es el medio más adecuado para saber de qué se alimentan. La alimentación es un estudio básico en su biología, que depende de adaptaciones anatómicas, fisiológicas y etológicas, además es el medio de conocer sus interacciones tróficas (Amezaga-Herrán, 1988). Para Wootton (1999), un estudio de la alimentación en peces debe responder preguntas básicas tales como, qué, cuándo, dónde y cuánto comen.

En el análisis alimenticio de *P. hildebrandi* la dieta se basa principalmente en insectos (67%), sobresaliendo la familia Chironomidae (53.1%). Además de los microcrustáceos (31.1%), como los ostrácodos, isópodos, que fueron presas

secundarias y algunos otros taxones como los diplopodos que se presentaron como presas accidentales menores del 10%.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de los contenidos estomacales y el índice intestinal, en este trabajo se clasifica a *P. hildebrandi* como un carnívoro especialista, el cual basa su dieta principalmente en larvas, pupas y adultos de insectos. Estos resultados coinciden con los mencionados por De Vega *et al.*, (2004), y Velázquez-Velázquez y Schmitter-Soto (2004), quienes lo consideraron como una especie que presenta hábitos alimenticios muy especializados, que se alimenta principalmente de insectos y crustáceos. Esto es diferente a lo encontrado por Miller (1950), quien mencionó que esta es una especie aparentemente omnívora, que se alimenta de restos vegetales y numerosos insectos (adultos, pupas y larvas), así como pequeños moluscos, sin embargo sus resultados estuvieron basados sobre los análisis del contenido alimenticio de solamente cinco adultos. González-Díaz (2008), analiza 20 ejemplares y reporta que consume una gran cantidad y diversidad de invertebrados, entre los que destacan los insectos, crustáceos, moluscos, y menciona que ocasionalmente encontró algas. El mismo autor, sugiere clasificar a *P. hildebrandi* como omnívoro con tendencia a la entomofagia por el alto porcentaje de insectos (80%) en sus resultados.

La dieta de *P. hildebrandi* es muy similar a los miembros de las otras especies que comparten la familia Profundulidae, por ejemplo Cruz-Chávez *et al.*, (2006) mencionan que *Profundulus punctatus* es una especie principalmente entomófaga, la cual se modifica conforme crece, alimentándose de ninfas de efemerópteros en tallas menores mientras que las tallas mayores presentan elevada ingesta de restos de vegetales, himenópteros y larvas de dípteros. Miller *et al.*, (2005) menciona que *Profundulus labialis*, presenta características semejantes a *P. hildebrandi*, dado que

la dieta es principalmente de larvas de odonatos, coleópteros y algunas plantas. González-Díaz (2008), clasifica como omnívoros a *P. labialis* y *P. puctatus*, por la alta ingesta de invertebrados, abundantes algas y ocasionalmente plantas superiores.

Se ha documentado que los hábitos alimentarios pueden cambiar aun en una misma especie, de acuerdo a la localidad, las condiciones del alimento, la estacionalidad, la edad y el sexo (Prejs y Colomine, 1981). Para estudiar esos cambios se aplicó el análisis de la diversidad de la dieta o amplitud de nicho trófico, que de acuerdo con Vega-Cendejas (1998), indica el grado de generalización y especialización en los hábitos alimentarios de una especie.

Los resultados sobre diversidad trófica de *P. hildebrandi* en general fueron muy bajos. El índice de diversidad de Shannon en machos y hembras, fue menor de 0.5, por lo que se considera que ambos sexos presentan cierto grado de especialización, sin embargo las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Esto se relaciona con el número de componentes alimenticios encontrados en la dieta de machos (12) y hembras (15).

En la diversidad trófica por tallas se muestra que la talla III presentó mayor diversidad alimentaria, es decir mayor amplitud de nicho ($H'=0.54$), que la talla II ($H'=0.49$) y la talla I ($H'=0.18$); presentando diferencias significativas ($k=6.07$, $p=0.04$). Esto refleja cierto grado de especialización en las tallas I y II, y que la amplitud de la dieta se incrementa con el tamaño del pez, lo cual indica una tendencia a una alimentación más generalista durante los últimos estadios de crecimiento (a partir de 60 mm).

