



---

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

CARRERA DE BIOLOGÍA

**DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN ANATÓMICA DEL ESQUELETO DE DOS  
ESPECIES DE ANUROS “Rana de uñas” *Xenopus laevis* (Daudin, 1802) y “Rana  
verde” *Hyla eximia* (Baird, 1854) A TRAVÉS DE LA TÉCNICA DE DIAFANIZACIÓN**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGA PRESENTA  
FRÍAS MARTÍNEZ ANDREA

DIRECTOR DE TESIS  
DRA. SANCHEZ FABILA GABRIELA

Los Reyes Iztacala, Estado de México, 2019





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.

*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y  
“Rana verde” Hyla eximia*

## Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de realizar mi formación profesional, ha sido en verdad un espacio de conocimiento y recreación, mi deseo desde pequeña había sido ingresar a esta universidad con el precedente que mis hermanas me dieron, sin embargo cada experiencia es diferente y a pesar de que no fue fácil en ciertos momentos, nunca me arrepentiré de todo lo que viví en estos años.

A la FES Iztacala, en la que conocí excelentes personas, tanto compañeros como profesores de los que traté de rescatar lo mejor, tuve muchas primeras experiencias y reafirmé mi amor por la biología.

A mis padres agradezco el gran esfuerzo que han hecho por siempre procurar que no me faltara nada, y aunque no siempre congeniamos, nunca me impusieron su voluntad y me permitieron seguir mis intereses. Madre me enseñaste que se deben aprovechar todas las oportunidades que se presenten. Padre tú me enseñaste que se debe hacer lo correcto aunque no siempre sea lo más fácil.

A mi hermana Mó, porque has estado presente en cada momento importante de mi vida desde que nací y en verdad que lo agradezco. Me has comprendido y ayudado tanto en cosas académicas como en aspectos que me a veces me hacen difícil el vivir. Acompañándome siempre en cualquier locura que se me ocurriera y tomándome en serio por más descabellados que fueran mis planes. Espero que este trabajo sea una muestra de que el esfuerzo ha valido la pena y de que aún necesitaré tu apoyo y consejo así este aquí, allá o más lejos.

A mis pequeños, que desde que tengo uso de razón han sido un gran apoyo y consuelo cuando no podía confiar en nadie más.

A Kim, has sido mi mejor amiga desde la primera vez que mantuvimos una conversación y he podido contar contigo todos estos años, gracias a ese apoyo he logrado concluir mi trabajo y espero sigamos cosechando éxitos.

A mis amigos Iván, Gaby y Miroz, ustedes han sido en verdad un gran apoyo para mí en muchos de mis peores momentos, dándome consejos y ayudándonos unos a otros a estudiar. Iván gracias por estar conmigo y ayudarme con las cosas que no entiendo de la vida, sé que en verdad te preocupas por mí, espero también ser un apoyo para ti en todo lo que hagas. Gabys, la bichologa del equipo, eres una amiga excelente, y me gusta el empeño que le pones a tus pasiones, ya sea



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

el fútbol o los insectos. Miroz eres muy trabajadora y una persona que escucha y quiere a sus amigos, espero que el deseo de Lolita se cumpla y podamos trabajar juntas de nuevo. Frida, Martí y Duiequito han sido muy buenos amigos para mí y me han llegado a comprender incluso más que personas que he conocido por un tiempo mayor, así que también les agradezco todo lo que hemos aprendido uno del otro.

A Héctor porque a pesar de que no estuvimos muchos semestres juntos, me has dado tu amistad y sabes muy bien que un día gris no tienen por qué ser malo, sino que también se debe disfrutar y no cualquiera entiende eso.

A la profesora Deni, quien fue una motivación e inspiración para no abandonar cuando me encontraba en momentos difíciles, e igualmente a todos aquellos profesores que con su pasión me hicieron amar más la mía.

A mis compañeros en LAVEC Diana, Saraí y Fer, nos hemos conocido por poco tiempo pero hemos compartido muy buenas experiencias ya fuera en los congresos o en las simples conversaciones del día a día, gracias por enseñarme tanto,

A los doctores Roberto Moreno Colín y Gabriela Sánchez Fabila por la enseñanza y confianza que depositaron en mí desde que ingresé a LAVEC. Y en especial a la doctora le agradezco darme la oportunidad de trabajar en este laboratorio, conocí buenas personas y tuve experiencias que en mi vida nunca me imaginé que me atrevería. Me dio la confianza para intentar cosas nuevas y logré llegar a tenerme más confianza y amor propio. Muchas gracias.

Índice

I.	RESUMEN .....	6
II.	INTRODUCCIÓN .....	7
III.	ANTECEDENTES.....	12
IV.	JUSTIFICACIÓN.....	13
V.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
VI.	RESULTADOS .....	17
A.	COMPARACIÓN DE PARTES ÓSEAS .....	17
1.	<i>Esqueleto axial</i> .....	18
2.	<i>Esqueleto apendicular</i> .....	33
VII.	DISCUSIÓN.....	41
A.	ESQUELETO AXIAL .....	41
B.	ESQUELETO APENDICULAR .....	43
VIII.	CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE <i>HYLA EXIMIA</i> Y <i>XENOPUS LAEVIS</i> .....	45
A.	RESULTADOS ESTADÍSTICOS .....	46
IX.	CONCLUSIONES.....	50
X.	ANEXOS .....	51
XI.	LITERATURA CITADA .....	57



## I. Resumen

La clase anfibia ha estado presente en la cultura mexicana desde tiempos prehispánicos formado parte importante en diferentes sentidos. Los anfibios son de los grupos más diversos. En México el número aproximado de especies alcanza las 361, los anuros representan más de la mitad con 237 especies. Una de las razones es la variedad de nichos que pueden explotar. *Hyla eximia*, habita los bosques templados de México, ocupa sitios cercanos a fuentes de agua, sus cuerpos son generalmente esbeltos y cuentan con discos en los dedos para poder sujetarse a los árboles. Esta especie pasa gran parte de su vida en los árboles, razón de la cual deriva su nombre común “rana de árbol”. A diferencia de este *Xenopus laevis* es originaria de África y es prácticamente acuática, de cuerpo más bien rechoncho y solo sale del agua si su charca se seca o para buscar pareja. A razón de estas diferencias en el hábitat se estableció el objetivo de describir y comparar anatómicamente el esqueleto de estas dos especies, *Hyla eximia* y *Xenopus laevis* a través de la técnica de diafanización. Para esto se obtuvieron organismos de ambas especies, a los cuales se les tomaron una serie de medidas morfométricas para su análisis. En seguida se llevó a cabo la técnica de diafanización a las 60 ranas verdes y a las 39 ranas albinas. Finalizado el proceso se tomaron fotografías del esqueleto de cada organismo. Se concluye que las características del sistema óseo son provechosas en sus respectivos medios, para *Hyla eximia*, su cráneo más ancho que largo, su cintura pectoral de tipo arciferal, y sus extremidades largas y delgadas se relacionan a una dieta de presas vivas además de la realización frecuente de saltos. En el caso de *Xenopus laevis*, la forma triangular del cuerpo, extremidades posteriores más grandes que las anteriores y el cartílago presente en su cintura pélvica, se relacionan a un ambiente acuático e igualmente a la realización de movimientos de paleo tanto para impulsarse en el agua como para ingresar a huecos en troncos hundidos como método de escape.

Palabras clave: Anuros, arborícola, acuático, hábitat, osteología.

## II. Introducción

La clase anfibia ha estado presente en la cultura mexicana desde tiempos prehispánicos formando parte importante en diferentes sentidos, incluyendo una enorme cantidad de formas de expresión humana; escultura ya sea en barro, piedra, jade u obsidiana, artes gráficas, literatura como lo son cuentos y fábulas, artesanías y otras expresiones populares, inclusive gastronomía (rana *Lithobates megapoda* consumida en Jalisco), los diferentes usos prácticos que la población les ha dado a ciertas especies, inclusive el papel esencial que alcanzaron en la cosmovisión de las culturas prehispánicas (Aguilar y Lúria, 2016), como el ajolote, una especie endémica de México y que además suele relacionarse con la deidad Xólotl, hermano mellizo del dios Quetzalcóatl en la cultura mexicana.

En cuanto a diversidad esta clase conforma uno de los grupos más grandes en el mundo, se reportan un total de entre 6,200 y 6,233 especies de las que México cuenta con 361, lo que lo coloca como el quinto país con mayor diversidad. Se divide en tres órdenes Caudata, Gymnophiona y Anura. En cuanto a este último, se tiene un registro de 237 especies siendo mayormente encontrados en los estados de Oaxaca, Chiapas y Veracruz, con 97, 76 y 62 especies respectivamente (Parra-Olea et al., 2014).

Este orden se encuentra representado por 11 familias, Hylidae es la más numerosa con 97 especies, el 68% de ellas endémicas por lo que 23 se encuentran sujetas a protección especial, así mismo una gran parte de especies del resto de las familias están en esa categoría. Podemos mencionar a *Eleutherodactylus yucatanensis* o rana ladrona y *Diaglena petasatus* o rana pico de pato, ambas endémicas del estado de Yucatán y en protección especial (Chablé, 2010).

Estos organismos se caracterizan por carecer de cola. Su esqueleto se divide en axial y apendicular. El axial comprende un cráneo plano y ancho y la columna vertebral constituida por nueve vértebras (una cervical, siete torácicas y sacro) y el urostilo (vértebras fusionadas), carecen de esternón y poseen costillas reducidas. Por otro lado al esqueleto apendicular lo componen cuatro extremidades; las anteriores las forman el húmero, el radioulna (huesos fusionados), carpos, metacarpos y falanges (cuatro dedos), se unen a la columna por medio de la cintura escapular, un hueso en forma de “U” que rodea al tórax y que también cumple la función de proteger a los órganos internos, las extremidades posteriores se dividen en fémur, tibia, tarsos,



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

metatarsos y falanges (cinco dedos) y se unen gracias a la cintura pélvica (Padilla y Cuesta, 2003).

