



UNAM IZTACALA

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

**“DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DEL ESQUELETO DEL
DRAGÓN ESMERALDA *Gobionellus oceanicus*
(PERCIFORMES: GOBIIDAE)”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

P R E S E N T A

Fabiola De la Torre Ruiz Navarrete

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Jorge Ricardo Gersenowies Rodríguez



Los Reyes Iztacala, Edo. de México, 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A Javier Eleazar De la Torre Gamboa, por todos los sacrificios que has hecho por mí. Por ser mi guía y ejemplo a seguir y por tus sabios consejos. Por respetarme tanto, dejarme tomar mis propias decisiones y darme el apoyo siempre incondicional, aún cuando me he equivocado. Por ayudarme a ser un alma libre y una persona de bien. Siempre te lo voy a agradecer.

Este trabajo es para ti. Creo que nunca te lo he dicho, pero lo hago ahora y lo publico. Te amo Papá.

A mi hermanita Miriam Alejandra, porque sé que has luchado contra muchos obstáculos para salir adelante. Porque has hecho muchos esfuerzos para no perder contacto conmigo, por tu confianza y porque eres uno de los regalos más hermosos que la vida me ha dado. Te adoro y siempre estaré aquí para ti.

A mis abuelos Olga Gamboa Collado y Miguel Ruiz Navarrete (q.e.p.d), por construir los cimientos de mi integridad y porque me permitieron conocerlos tanto y disfrutarlos. Los llevo siempre conmigo.

A mis primos Michelle, Willy y Julio y a mi tío William, por todos los momentos que hemos pasado. Muchos fines de semana inolvidables que marcaron mi niñez. También a mis tíos Robin, Licha, Clemente y Jorge, a quienes siempre recuerdo con mucho cariño.

Al Doctor Jorge Ricardo Gersenowies Rodríguez, por su todo su apoyo, por compartir su conocimiento, por su gran calidad humana. Quiero manifestarle mi agradecimiento por su paciencia, motivación y sentido común, pero en especial por creer en mí.

A mis sinodales: Mario Cárdenas, Alba Márquez, Bertha Segura y Teresa Ramírez, por todo su tiempo, trabajo y sugerencias, que fueron cruciales para enriquecer este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, porque ahí conocí personas que han marcado mi vida, por toda la experiencia adquirida y porque me ha brindado las herramientas para salir adelante y disfrutar de un trabajo que me apasiona.

Quisiera también hacer mención de todos los maestros y personas que contribuyeron a mi formación durante toda mi vida; tanto dentro como fuera de las aulas. Por regalarme un pedacito de su experiencia y conocimientos y ampliar poco a poco mi panorama. Esas lecciones no se olvidan.

A todos los integrantes del Laboratorio de Anatomía Animal Comparada, en especial a mi querida Lilia, Osvaldo, Chely, Rocío, Mónica, Ricardo, Bárbara, Ariel, Adriana, Aurora, Josimar, Lorena, Edna, César, Monse, Omar, Jesús y por supuesto Paquito Cuellar, quien me orientó y apoyó en momentos difíciles durante este trabajo.

A la Maestra Gaby Sánchez Fabila, por brindarme su apoyo y amistad. Y por el tiempo que invirtió en mi aprendizaje, aunque nunca tuve el gusto de estar oficialmente en sus clases.

A mis amigos Elisa Mass, Gerardo Gómez, Humberto León, Martín Camargo, Elba Pérez, Erik Loaeza, Deyanira Bautista, Hector Galvez, Arturo Flores, Lizet Saucedo y Aldo Viguera, porque son amigos que llegaron para quedarse.

A los amigos que conocí en INC Research, en especial a Nancy García, Claudia Ochoa, Oscar Rivero, Luisrael Santiago, Yara Arista, Mariana Morales, Claudia Zarazúa, Luisa Juárez, Nelly Cid, Griselda Ramírez, Raquel Freyre e Israel Ramírez.

Al Teatro y todas las personas que he conocido gracias a él, en especial a los amigos que he conocido gracias a Sueños Verdes Teatro.

Finalmente, pero no menos importante, una mención muy especial para Francisco Sánchez García “El Yager”, por mostrarme que la vida siempre puede brindarnos nuevas sorpresas. Porque persigues tus sueños siendo auténtico en todos los sentidos y por tus esfuerzos y verdadero apoyo para que este trabajo pudiera ser concluido.

Por ser mi compañero, amigo y pareja en toda la extensión de la palabra, hoy quiero expresarte cuán agradecida estoy porque formas parte de mi vida.

ÍNDICE

I	RESUMEN	1
II	INTRODUCCIÓN	2
III	BIOLOGÍA DEL ORGANISMO	4
IV	ANTECEDENTES	8
V	JUSTIFICACIÓN	14
VI	OBJETIVOS	15
VII	MATERIAL Y MÉTODO	16
VIII	RESULTADOS	19
IX	ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
X	CONCLUSIONES	42
XI	BIBLIOGRAFÍA	43
XII	APÉNDICE	47
XIII	ANEXO	48

I. RESUMEN

La especie *Gobionellus oceanicus*, es parte de la ictiofauna de diversos estuarios mexicanos e indirectamente es de gran importancia para la pesca ya que constituye un notable recurso en la dieta de muchos peces de interés comercial. En el presente trabajo se realizó la descripción anatómica del esqueleto de *Gobionellus oceanicus* mediante la técnica de transparentación y su análisis alométrico de su morfología. En la descripción, lo más sobresaliente con respecto al patrón de los peces es la modificación de las aletas pectorales y pélvicas, así como el orificio que muestra en la espina neural como posible característica diacrítica de la especie. Alométricamente, la morfología de *Gobionellus oceanicus* coincide con el patrón general de los peces.

Summary

Gobionellus oceanicus is part of the fish fauna of various Mexican estuaries. Indirectly, this gobiid has great importance for the fishing industry as it is an outstanding resource in the diet of many commercially important fishes. In this paper, the anatomical description of the skeleton of *Gobionellus oceanicus* was performed using the diaphanisation technique, besides the allometric analysis of its morphology. In the description, the most significant with regards to the fish general pattern is the modification of the pectoral and pelvic fins, and an orifice shown in the neural spine as possible diacritical characteristic of the species. Allometrically, the *Gobionellus oceanicus* morphology coincides with the general pattern of fishes.

II. INTRODUCCIÓN

Los huesos son elementos que constituyen el esqueleto interno de los vertebrados. El esqueleto constituye una serie de palancas y estructuras de protección cuya función original es la de proporcionar un anclaje interno a los músculos locomotores, almacenaje de minerales principalmente calcio, funciones hematopoyéticas y como almacén de grasa. En el vertebrado vivo el esqueleto es un tejido metabólicamente activo que puede variar en forma, tamaño y posición debido al estrés biomecánico. Más de un 99% del volumen óseo está mineralizado formado por osteoides (hueso cortical: 99,9%; hueso esponjoso: 99,2%) aunque también posee un componente orgánico, el colágeno tipo I (85-90%) y otras proteínas (10-15%) (ver Anexo): proteoglicanos, proteínas implicadas en la adhesión celular, osteocalcina y factores de crecimiento. En el hueso maduro las fibras de colágeno se disponen en láminas paralelas (hueso laminar). El componente mineralizado es fundamentalmente hidroxapatita amorfa de calcio (Grupo de Investigación de Vertebrados del Mesozoico y el Cuaternario de la Universidad de Zaragoza, 2004).

En anatomía, los huesos se clasifican según su forma, estructura, función, origen o posición. Dependiendo de la especie el número de huesos puede variar de varias decenas a centenas. Según su forma y origen embrionario, los huesos se clasifican en cinco tipos básicos: 1) sesamoideos, 2) largos, 3) cortos, 4) planos e 5) irregulares. Los huesos cortos, largos y sesamoideos se encuentran en el esqueleto apendicular. Los planos e irregulares son propios del esqueleto axial: cabeza, columna vertebral y cinturas (Grupo de Investigación de Vertebrados del Mesozoico y el Cuaternario de la Universidad de Zaragoza, 2004). Todos estos huesos se presentan en peces, que son los vertebrados más diversos, con más de 30 000 especies conocidas (Márquez, 2002), todos acuáticos, ectotérmicos, de respiración branquial y se desplazan mediante aletas. Constituyen aproximadamente el 50 % del número total de vertebrados actuales, y pueden vivir en casi cualquier tipo de hábitat acuático del mundo: desde los trópicos hasta las regiones polares. Su distribución es cosmopolita y abarca en la biosfera desde los

7 200 msnm, hasta los 10 912 metros en profundidades abisales; ésta heterogeneidad de hábitats propicia que exista una enorme diversidad (Martínez et al., 1998).

El origen de los peces se remonta al comienzo del paleozoico (hace 540 millones de años). Desde su aparición hasta finales del triásico los peces presentaron varias radiaciones adaptativas; la última de éstas ocurrió hace aproximadamente 200 millones de años y dio origen a los peces óseos actuales denominados teleósteos. Las consecuencias de las radiaciones adaptativas se observan principalmente en la gran diversidad de formas que presentan los peces en la actualidad (Martínez et al., 1998). Así, Barranco en 2006 afirmó:

“El esqueleto de los peces es un sistema que no cambia drásticamente con el tiempo, teniendo un bauplan muy constante dentro de una población, por lo que el estudio de su estructura es necesario para los estudios taxonómicos, en los que el esqueleto es tomado como carácter básico, que al tener un valor diacrítico, puede determinar organismos desde género hasta subespecie”.

En los análisis alométricos se evalúan los cambios de dimensión relativa de las porciones corporales correlacionados con los cambios en el tamaño total (Gersnowies, 2007). La alometría junto con la descripción del esqueleto, dan un panorama mucho más amplio para realizar trabajos anatómicos.

Una de las técnicas utilizadas para el estudio del sistema esquelético es la transparentación o diafanización, utilizando la digestión alcalina de los tejidos blandos con hidróxido de potasio y una tinción del esqueleto con Rojo de Alizarina “S” (Ruíz-Calderón, 1993).

La alizarina es un pigmento orgánico natural (Cañamares et al., 2003) que debido a su grupo –OH, reacciona con los iones metálicos formando complejos cuyo brillo y color varían con el catión empleado y las condiciones de la reacción (Sistema de bibliotecas de la UNMSM, 2007). En el caso del ión calcio, que se presenta en los huesos, el color que se produce es rojo-púrpura (Gibaja-Oviedo, 1998).

III. BIOLOGÍA DEL ORGANISMO

México tiene como parte de su litoral del 30 a 35% de estuarios y lagunas costeras distribuidas en el Océano Pacífico, Golfo de México y el Mar Caribe, ocupando su riqueza ictiofaunística uno de los primeros lugares entre las zonas tropicales del mundo, estimada en más de 400 especies, siendo las familias con mayor riqueza específica: Gobiidae, Carangidae, Sciaenidae, Guerreidae, Engraulidae, Bothidae, Centropomidae, Lutjanidae, Cupleidae y Ariidae (Badillo, 1998).

El suborden Gobioidi incluye un estimado de 2 121 especies en 268 géneros, es decir el 23% de los perciformes. Los góbidos están ampliamente distribuidos en regiones tropicales, subtropicales y templadas del mundo, en aguas epicontinentales y ambientes estuarinos. Generalmente son crípticos y difíciles de muestrear, la biología del grupo no ha sido muy estudiada. La mayoría son bentónicos, pero el grupo también incluye especies nectónicas y planctónicas, además de representantes estuarinos con la habilidad de respiración aérea. Los adultos de la mayoría de los góbidos suelen ser de talla pequeña, las especies más grandes pueden alcanzar una longitud de 1 m o más, pero la mayoría son menores a 10 cm. Comparados con otros perciformes, los góbidos no solo son pequeños, sino que están morfológicamente reducidos, con muchas especies que poseen simplificaciones y pérdidas en distintos aspectos de su morfología (Thacker, 2003).

Los góbidos (Perciformes: Gobiidae) constituyen la familia más grande de peces marinos del mundo, con 200 géneros y al menos 1 500 especies vivientes (Nelson, 1984). Típicamente son peces pequeños (menores de 10 cm) que viven en contacto directo con el fondo por medio del disco adhesivo que conforma la fusión de sus aletas pélvicas. Algunos tienen hábitos semipelágicos y otros viven en simbiosis con invertebrados como esponjas, corales y erizos de mar. Son comunes en gran variedad de ambientes costeros de las áreas tropicales y subtropicales, pero es en los arrecifes coralinos donde la familia alcanza su máximo en diversidad y abundancia, pudiendo ser el elemento dominante de la ictiofauna bentónica (Garzón-Ferreira y Acero, 1988). La línea lateral está

atrofiada o falta; en compensación, los neuromastos están esparcidos por todo el cuerpo. Depositán los huevos sobre algas pardas, piedras o conchas vacías, donde el macho los vigila (Muus y Dahlström, 1981).

El género *Gobionellus* consiste en seis especies nativas de estuarios y aguas costeras de las zonas tropicales y subtropicales del océano Atlántico y del éste del océano Pacífico. Todas las especies se asocian a fangos finos de los estuarios de la plataforma continental. Aunque son comunes en pantanos y manglares, las especies costeras parecen estar más asociadas con canales o estanques con poca circulación (Pezold, 2004).

En México, la especie *Gobionellus oceanicus* (figuras 1 y 2) habita en las costas del Golfo de México (Smith, 1997), aunque también se distribuye en la zona costera del océano Atlántico, principalmente en el continente americano, como se muestra en el mapa generado por coordenadas de recolección (figura 3). Su nombre común es dragón esmeralda, madrejuile flecha, dragón verde o dragón joya (Nelson et al., 2004). Según Pezold, en 2004, los sinónimos de esta especie son *Gobius cauda longissima* (Gronovius, 1763), *Gobius oceanicus* (Pallas, 1770), *Gobius lanceolatus* (Bloch, 1783), *Gobius bacalaus* (Valenciennes, 1837), *Gobionellus hastatus* (Girard, 1858), *Paroxyrichthys typus* (Bleeker, 1876), *Gobius bayamonensis* (Evermann y Marsh, 1899) y *Gobionellus gracillimus* (Ginsburg, 1953). Se distingue de otras especies del género *Gobionellus* por presentar una boca oblicua terminal, la pigmentación más prominente, una mancha en el tronco localizada anterodorsalmente por debajo de la aleta pectoral, un parche triangular en el opérculo, una mancha en la base de la aleta pectoral, 14 elementos secundarios en la aleta dorsal, 15 elementos en la aleta anal, aletas dorsales separadas, en adultos el tronco y la nuca están cubiertos por escamas ctenoideas pequeñas, 57 a 89 escamas en series laterales, varias filas de dientes en la mandíbula superior, el primer arco branquial con 8 rastrillos delgados en el ceratobranquial, uno en el ángulo y 6 o 7 en el epibranquial (Pezold, 2004).