La diversidad trófica por temporalidad es mayor en la temporada de lluvias ($H'=0.6$), que en la temporada de secas ($H'=0.3$); presentado diferencias significativas

($F=9.896$, $P= 0.003$). Esto indica que *P. hildebrandi* presenta cierto grado de especialización en temporada de secas y en lluvias es más generalista. Las pequeñas diferencias encontradas en la diversidad trófica entre sexos, y más aún entre tallas y estacionalidad, se puede relacionar con una ligera flexibilidad trófica que muchas especies presentan. Wootton (1999), menciona que los cambios ontogénicos, estacionales y circadianos dan una idea de esta flexibilidad, dado que peces de la misma población, muestreados al mismo tiempo y lugar pueden tener diferencias significativas en su dieta, y la proporción de los ítems puede cambiar estacionalmente. El mismo autor señala que dentro de las especies, las diferencias en la composición de la dieta se pueden reflejar en diferencias morfológicas.

Estos resultados no se pueden comparar con otros trabajos, debido a que los estudios de alimentación de la especie se han reportado a nivel de porcentajes. Es claro que *P. hildebrandi* presenta una estrategia alimentaria especialista. Los insectos fueron consumidos por todas las tallas, temporadas del año y sexos. De acuerdo con los resultados en este trabajo y a lo reportado para el grupo, se considera a *P. hildebrandi* un controlador biológico por la preferencia en el consumo de insectos, especialmente Chironomus.

5.3 Relación de estructuras con la alimentación.

Los peces han demostrado una enorme capacidad para desarrollar nuevas morfologías y mecanismos de alimentación, que se relacionan con la boca, la musculatura y estructuras esqueléticas (Hernández *et al.*, 2009).

La forma alargada del cuerpo y la boca grande, con mandíbulas fuertes, (la inferior ligeramente hacia arriba), una serie de canales formando una red sensorial en la cabeza y un fuerte musculo *adductor mandibulae*, caracterizan la cabeza de *P.*

hildebrandi. La forma del cuerpo y la posición de la boca, son características que tradicionalmente se han relacionado con el hábitat y alimentación de las especies (Langerhans *et al.*, 2003; Wootton, 1990). Los músculos fuertes y seccionados de la mandíbula inferior y del aparato branquial se relacionan con los movimientos de las mandíbulas para atrapar a sus presas y del aparato branquial para el proceso del alimento (Winterbottom, 1974; Hernández *et al.*, 2008, 2009).

En la estructura esquelética sobresale el cartílago coronoides, que se relaciona con la forma de atrapar el alimento. Hernández *et al.*, (2008), señala que muchas especies de Cyprinodontidos se caracterizan por un comportamiento de alimentación a base de recolección para atrapar presas del sustrato, columna de agua o superficie y en este sentido le da importancia a ciertas estructuras esqueléticas, músculos y ligamentos que presenta este grupo.

La forma de los dientes tubulares (largos con los extremos distales puntiagudos y dirigidos hacia dentro, junto con la disposición de los mismos (en varias series); se relaciona directamente con la alimentación, permitiendo penetrar a sus presas, para facilitar el proceso de digestión (Gregory, 1933). Se considera posiblemente nuevo para el grupo la presencia de dientes en el ceratobranquial cuatro, puesto que es común la presencia de dientes en las mandíbulas y región faríngea (faringobranquiales y ceratobranquial cinco).

Las branquiespinas carecen de dientes, la serie externa del primer ceratobranquial son largas, laminares, ramificadas y en promedio 16, el resto son pequeñas y cónicas. Se ha documentado la forma de las branquiespinas con el tipo de alimentación. Es poco probable que esta especie recurra a la filtración como mecanismos de alimentación debido a que sus branquiespinas no todas son largas

ni abundantes (Wootton, 1990). Entonces atrapa su alimento con las mandíbulas y lo procesa con los dientes de la región faríngea.

Se sabe que el tamaño del estómago e intestino está directamente relacionado con el tipo de alimento de los organismos. Peces carnívoros y omnívoros, presentan estómagos grandes y fuertes, mientras que los herbívoros tienen estómagos pequeños, a diferencia del tamaño del intestino, donde carnívoros tienen intestino corto y herbívoros intestino largo (Wootton, 1990). En el comportamiento del índice intestinal con relación a la longitud patrón, Wootton (1999) señala que se puede ajustar a una relación potencial, en la cual si el exponente b es mayor de 1 es indicativo de una alometría positiva, es decir que la longitud relativa del intestino se incrementa con el tamaño del pez. En *P. hildebrandi* el índice intestinal no es una variable que dependa de la longitud del pez. Nikolski (1963) y Wootton (1999) mencionan que la longitud relativa del aparato digestivo tiende a disminuir de herbívoros a omnívoros y a carnívoros. En este estudio, de acuerdo con Nikolski (1963), *P. hildebrandi* puede considerarse una especie carnívora. Esto también de acuerdo con González-Díaz (2008), que señala un tracto digestivo muy corto para *P. hildebrandi*, lo cual es muy evidente en las primeras etapas de crecimiento.