A diferencia de los sapos, las ranas suelen ser más pequeñas y de cuerpo esbelto, lo que facilita su desplazamiento por medio de saltos. Su piel posee gran cantidad de glándulas mucosas lo que las mantiene húmedas y evita la desecación, además ciertas especies producen sustancias venenosas o tóxicas que les permiten defenderse ante sus depredadores. Son depredadores oportunistas, tienen una dieta insectívora y carnívora (San Mauro, 2012). Se reproducen por fertilización externa, utilizan estructuras vocales que les permiten emitir sonidos característicos de cada especie para atraer a la hembra. Algunas especies depositan sus huevos en nidos espumosos, otras los depositan en la vegetación, colgando sobre el agua, y otros depositan sus huevos en porciones terrestres húmedas donde tienen un desarrollo directo sin pasar por un estado larvario acuático. Se distribuyen en todos los continentes a excepción de la Antártida, gracias a que pueden desarrollarse en diferentes hábitats como los son terrestres (arborícolas o desérticos) o en zonas semiacuáticas (Muñoz, et al., 2013).

Las especies *Xenopus laevis* e *Hyla eximia* pertenecen a la familia Pipidae y a la familia Hylidae respectivamente.



Reino: Animalia  
Phylum: Craniata  
Clase: Amphibia  
Orden: Anura  
Familia: Pipidae  
Género: Xenopus  
Especie: laevis  
Descriptor: Daudin (1802)

*Xenopus laevis* se considera exótica ya que es originaria del sureste de África y fue introducida en México a partir de poblaciones de California, de donde fue importado para su uso en laboratorios y en el mercado de mascotas. Habita generalmente en cuerpos de aguas cálidas estancadas rodeados de pasto (Álvarez-Romero et al., 2005). En su lugar de origen su dorso es de color gris olivo, café o gris mientras que su parte ventral es blanquecina o amarillenta (Garvey,

2001). Mientras tanto algunas de las poblaciones que se encuentran en México, son albinas por lo que su piel es de color blanco o amarillento, se sabe que el albinismo es una condición ocasionada por un gen recesivo heredado, en esta especie esta característica fue investigada por Hoperskaya en 1975 en Moscú, Rusia, sin embargo carecemos de estudios más recientes o enfocados a poblaciones de México. Es una especie forrajera pero igualmente puede ser carroñera, se alimenta en su mayoría artrópodos que captura mediante succión inercial; en anfibios acuáticos, este tipo de alimentación se compensa al expulsar el agua tragada por las branquias, al carecer de estas, los anuros acuáticos expulsan el agua por la boca, este proceso es llamado corriente bidireccional. Además para su alimentación utilizan la prensión de la mandíbula, extracción del antebrazo, patadas aéreas y estocadas terrestres (Vogt et al., 2017), ya sea mientras esperan debajo de troncos, rocas o vegetación o fuera del agua, además cuentan con línea lateral para auxiliarse (Masey, 1998).

Alcanza su madurez sexual en un tiempo de diez a doce meses, el proceso de reproducción puede darse hasta cuatro veces al año, no hay un periodo determinado sin embargo suele ser más común en primavera, el amplexo es de tipo pélvico y generalmente lo realiza de noche, las camadas suelen ser de cientos de huevos que eclosionan al cabo de treinta y seis horas. Para atraer a las hembras, los machos realizan vocalizaciones debajo del agua a las que ellas responden con otras de aceptación o rechazo (Lavín et al., 2014). Es esencialmente acuática pero su respiración es mayormente a través de pulmones por lo que suele salir algunas veces a respirar y solo sale del agua completamente cuando su cuerpo de agua se seca, puede llegar a recorrer distancias de 40 metros a 2 kilómetros (Measey, 2016), aunque en ocasiones puede llegar a pasar hasta diez meses estivando en espera de lluvias.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

Por otro lado *H. eximia* es nativa de México y Centroamérica, se encuentra a alturas que van de 910 a 2900 msnm, en la Sierra Madre Occidental del sur de Durango al suroeste de Tamaulipas, en el lado sur de la Cordillera Volcánica y la Sierra Madre del



Reino: Animalia  
Phylum: Craniata  
Clase: Amphibia  
Orden: Anura  
Familia: Hylidae  
Subfamilia: Hilineae  
Género: Hyla  
Especie: eximia  
Descriptor: Baird (1854)

Sur en Guerrero. Suele habitar sobre el pasto a orillas de charcas o zonas inundadas, en matorral y bosques de pino y encino, se ha reportado su presencia en bromelias sobre pinos (Duellman, 2001). Su dorso es de color verde brillante usualmente con un arreglo de líneas o puntos cafés y una franja lateral café oscuro (Nieto y Pérez, 1999), su piel es tóxica y puede irritar los ojos después de manipularse (Stebbins, 2003) . Su reproducción ocurre en verano al comenzar las lluvias de julio en cuerpos de agua poco profundos, estanques y arroyos de movimiento lento y tiene una duración de dos a ocho días, coloca sus huevos en racimos unidos a la vegetación en agua superficial y estos eclosionan en agosto. Su alimentación al menos en cautiverio se basa en moscas, chapulines y lombrices de tierra (Uribe-Peña et al., 1999).

En México el conocimiento general que se tiene sobre los anuros ha ido en aumento desde 1940, en su mayoría los estudios abordan temas relacionados a la ecología de estos organismos y descripciones de especies nuevas, en cuanto a estudios morfométricos se concentran en Sudamérica. En 2005 López y colaboradores, realizaron un estudio con una especie de rana a lo largo de tres enclaves en Argentina, en él se determinó que había diferencias en el tamaño de las tres poblaciones aun siendo estas de la misma especie. En 2011 Grenat y colaboradores, mediante este tipo de análisis encontraron diferencias significativas en seis variables entre dos especies de ranas de Argentina. En 2012, se realizó otro estudio a cargo de Guzmán y Salazar en el que se buscaba relacionar la morfometría y los hábitos alimentarios de veinte especies de ranas, determinando una tendencia de estas a tener presas más grandes si se cuenta con un cráneo más grande e igualmente a consumir menor cantidad si la mandíbula es larga. En 2013 se realizó la descripción de una nueva especie de rana en Ecuador por Brito y Pozo-Zamora

quienes determinaron gracias a la medición de distintas variables que se trataba de una especie del género *Pristimantis* y se asignó al subgénero *Hypodictyon*.

Para estudiar a estos organismos se pueden ocupar distintas técnicas. Una de las más utilizadas es el proceso de diafanización. Esta técnica ha sido de ayuda en diversos estudios osteológicos como el realizado por González-Acosta y colaboradores en 2014 en el que se tiñeron peces de cinco especies de gerridos para describir el hueso urohial. Por otro lado Díaz y Sánchez en 2015, realizaron la tinción de cuatro variedades de *ambystoma* con el propósito de describir las diferencias en la conformación ósea del esqueleto. Otro trabajo fue el que realizaron Rodríguez-Ibarra y colaboradores en 2017, en el que se utilizó esta técnica con motivo de describir el desarrollo de la columna vertebral y del complejo caudal de *Amphiprion ocellaris*.



### III. Antecedentes

En 2005 Jared y colaboradores investigaron la morfología de la cabeza de *Corythomantis greeningi* y su papel en la retención de agua en el organismo, ya que este anuro habita en ecosistemas semi secos del noreste de Brasil. En este caso la particular co-osificación de la piel del cráneo con los huesos subyacentes aunado al llamado phragmosis y a la propia morfología de la superficie del cráneo, cumplen la función de proteger al animal de los depredadores mientras este se encuentra oculto en agujeros.

En 2005 Rocková y Rocek investigaron el modo en que se desarrolló la pelvis y la parte posterior de la columna en anuros, para esto hicieron comparaciones entre el desarrollo de estas partes en siete especies pertenecientes a seis géneros representantes de los principales modos de locomoción, nado, salto, gateo y hurgoneo. Concluyendo que aunque el patrón general de desarrollo es el mismo, existen ligeras diferencias relacionadas al agua y a la vida terrestre.

En 2015 Chandramouli y Dutta llevaron a cabo una investigación en la que comparaban características del sistema óseo de 11 géneros de anuros de la India. En este trabajo la relación se establecía a través de la cercanía filogenética de los géneros, sin embargo se encontró una correlación entre el parecido morfológico y el hábitat de los organismos, en este caso para los géneros *Nyctibatrachus* e *Indosylvirana* cuyo hábitat se avoca a arroyos.

En 2016 Lires y colaboradores realizaron un trabajo cuyo objetivo era discernir entre caracteres filogenéticos y caracteres adaptativos, para con ello determinar el modo de locomoción del extinto anuro *Triadobatrachus massinoti*. En este caso llegaron a la conclusión de que las características de la extremidades se correlacionan a la forma de locomoción independientemente de las relaciones filogenéticas, siendo el modo de movimiento ondulatorio el más probablemente usado por este organismo.

En 2018 De Oliveira-Lagoa e investigadores presentaron un trabajo cuyo objetivo fue determinar si el tipo de hábitat podía influenciar la morfología de las estructuras tendinosas musculares en los miembros anteriores de anuros. Sus conclusiones muestran que un esqueleto ligero, dedos

largos y mano prensil son más comunes en ranas arbóreas, además de las placas sesamoidal y flexora ausentes y la presencia de un tercer metacarpiano con un nudo óseo.

I. *Hyla eximia*

Trueb en 1966 llevó a cabo la descripción del cráneo de *Hyla septentrionalis*. En este trabajo se realizó una descripción de partes de al cráneo así como también menciona las partes óseas, sin embargo hace énfasis en el proceso de osificación y en las fases del desarrollo del cráneo.

Hoyos y colaboradores en el 2012 realizaron una descripción osteológica de la especie *Hypsiboas pulchellus* mediante organismos teñidos con el objetivo de investigar la secuencia de desarrollo del esqueleto y con ello poder determinar estadios en anuros extintos. Además de una secuencia general de mineralización de los huesos, se concluyó que distintas piezas calcifican en periodos diferentes entre especies del mismo género.

II. *Xenopus laevis*

Trueb y Hanken en 1992 realizan una descripción del desarrollo del esqueleto postembrionario de organismos *Xenopus laevis* pertenecientes a la Universidad de Colorado. Las conclusiones más importantes son el origen de algunas piezas óseas del organismo, así como algunas características de estas.

Grandez y colaboradores en 2018, realizaron una descripción de *Pipa pipa*, otro anuro acuático, mediante radiografías. Los investigadores determinaron que las vértebras I y II se fusionan así como el sacro al urostilo, la cintura escapular es pseudo-firmisternal, además de que se concluyó que existe una relación entre las medidas del largo de la tibia-fíbula sumado al largo del pie con el largo corporal correspondió al 85%.