Figura 1. *Gobionellus oceanicus* (Gobioid Research Institute, 2000).

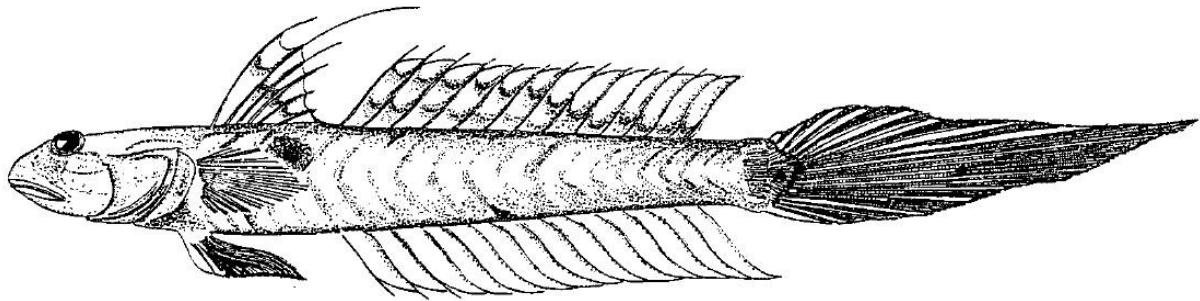


Figura 2. Esquema de *Gobionellus oceanicus* (Badillo, 1998).

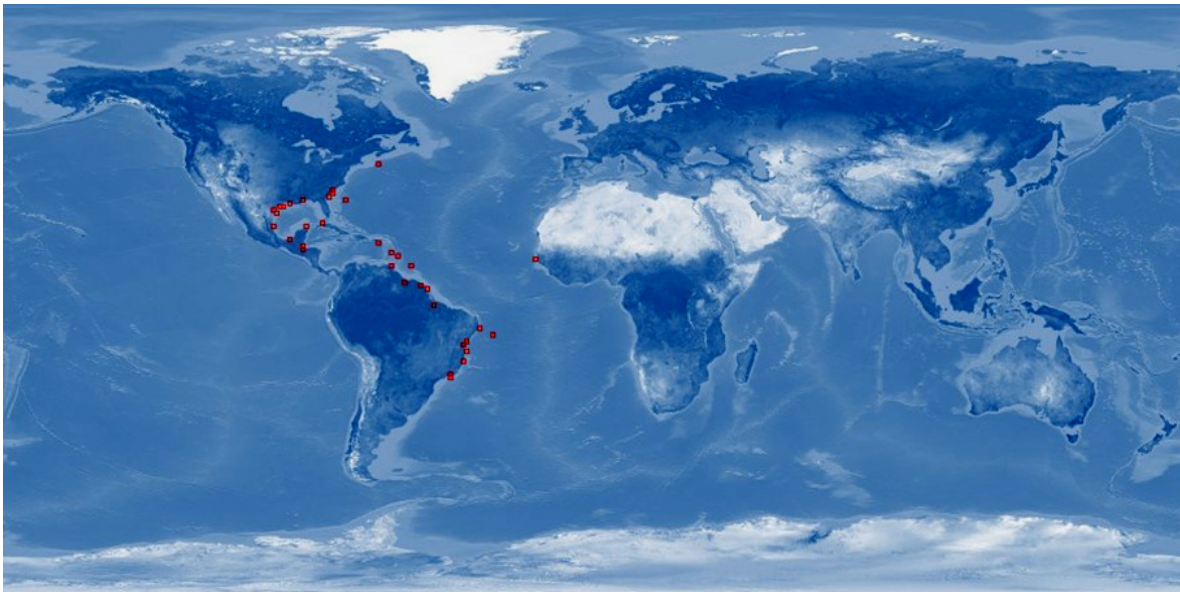
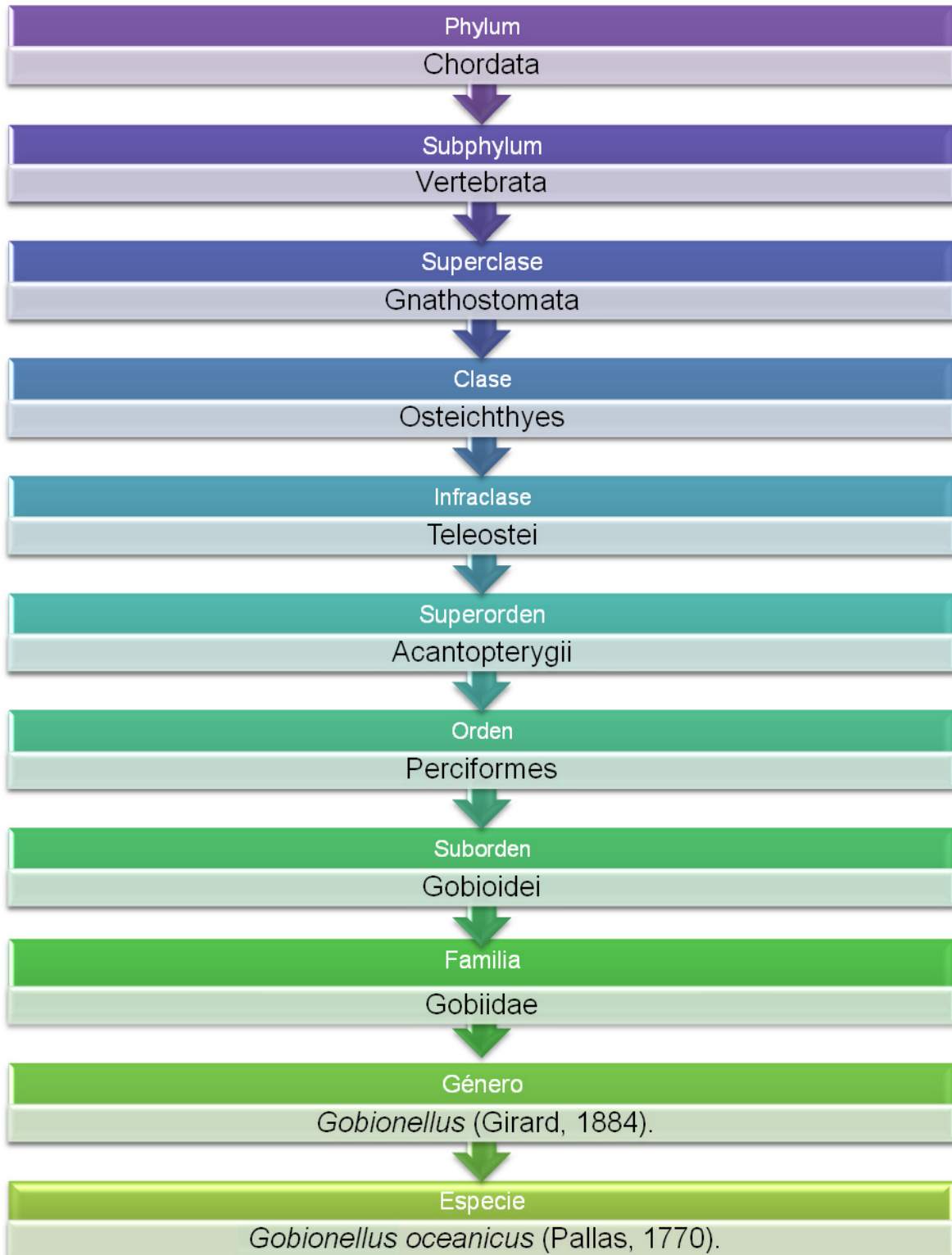


Figura 3. Mapa de distribución de *Gobionellus oceanicus* (Fishbase, 2007).

Ubicación taxonómica de *Gobionellus oceanicus*
(Nelson, 1984).



IV. ANTECEDENTES

IV.1. Góbidos

- En 1989 Garzón-Ferreira y Acero presentaron información descriptiva y ecológica de nueve especies del género *Coryphopterus* (Pisces: Gobiidae) colectados en los arrecifes, principalmente coralinos del Caribe colombiano. Incluyeron además una clave para identificar las especies. Observaron diferencias regionales importantes en relación con su presencia y abundancia y que las poblaciones del Caribe continental colombiano tienden a ser más pigmentadas que las de regiones norteñas del Atlántico oeste tropical, probablemente debido a la presencia de sedimentos oscuros terrígenos en los fondos arrecifales. Sugieren que el género es omnívoro y consume detritus, microinvertebrados y algas.
- Abad (1996) realizó un estudio macroscópico e histológico de las diferencias morfológicas entre la gónadas masculinas y femeninas de *Gobionellus hastatus* (sinónimo de *G. oceanicus*), indicando sus distintas etapas de madurez.
- Gregg y sus colaboradores (1997) analizaron los efectos de sedimentos suspendidos contaminados con diesel en la alimentación de *Gobionellus boleosoma*, encontrando que los peces se alimentan de copépodos y reducen su alimentación conforme la contaminación aumenta. Sugieren que la fuente de contaminación se asocia al contacto directo con los sedimentos contaminados.
- En 1998 Kvarnemo y sus colaboradores investigaron la conducta de machos de góbido común (*Pomatoschistus microps*), que construyen sus nidos bajo conchas de mejillón y los cuidan hasta la eclosión, para investigar por qué consumen sus huevos (canibalismo filial). Para esto utilizaron un experimento de alimentación. Los machos a los que se les ofrecía poca comida comieron más de sus propios huevos en comparación con los machos a los que se le ofrecía comida en exceso, además de que los nidos construidos pobremente

se asocian con machos hambrientos y en consecuencia con el canibalismo filial.

- Badillo (1998) trabajó con *Gobionellus hastatus* realizando una descripción externa en especímenes colectados en Tecolutla, Veracruz. Determinó que es una especie predominantemente herbívora, ya que se alimenta principalmente de algas filamentosas y diatomeas. Detalló las descripciones de aparato reproductor, tanto femenino como masculino, encontrando que es complejo y con estructuras accesorias a las gónadas, además de un dimorfismo sexual externo marcado en la papila urogenital. Tras esto, estableció el ciclo testicular y ovárico a nivel histológico mediante la determinación de los distintos estadios de desarrollo de las células germinales concluyendo que la hembra lleva a cabo un desarrollo ovárico asincrónico y el macho presenta un arreglo testicular de tipo lobular.
- Wang y sus colaboradores (2001), trabajaron con el material genético de góbidos verificando la clasificación establecida mediante datos morfológicos. Examinaron la filogenia molecular de los góbidos, que comprenden 33 géneros y 43 especies válidas. Utilizando RNA mitocondrial realizaron los análisis neighbor-joining (método del vecino más próximo) y de parsimonia, ambos revelaron resultados comparables y en general concuerdan con los estudios morfológicos.
- Pezold (2004) realizó una diagnosis y redescrición de las seis especies existentes del género *Gobionellus*, mediante un análisis filogenético en base a su morfología, encontrando que todas las especies comparten un canal lateral cefálico único, que se extiende desde la punta del morro hasta la porción posterior del margen del opérculo; una fila vertical de papilas sensoriales en la zona posterior del opérculo y filas transversas suborbitales; además de una espina neural roma y acampanada distalmente que es espatulada en cinco de las seis especies. Revisó las sinonimias y elaboró claves especializadas.
- Thacker en 2003 realizó un análisis cladístico de representantes de ocho de las nueve familias del orden Gobioidae, para investigar las relaciones entre familias, subfamilias y géneros y con esto proponer una nueva visión de la

filogenia del grupo. Para cumplir con su objetivo, secuenció los genes mitocondriales ND1, ND2 y COI, obteniendo una topología parsimoniosa que en la mayoría de los casos da soporte a las relaciones que ya se tenían establecidas con datos morfológicos. Finalmente, sugiere que la reducción morfológica que se observa en muchas especies de góbidos ha sido independientemente derivada en varias ocasiones.

- En 2005 Thacker y Hardman trabajaron con aquellas familias cuyos análisis morfológicos las denotan como basales del suborden Gobioidaei (Rhyacichthyidae, Odontoburidae, Eleotridae y Xenisthmidae), con el objeto de inferir las relaciones de género entre éstas familias y determinar la ubicación de más góbidos derivados identificándolos como un grupo dentro de los Gobioidaei. Analizaron el DNA mitocondrial de 27 géneros de góbidos y una variedad de candidatos de Perciformes y Scorpaeniformes ajenos al grupo. Obtuvieron que la familia de Perciformes Apogonidae es la más relacionada con Gobioidaei, que Gobioidaei es un grupo monofilético y que *Rhyacichtys aspro* es el taxón más basal. La mayor incompatibilidad que encontraron al comparar la clasificación actual basada en morfología con los datos moleculares fue que el género *Milyeringa* debería estar situado en la familia Odontobutidae y no en Butinae.

IV.2. Estudios osteológicos en peces

- En 1993, Ruiz-Calderón trabajó con tres distintas especies de elasmobranquios hipotremados (*Rhinobatus lentiginosus*, *Narcine brasiliensis* y *Gimnura micrura*) mediante la técnica de transparentación en organismos de distintos tamaños, observando que la técnica es más adecuada en hipotremados deprimidos y pequeños en relación al tiempo y costo. Observó una gran cantidad de nuevos elementos, usando el patrón de *Squalus acanthia* y encontró que *Rhinobatus lentiginosus* y *Narcine brasiliensis* están más emparentados entre sí que *Gimnura micrura*.

- Adriaens y sus colaboradores presentaron en 1993 un trabajo sobre la morfología de la cintura pectoral de *Pomatoschistus lozanoi*, un góbido de hábitos bentónicos. Describieron detalladamente los elementos esqueléticos, la musculatura y los ligamentos, encontrando que los radios de las aletas pectorales están mucho mejor adaptados a la aducción que en el caso de los teleósteos en general.
- Martínez en 1996 realizó un análisis descriptivo del esqueleto de *Raja tejana*, trabajando con la técnica de transparentación. Describió el cráneo, las cinturas pélvica y pectoral y los gonopterigios, encontrando diferencias en el apéndice y cartílago rostral entre organismos de diferentes estadios, además de dimorfismo sexual en el ancho y la altura del cráneo, fontanela posterior y altura del cartílago rostral, además de la altura mayor, la altura de la fenestra exterior y postdorsal en el escapulacoracoides.
- Una contribución al estudio osteológico del charal *Chirostoma humboldtianum* fue realizada por Borrego en 2001 con ayuda de la técnica de transparentación. Separando las diferentes regiones del esqueleto y comparando con *Atheinella balsana*, sin observar diferencias drásticas excepto en su porción caudal, proponiendo esta última como una característica diacrítica.
- Sánchez-Fabila, en 2001, describió el esqueleto postcraneal de ocho especies de pleuronectiformes mexicanos región por región, contando el número de elementos y considerando las semejanzas que poseen entre sí, pudiéndose proporcionar evidencias de relaciones filogenéticas.
- Ávila (2003) realizó preparaciones y descripciones de 13 especies de peces óseos y determinó el grado de semejanzas utilizando el análisis de conglomerados. Elaboró un atlas de características anatómicas y determinó el modo de nado de cada una de las especies. Encontró que los apéndices pectorales y la aleta caudal presentan relaciones entre forma y función, además de una escasa variación en los apéndices pélvicos, lo cual se relaciona con su nula función en la natación.