CONCLUSIONES

La organización general del sistema digestivo de *P. hildebrandi* corresponde al patrón morfológico general de los teleósteos y en particular de los Cyprinodontiformes.

Como caracteres sobresalientes de la región bucofaríngea, está la presencia del cartílago coronoides, la forma ramificada de las branquiespinas de la serie externa del primer ceratobranquial y la presencia del hueso esplenial en la cara interna del hueso anguloarticular.

Como caracteres de la musculatura visceral sobresalen la inserción del músculo *retractor dorsalis* en cuatro vertebras, y la división del músculo *pharyngoclavicularis externus* en dos secciones (A y B).

Los caracteres notables del tubo digestivo son el ensanchamiento del intestino para formar un estómago y la válvula intestinal que divide al intestino en anterior y posterior.

P. hildebrandi es un carnívoro especialista, debido a que se alimenta principalmente de insectos y secundariamente de microcrustáceos. La relación intestinal corrobora que es una especie carnívora por presentar un intestino corto. La presencia de estructuras como la forma y disposición de los dientes en el premaxilar, dentario, huesos ceratobranquiales y faringobranquiales, así como la forma de las branquiespinas; los fuertes músculos *adductor mandibulae* y *retractor dorsalis* divididos en secciones, hacen referencia a sus hábitos alimenticios.

La diversidad trófica muestra cierto grado de especialización debido a que los insectos fueron consumidos por todas las tallas, temporadas del año y sexos.

P. hildebrandi presenta una estrategia alimentaria especialista y se considera un controlador biológico por la preferencia en el consumo de insectos, principalmente de la familia Chironomidae.

LITERATURA CITADA

Amezaga-Herrán, R. 1988. Análisis de contenidos estomacales en peces. Revisión bibliográfica de los objetivos y metodología. Informes técnicos. Instituto de oceanografía. 63:1-72.

Barros Silvina Eugenia, 2004. Alimentación de *Astianax abramis* (Characiformes: Chacaracidae) en el Embalse Cabra Corral, Salta, Noreste de Argentina. Revista AquaTic, n° 20: 88-96.

Bohórquez-Herrera, J. 2009. Ecomorfología alimentaria de algunas especie de peces asociadas a fondos blandos. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. La Paz. B. C. S. 97 p.

Breedlove, D. E. 1993. Introducción a la Flora de Chiapas, Flora de Chiapas, Parte 1. Gob. Edo. Chis. Lecturas Chiapanecas VI: 291-355.

Buddington, R.K. & J.M. Diamond. 1987. Pyloric ceca of fish: a “new” absorptive organ. American Journal of Physiology. Gastrointestinal and Liver Physiology, 252:65-76.

Castillo-Rivera, M., A. Kobelkowsky & V. Zamayoa. 1996. Food resource partitioning and trophic morphology of *Brevoortia gunteri* and *B. patronus*. Journal of Fish Biology 49:1102-1111.

Castillo-Rivera, M., A. Kobelkoswsky & A.M. Chavez. 2000. Feeding biology of the flatfish *Citharichtys spilopterus* (Bothidae) in a tropical estuary of México. *Journal of Applied Ichthyology*, 16 (2): 73-78.

Cataldi, E., S. Cataudella, G. Monaco, A. Rossi & L. Tancioni. 1987. A study of the histology and morphology of the digestive tract of the sea-beram, *Sparus aurata*. *Journal of Fish Biology* 30:135-145.

Cruz-Chávez, E. R., Soto Galera, E., De los Santos-Romero, R. y Sánchez-Vázquez, A. 2006. Contribución al conocimiento de la biología de *Profundulus punctatus* Günther, (Actinopterygii: Profundulidae) en cuatro localidades de la Sierra Madre Sur de Chiapas, México. *Memorias del X Congreso Nacional de Ictiología*. Universidad Autónoma de Querétaro.