## IV. JUSTIFICACIÓN

Este tipo de estudios referentes tanto a anatomía descriptiva como comparada en anuros son escasos; sin embargo, con los antecedentes anteriores podemos hacer notar la importancia de los estudios morfométricos en cuanto a la investigación de la ecología, hábitos alimentarios, así como de la anatomía y relaciones entre los grupos de anuros, además de que han permitido



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

caracterizar aspectos particulares de la ontogenia y determinar la diversidad de los ciclos de vida (Quinzio et al., 2015). Consecuentemente, la estructura, disposición y capacidades de los órganos sensoriales, reflejan la ecología y modo de vida y ayudan a diferenciar del común de anuros terrestres (Solís, 2004). De acuerdo a diversos autores se conoce que las proporciones de los miembros están relacionados al tipo de locomoción (Lires et al., 2016) además distintas piezas óseas pueden ser utilizadas para discernir entre especies del mismo género como el ilion en el trabajo de Felix y Montori de 1986. En cuanto a otras ramas del conocimiento, las descripciones óseas son necesarias en disciplinas como la arqueología y la paleontología; en la primera para realizar colecciones de referencia, comparar piezas óseas y de esta manera determinar los hábitos y costumbres alimenticias de los pueblos (Sampson, 2003 y Quiroz y Martínez, 2014) y en la segunda para realizar reconstrucciones de piezas óseas incompletas halladas como registro fósil (Martínez-Solano y Sanchiz, 2005). Por lo que se sugieren la siguiente hipótesis y objetivo general:

### ***HIPÓTESIS***

---

La anatomía ósea de las especies *Hyla eximia* y *Xenopus laevis* serán diferentes en función de su hábitat.

### ***OBJETIVO GENERAL***

---

Describir y comparar anatómicamente el esqueleto de dos especies de rana, *Hyla eximia* y *Xenopus laevis* a través de la técnica de diafanización.

### ***OBJETIVOS PARTICULARES***

---

1. Describir el esqueleto de *Xenopus laevis* e *Hyla eximia*.
2. Comparación anatómica del esqueleto de *Xenopus laevis* e *Hyla eximia*.
3. Realizar un compendio fotográfico del esqueleto de las ranas *Xenopus laevis* e *Hyla eximia*.

## V. MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron 60 ranas verdes de la especie *Hyla eximia* y 39 ranas albinas de la especie *Xenopus laevis*, todas fueron conservadas en alcohol al 70%. Se tomaron las siguientes medidas morfométricas con un vernier:

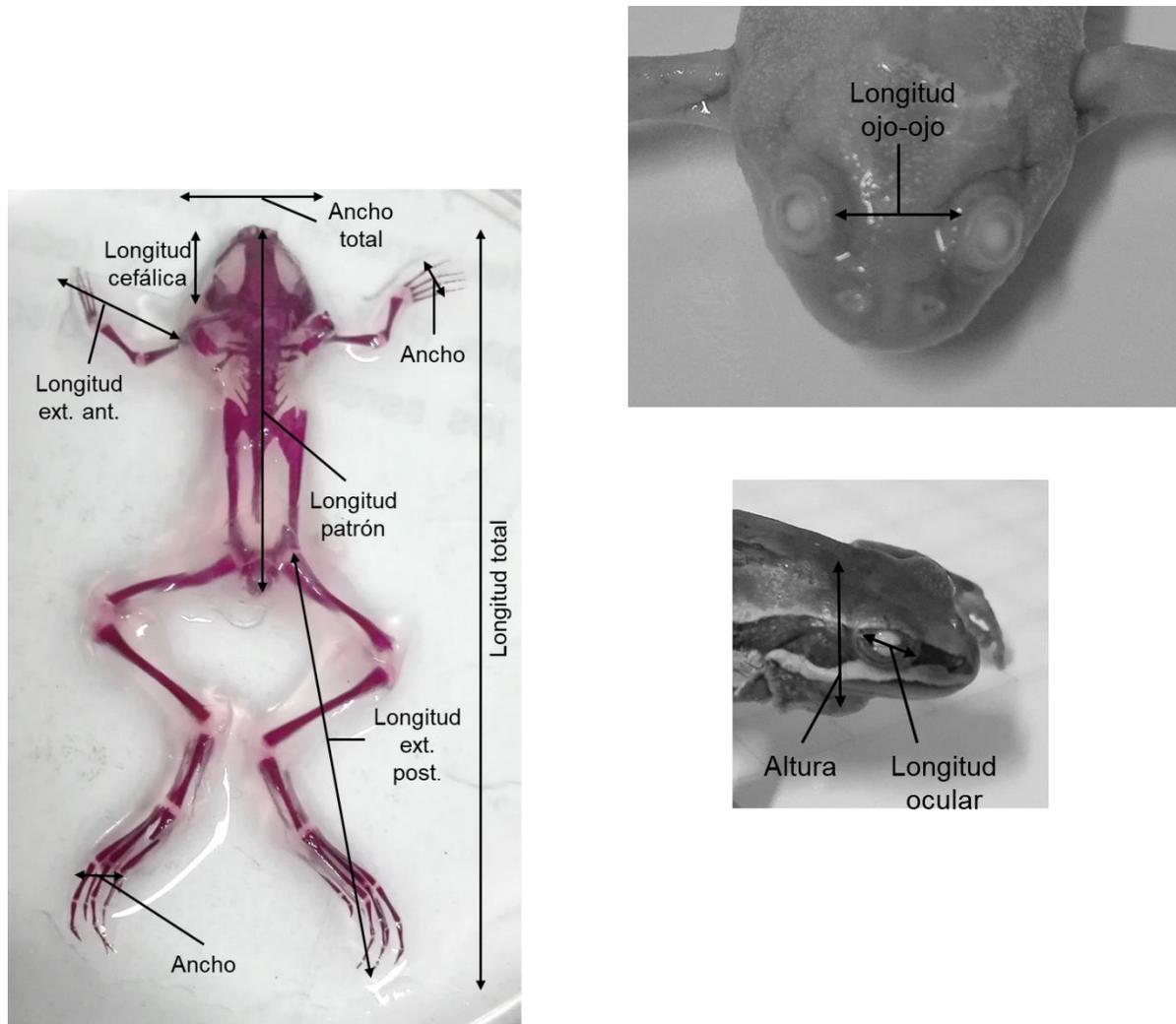


Figura 1. Esquema de medidas morfométricas registradas.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros "Rana de uñas" Xenopus laevis y "Rana verde" Hyla eximia*

Se registraron en tablas para su análisis mediante ANOVA. Posteriormente los organismos fueron sometidos al proceso de la técnica de diafanización, una vez terminado el proceso se tomaron fotos para la realización del compendio fotográfico y para la descripción y comparación del esqueleto de ambas especies.

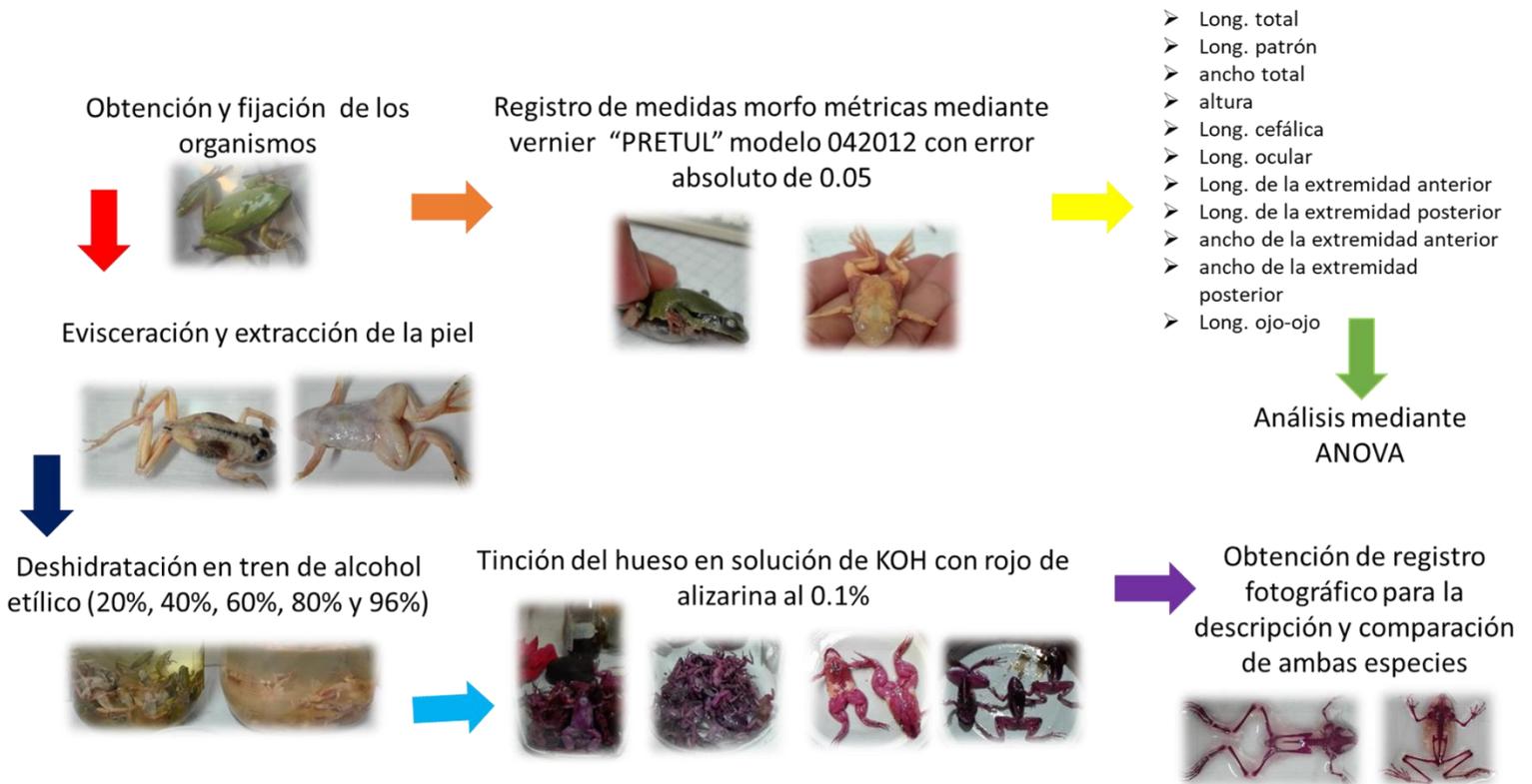


Figura 2. Esquema de los métodos realizados.