- En el mismo año, Rodríguez realizó una contribución al estudio osteológico del pez Sierra (*Scomberomorus maculatus*), realizando una descripción completa del esqueleto axial y apendicular y encontrando una relación predominantemente isométrica.
- Otro trabajo realizado en 2003 fue de Hernández, quien realizó una descripción osteológica muy completa del pez ronco *Haemulon plumieri*, ubicándolo como un pez espinoso cuyos pterigóforos, vértebras y espinas neurales crecen isométricamente cuando se acercan a su talla máxima.
- Por otro lado, Gómez realizó una descripción anatómica del desarrollo del esqueleto del cíclido *Cichlasoma nigrofasciatum* en 2006, encontrando que las estructuras esqueléticas surgen a partir de la séptima semana de eclosionado mediante osificación endocondral, además de diferencias en las velocidades de crecimiento que indican cambios en la forma de los organismos a través del tiempo.
- Barranco, también en 2006, trabajó con el pargo cunaro (*Rhomboplites aurorubens*), realizando una descripción anatómica de su esqueleto. Encontró que algunas vértebras proximales al cráneo crecen con alometría negativa, mientras que otras vértebras más distales lo hacen con alometría positiva, lo cual se debe a cambios de forma a lo largo del crecimiento, que a su vez se debe a presiones de selección para nichos específicos.
- Molina, en 2006 realizó un trabajo sobre el desarrollo osteológico de la columna vertebral y aletas impares en *Girardinichthys multiradiatus*, encontrando variaciones en la morfología y el número total de vértebras y radios que no es gradual respecto al crecimiento de los organismos.
- Vidal en 2006 analizó el esqueleto axial de *Trichiurus lepturus*, encontrando que presenta deformaciones óseas que reflejan procesos diferentes en el esqueleto postcraneal, tanto dorsal como ventralmente. Concluyó que las deformidades ventrales son huesos heterotópicos diacríticos y las deformidades dorsales son un caso de hiperosteosis que se acentúa conforme aumenta la talla.

- Buitrago-Suárez en 2006, presentan un estudio anatómico comparativo de las especies de *Pseudoplatystoma*, un grupo diverso de bagres neotropicales. Realizaron un análisis filogenético con ayuda de caracteres morfológicos, que demuestra la existencia de una especie putativa no descrita para la familia. En consecuencia, se reconoce el estatus de *P. tigrinum* como especie restringida al río Amazonas, su localidad típica. Las poblaciones del río Orinoco, atribuidas a esta especie corresponden a un nuevo taxón en proceso de descripción es un trabajo fundamental para conocer las características osteológicas del pez tipo de esa familia.
- En 2007 Kinderman y sus colaboradores presentaron la osteología de *Eucyclogobius newberryi* y *Quietula guaymasiae*, dos especies de góbidos que ocupan diferentes hábitats ecológicos encontrando que estas especies están muy relacionadas por pertenecer a la zona de la bahía, pero algunas características craneales son diacríticas de cada especie.
- Deli y sus colaboradores publicaron en 2008 un análisis osteológico descriptivo y comparativo que permite la identificación, a través de los elementos óseos, de las 9 principales especies de peces presentes en el mar Chiquita en Argentina, analizando once elementos óseos en cada una de las especies por medio de la técnica de desarticulación, concluyendo que la morfología de dichos elementos óseos constituye una herramienta diagnóstica valiosa para la determinación específica de los peces con los que trabajaron.

V. JUSTIFICACIÓN

El patrón morfológico de una especie no es un simple accidente, sino que es un mosaico de diferentes caracteres que aparecieron en distintas épocas como resultado de un prolongado proceso evolutivo y de adaptaciones sucesivas de los organismos a su medio. El conocimiento de la estructura animal contribuye de manera importante a la tecnología y a la salud humana (ejemplos: animales de laboratorio, diseño de prótesis y mejoramientos biomecánicos), además de aumentar el conocimiento de los materiales biológicos.

La mayor parte de las investigaciones ictiológicas en México se enfocan en el estudio de los recursos pesqueros de demanda comercial. No obstante, se ha comenzado a prestar atención a las especies que no se pescan con fines de consumo humano, pero que pueden ser explotadas debido a la facilidad de captura en grandes volúmenes; así como a las especies que sin poseer alto valor económico, tienen función ecológica vital para la industria pesquera, como es el caso de las especies forrajeras, entre las cuales se presentan algunos góbidos y engráulidos (Martínez et al., 1998). Sin embargo, como se observa en los antecedentes, los estudios morfológicos en góbidos son muy escasos, a pesar de que son un grupo importante por ser variado.

La especie *Gobionellus oceanicus*, forma parte de la ictiofauna de diversos estuarios mexicanos. Indirectamente es de gran importancia para la pesca ya que constituye un notable recurso en la dieta de muchos peces de interés comercial (Muus y Dahlström, 1981). En el presente trabajo se describe la anatomía del esqueleto de *Gobionellus oceanicus*, por lo tanto se plantean los siguientes objetivos.

VI. OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar la descripción anatómica del esqueleto del dragón esmeralda *Gobionellus oceanicus* (Perciformes: Gobiidae).

Objetivos particulares

- Aplicar la técnica de transparentación a especímenes de *Gobionellus oceanicus*.
- Describir el esqueleto de *Gobionellus oceanicus*, considerando las siguientes estructuras:
 - Esqueleto axial
 - Cráneo
 - Exoesqueleto
 - Endoesqueleto
 - Columna vertebral
 - Esqueleto apendicular
- Realizar un análisis alométrico de las medidas morfométricas de *Gobionellus oceanicus* esperando que se mantenga el patrón presente en peces óseos.

VII. MATERIAL Y MÉTODO

Se obtuvieron 18 organismos vivos (figura 4) en el Mercado de Peces Magdalena Mixuhca, de la delegación Venustiano Carranza, México, D. F., los cuales fueron colectados en la Laguna de Alvarado, Veracruz. Fueron sacrificados por congelamiento, (se colocaron en solución acuosa a 4º Centígrados) para fijarlos en formol neutralizado al 4%. Posteriormente la especie fue determinada mediante claves especializadas (Castro-Aguirre, 1978; Márquez, 2002; Pezold, 2004).

De cada organismo se obtuvo el peso y medidas morfométricas que se muestran en la figura 5, posteriormente fueron fotografiados.



Figura 4. Organismos obtenidos de la especie *Gobionellus oceanicus*.

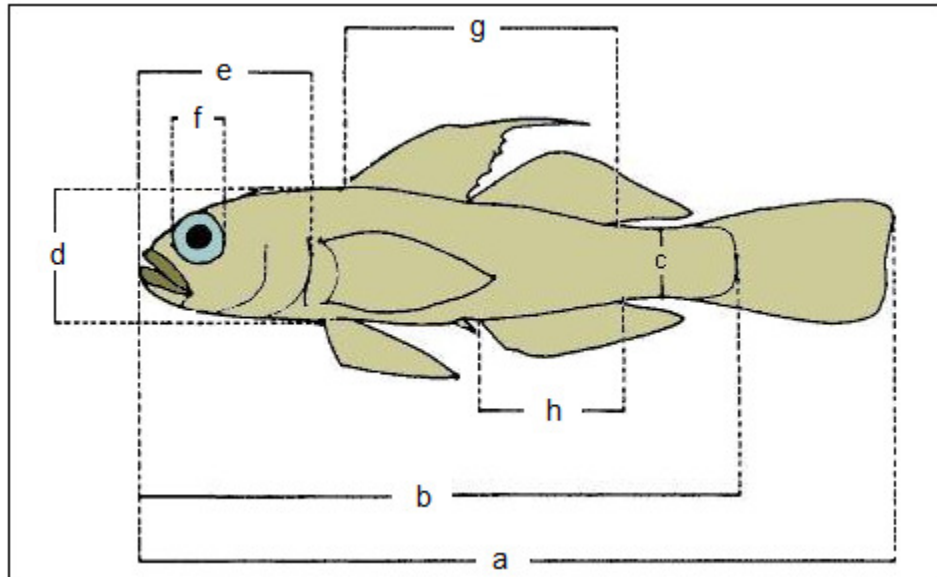


Figura 5. Mediciones de los organismos: a) Longitud total, b) longitud patrón, c) altura mínima, d) altura máxima, e) longitud cefálica, f) diámetro interocular, g) longitud de la base de la aleta dorsal, h) longitud de la base de la aleta anal. Modificado de Garzón-Ferreira y Acero, 1988.

Se retiraron las escamas para que no limitaran la visibilidad en el progreso de la transparentación. Se evisceraron (figura 6) y se les retiraron los globos oculares.

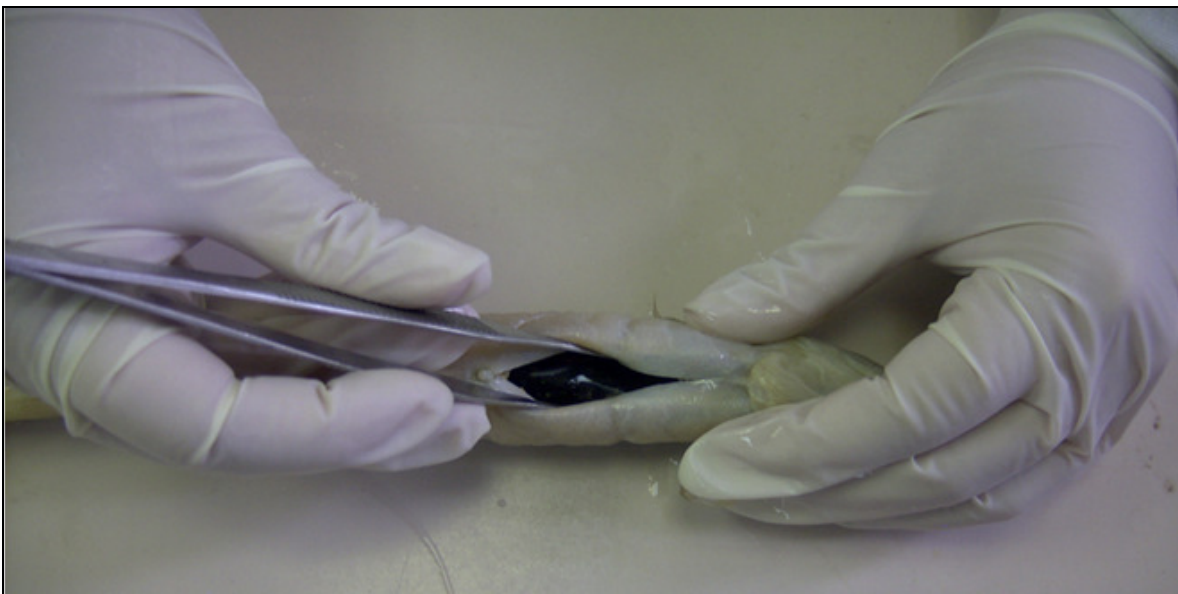


Figura 6. Evisceración de los organismos *Gobionellus oceanicus*.

Una vez preparados los peces, se introdujeron en una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 4% con rojo de alizarina "S" al 0.01% y permanecieron en ella

hasta que se pudo observar una coloración rojo-púrpura en los huesos. Una vez teñido el esqueleto, los organismos se colocaron en una solución de KOH al 4% hasta que el tejido se observó transparente a contraluz, identificándose claramente los elementos del esqueleto axial, lo que requirió un tiempo de tres meses aproximadamente, debido a la cantidad de músculo con consistencia fibrosa. Fueron trasladados a un tren de glicerina (40, 60, 80, 90 y 100%) de 24 a 48 horas en cada solución, para continuar con la diafanización del tejido. Permanecieron en glicerina pura para su estudio y manejo.

Una vez terminada la técnica se procedió a describir la anatomía del esqueleto en base a la nomenclatura y secuencia presentada por Rodríguez en 2003, tomando fotografías al microscopio y elaborando esquemas. Es importante mencionar que para lograr observar algunas estructuras internas, se realizaron disecciones tanto en el esqueleto axial como en el apendicular.

VIII. RESULTADOS

VIII.1. DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

El esqueleto de *Gobionellus oceanicus* está compuesto de una porción axial y una apendicular. El esqueleto axial incluye el cráneo, la columna vertebral y las costillas, mientras que el esqueleto apendicular comprende a las aletas pares e impares, así como las cinturas pectoral y pélvica (figura 7).

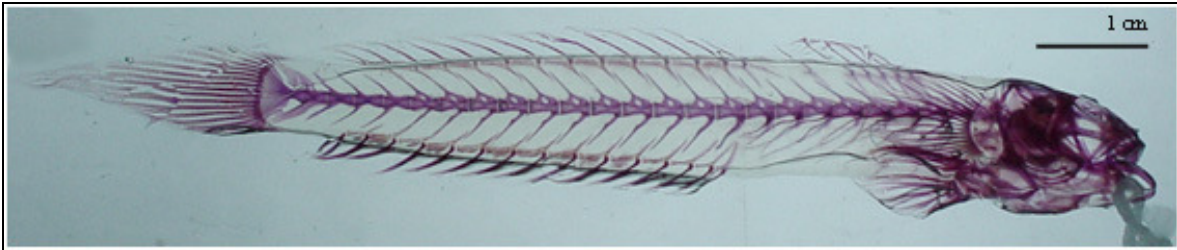


Figura 7. Vista lateral de *Gobionellus oceanicus* transparentado.

VIII.1.I. ESQUELETO AXIAL

VIII.1.I.I. CRÁNEO

El Cráneo de *Gobionellus oceanicus* está constituido por dos porciones, un exoesqueleto y un endoesqueleto.

A. EXOESQUELETO

El Exoesqueleto cefálico se divide en cinco porciones, estas son: El techo, los huesos circumorbitales, la serie maxilar, la suspensión mandibular y el escudo opercular (figura 8).