Datovo, A. & R. P. Vari. 2013. The jaw adductor muscle complex in Teleostean fishes: Evolution, homologies and revised nomenclature (Osteichthyes: Actinopterygii). *PLOS ONE* 8(4): e60846. doi:10.1371/journal.pone.0060846. 8(4):1-23.

De Vega, Yamín. Rodiles-Hernández, R., A. González A. y Mangas E. 2004. Contribución al Conocimiento de la Biología Alimentaria del Pez Endémico de San Cristóbal de las Casas, Chiapas; *Profundulus hildebrandi* (CIPRINODONTIFORME: PROFUNDULIDAE) IX Congreso Nacional de Ictiología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 38 p.

Doadrio, I., F. Morcillo, J. A. González-Carmona, y A. de Sostoa. 1999b. Sistemática molecular de la familia Profundulidae (Actinopterygii, Cyprinodontiformes). Memorias del XV Congreso Nacional de Zoología, Tepic, Nayarit, México. 108-109 p.

Franco, L. y Bashirullan, K. M. 1992. Alimentación de la lisa (*Mugil curema*) del Golfo de Cariaco-Estado Sucre, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 10(2):219-238.

Gatz, A.J., Jr. 1979. Community organization in fish as indicated by morphological features. *Ecology*, 60:711-718.

Friel, J. P. & Wainwright, P. C., 1997. A model system of structural duplication: homologies of adductor mandibulae muscles in tetraodontiformes fishes. *Syst. Biol.* 46, 441-463.

Gisbert, E., R. Piedrahita & D. Conklin. 2004. Ontogenetic development of the digestive system in California halibut (*Paralichthys californicus*) with notes on feeding practices. *Aquaculture*, 232: 455-470.

Gerking, S. D. 1994. *Feeding Ecology of Fish*. Academic Press, San Diego. 416 p.

Gobierno del Estado de Chiapas. 1984. *San Cristóbal de Las Casas y sus alrededores*. Dos Volúmenes. Tuxtla Gutiérrez: Secretaría de Educación y Cultura del Estado de Chiapas.

Gobierno del Estado de Chiapas. 1998. *Carta Urbana de San Cristóbal de las Casas, Chiapas*. Gobierno del Estado de Chiapas: Tuxtla Gutiérrez, México.

González-Díaz, A. A.; E. Díaz-Pardo, Miriam Soria-Barreto y Rocío Rodiles-Hernández., 2005. Revista Mexicana de Biodiversidad, Morphometric Analysis of the Fish Included in the Labialis Group, Genus *Profundulus* (Cyprinodontiformes: Profundulidae), in Chiapas, México vol. 76: 55- 61.

González-Díaz, A. A. 2008. Estudio morfométrico y osteológico del género *Profundulus* (Cyprinodontiformes: Profundulidae). Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. México. 103 p.

Gregory, W. K. 1933. Fish skulls: a study of the evolution of natural mechanisms. Transaction America of the American Philosophical Society 23(2):75-481

Harder, W. 1958. The intestine as a diagnostic character in identifying certain clupeoids (Engraulidae, Clupeidae, Dussumieriidae) and as a morphometric character for comparing anchoveta (*Cetengraulis mysticetus*) populations. *Inter-American Tropical Tuna Commission* 8: 367-388.

Hernández, L. P. A, L. Ferry-Graham & C. Gibbs. 2008. Morphology of a picky eater: A novel mechanism underlies premaxillary protusion and retraction within cyprinodontiforms. *Zoology* III, 442-454.

Hernández, L.P., A, C. Gibbs & L. Ferry-Graham. 2009. Trophic apparatus in Cyprinodontiform. fishes: Functional specializations for picking and scraping behaviors. *Journal of Morphology* 270:645-661.

Hyslop, E. J., 1980: Stomach contents analysis- a review of methods and their application. J. Fish Biol. 17, 411-429.

INEGI. 1979. Cartas Temáticas de Aguas Superficiales y Subterráneas, Uso de Suelo y Vegetación. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: México.

INEGI .2002. Carta geográfica 1:1000 000.

INEGI .2002. Carta de Climas. 1:1000 000.

Kobelkowsky, A. & M. Castillo-Rivera. 1995. Sistema digestivo y alimentación de los bagres (Pisces: Ariidae) del Golfo de México. Hidrobiológica 5: 95-103.