## VI. RESULTADOS

### A. Comparación de partes óseas

De las noventa y nueve ranas trabajadas fueron tomadas las siguientes medidas morfo métricas, con la finalidad de poder hacer una comparación entre las dos especies, los resultados se presentan en el Anexo 1.

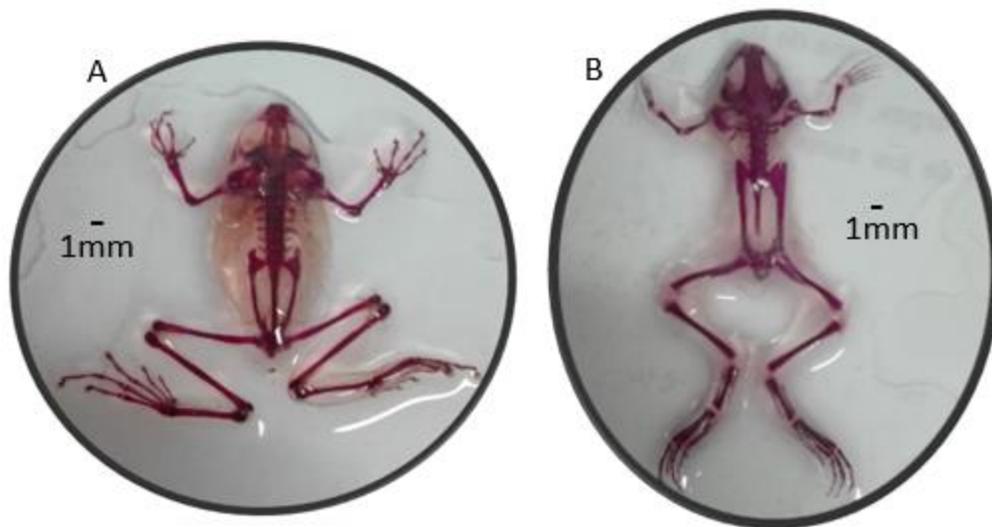


Figura 3. Organismos diafanizados A. *Hyla eximia* y B. *Xenopus laevis*.

En cuanto a la técnica se diafanizaron 99 ranas y se cuenta con un acervo de 1984 fotos que se dividen en cráneo, columna, cinturas pectoral y pélvica y extremidades; comenzando así su comparación.

En la siguiente tabla se presentan las partes óseas que se describirán, comenzando con el esqueleto axial; cráneo y columna vertebral, y continuando con el esqueleto apendicular; cintura pectoral y pélvica y extremidades. La nomenclatura está basada en dos trabajos principales, para *Hyla eximia* se utilizó el trabajo de Avilán y Hoyos del 2006 y para *Xenopus laevis* en el trabajo de Trueb y Hanken de 1992. Algunos huesos no se encuentran presentes en ambos esqueletos.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

Tabla 1. Listado de partes óseas observadas en *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*.

1	Premaxilar	21	Placa hioidea	41	Urostilo
2	maxilar	22	Proceso posterolateral	42	Húmero
3	Cuadradoyugal	23	Tirohial	43	Crista deltoidea
4	Nasal	24	Omosternón	44	Radioulna
5	Esfenetmoide	25	Procoracoide	45	Ulnar
6	Frontoparietal	26	Epicoracoide	46	Radial
7	Pterigoides	27	Sternum	47	Distal carpiano 3-4-5
8	Crista parietal	28	Clavícula	48	Elemento Y
9	Otocciopital	29	Coracoide	49	Distal 2
10	Vómero	30	Escápula	50	Prepollex
11	Palatino	31	Cleithrum	51	Metacarpianos
12	Parasfenoide	32	Supraescápula	52	Fémur
13	Mentomeckeliano	33	Ílion	53	Tibiofibula
14	Dentario	34	Crista iliaca	54	Tibial
15	Angulosplenio	35	Isquion	55	Fibular
16	Proceso coronoide	36	Acetábulo	56	Distal 2-3
17	prootico	37	Pubis	57	Elemento Y
18	Escamoso	38	Procesos transversos	58	Distal 1
19	Proceso anterior del hial	39	Vertebras presacras	59	Prehallux
20	Hial	40	Vertebra sacral	60	Metatarsianos

## 1. Esqueleto axial

A continuación se presentará las distintas estructuras óseas de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis* comenzando por el esqueleto axial conformado de cráneo, columna vertebral, vertebras y costillas.

## Cráneo

El cráneo es la estructura más importante del esqueleto porque es el responsable de proteger el cerebro de estos anuros, se compone de tres partes principales, esplanocráneo, condrocráneo y dermatocráneo. El primero de estos es el más antiguo, su primera aparición fue en los protocordados y su función era la de sostener las hendiduras faríngeas. El condrocráneo rodea y da soporte al cerebro. Finalmente el dermatocráneo se compone de huesos dérmicos. La formación de este último componente del cráneo puede variar de especie a especie. En el caso de *Hyla eximia*, no se encontraron artículos que tuvieran el cráneo como su objeto de estudio, sin embargo, tenemos como referencia el artículo de Trueb de 1966 en el que se analiza el cráneo de *Hyla septentrionalis*, una especie del mismo género. En ella se habla de que los nasales, frontoparietales y etmoides están fusionados con la piel de la cabeza, además de que su desarrollo se puede equiparar al de otros hylidos. En el caso de *Xenopus laevis* de acuerdo al trabajo de Slater y colaboradores en el 2009, se sabe que el este cráneo sufre cambios dramáticos en metamorfosis, ya que la estructura es muy distinta a la de organismos adultos, además los autores nos hablan de ciertas características como lo son el hueso frontal y parietal fusionado así como la presencia de dos suturas, una en la línea media que se fusiona antes de la metamorfosis y una posterior que permanece presente.

En la figura 3 se observa la vista dorsal del cráneo, a la izquierda *Hyla eximia*, de manera general se encuentran los huesos premaxilar, maxilar, nasal, esfenetmoides, frontoparietal, y occipital. En este caso los huesos que componen el cráneo están fusionados por lo que no fueron separados.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros "Rana de uñas" Xenopus laevis y "Rana verde" Hyla eximia*

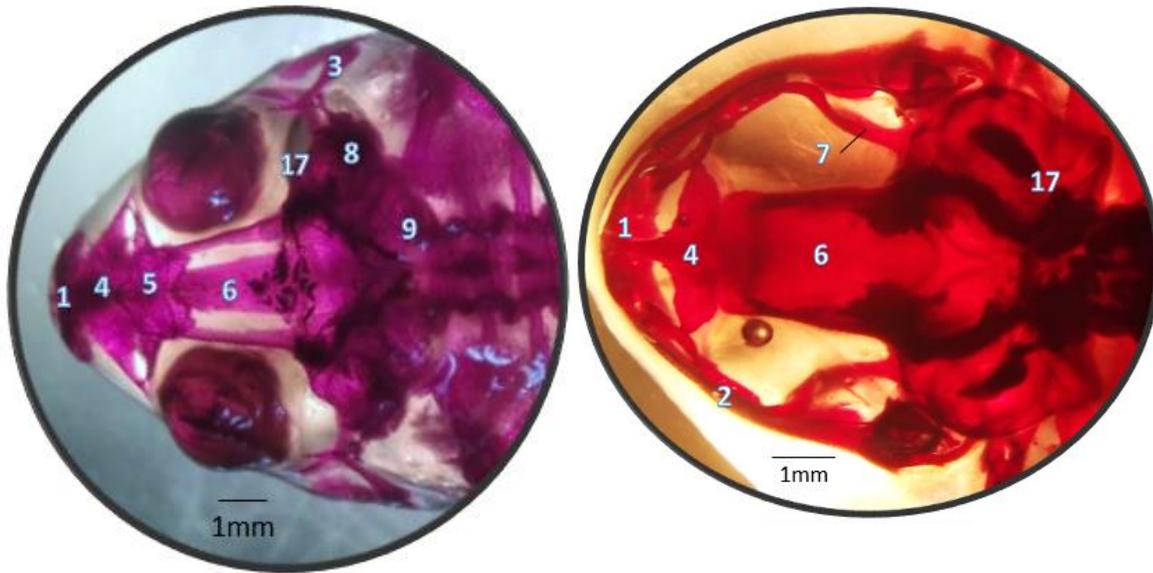


Figura 3. Cráneo de *Hyla eximia* (izq.) y de *Xenopus laevis* (der); 1. premaxilar, 2. maxilar, 3. cuadradoyugal, 4.nasal, 5.esfenetmoide, 6. frontoparietal, 7. pterigoides, 8.crista parietal, 9. otooccipital, 17. proótico.

El premaxilar (figura 4) es pareado y está completamente osificado, la zona que se junta al nasal es de forma cóncava, se acerca un poco en el centro y se extiende hacia arriba. El nasal se encuentra ligeramente encima del anterior y fusionado al esfenetmoides, el frontoparietal es más estrecho en la parte anterior que en la posterior. Los lados del hueso así como la parte central a lo largo se encuentran osificados mientras que las zonas medias no. La zona posterior del cráneo se compone de los otooccipitales y los proóticos, estos se hallan fusionados y bien osificados, el perímetro de los proóticos es de forma ondulada.