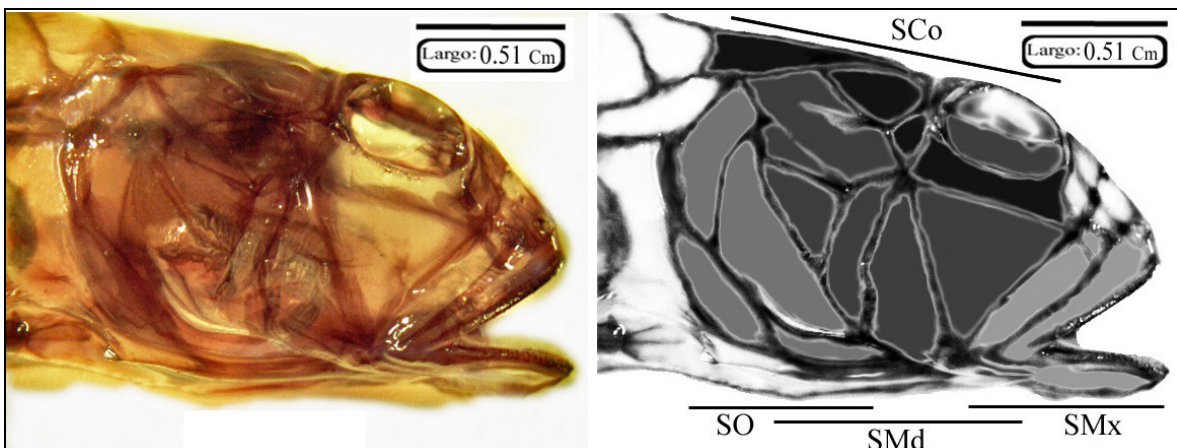


Figura 8. Vista lateral del cráneo de *Gobionellus oceanicus* transparentado (izquierda) y esquematizado (derecha), serie circumorbital (SCo), serie opercular (SO), serie de la suspensión mandibular (SMd) y la serie maxilar (SMx).

A. I. El Techo Craneal está formado por siete huesos, los cuales son: el premaxilar, los huesos nasales, los huesos frontales, los huesos parietales, los huesos epióticos, los escamosos y los postemporales.

Los Huesos Premaxilares: son el par de huesos más rostrales del cráneo, presenta en su borde a los dientes y es de forma triangular, se encuentra asociado al maxilar por tejido conjuntivo y se articula a su vez con la maxila (figura 11).

Los Huesos Nasales: son un par de huesos rostrales caudales a los premaxilares y que bordean la cápsula nasal (figura 9).

Los Huesos Frontales: son un par de huesos delgados localizados dorsalmente y que forman casi en su totalidad al techo craneal, están limitados al frente por los nasales y caudalmente por los parietales (figura 9).

Los Huesos Parietales: son un par de huesos posteriores separados en su extremo caudal por la espina supraoccipital (figura 9).

Los Huesos Epióticos: son un par de huesos pequeños situados en posición lateral externa a los parietales y unidos a la rama superior del posttemporal (figura 9).

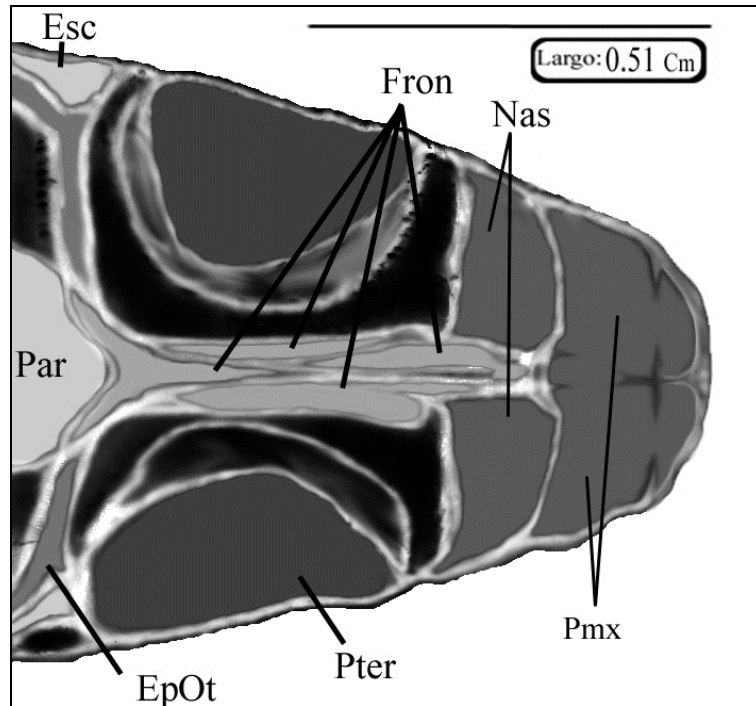


Figura 9. Techo del Cráneo de *Gobionellus oceanicus*, donde se observa los diferentes elementos: Premaxilares (Pmx), Nasales (Nas), Frontales (Fron), Parietales (Par), Epióticos (EpOt) y Escamosos (Esc).

Los Huesos Escamosos: son un par de huesos delgados que continúan en la parte posterior del posttemporal y que se articulan rostralmente con el epistótico (figura 9).

Los Huesos Postemporales: son huesos en posición dorsocaudal en el techo uniendo al epiótico con el escamoso a través de sus dos ramas, presentan forma de “Y” (figura 15).

A. II. Los Huesos Circumorbitales están constituidos por una serie de huesos de los cuales sobresalen tres: el lacrimal, el esfenótico y el pterótico.

El Hueso Lacrimal: es un par de huesos de tamaño mediano ubicado de forma rostral a la órbita (figura 10).

El Hueso Esfenótico: es un par de huesos pequeños, que se localiza de manera rostral al pterótico y bordea la porción posterior de las órbitas (figura 10).

El Hueso Pterótico: este par de huesos se encuentra de manera caudal al esfenótico y une al posttemporal con el supraclitrum, es pequeño y se observa sobre el hueso opercular en vista lateral (figura 10).

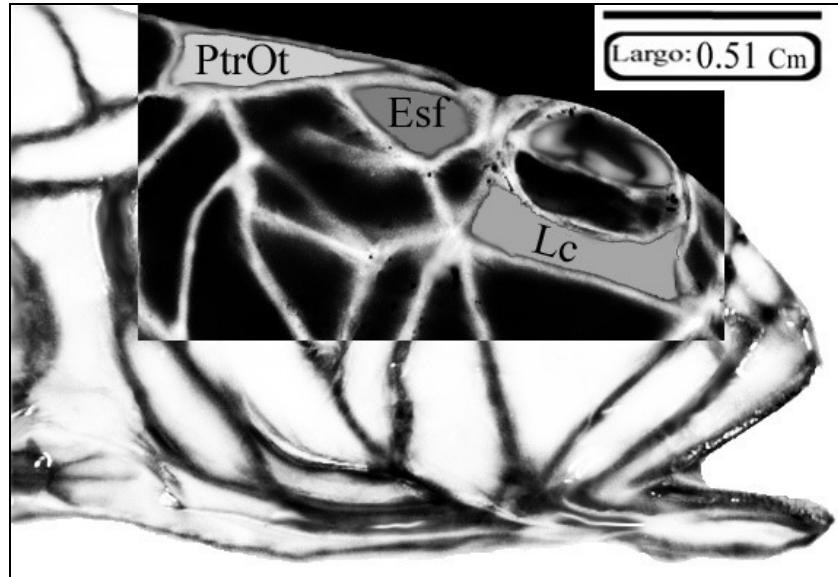


Figura 10. Vista lateral del cráneo de *Gobionellus oceanicus*, mostrando la serie circumorbital donde se observa los diferentes elementos: Lacrimal (Lc), Esfenótico (Esf), Pterótico (PtrOt).

A. III. La Serie Maxilar comprende a las mandíbulas y al paladar, está compuesto por una serie de huesos de los cuales sobresalen el premaxilar, maxilar, articular, dentario y angular.

El Hueso Premaxilar: es el hueso par más rostral del cráneo, tiene forma triangular y presenta en el borde los dientes del pez, se encuentra asociado al dentario por tejido conjuntivo en su porción caudal ventral y está articulado con el maxilar (figura 11).

El hueso Maxilar: son una cantidad de huesos pares localizados posteriormente a los premaxilares y débilmente articulados con estos por un borde ventral redondeado. Rostralmente presenta tres procesos: el proceso dorsal que se articula con el etmoideo, el proceso rostral que se articula a los palatinos y el proceso medio que se articula con los premaxilares y tiene una posición también rostral en el organismo (figura 11).

El Hueso Articular: es el hueso de forma triangular que se articula con el dentario en extremo rostral o anterior y caudalmente al angular y forma la articulación mandibular junto con el cuadrado (figura 11).

El Hueso Dentario: es un hueso que junto con el articular forma a la mandíbula, es grande, rostral en forma de "V" junto con la articulación que forma con el angular. Este presenta los dientes de la mandíbula inferior (figura 11).

El Hueso Angular: es un hueso pequeño, caudal al articular que se une en su parte rostral a este, caudalmente presenta una articulación en forma de “U” donde se une al cuadrado en su parte inferior (figura 11).

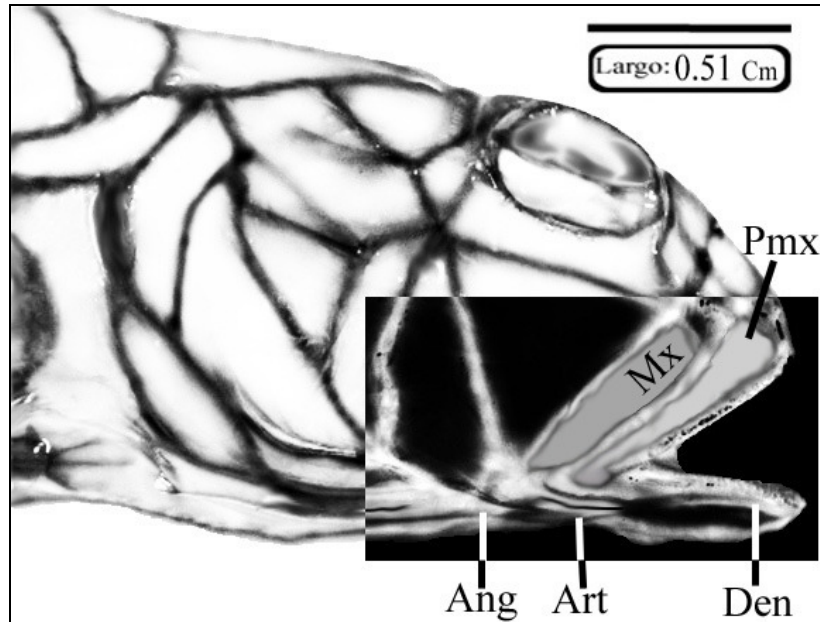


Figura 11. Vista lateral del cráneo de *Gobionellus oceanicus*, mostrando la serie maxilar donde se observa los diferentes elementos: Premaxilar (Pmx), Maxilar (Mx), Dentario (Den), Articular (Art) y Angular (Ang).

A. IV. La Suspensión Mandibular y la Zona Palatina presenta también una serie de huesos que le dan soporte y movilidad a la boca, presentan los huesos hiomandibular, simpléctico, cuadrado, metapterigoides, ectopterigoides, pterigoides y en zona ventral al vómer y los palatinos.

El Hueso Hiomandibular: es un hueso que se encuentra entre el metapterigoides y el neurocráneo, bordea la parte posterior de la órbita y también se articula con el opérculo (figura 12).

El Hueso Simpléctico: es un hueso delgado que refuerza a la articulación mandibular, es delgado y se extiende desde el metapterigoides hasta el cuadrado y solo se observa en la parte interna del hiomandibular (figura 12).

El Hueso Cuadrado: es un hueso triangular rostral al opérculo y caudal al ectopterigoides, de manera ventral presenta un proceso que embona con el articular formando la articulación mandibular (figura 12).

El Hueso Metapterigoides: es un hueso también triangular, dorsal al cuadrado y ventral al hiomandibular, junto con este forman la porción caudal de la órbita (figura 12).

El Hueso Ectopterigoides: es un hueso delgado, rostral al cuadrado con forma de arco (figura 12).

El Hueso Pterigoides: es un hueso que se encuentra de manera lateral al ectopterigoides en su cara interna, formando el piso de la órbita (figura 12).

El Hueso Vómer: es un hueso que se localiza en la porción palatina entre el maxilar y el premaxilar, limitan con los palatinos, juntos presentan pequeños dientecillos que les dan una apariencia áspera (figura 13).

El Hueso Palatino: son huesos delgados laterales al vómer, caudalmente se articulan al ectopterigoides formando una larga rama que corre desde el paladar hasta el cuadrado (figura 13).

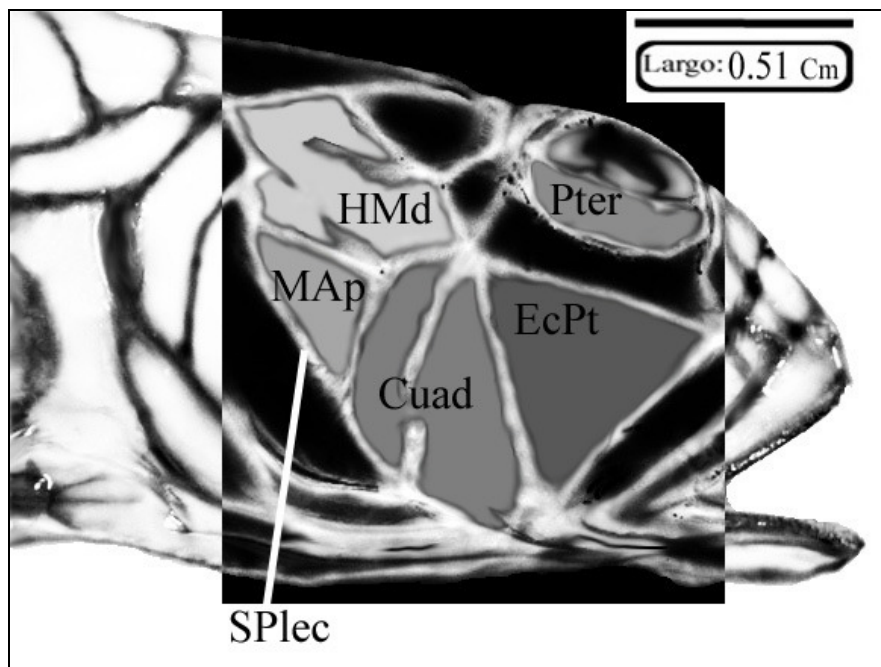


Figura 12. Vista lateral del cráneo de *Gobionellus oceanicus*, mostrando la serie mandibular donde se observan los diferentes elementos: Hiomandibular (HMd), Simpléctico (SPlec), Cuadrado (Cuad), Metapterigoides (MAp), Ectopterigoides (EcPt) y Pterigoides (Pter).



Figura 13. Vista del techo de la cavidad oral del cráneo de *Gobionellus oceanicus*, mostrando la serie mandibular donde se observa los diferentes elementos: Palatinos (Pal) y Vómer (Vm).

A. V. La Serie Opercular forma la parte posterior del cráneo hasta el opérculo, está formado por los huesos preopercular, opercular, subopercular e interopercular.

El Hueso Preopercular: es el primero en la serie y presenta su borde caudal aserrado (figura 14).

El Hueso Opercular: es un hueso que forma la porción dorsal del escudo opercular y ubicado caudalmente al preopercular (figura 14).

El Hueso Subopercular: es un hueso de forma casi oval que forma el borde ventrocaudal del opérculo (figura 14).