Kobelkowsky, D.A. 1998. Sistema digestivo y vejiga natatoria del bagre del Balsas *Ictalurus balsanus* (Pisces: Ictaluridae). Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural 48:87-93.

Kobelkowsky, D.A. 2000. Sistema digestivo del lenguado *Symphurus* (Pisces: Cynoglossidae). Zoología Informa 43:17-26.

Kobelkowsky, A. 2005. General anatomy and sexual dimorphism of *Goodea atripinnis* (Teleostei: Goodeidae). In: Uribe, M.C. & H.J. Grier (Eds.) Viviparous Fishes. 483-498. New Life Publications. Homestead, Fl. 603 p.

Kobelkowsky, A. 2007. Morphology of the digestive system of the Mexican flounder, *Cyclopsetta chittendeni* (Teleostei, Paralichthyidae). *Bulletin of Fish Biology* 9(1/2):39-49.

Kobelkowsky, A. & S. Ortiz-Burgos. 2007. Morfología del sistema digestivo de *Dorosoma cepedianum* (Pisces: Clupeidae). *Archivos Mexicanos de Anatomía* 2:35-38.

Kobelkowsky, A. & O. Pantoja-Escobar. 2007. Morfología del sistema digestivo de la berrugata *Menticirrhus saxatilis* (Teleostei: Sciaenidae). *Hidrobiológica* 17 (2):159-168.

Kobelkowsky, A. & A. Perez-García. 2007. El sistema digestivo de *Elops saurus* (Teleostei: Elopidae). *Vertebrata Mexicana* 20:1-7.

Kobelkowsky, A. 2013. El sistema digestivo del pescado blanco de Pátzcuaro *Chirostoma estor* (Teleostei: Atherinopsidae) y su importancia en la acuicultura.

Kramer, D.L. & M.J. Bryant. 1995. Intestine length in the fishes of a tropical stream: Relationships to diet – the long and short of a convoluted issue. *Environmental Biology of Fishes*, 42 (2): 129-141.

Krebs, C., 1989: *Ecological methodology*. New York: Harper & Row, 654 p.

Lagler, F. K. 1975. Freshwater fishery biology. 2dq. Ed. Brown Company Publishes. USA. 421 p.

Langerhans, R. B., C. A. Layman, A. K. Langerhans and T. J. Dewitt. 2003. Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. *Biological Journal of the Linnean Society* 80:689-698.

Lozano-Vilano, M. y S. Contreras-Balderas. 1987. Lista zoogeográfica y ecológica de la ictiofauna continental de Chiapas, México. *The Southwestern Naturalist* 32(2): 223-236.

Matamoros, W.A. & J.F. Schaefer. 2010. A new species of *Profundulus* (Cyprinodontiformes: Profundulidae) from the Honduran central highlands. *J. Fish Biol.* 76(6):1498-1507.

Matamoros, W. A., Schaefer J. F., Hernández C. L., Chakrabarty P. (2012) *Profundulus kreiseri*, a new species of Profundulidae (Teleostei, Cyprinodontiformes) from northwestern Honduras. *ZooKeys* 227: 49–62.

Miller, R. R. 1950. *Profundulus hildebrandi*, a new cyprinodontid fish from Chiapas, Mexico. *Copeia* 1:22- 30.

Miller, R. R. 1955. A systematic review of the Middle American fishes of the genus *Profundulus*. *Miscellaneous Publications Museum of Zoology, University of Michigan* 92:1- 64.

Miller, R.R, Minckley W. L. Norris S. M. 2005. Fresh Water Fishes of México. The University of Chicago. United States of America. 290-319 p.

Miller, R. R. 2009. Peces dulceacuícolas de México. Ediciones de la noche. Guadalajara, Jalisco. 559 p.

Moyle, P. B. y J. J. Cech. 2000 Fishes. An introduction to Ichthyology. 4th Ed. Prentice Hall. New Jersey. USA. 612 p.

Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world. John Wiley & Sons, Inc. New York. 601 p.

Nikolsky, G.V. 1963. The ecology of fishes. Academic press, London. 352 p.

Ortiz-Burgos, S. Y A. Kobelkowsky. 2006. El sistema digestivo de la sardina escamuda *Harengula jaguana* (Pises: Clupeidae). Vertebrata Mexicana, 18: 1-7.