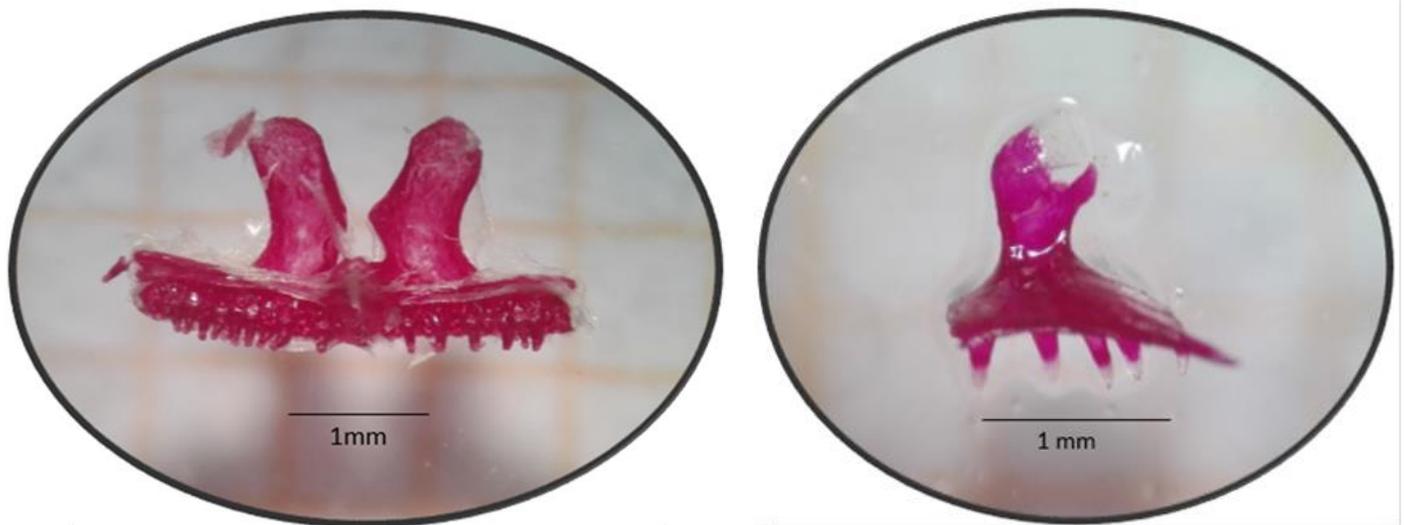


Figura 4. Premaxilar de *Hyla eximia* (izq.) y *Xenopus laevis* (der.).

En el lado derecho se observa el cráneo de *Xenopus laevis*, este es más largo que ancho. En este caso los huesos no se encontraban fusionados por lo que se separaron como se observa en la figura 5. En esta especie la región occipital es más grande, el frontoparietal está completamente osificado y el nasal (figura 5A) reposa sus extensiones alares en el esfenetmoides. Además de los huesos anteriormente mencionados, también se observan los pterigoides, los cuales forman las cuencas oculares extendiéndose desde la bóveda craneal hasta los maxilares. Enseguida se encuentra el frontoparietal que está completamente osificado; ahí se une el occipital y los huesos óticos que conforman el protoccipital del cráneo. Los palatocuadrados se extienden desde los óticos hasta llegar a la mandíbula superior.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros "Rana de uñas" Xenopus laevis y "Rana verde" Hyla eximia*

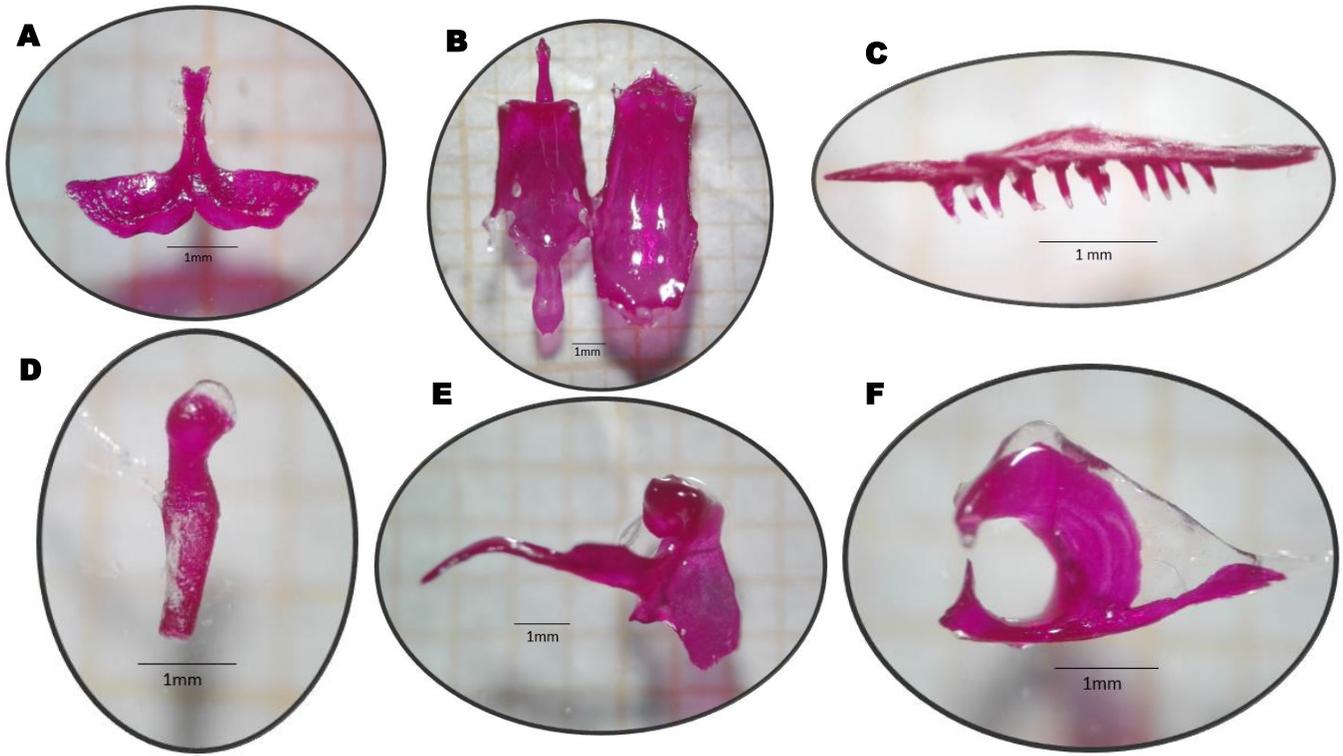


Figura 5. Partes óseas del cráneo de *Xenopus laevis*; A. nasal, B. parasfenoides y frontoparietal en vista ventral, C. maxilar, D. estribo, E. martillo y F. oído externo.

La vista lateral de los cráneos (figura 6) en el caso de *Hyla eximia* se muestran los maxilares y los porta dientes al igual que el premaxilar, en la parte anterior el hueso se extiende formando un proceso de forma rectangular a cada costado del cráneo, enseguida se encuentra el cuadradoyugal que se une al proceso coronoides mediante un cartílago. En *Xenopus laevis*, se

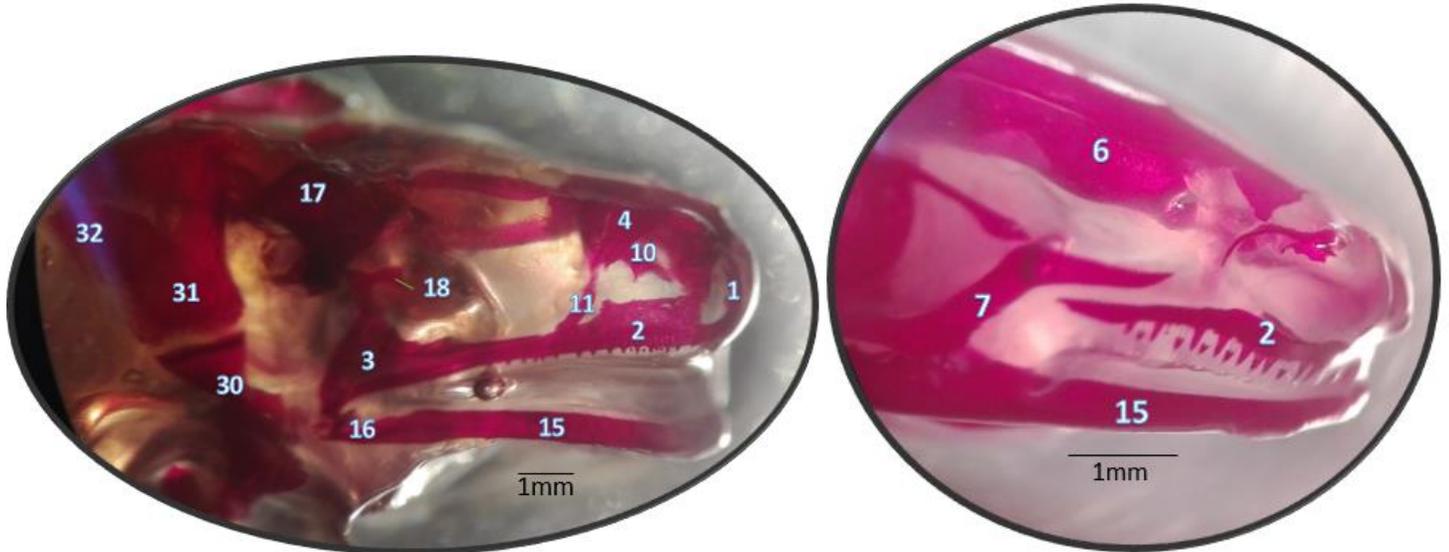


Figura 6. Cráneo de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*; 1. premaxilar, 2. maxilar 3. cuadradoyugal 4.nasal, 5.esfenetmoide, 6. frontoparietal, 7. pterigoides, 8. crista parietal, 9.otoccipital, 10. vómero, 11. palatino, 17. proótico, 15. angulosplenio, 16. proceso coronoides, 18. escamoso, 28. clavícula, 30.escápula.

observa el maxilar y el detalle de los dientes, estos no se encuentran completamente teñidos. La figura 5C presenta una fotografía del maxilar, los dientes son monocúspides y no están completamente teñidos, se presentan en una hilera a lo largo de todo el maxilar. A cada lado del cráneo en la zona posterior se encuentran los huesos que conectan el occipital con la mandíbula.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

En la figura 7 se puede observar la parte ventral del cráneo, de manera general se encuentran los premaxilares y maxilares así como el vómero, palatinos, esfenetmoides, parasfenoides y parte del frontoparietal. La imagen izquierda pertenece a *Hyla eximia*, podemos observar que la mandíbula completa todo el perímetro del cráneo hasta llegar a la base, por otro lado, los maxilares de *Xenopus laevis* se cortan a mitad de la longitud del cráneo. Además en *H. eximia*