El Hueso Interopecular: es el hueso mas ventral del opérculo que se extiende desde el subopercular hasta el preopérculo (figura 14).

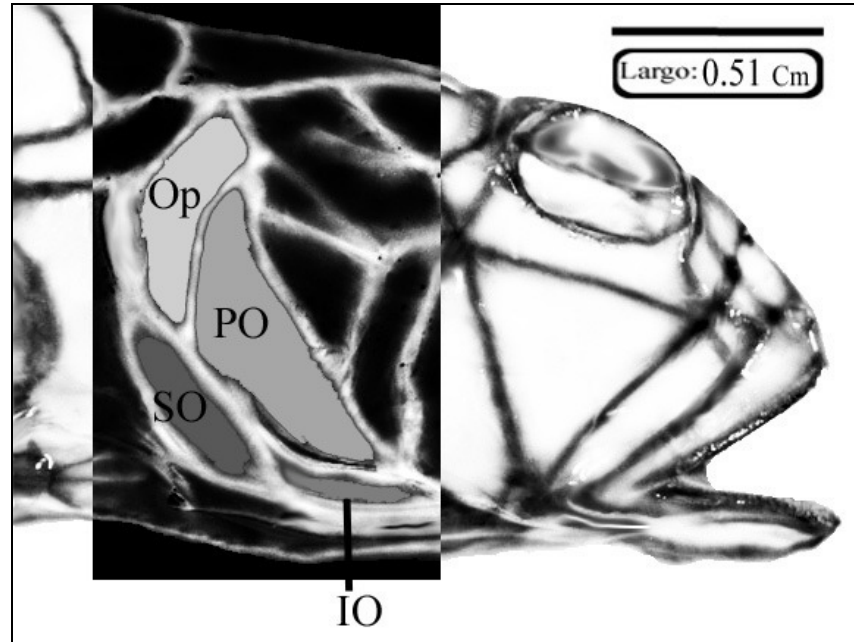


Figura 14. Vista lateral del cráneo de *Gobionellus oceanicus*, mostrando la serie opercular donde se observa los diferentes elementos: Preopercular (PO), Opercular (Op), Subopercular (SO), Interopercular (IO).

B. ENDOESQUELETO

El Endoesqueleto cefálico está compuesto por tres porciones: el neurocráneo, el esplecnocráneo y el aparato branquial.

B. I. El Neurocráneo está compuesto por una serie de nueve huesos que forman la parte posterior del cráneo así como el paladar de la cavidad oral, estos son los epistóticos, el basioccipital, los exoccipitales, el supraoccipital, los etmoideos, el mesetmoideo, el paraesfenoides y los proóticos.

Los Huesos Epistóticos: Son un par de huesos dorsales a los exoccipitales, ventral al epiótico y al parietal, se une a la rama inferior del posttemporal, articulándose a través de la otra rama del posttemporal con el epiótico (figura 15 y 16).

El Hueso Basioccipital: Es un hueso impar que se encuentra en el piso de la caja cerebral, se localiza dorsal al paraesfenoides y ventrolateral a los exoccipitales formando parte de las paredes de la caja cerebral; se articula con la primera vértebra y posee una forma similar a esta (figura 15).

Los Huesos Exoccipitales: Son un par de huesos localizados en la parte dorsolateral al basioccipital con la apariencia de los procesos transversos de las vértebras dando al basioccipital la apariencia de una vértebra, tiene esta apariencia ya que se une con la prezigapófisis de la primera vértebra (figura 15 y 16).

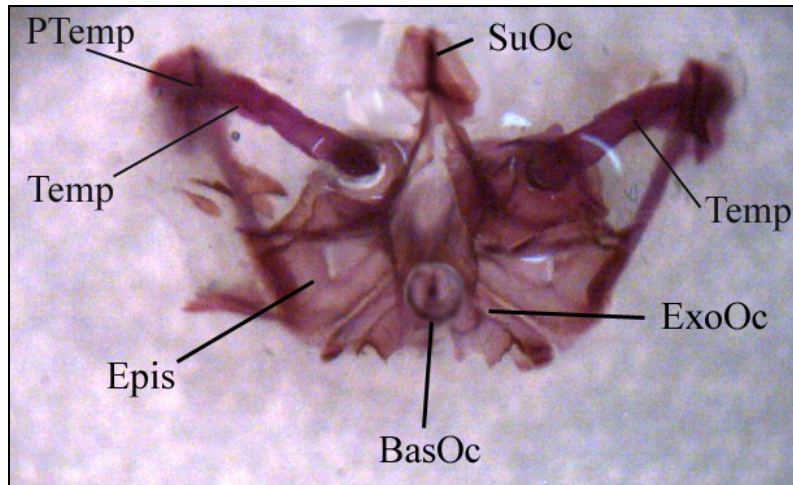


Figura 15. Vista posterior del neurocráneo de *Gobionellus oceanicus*, donde se observan los diferentes elementos: Supraoccipital (SuOc), Temporal (Temp), Epistótico (Epis), Basioccipital (BasOc), Exoccipital (ExoOc) y Posttemporal (PTemp).

El Hueso Supraoccipital: Es un hueso impar que forma parte del techo craneal y del cual surge la espina supraoccipital, la cual es reducida en esta especie, justo a la mitad de este. Limitado rostralmente por los huesos frontales y caudalmente por la columna vertebral (figura 15 y 16).

Los Huesos Etmoideos: Son huesos laterales que se extienden dorsalmente al paraesfenoides y ventral a los frontales (figura 16).

El Hueso Mesetmoideo: Es un hueso impar en posición rostral a los etmoideos y dorsal al paraesfenoides, se articula anteriormente con el premaxilar y rostral a los nasales.

El Hueso Paraesfenoides: Es un hueso delgado y largo que corre sobre la parte dorsal del vómer hasta el basioccipital, se observa desde el exterior, en vista lateral como un hueso que atraviesa la porción media de la órbita (figura 16).

Los Huesos Proóticos: Son un par de huesos largos que se ubican en la parte dorsal del cráneo, rostral al esfenótico, es la porción más rostral de la bóveda cerebral.

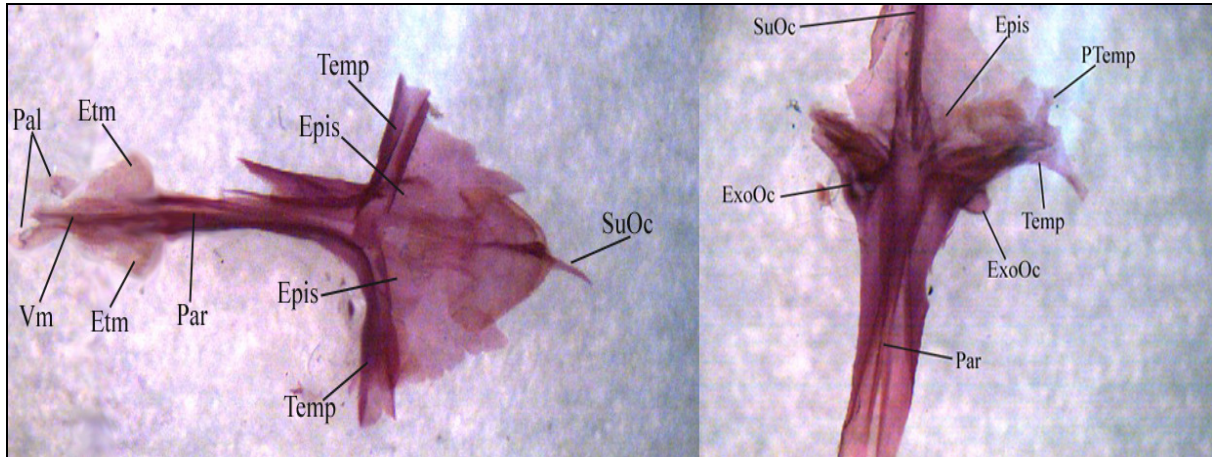


Figura 16. Vista ventral del neurocráneo (izquierda) y dorsal (derecha) de *Gobionellus oceanicus*, donde se observan los diferentes elementos: Supraoccipital (SuOc), Temporal (Temp), Posttemporal (PTemp), Epistótico (Epis), Exoccipital (ExoOc), Paraesfenoides (Par), Etmoides (Etm), Vomer (Vm) y Palatinos (Pal).

B. II. El Esplecnocráneo es una estructura en la cual se articulan la suspensión mandibular y parte del sostén para las branquias.

La suspensión mandibular es una fracción del aparato hioideo que es parte de la suspensión mandibular y sostén de las branquias.

Los Huesos Ceratohiales: son huesos que constituyen la mayor parte del aparato hioideo, los cuales están limitados rostralmente por el hipohial y caudalmente por el epihial (figura 17).

Los Huesos Epihiales: son huesos pares caudales al ceratohial, articulados con los radios branquiostegos (figura 17).

Los Huesos Interhiales: Son huesos dorsocaudales al epihial y se observan como protuberancia de este último (figura 17).

Los Huesos Hipohiales: Son huesos pequeños rostrales a los ceratohiales (figura 17).

Los Radios Braquiostegos: Son seis elementos pares que se extienden desde la porción medial del aparato hioideo hasta su porción caudal (figura 17).

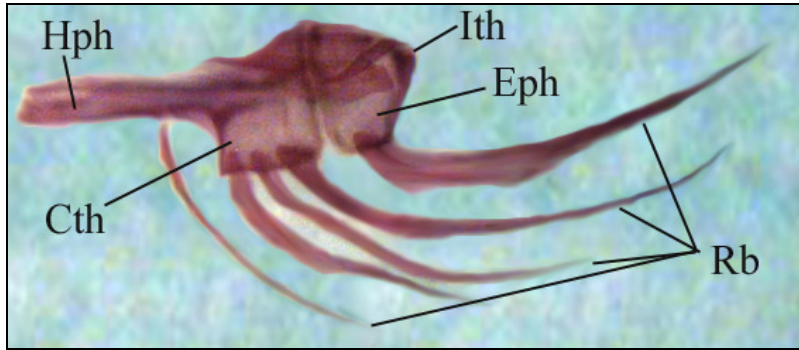


Figura 17. Vista lateral del aparato hioideo *Gobionellus oceanicus* mostrando los elementos Ceratohiales (Cth), Epihiales (Eph), Interhiales (Ith), Hipohiales (Hph) y los Radios Braquiostegos (Rb).

B. III. El Aparato Branquial es una serie de arcos óseos, los cuales sostienen las branquias (penacho branquial). Se unen ventralmente al basibranquial por los hipobranquiales, que es la parte proximal del arco, en la parte media del arco se une al ceratobranquial y al epibranquial en la porción más distal, estos se articulan con los faringobranquiales, los cuales constituyen una placa que se articula con los últimos tres epibranquiales. En la parte interna del último arco branquial se encuentra una placa que posee una serie de dientecillos que le dan un aspecto áspero al tacto, conocida como la placa dentaria (figura 18).

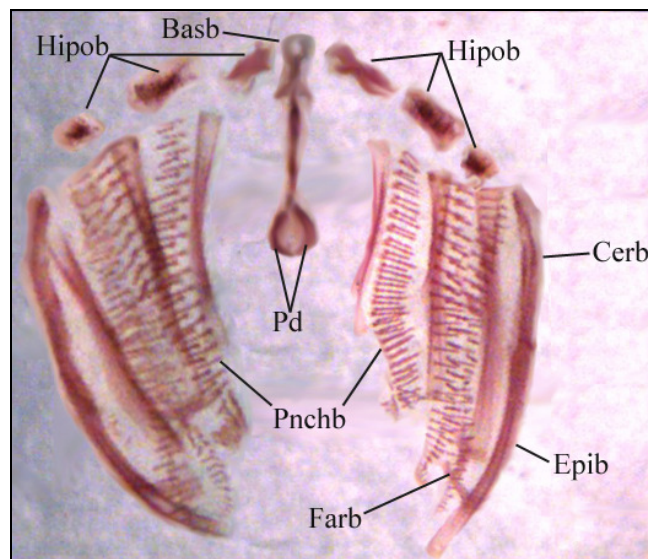


Figura 18. Vista dorsal del aparato branquial *Gobionellus oceanicus* mostrando los elementos Basibranquial (Basb), Hipobranquial (Hipob), Ceratobranquial (Cerb), Epibranquial (Epib), Faringobraquial (Farb), Placa Dentaria (Pd) y el Penacho Branquial (Pnchb).

VIII.1.I.II. COLUMNA VERTEBRAL

El esqueleto postcraneal está conformado por 25 vértebras de tamaño homogéneo, sin contar el urostilo, de las cuales las primeras 10 son torácicas y las 15 restantes caudales (figura 19). Cabe mencionar que en las vertebras torácicas se presentan de 10 a 14 costillas longitudinales. En cada vértebra caudal, el cuerpo vertebral es ancicélico con sus respectivas espinas neural e hipural.

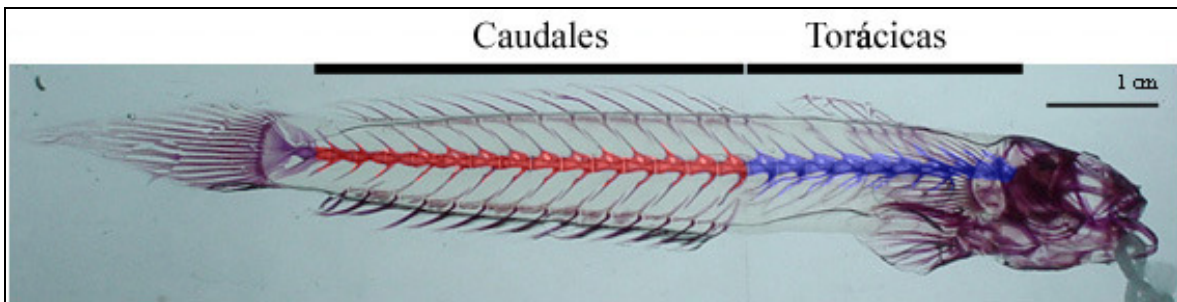


Figura 19. Vista lateral de *Gobionellus oceanicus* mostrando las vértebras caudales y torácicas.

Se destaca que las primeras 21 espinas neurales presentan un orificio en su base para la salida de nervios raquídeos, como se muestra en la figura 20, lo cual no está presente en las espinas hemales; esto denota que la primera aleta dorsal es mucho más fuerte. Tanto las espinas neurales como las hipurales son muy agudas en la región apical, además de ser aplanadas, lo que nos dice que no son buenos nadadores y se relaciona con los hábitos bentónicos de los organismos.