Ovando Pintado E. 2007. Biología alimenticia de *Profundulus hildebrandi* Miller, 1950 (Cyprinodontiformes: Cyprinodontidae), pez endémico de Chiapas. Escuela de biología, UNICACH. 37 p.

Pantoja Escobar., O. F. 2008. Morfología del sistema digestivo de peces estuarinos bentófagos del Golfo de México. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, UAM-IZTAPALAPA. 166 p.

Pérez-España, H. y L. A. Abitia-Cárdenas. 1996. Description of the digestive tract and feeding habits of the King angelfish and the Cortes angelfish. *Journal of fish biology*. 48:807-817.

Prejs, A. y G. Colomine, 1981. Método para el estudio de los alimentos y las relaciones tróficas de los peces. Univ. Central de Venezuela Caracas, Venezuela. 129 p.

Rodríguez Martínez., R. K. 2007. Aspectos reproductivos de *Profundulus hildebrandi* Miller 1950; pez endémico de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. Escuela de biología, UNICACH. 47 p.

Schoener, T. W. 1974. Resource partitioning in ecological communities. *Science* 185:27-39.

SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana. NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación (DOF), jueves 30 de diciembre de 2010.

Serrano-Gallego, R., 2003. Introducción al análisis de datos experimentales: tratamientos de datos en bioensayos. Universidad Jaime I.

Stratuss, R. E. y Bond, C. E. 1990. Taxonomic methods: morphology. En: C.B. Schreck y P. B. Moyle (eds). *Methods for fish biology*. American Fisheries Society, Maryland. 109-139 p.

Trujillo-Jiménez, P., & Díaz-Pardo E. 1996. Espectro trófico de *Ilyodon whitei* (Pisces: Goodeidae) en el río del muerto, Morelos, México. *Revista de Biología Tropical*. 44(2):795-801.

Vega. Cendejas, M. E. 1998. Trama trófica de la comunidad neotónica asociada al ecosistema de manglar en el litoral norte de Yucatán. Tesis de doctorado. Fac. de Ciencias. Div. de estudios de postgrado. UNAM. México. D.F. 170 p.

Velázquez-Velázquez, E. y J. J. Schmitter-Soto. 2004. Conservation status of *Profundulus hildebrandi* Miller (Teleostei: Profundulidae) in the face of urban growth in Chiapas, México. *AquaTIC Conserved: Mar. Freshwater. Ecosyst.* 14: 201-209.

Velázquez- Velázquez, E., E. Domínguez-Ruiz, S. Domínguez-Cisneros, J. Hernández y R. Rodríguez. 2007. Monografía de *Profundulus hildebrandi* Miller, 1950, Pez endémico de Chiapas. UNICACH. 36 p.

Velázquez-Velázquez, E., M. A. Pérez-Farrera y A. Chávez-Cortazar. 2008. El análisis de la comunidad: parámetros y evaluaciones de la diversidad biológica. *Lacandonia Revista de Ciencias de la UNICACH*. 2(1): 131-139.

Velázquez-Velázquez E., Schmitter-Soto J., & Domínguez-Cisneros S. 2009. Threatened fishes of the world: *Profundulus hildebrandi* Miller, 1950 (Profundulidae). *Environmental Biology of Fishes*. 84:345-346.

Velázquez-Velázquez E., D. González-Solís & G. Salgado-Maldonado. 2011. *Bothriocephalus acheilognathi* (Cestoda) in the endangered fish *Profundulus hildebrandi* (Cyprinodontiformes), Mexico. *Revista de Biología Tropical*. 59 (3): 1099-1104.

Wainwright P.C. 1994. Functional morphology as a tool in ecological research. En: *Ecological Morphology*. Wainwright Peter C. and Reilly Stephen M (eds.), the University of Chicago Press. 42-59 p.

Wainwright, P. C. and S. M. Reilly. 1994. *Ecological Morphology. Integrative organismal biology*. University of Chicago Press, Chicago. 367 p.

Wainwright, P. C. & B. A. Richard. 1995. Predicting patterns of prey use from morphology of fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 44 (1-3): 97-113.

Wilson, J. M. & L. F. Castro. 2011. Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. In: GROSELL, M., A.P. FARRELL & C.J. BRAUNER (Eds.) *The multifunctional gut of fish*. Academic Press, London, 1-55 p.

Winterbottom R. 1974. A descriptive synonymy of the striated muscles of the Teleostei. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 125 (12): 225-317.