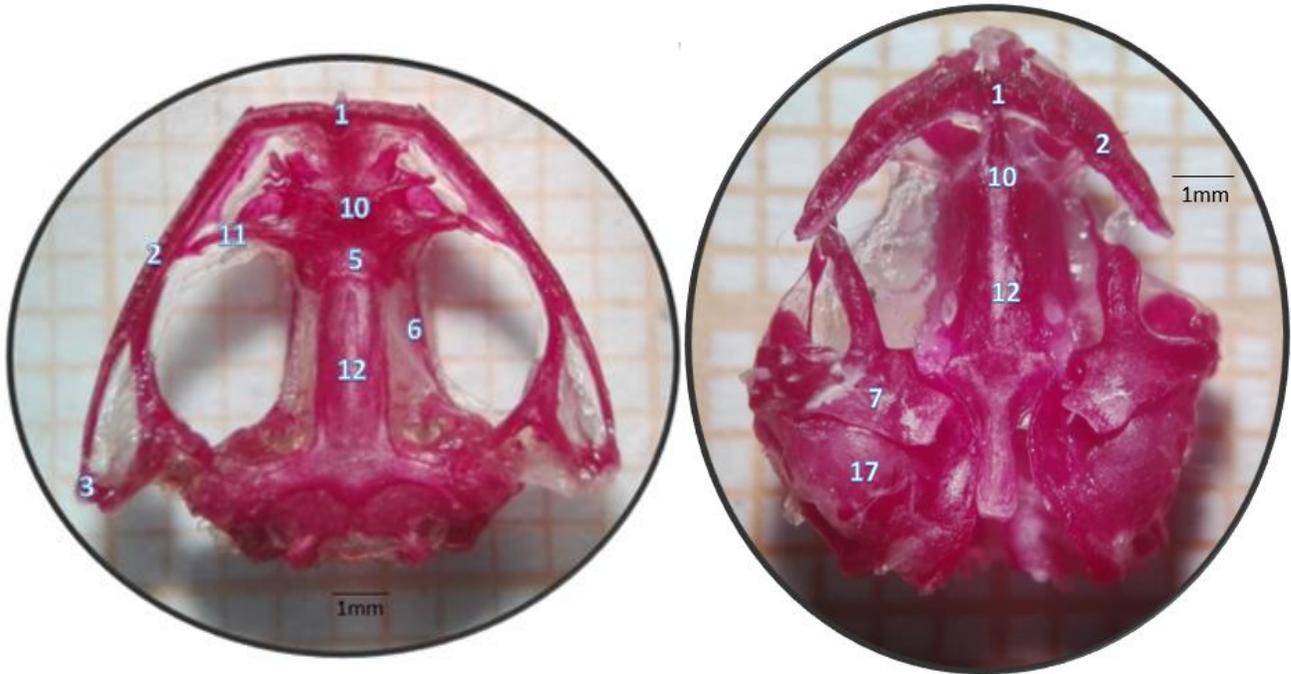


Figura 7. Vista ventral del cráneo de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*; 1. premaxilar, 2. maxilar, 3. cuadradoyugal, 5. esfenetmoide, 6. frontoparietal, 7. pterigoides, 10. vómero, 11. palatino, 12. parasfenoides, 17. proótico.

son notorios los huesos de las cuencas oculares lo cual no ocurre en la especie acuática, en esta destaca la zona de los prooóticos y los pterigoides, la cual ocupa aproximadamente la mitad posterior del cráneo (figura 8). El paraesfenoides, tiene forma de T invertida y cubre la parte ventral del frontoparietal, el proceso cultriforme es la parte más larga, abarca hasta la primera parte de la zona ventral del esfenetmoides, su extremo anterior es agudo y las alas a ambos lados alcanzan una parte del prooccipital, este hueso se encuentra fusionado a la parte ventral del frontoparietal. Finalmente los dos cóndilos occipitales se localizan en parte posterior del cráneo a una distancia entre sí de aproximadamente dos milímetros.

El vómero de *Hyla eximia* se observan en la imagen 9, es un hueso plano par de forma irregular, se amplía hacia ambos lados y se curva en los extremos formando una “U”, ahí se encuentran los dientes vomeriales acomodados en dos pequeñas líneas perpendiculares al eje del cuerpo

con alrededor de cuatro o cinco pequeños huesos que miden menos de un milímetro con forma esférica. A lado contrario, el vómero de *X. laevis* carece de dientes o de otras estructuras, posee únicamente dos orificios en la parte media y su extremo posterior es ligeramente ondulado. A continuación los palatinos se acomodan uniendo al frontoparietal con el maxilar, son huesos sumamente delgados de forma cilíndrica. La segunda imagen presenta el paraesfenoides, tiene forma de T invertida y cubre la parte ventral del frontoparietal, el proceso cultriforme es la parte más larga, abarca hasta la primera parte de la zona ventral del esfenetmoides, su extremo anterior es agudo y las alas a ambos lados alcanzan una parte del prooccipital, este hueso se encuentra fusionado al dorso del frontoparietal. Finalmente los dos cóndilos occipitales se localizan en parte posterior del cráneo a una distancia entre sí de aproximadamente dos milímetros.

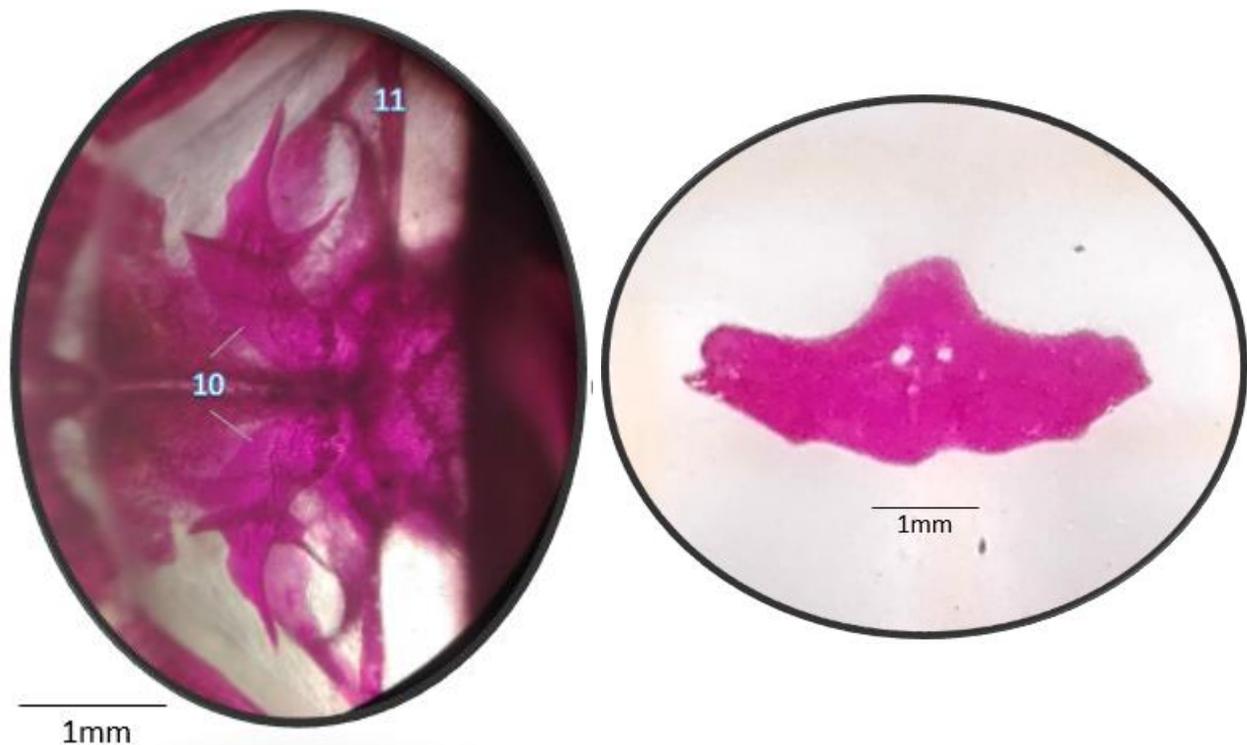


Figura 9. Vómero de *Hyla eximia* (izq.) y *Xenopus laevis* (der.); 10. vómero, 11. palatinos.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

En la vista ventral de la mandíbula inferior (figura 10), para *Hyla eximia* se observa el mentomeckeliano, es un hueso par en forma de tubo pequeño que conforma el extremo más anterior de la mandíbula inferior. Enseguida se encuentra a ambos lados el angulosplenio que se une mediante el cartílago de merckel, este hueso es de forma alargada y cilíndrica y carece de dientes, compone la mayor parte de la mandíbula inferior, la cual concluye con los procesos coronoides. *Xenopus laevis* no posee un mentomeckeliano por lo que la mandíbula inferior se

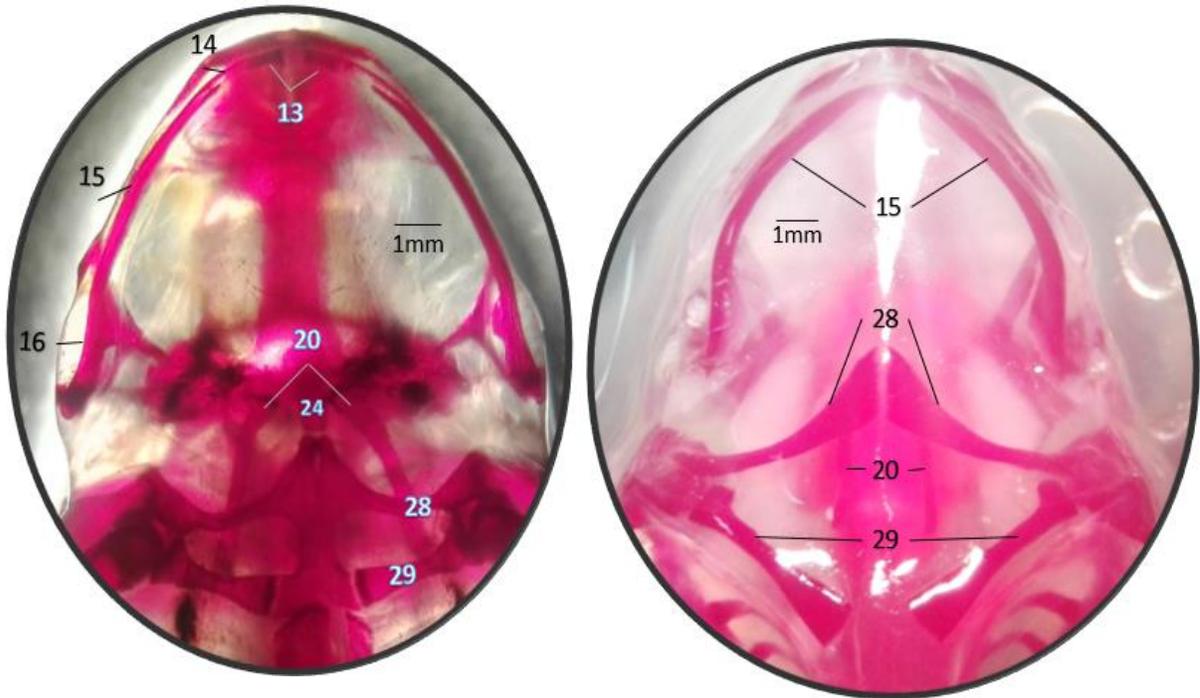


Figura 10. Mandíbula inferior de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis* en vista ventral; 13. mentomeckeliano, 14. dentario, 15. angulosplenio, 16. proceso coronoides, 20. tirohial, . 24. omosternón, 28. clavícula, 29. coracoides.

compone del angulosplenio y el proceso coronoides, ambos completamente osificados, enseguida se halla el aparato coracoidal; este es de tipo pseudo-firmisternal, las clavículas se extienden más allá del largo del cráneo, al contrario de la especie arborícola, y al extremo de cada una se encuentra la escápula fusionada y de un tamaño pequeño.