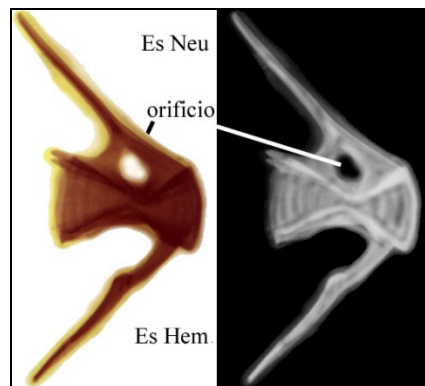


Figura 20. Vista lateral de la tercera vértebra caudal, que presenta una perforación en la espina neural (Es Neu) y la espina hemal (Es Hem).

A continuación se muestran las vértebras torácicas y caudales, las torácicas con sus costillas laterales, encargadas de proteger los órganos internos de éste góbido, además de su espina neural, en las vértebras caudales se muestran las espinas neurales y hemales, ambas con sus respectivos arcos neurales (figura 21).

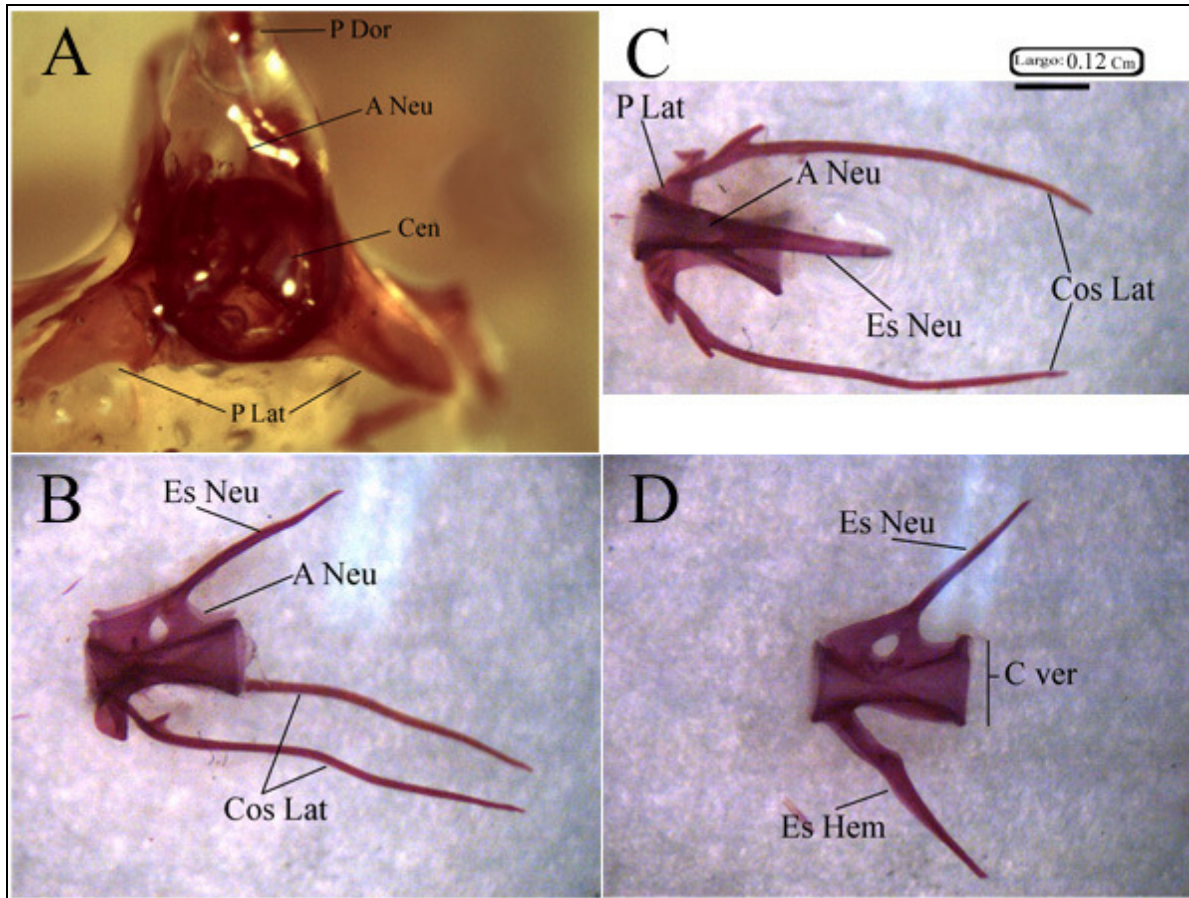


Figura 21. Vista de las vértebras caudales y torácicas de *Gobionellus oceanicus*; A: vista frontal de la 3^a vértebra torácica, en donde se muestra el Proceso Dorsal (P Dor), Procesos Laterales (P Lat), el Centrum (Cen) y el Arco Neural (A Neu); B: vista lateral de una vértebra torácica en donde se muestran las Costillas Laterales (Cos Lat), Espina Neural (Es Neu) y el Arco Neural; C: vista dorsal de una vértebra torácica en donde se muestran los Procesos Laterales; D: vista lateral de una vértebra caudal, en donde se muestran la Espina Neural, Espina Hemática (Es Hem) y el Cuerpo Vertebral (C ver).

La vértebra número 25, presenta sus espinas con un ensanchamiento irregular, desde la base hasta el ápice. Para la espina hemal, es la única que presenta orificio. Esto le confiere mayor fuerza a la aleta caudal. Presenta un hueso epural y un hueso hipural sueltos, de igual irregularidad con respecto a las otras espinas (figura 22).

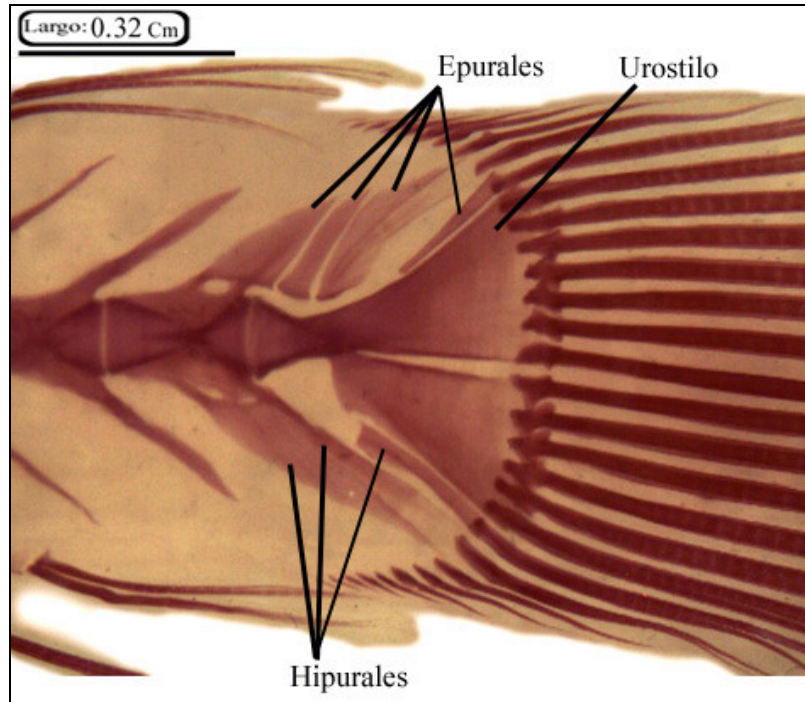


Figura 22. Vista de las últimas vértebras de *Gobionellus oceanicus* y parte de la aleta caudal que presenta radios lepidotricos.

VIII.1.II. ESQUELETO APENDICULAR

VIII.1.II.I. ALETA CAUDAL.

La aleta caudal es de tipo dificerca, presenta tres huesos epurales, el primero con dos radios, el segundo con uno y el tercero con seis, todos bifurcados. En el caso del urostilo, presenta siete radios y dos huesos hipurales con un radio cada uno. También presentan siete radios en los extremos insertados en su musculatura, sin ninguna relación con huesos. Hay que mencionar que todos los radios son lepidotricos (figura 23).

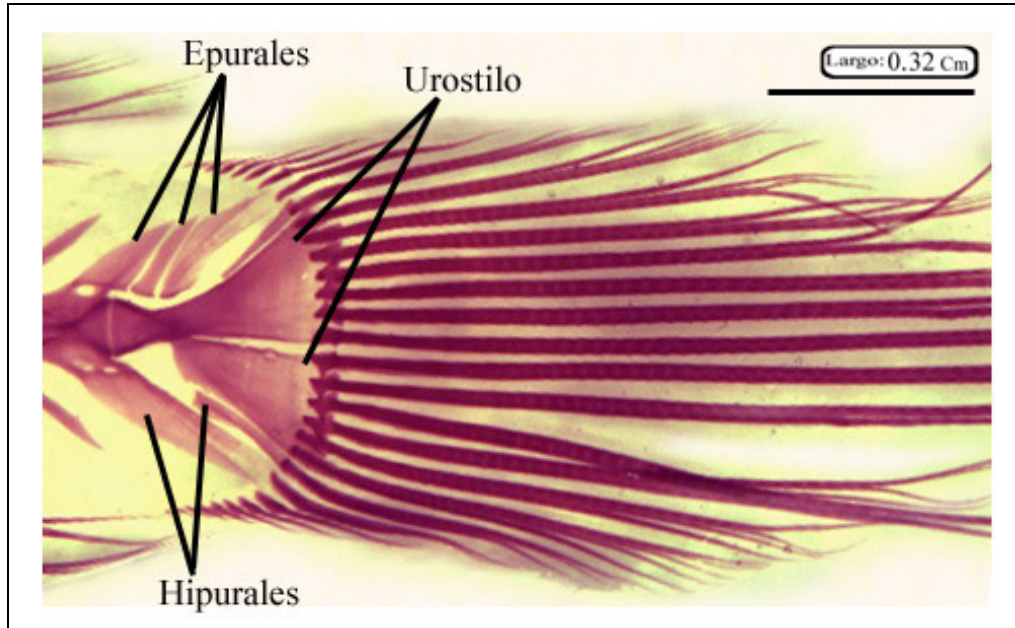


Figura 23. Aleta caudal de *Gobionellus oceanicus*.

VIII.1.II.II. ALETAS DORSALES.

Gobionellus oceanicus presenta dos aletas dorsales (figura 24). La primera con seis radios lepidotricos largos, finos y bifurcados que van disminuyendo en longitud conforme se alejan del cráneo. La segunda dorsal presenta 14 radios gruesos con respecto a la primera, todos lepidotricos y largos. Son menos alargados y, salvo por el primer radio, que es ligeramente más corto que el segundo, el decremento de tamaño conforme se acercan a la aleta caudal es menos marcado. En ambas aletas dorsales, los huesos poseen inserciones con los músculos de manera superficial. Cada radio de las espinas dorsales presenta un esqueleto radial que consiste en las siguientes piezas: un pterigóforo proximal alargado y ahusado en la zona más profunda (y que además es aplanado en la primera aleta dorsal). Estos pterigóforos se adelgazan conforme se acercan a la zona cefálica y están ubicados en el mismo ángulo que el radio. También presentan un pterigóforo distal rectangular ubicado en posición horizontal (figura 25). Cabe mencionar que por encima de estos pterigóforos, se presentan de manera inconstante algunos huesos heterotópicos amorfos.

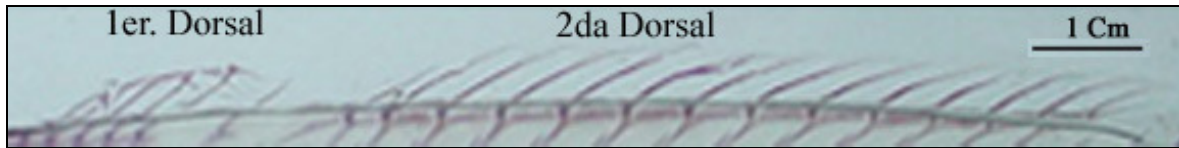


Figura 24. Aletas dorsales de *Gobionellus oceanicus*.

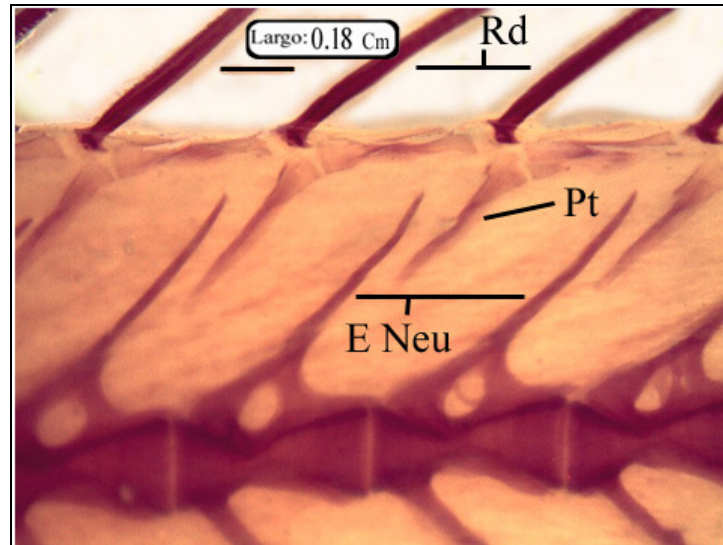


Figura 25. Base de la primera aleta dorsal de *Gobionellus oceanicus*, donde se observan los radios (Rd), pterigoforos (Pt) y espinas neurales (E Neu).

VIII.1.II.III. ALETA ANAL.

La aleta anal es muy similar en estructura a la segunda aleta dorsal, presentando 15 radios ligeramente menos alargados y, salvo por el primer radio, que es ligeramente más corto que el segundo, el decremento de tamaño radial conforme la cercanía a la aleta caudal es mucho menos marcado. Los huesos de esta aleta están sujetos a los músculos superficialmente y el esqueleto radial también consiste en pterigóforos alargados y afilados hacia la zona proximal que van decreciendo en grosor conforme se acercan a la zona cefálica y están ubicados en el mismo ángulo que el radio. También presentan un pterigóforo distal rectangular ubicado en posición horizontal (figura 26).

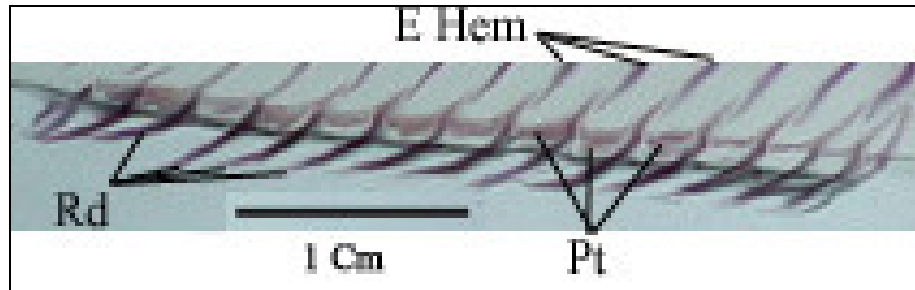


Figura 26. Base de la aleta anal de *Gobionellus oceanicus*, donde se observan los Radios (Rd), Pterigoforos (Pt) y las Espinas Hemales (E Hem).