Wootton, J. C. 1990. *Ecology of teleost fish*. Chapman and Hall. EUA, 423 p.

Wootton, R. J. 1999. *Ecology of teleost fishes*. Kluwer Academic, Amsterdam, The Netherlands. 386 p.

Zárate-Hernández R., A. Aguirre-León, S. Ortiz-Burgos & M. Castillo-Rivera. 2007.
Ecomorfología de peces estuarinos del Golfo de México. CONTACTO S: Revista de
Educación en Ciencias Básicas e Ingeniería, 66: 12-20.

ANEXOS

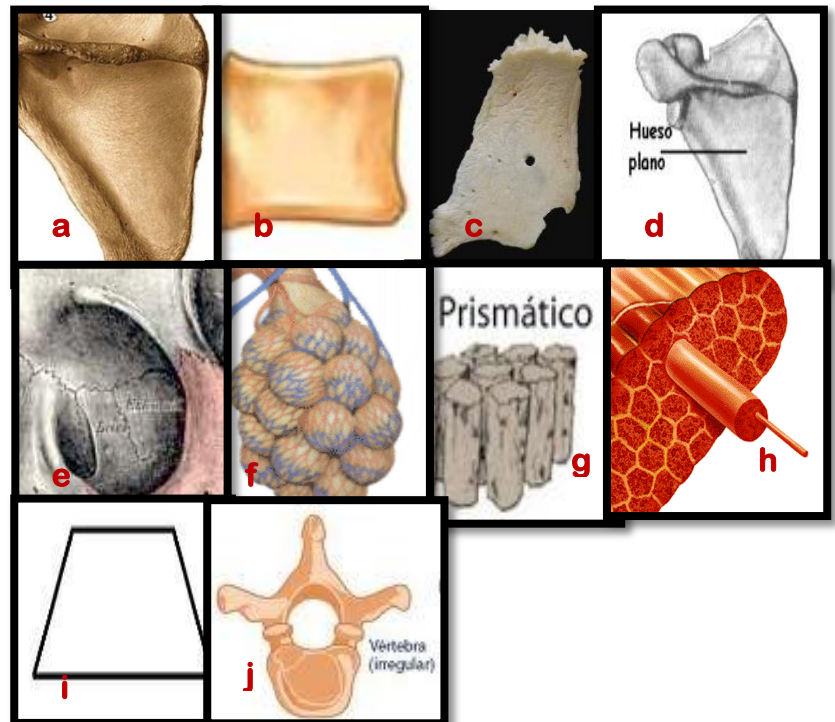
GLOSARIO

- ❖ **Agudo:** Que termina en punta afilada.
- ❖ **Alargado:** Más largo que ancho.
- ❖ **Amplio:** Que tiene una extensión o un espacio mayor de lo normal.
- ❖ **Angosto:** Que es estrecho y reducido.
- ❖ **Angulosos:** Se aplica a la figura u objeto que tiene ángulos o esquinas de formas salientes y pronunciadas.
- ❖ **Anterior:** Situado en la parte de delante de una cosa vista frontalmente, ventral, adelante, en una posición precedente.
- ❖ **Aplanada:** De forma o superficie plana.
- ❖ **Borde:** Línea que limita la parte exterior o más alejada de una cosa.
- ❖ **Canal:** Conducto del cuerpo, generalmente hueco y fino.
- ❖ **Caudal:** Más próximo al extremo inferior del tronco (cola, en latín *cauda*).
- ❖ **Comprimido (comprimir, se comprime):** Reducir a menor volumen una cosa, apretado, disminuido de volumen.
- ❖ **Cóncava:** Línea o superficie que, siendo curva, tiene su parte más hundida en el centro, respecto a quien la mira.
- ❖ **Cóndilos:** Eminencia redondeada, en la extremidad de un hueso, que forma articulación encajando en el hueco correspondiente de otro hueso.
- ❖ **Cónicos:** En forma de cono.
- ❖ **Craneal:** Más próximo al extremo superior del tronco, hacia el cráneo.
- ❖ **Crestas:** Protuberancia ósea que sirve de punto de inserción aun músculo, proyección o reborde sobresaliente, especialmente óseo.
- ❖ **Curvado:** En forma de curva.
- ❖ **Decrece:** Reducirse la cantidad, el tamaño o la importancia.
- ❖ **Distal:** Lo más lejano a la unión de una extremidad (miembro) con el tronco o una estructura; lo más alejado del punto de origen.
- ❖ **Encima:** En un lugar superior o más alto que otra cosa.
- ❖ **Ensanchado o Ensanchándose:** (de ensanchar) aumentar la anchura de una cosa.
- ❖ **Etmoides:** Forma la base del cráneo, las cavidades nasales y las órbitas.