En la figura 11 se observa el aparato hioideo, el perteneciente a *Hyla eximia* puede observarse unido a la placa hioidea. Los huesos tirohiales son los únicos completamente osificados, en el lado posterior tienen un borde recto mientras que en el lado contrario su borde es ondulado. La placa hioidea está mínimamente osificada en la zona media, de esta placa se desprenden procesos anteriores y posteriores que tampoco se hallan osificados. Los tirohiales de *X. laevis* fueron extraídos de manera individual ya que el tejido al que se hallaban unidos no tenía partes osificadas. Se trata de dos huesos cilíndricos con bordes rectos, ligeramente más anchos en la parte posterior.

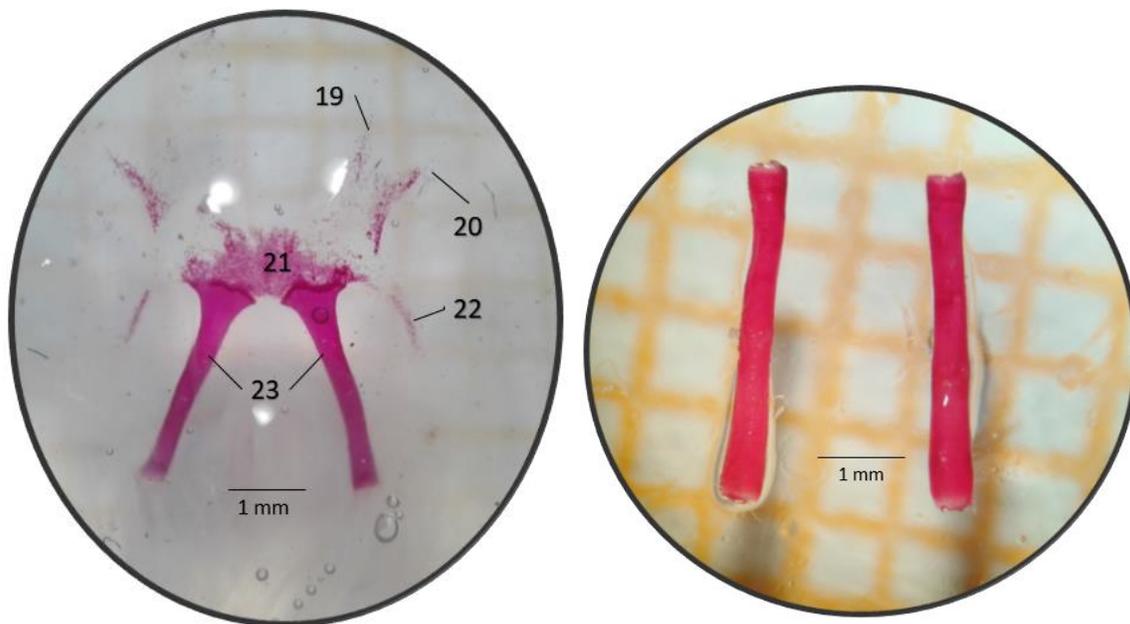


Figura 11. Aparato hioideo de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*; 19. Proceso anterior de hial, 20. hial, 21. placa hioidea, 22. proceso posterolateral, 23. tirohial.



## Columna

La columna vertebral da soporte y forma al cuerpo, en el caso de los anfibios esta estructura soporta las vísceras, las cinturas pectoral y pélvica además de que permite movimientos tanto laterales como dorsoventrales, cada vértebra se une de manera estrecha a la siguiente y posee focetas articuladas con capacidad de deslizarse y rotar en los extremos (Vitt y Caldwell, 2014). Las vértebras en general se clasifican de acuerdo a la si se encuentran sus elementos óseos se encuentran separados (aspidospóndila) o fusionados (holospóndila); por otro lado también se clasifican con respecto a la forma de los centros como acélica, anficélica, procelica, opistocélica y heterocélica.

En la figura 12 se observa la columna vertebral, en *Hyla eximia* es de tipo procélica, es decir que el extremo anterior es cóncavo y los cóndilos se ubican en la parte posterior de cada vértebra, y se compone de ocho vértebras presacrales. Todas las vértebras tienen procesos transversales; mientras que los del axis se dirigen hacia la parte anterior del cuerpo, a partir de la tercera vértebra estos adoptan una dirección posterior, para finalizar con los procesos de las tres últimas de nuevo se dirigen al lado anterior. Los procesos más grandes se encuentran en la vértebra III, son de forma triangular, en sus extremos más distales son más anchos y su borde tiene los ángulos ligeramente marcados como se ve en la imagen.

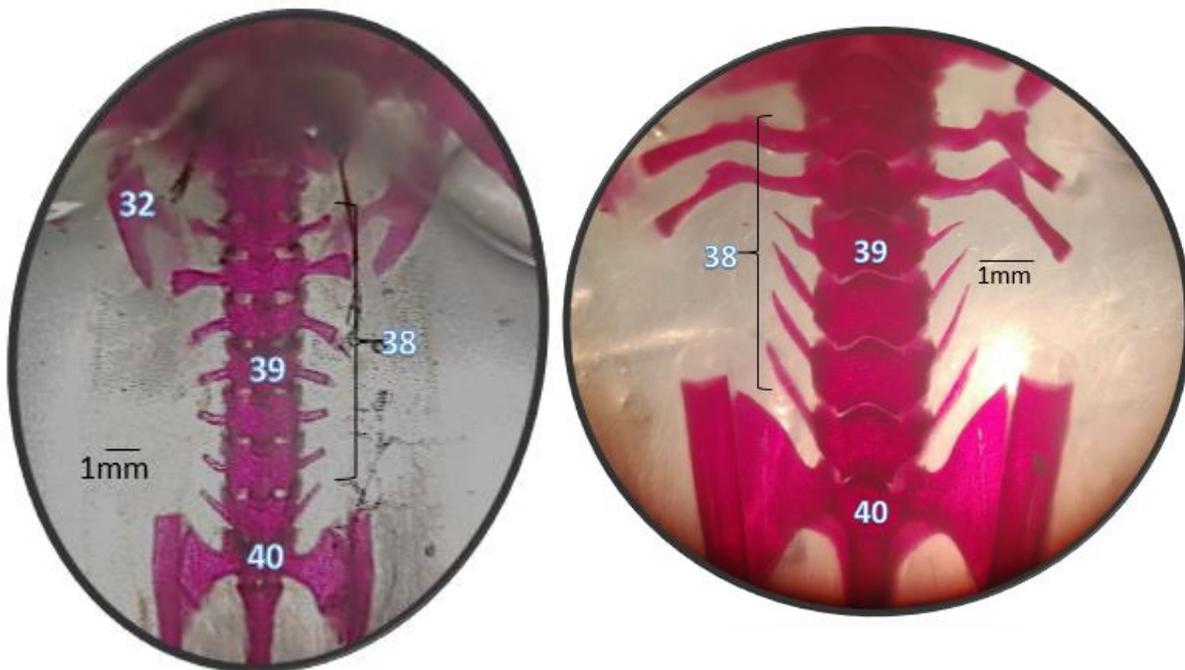
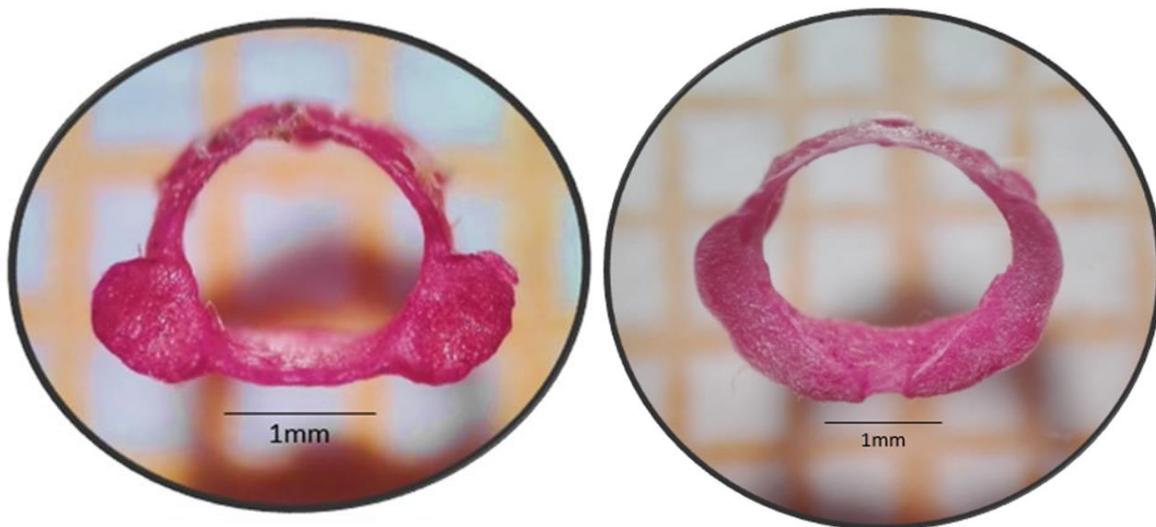


Figura 12. Columna vertebral de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*; 32, supraescápula, 38. procesos transversales, 39. vértebras presacrales, 40. vértebra sacral.