VIII.1.II.IV. ALETAS PECTORALES.

La cintura pectoral se conecta con el posttemporal y al esqueleto por dos procesos anteriores, el más fuerte es el proceso dorsal, es aplanado y se extiende a lo largo de la placa posteriormente a la ranura del canal oculoescapular sensorial. Caudalmente, el posterotemporal se une con el supracleitrum, el cual se conecta a la parte dorsal bifurcada del cleitrum. El cleitrum, que en esta especie tiene forma de media luna, se une ventralmente al coracoides y por pequeños bordes a lo que parece ser el cartílago pélvico intercleitral, en la parte central se encuentra una extensión larga que se une a los radios a través de la escapula en la parte media del cleitrum. Excepto por la parte más osificada, dorsal a un pequeño foramen, la escapula es cartilaginosa. Los radios están unidos por cartílagos en su borde anterior y posterior (figura 27).

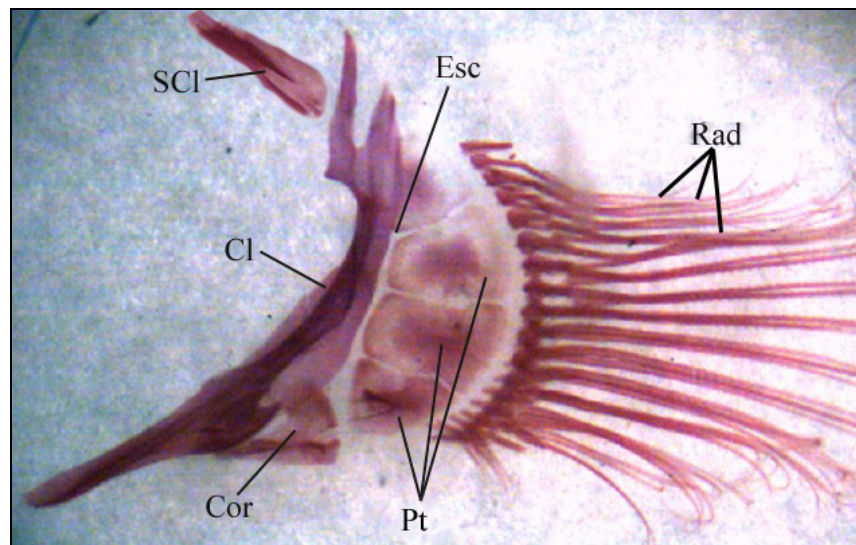


Figura 27. Cintura pectoral derecha de *Gobionellus oceanicus* donde se observan los Radios (Rad), Cleitrum (Cl), Supracleitrum (SCI), Coracoides (Cor) y la Escapula (Esc).

La aleta pectoral es pequeña, y sus radios están insertados a musculatura y no a hueso. Cuentan con 19 radios y cuatro pequeñas placas cálcicas amorfas que forman la aleta pectoral, que se encuentra por detrás del opérculo en forma de media luna o penacho (figura 28).

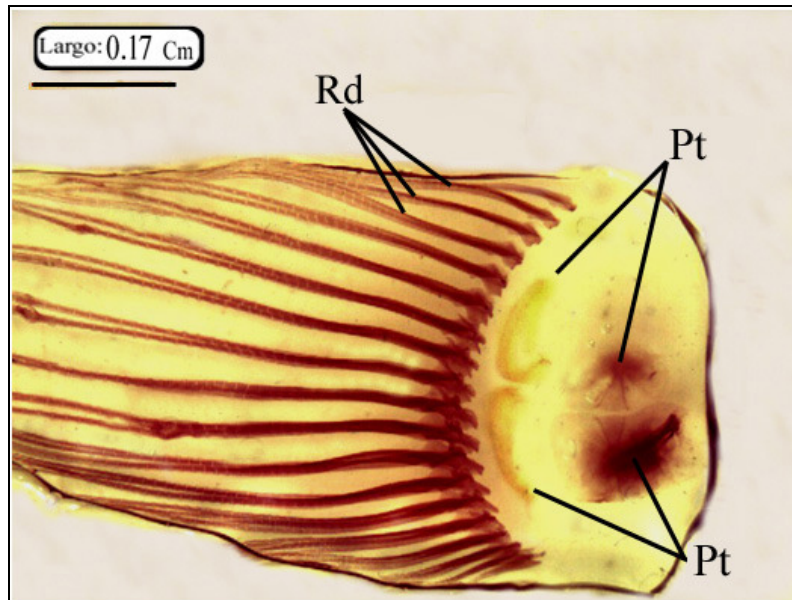


Figura 28. Aleta pectoral derecha de *Gobionellus oceanicus* donde se observan los radios (Rd) y los Pterigoforos (Pt).

VIII.1.II.V. ALETAS PÉLVICAS.

Entre las aletas más importantes de estos organismos, se encuentran las aletas pélvicas, ya que forman un disco adhesivo muy desarrollado que le sirve para adherirse al sustrato. Estos radios están evidentemente más ensanchados que en las otras aletas.

Cada aleta pélvica posee seis radios que conforman dos segmentos. El primer segmento consiste en tres radios lepidotricos ampliamente bifurcados de gran longitud que se proyectan hacia la zona posterior. El segundo segmento es el más externo y está constituido por tres radios lepidotricos; dos de mediana longitud y uno corto que se proyectan hacia la zona ventral. Los 12 radios forman una media

luna, el resto del disco adhesivo es completado con tejido (figura 29). Los radios del segundo segmento se unen a la barra isquiopúbica que presenta forma de diamante y tres zonas articulares: una central que la divide a la mitad y dos laterales para permitir la movilidad de las aletas (figura 29).

La barra isquiopúbica presenta dos grandes proyecciones aplanadas y cercanas al borde ventral del cuerpo, que se van ensanchando conforme se acercan a la zona anterior. La placa interna de la barra tiene dos pequeñas proyecciones centrales hacia la zona anterior y hacia la zona posterior, una proyección afilada y engrosada, que le da apariencia de punta de flecha (figura 29).

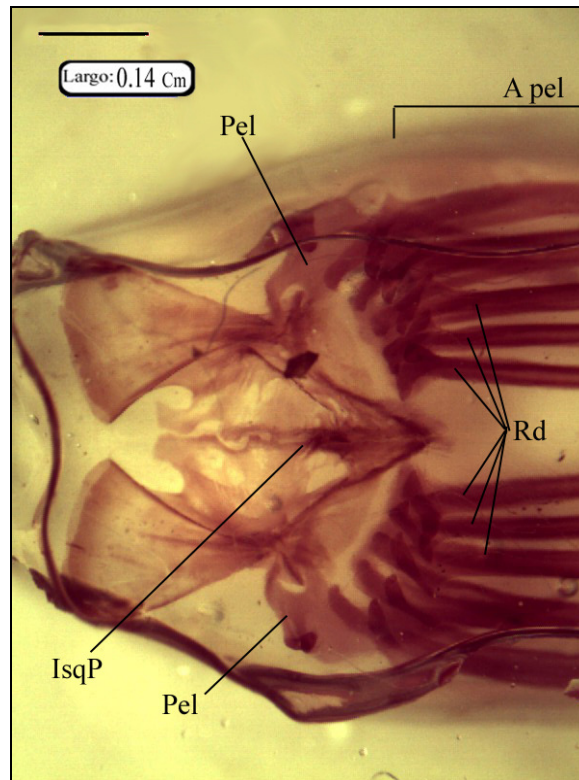


Figura 29. Aleta pélvica de *Gobionellus oceanicus* donde se observan los Radios (Rd), de las Aletas Pélvicas (A pel), la barra Isquiopúbica (IsqP) y la Pelvis (Pel).

VIII.2. ANÁLISIS ALOMÉTRICO

Tras haber registrado las medidas morfométricas de los ejemplares (cuadro 1), se realizó el análisis alométrico, para lo que se aplicó el programa Excel Versión 2007. Los resultados se resumen en el cuadro 2.

Cuadro 1. Medidas morfométricas de los ejemplares de *Gobionellus oceanicus*.

Ejemplar	Peso	Longitud total	Longitud patrón	Altura mínima	Altura máxima	Longitud cefálica	Diámetro interocular	Base de las aletas dorsales	Base de la aleta anal
	(g)	(cm)							
1	55.5	26.2	18.8	1.74	2.34	3.13	0.56	11.04	7.96
2	67.6	22.1	20.1	1.63	2.62	3.32	0.6	11.24	7.67
3	13.3	15.4	12.3	1.05	1.46	2.42	0.5	7.03	4.82
4	11.2	15.2	12.4	1.03	1.35	2.33	0.53	7.11	4.99
5	11	15	11.3	0.91	1.12	2.11	0.51	6.68	4.55
6	12.2	14.7	11.5	1.02	1.25	2.13	0.47	6.68	4.65
7	12	14.6	11.6	0.88	1.33	2.39	0.46	6.53	4.55
8	9	14.5	11.4	0.9	1.25	2.17	0.47	6.9	4.61
9	10.7	14	11	0.92	1.34	2.11	0.47	6.46	4.42
10	13.2	13.7	12	0.96	1.33	2.25	0.44	6.88	4.72
11	8.3	13.4	10.5	0.84	1.21	2.02	0.47	6.16	4.38
12	8.4	12.8	10.1	0.83	1.18	1.98	0.48	5.84	4.03
13	10.1	12.9	10.6	0.92	1.26	2.05	0.54	5.96	4.19
14	6.8	12.6	9.8	0.75	1.13	1.94	0.49	5.73	4.08
15	6.5	12.4	9.7	0.82	1.09	1.9	0.46	5.65	3.91
16	5.6	12.2	9.5	0.71	1.13	1.84	0.49	5.66	3.73
17	5	12.1	9.4	0.8	1.02	1.68	0.48	5.38	3.77
18	4.9	10.9	8.8	0.66	0.97	1.73	0.46	5.08	3.41

Cuadro 2. Alometría de las medidas morfométricas de *Gobionellus oceanicus*.

Medidas morfométricas	Condición de isometría	Coefficiente de alometría	Factor de condición	R	t
Longitud total VS Longitud patrón	Isométrico	0.996994298	0.801867251	0.971290729	-0.050916287
Longitud total VS Peso	Isométrico	3.19476099	0.002194559	0.959311581	0.839426835
Longitud total VS Altura mínima	Isométrico	1.134768767	0.045432839	0.968532934	1.936603099
Longitud total VS Altura máxima	Isométrico	1.136655043	0.063243687	0.941906885	1.651111285
Longitud total VS Longitud cefálica	Alométrico negativo	0.792281841	0.261605971	0.944949631	-3.121308657
Longitud total VS Diámetro interocular	Alométrico negativo	0.267934006	0.24085686	0.712807939	-11.17167421
Longitud total VS Base de la aleta dorsal	Isométrico	0.985772674	0.478730684	0.980037184	-0.29006825
Longitud total VS Base de la aleta anal	Isométrico	1.01985773	0.302115131	0.985353556	0.475547891

IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A pesar de su importancia comercial como dieta de sustento en peces de interés comercial, *Gobionellus oceanicus* es uno de los góbidos poco estudiados en la familia. Se conoce su morfología externa (Badillo, 1998), su ciclo ovárico y desarrollo (Abad, 1996), así como sus relaciones filogenéticas (Wang et al., 2001; Thacker, 2003 y Pezold, 2004), pero poco se conoce acerca de su patrón morfológico y de su estructura ósea.

Así, tenemos que el góbido *Gobionellus oceanicus* es una especie con morfología tipo, teniendo un cráneo con una boca oblicua terminal. Presenta todas las series de los elementos craneales (el techo, los huesos circumorbitales, la serie maxilar, la suspensión mandibular y el escudo opercular) como lo reportado por Herler, Hilgers y Patzner en 2006 para las especies de *Gobius fallax* y *Gobius auratus*; y Kindermann y sus colaboradores en 2007 para las especies *Eucyclogobius newberryi* y *Quietula guaymasiae*.

Su columna vertebral es en cierto grado simple, con dos regiones claramente diferenciadas (región torácica y caudal) similar a lo reportado en los estudios para las cuatro especies antes estudiadas (*Gobius fallax*, *Gobius auratus*, *Eucyclogobius newberryi* y *Quietula guaymasiae*), la mayor diferencia radica en que no reportan el orificio en la espina neural que sí se evidencia en *Gobionellus oceanicus* en este estudio, lo cual podría considerarse una característica diacrítica de la especie.

En las aletas pélvicas de *Gobionellus oceanicus*, se observa el escudo formado por la fusión de la barra isquiopúbica y se diferencia la pelvis de la barra, así como se describe para *Gobius fallax* y *Gobius auratus*. La estructura general permanece casi sin cambios mayores en las seis especies *Gobius fallax*, *Gobius auratus*, *Eucyclogobius newberryi* y *Quietula guaymasiae*, también en la especie *Pomatoschistus lozanoi*, estudiada por Adriaens y sus colaboradores en 1993 y en *Gobionellus oceanicus*, donde se articula y refuerza con dos grandes proyecciones aplanadas que llegan hasta la zona inferior del opérculo.

Gobionellus oceanicus posee dos aletas dorsales con radios lepidotricos, la primera corta con seis radios y la segunda más larga con 19 radios, una aleta caudal dificerca con radios lepidotricos. La aleta anal posee la misma estructura de las aletas dorsales con 16 radios lepidotricos como en las especies *Gobius fallax*, *Gobius auratus* y *Pomatoschistus lozanoi*. La aleta pectoral se articula con los elementos de la cintura pectoral, siendo esta la que mayor uniformidad presenta en las seis especies.

Los elementos internos del cráneo no se contrastan bien desde la zona externa pero se realizaron disecciones que permitieron su visibilidad y se trabajó con las fotografías para realizar los esquemas descriptivos, lo que llevó a un entendimiento más completo y holístico del sistema esquelético de *Gobionellus oceanicus*.

Cabe mencionar que las disecciones también fueron de gran ayuda para lograr esquematizaciones claras en vértebras y otras estructuras más externas como el aparato hioideo y las aletas pectorales. Las técnicas de transparentación y tinción son herramientas que permiten el estudio de los especímenes pequeños, sin el riesgo de alterar la descripción por la ruptura y el desprendimiento de los elementos más pequeños, brindando evidencia clara de la morfología ósea general del organismo. Al combinar la técnica de transparentación con disección, se tiene la ventaja de poder hacer cortes y tomar porciones de tejido que lleven inmersos varios huesos pequeños, sin que se pierdan de vista sus articulaciones y posición.

En este trabajo se obtuvieron las diferentes medidas morfométricas (Cuadro 1 y Apéndice) con la finalidad de compararlas entre los diferentes individuos. Al ser todos del mismo sexo no se pudo establecer si existen diferencias entre los elementos de los organismos de diferentes sexos, pero el análisis alométrico refleja que *Gobionellus oceanicus* presenta proporciones isométricas en las mediciones que se realizaron, a excepción de la longitud total comparada con la longitud cefálica y el diámetro interocular respectivamente, lo cual indica que esta especie presenta características morfológicas que se adaptan al patrón en general de los peces (Gersnowies, 2007).