- ❖ **Externos:** Por la parte de fuera, separado o diferenciado de ella. Más lejos del centro de un órgano o cavidad.
- ❖ **Fisura:** Hendidura de un hueso que no llega a romperlo.
- ❖ **Foramen:** Abertura o agujero que permite el paso o comunicación entre dos estructuras anatómicas.

❖ **Forma**

- a) triangular,
- b) cuadrada,
- c) rectangular,
- d) plana,
- e) circular,
- f) de saco,
- g) prismática,
- h) cilíndrica,
- i) trapezoidal,
- j) irregular



- ❖ **Inferior:** Ubicado debajo de alguna estructura.
- ❖ **Inserción:** introducción de un elemento anatómico o de un órgano entre las partes de otro, o adhesión a su superficie.
- ❖ **Interno:** Más cercano al centro de un órgano o cavidad.
- ❖ **Laminar:** En forma de lámina o estructura formada por láminas superpuestas y paralelas.
- ❖ **Lateral:** alejarse del plano sagital medio (hacia la izquierda o hacia la derecha).
- ❖ **Latero-ventral:** situado muy abajo en el lado, hacia el vientre.
- ❖ **Límite:** término o fin de una estructura.
- ❖ **Mandíbula:** Cada una de las dos piezas, óseas o cartilaginosas, que limitan la boca de los animales vertebrados, y en las cuales están implantados los dientes.
- ❖ **Mandibular:** Pertenciente o relativo a las mandíbulas.
- ❖ **Margen:** extremidad u orilla.
- ❖ **Medial:** hacia el plano sagital mediano.

- ❖ **Oblicua (posición):** en una posición media entre la vertical y la horizontal, plano oblicuo, es el que pasa a través del cuerpo haciendo un ángulo entre el plano transversal y el sagital medio, el parasagital o el frontal.
- ❖ **Orificio:** abertura natural de algunos conductos y cavidades del organismo (de un cuerpo) que los comunica con el exterior.
- ❖ **Posterior:** dorsal, detrás, con posterioridad de lugar.
- ❖ **Posteroventral:** situado posteriormente y ventralmente.
- ❖ **Posterodorsal:** Relativo a la parte posterior de la superficie superior de un órgano, etc.
- ❖ **Proceso:** saliente, usado como sinónimo de apófisis (parte saliente de un hueso, que sirve para su articulación o para las inserciones musculares) ; generalmente localizados en una vértebra y pueden funcionar como palanca y proporcionar inserción para músculos y ligamentos, o formar parte de una articulación.
- ❖ **Prolongación:** Parte prolongada de algo, parte que se extiende o se alarga fuera de ella.
- ❖ **Prominente:** Que se levanta o sobresale sobre lo que está a su inmediación o alrededores.
- ❖ **Proximal:** ubicado más cerca del tronco o del punto de origen, lo más cercano a la unión de una extremidad (miembro) con el tronco o una estructura; lo más cercano al punto de origen.
- ❖ **Punta:** extremo de algo.
- ❖ **Secciones:** cada una de las partes en que se divide o considera dividido un objeto.
- ❖ **Segmento:** Cada una de las partes dispuestas en una serie lineal.
- ❖ **Superficie:** Límite o término de un cuerpo que lo separa y distingue de lo que no es él, aspecto externo de algo.
- ❖ **Superior:** Ubicado por arriba.
- ❖ **Surco:** Señal o hendidura prolongada que deja una cosa que pasa sobre la otra.
- ❖ **Suspender (suspendido, suspendiendo):** Levantar, colgar o detener algo en alto o en el aire, de manera que quede sostenida desde arriba por algún punto.
- ❖ **Sutura:** Modo de articulación de los huesos del cráneo, en que apenas hay tejido interóseo, no permitiendo ninguna movilidad; tiene el aspecto de línea sinuosa.
- ❖ **Terminación:** Parte final.

- ❖ **Ventrolateral:** Perteneciente a la parte del cuerpo opuesta a la espalda y lejos de la línea media.
- ❖ **Voluminoso:** Que tiene mucho volumen.