La descripción completa de la morfología ósea de *Gobionellus oceanicus* es el aporte más importante de este trabajo, al obtener una serie de especímenes transparentados con KOH y teñidos con rojo de alizarina para contrastar los diferentes elementos y obtener su descripción.

X. CONCLUSIONES

- La técnica de transparentación combinada con disección logró llevarse a cabo en los especímenes de *Gobionellus oceanicus* y fueron las herramientas adecuadas para realizar este trabajo.
- En la descripción del esqueleto básico en general de *Gobionellus oceanicus* lo más sobresaliente con respecto al patrón de los peces es la modificación de las aletas pectorales y pélvicas, así como el orificio que muestra en la espina neural como posible característica diacrítica de la especie.
- La alometría de *Gobionellus oceanicus* corresponde con el patrón general de los peces.

CONSIDERACIONES FINALES

Es importante continuar con el estudio de la familia Gobiidae para tener un entero conocimiento de estos peces importantes en la cadena trófica de peces de interés comercial. Sus adaptaciones pueden ser críticas en la evolución del grupo y ser diacríticas con respecto de los demás peces estuarinos y epicontinentales. La disposición de sus pterigóforos y la forma de sus aletas pueden ser características propias a los hábitos de la especie ayudando a diferenciarlos de los demás grupos.

XI. BIBLIOGRAFÍA

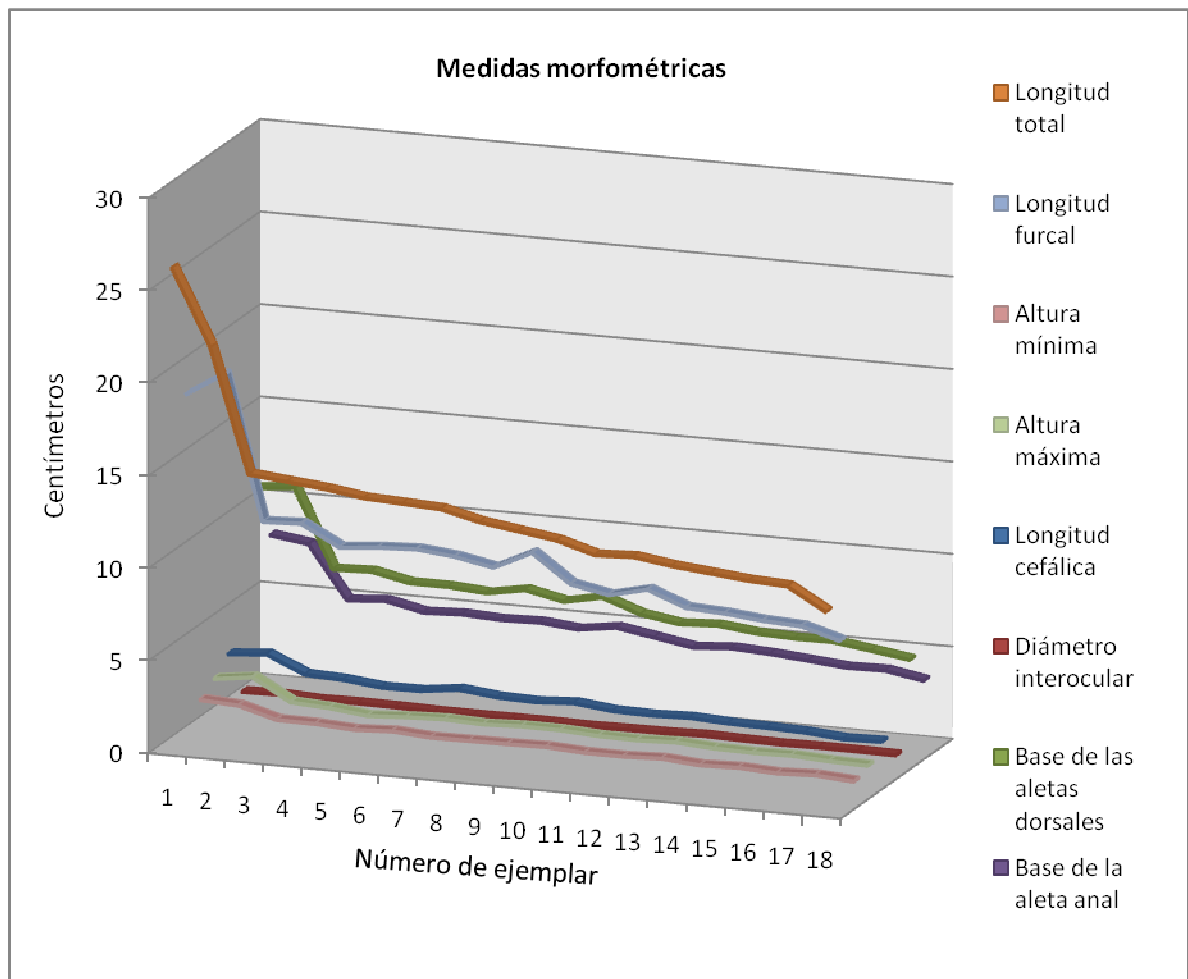
- Abad, A. (1996) *Estudio morfológico, macro y microscópico de las gónadas de Gobionellus hastatus Girard, en diferentes etapas de desarrollo*. Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. México. 67 pp.
- Adriaens D., Decleyre D. and Verraes W. (1993), Morphology of the Pectoral Girdle in *Pomatoschistus lozanoi* de Buen, 1923 (Gobiidae), in Relation to Pectoral Fin Adduction. *Belgian Journal of Zoology*. 123 (2): 135-157.
- Ávila, A. (2003) *Análisis de semejanzas del esqueleto de los miembros pares y aleta caudal entre peces óseos*. Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. México. 109 pp.
- Badillo, M. (1998) *Algunos aspectos de la biología de Gobionellus hastatus (Familia Gobiidae) en el sistema estuarino de Tecolutla, Veracruz*. Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. México. 63 pp.
- Barranco, B. (2006) *Descripción Anatómica del esqueleto del Pargo Cunaro Rhomboplites aurorubens (Perciforme: Lutjanidae)* Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. México. 96 pp.
- Borrego, A. (2001) *Contribución al estudio osteológico del charal Chirostoma humboldtianum (Osteoichthyes: Aterinidae)* Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. México. 96 pp.
- Buitrago-Suárez, U. (2006) Anatomía comparada y evolución de las especies de *Pseudoplatystoma* Bleeker 1862 (Siluriformes: Pimelodidae). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 30 (114): 117-141.
- Cañamares, M., Murcia-Mascarós, S., Sánchez-Cortés, S., Domingo, C. y García-Ramos, J. (2003) Determinación de pigmentos pictóricos mediante su incorporación en polímeros órgano-inorgánicos. *Air pollution & Cultural Heritage Workshop Programme & Abstracts Book* 94-95.
- Castro-Aguirre, J. (1978) *Catálogo sistemático de los peces marinos que pertenecen a las aguas continentales de México, con aspectos*

- zoogeográficos y ecológicos. Dirección general del Instituto Nacional de Pesca Serie Científica 19. México.
- Deli, M., González, M. y Días de Astarloa, J. (2008) Análisis de la morfología ósea de peces de la laguna costera Mar Chiquita, Argentina. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 43 (2): 355-380.
 - Fishbase. (2007) *Point Map for Gobionellus oceanicus* [on-line] <http://fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?id=3862>
 - Garzón-Ferreira, J. y Acero, A. (1988) Los peces Gobiidae de los arrecifes del Caribe Colombiano. *An. Inst. Inv. Mar* 18: 59-81.
 - Gersenowies, J. (2007) *Alometría*. UNAM Iztacala. México. 142 pp.
 - Gibaja-Oviedo, S. (1998) *Pigmentos naturales quinónicos*. Fondo editorial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 277 pp.
 - Gobioid Research Institute (2000) Information on the Gobioidae in the Americas - eastern Atlantic - parts of the Indo-Pacific [on line] <http://gobiidae.com/>
 - Gómez, M. (2006) *Descripción anatómica del desarrollo del esqueleto de Chichlasoma nigrofasciatum (Günther, 1869) Actinopterygii: Cichlidae*. Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. 58 pp.
 - Gregg J., Fleeger, J. and Carman, K. (1997) Effects of Suspended, Diesel-Contaminated Sediment of Feeding Rate in the Darter Goby, *Gobionellus boleosoma* (Teleostei: Gobiidae) *Marine Pollution Bulletin* 34(4): 269-275.
 - Grupo de Investigación de Vertebrados del Mesozoico y el Cuaternario de la Universidad de Zaragoza (2004) *Anatomía, el esqueleto de los vertebrados* [on line] http://aragosaurus.com/descarga/pavyh3_esqueleto.pdf
 - Herler J., Hilgers, H., and Patzner, R. (2006) Osteology and dentition of two Mediterranean Gobioid species (Teleostei, Gobiidae). *Italian Journal of Zoology*. 73 (2): 105–115.

- Hernández, A. (2003) *Contribución al estudio anatómico del esqueleto del ronco Haemulon plumieri (Lacépede, 1801)* Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. 58 pp.
- Kindermann, G., Miljkovic, N., Ahnelt, H. and Stevenson D. (2007) The osteology of *Eucyclogobius newberryi* and *Quietula guaymasiae* (Teleostei: Gobiidae), two closely related Gobionellines from the East Pacific. *Annals Naturhistorisches Museum Wien*.107: 13-56.
- Kvarnemo C., Svensson, O. and Forsgren, E. (1998) Parental behaviour in relation to food availability in the common goby. *Animal Behaviour* 56:1285-129.
- Márquez, A (2002) *Ictiología aplicada*. UNAM Iztacala. México. 55 pp.
- Martínez, J., Sanabria M. y Sánchez, A. (1998) *Identificación de peces, guía ilustrada*. Segunda edición. UNAM Iztacala. México. 90 pp.
- Martínez, V. (1996) *Análisis descriptivo del esqueleto de Raja tejana (Chondrichthyes: Rajoidei)* Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. 58 pp.
- Molina, C. (2006) *Desarrollo osteológico de la columna vertebral y aletas impares de Girardinichthys multiradiatus (Goodeidae) del embalse Ignacio Ramírez, Edomex*. Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. 73 pp.
- Muus B. y Dahlström P. (1981) *Guía de los peces del mar*. Tercera edición. Ediciones Omega. España. 259 pp.
- Nelson, J. (1984) *Fishes or the World*. Segunda edición. John Wiley and Sons. Estados Unidos. 523pp.
- Nelson J., Crossman, E., Espinosa-Pérez, H., Findley, L., Gilbert, C., Lea, R., and Williams, J. (2004) *Common and scientific names of fishes from the United States, Canada, and Mexico*. American Fisheries Society, Special Publication 29, Bethesda, Maryland.
- Pezold, F. (2004) Redescriptions and Synonymies of Species of the American–West African Genus *Gobionellus* (Teleostei, Gobiidae) with a Key to Species. *Copeia* 2: 281-297.

- Rodríguez, M. (2003) *Contribución al estudio osteológico del pez sierra *Scomberomorus maculatus* (Osteichthye: Escombridae)* Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. 62 pp.
- Ruíz-Calderón, A. (1993) *Contribución al estudio osteológico de elasmobranquios hipotremados del Golfo de México a través de la Técnica de transparentación.* Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. 303 pp.
- Sánchez-Fabila, G. (2001) *Relaciones de similitud entre 8 especies de Pleuronectiformes mexicanos a partir del análisis del esqueleto postcraneal.* Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. 76 pp.
- Sistema de bibliotecas de la UNMSM (2007) *Antraquinonas.* [on line] sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/Libros/Quimica/pigmentos/archivos%20PDF/antraquinonas.pdf
- Smith, C. (1997) *National Audubon Society field guide to tropical marine fishes of the Caribbean, the Gulf of Mexico, Florida, the Bahamas, and Bermuda.* Alfred A. Knopf, Inc. New York. 720 pp.
- Thacker, C. (2003) Molecular phylogeny of the gobioid fishes (Teleostei: Perciformes: Gobioidi) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 26: 354–368.
- Thacker, C. and Hardman, M. (2005) Molecular phylogeny of basal gobioid fishes: Rhyacichthyidae, Odontobutidae, Xenisthmidae, Eleotridae (Teleostei: Perciformes: Gobioidi) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 37:858–871.
- Vidal, L. (2006) *Análisis de la distribución de las deformidades óseas del esqueleto axial de *Trichiurus lepturus* (Perciformes: Trichiuridae)* Tesis de Licenciatura. UNAM Iztacala. 69 pp.
- Wang H., Tsai, M., Dean, J. and Lee, S. (2001) Molecular Phylogeny of Gobioid Fishes (Perciformes: Gobioidi) Based on Mitochondrial 12S rRNA Sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 20:390–408.

XII. APÉNDICE



XIII. ANEXO

El osteoide es la matriz ósea no mineralizada y puede observarse en forma de finos ribetes de unas 10 micras de espesor que revisten la superficie de algunas trabéculas y tapizan algunas cavidades intracorticales. La matriz ósea es la responsable de las extraordinarias propiedades biomecánicas del hueso. Las fibras de colágeno le proporcionan flexibilidad y resistencia a la tensión mientras que las sales minerales le confieren dureza, rigidez y resistencia a la compresión (Grupo de Investigación de Vertebrados del Mesozoico y el Cuaternario de la Universidad de Zaragoza, 2004).

Durante el crecimiento un hueso largo posee un eje o diáfisis con dos terminaciones, las epífisis. Durante el desarrollo las epífisis están separadas de la diáfisis por una placa de cartílago de crecimiento, el cartílago epifisial. Cuando se detiene el crecimiento las epífisis se fusionan con la diáfisis y generalmente la división epífisis-diáfisis es indistinguible. En vida, las extremidades distal y proximal de los huesos largos son redondeadas y lisas y están cubiertas por una capa de cartílago hialino, ya que forman parte de las articulaciones. Los huesos responden a las fuerzas aplicadas sobre su superficie siguiendo un patrón característico. La primera fase es elástica y depende de la rigidez del hueso. En esta fase, la deformación es temporal y se mantiene sólo durante el tiempo de aplicación de la fuerza tras lo cual, el hueso recupera su forma original. Si la fuerza aumenta, se entra en una fase plástica y el hueso, aunque se recupera parcialmente, queda deformado. Por último cuando la fuerza aplicada es superior a la resistencia del tejido se produce la fractura. La respuesta dependerá del tipo de fuerza, del tipo de hueso, así como de la densidad, arquitectura y composición del tejido óseo (Grupo de Investigación de Vertebrados del Mesozoico y el Cuaternario de la Universidad de Zaragoza, 2004).