En el caso de *Xenopus laevis* se observaron siete vertebras en la mayoría de los organismos sin embargo también se notaron vertebras con divisiones casi completas en la parte ventral, dando lugar a ocho vertebras en lugar de siete (Anexo 2). Estas son de tipo opistocélica, el extremo posterior es cóncavo y los cóndilos se ubican en el anterior. Los procesos transversales más grandes se encuentran en las vértebras II y III, constan de un hueso largo que se curva hacia la parte posterior del cuerpo, los procesos siguientes son muy delgados y su dirección es anterior.

En la figura 13 se observan los atlas de ambas especies, la mayor diferencia recae en la forma de las fosetas, mientras que para *Hyla eximia* son ovaladas, para *Xenopus laevis* son alargadas. Además en la especie arborícola el tubérculo anterior no es muy prominente al igual que el posterior, en la parte posterior dorsal se hallan un par de huesos de poco tamaño que articulan con la vértebra siguiente, tienen forma de gancho y se acomodan de manera que sus extremos sobresalen hacia afuera. En la especie acuática el canal neural es amplio y el cuerpo óseo es delgado y en el lado posterior se observan cóndilos a ambos costados.

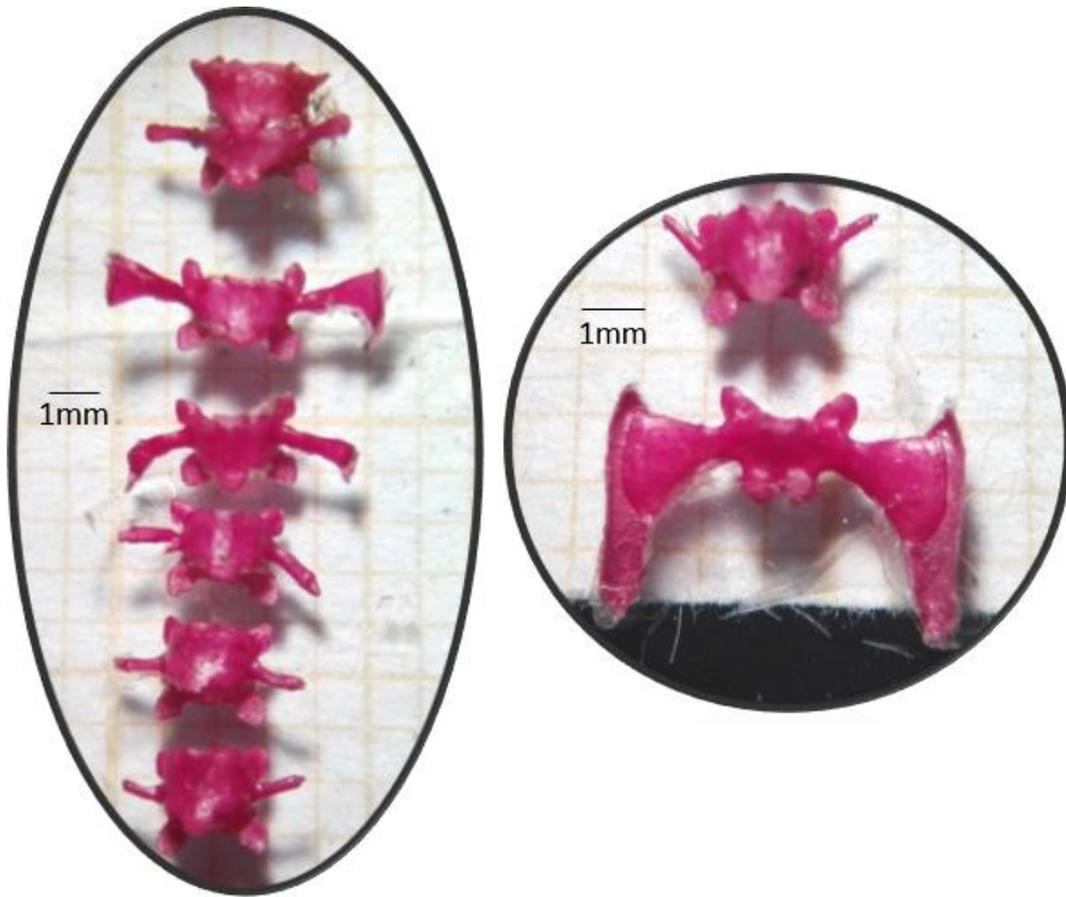


*Figura 13. Atlas de Hyla eximia y Xenopus laevis*

En la figuras 15 y 16 se pueden observar con mayor detalle las vértebras de ambas especies de manera separada



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros "Rana de uñas" Xenopus laevis y "Rana verde" Hyla eximia*



*Figura 15. Vértabras de Hyla eximia.*

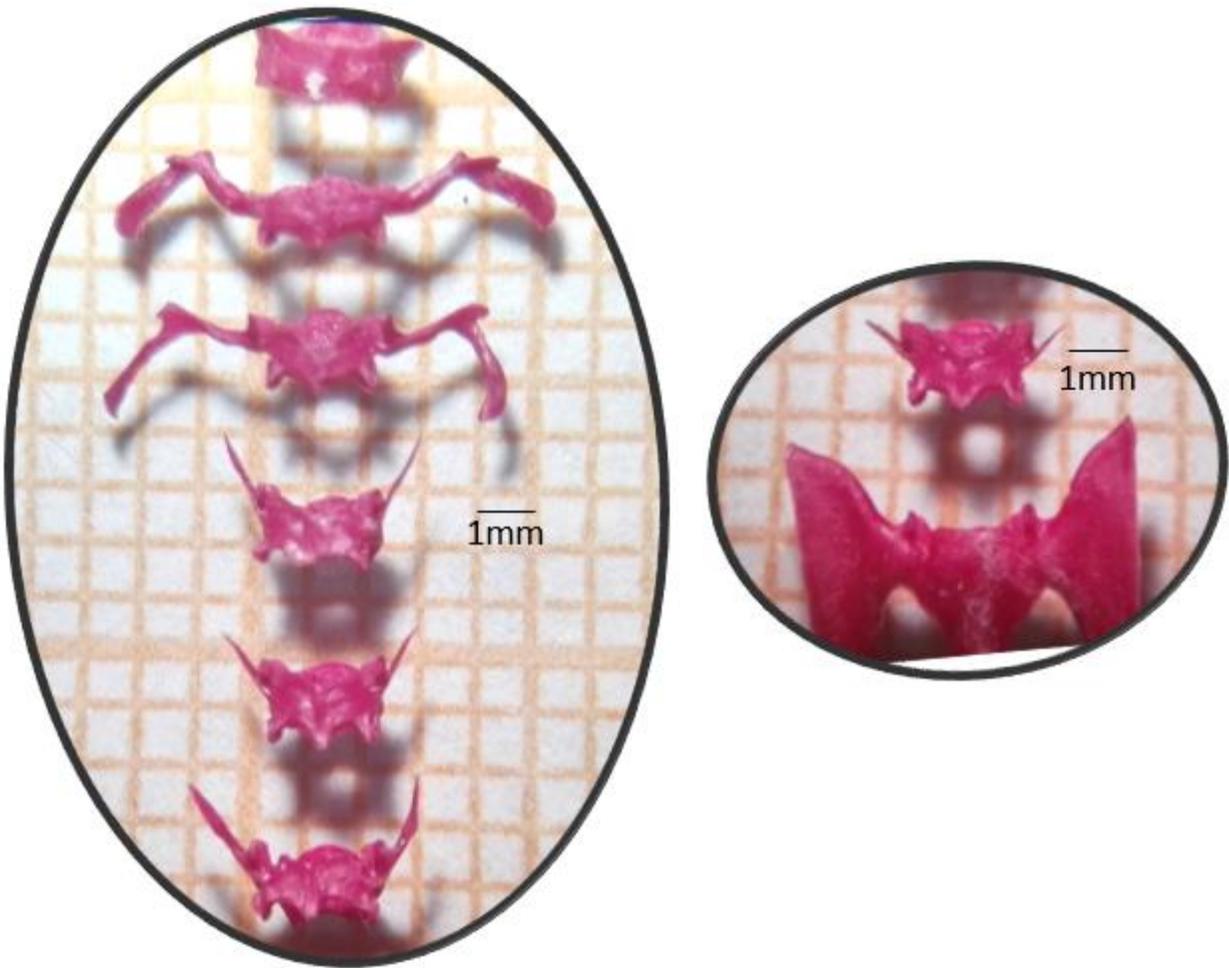


Figura 16. Vertebrae de *Xenopus laevis*,

Posterior a las vértebras se ubica el sacro, en la figura 17 se observa que en ambas especies este tiene forma de reloj de arena y es aplanado, sin embargo en el caso de *H. eximia* se encuentra separado del urostilo además de que es más corto al contrario de *X. laevis*, el cual está fusionado y es más largo. El urostilo es un hueso largo cilíndrico, en su parte proximal existen prolongaciones y en la final el borde es recto.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*



Figura 17. Sacro urostilo de *Hyla eximia* (izq.) y sacro de *Xenopus laevis* (der.).

## 2. Esqueleto apendicular

### Cintura pectoral

La cintura pectoral es la parte del esqueleto en que se insertan los miembros anteriores, en anuros se presentan dos tipos, la arciferal y la firmisternal, en general se componen de clavícula, coracoides, escápula, cleithrum y supraescápula la diferencia principal es que mientras que los coracoides en la cintura firmisternal de encuentran firmemente unidos en sus capas epicoracoidales, en la cintura arciferal estas capas están separadas y pueden sobreponerse izquierda sobre derecha o viceversa.

La cintura pectoral de *Hyla eximia* es de tipo arciferal y se observa en la figura 18, los huesos de la clavícula se curvan en dirección posterior formando medias lunas a ambos lados, los coracoides son más rectos pero se hacen más estrechos en la zona media, sus extremos tienen un color más oscuro que la parte central. El esternón está constituido de dos huesos aplanados al centro del cuerpo, la escapula está aplanada (figura 19), se une a la supraescápula mediante un cartílago, en esta parte la escápula tiene el borde recto mientras que del otro extremo se divide dando lugar a los sitios en donde se unirán la clavícula en el proceso anterior y el coracoides en el posterior. Su parte media es más delgada. El cleithrum y la supraescápula están completamente osificados, ambos son huesos planos de borde redondo.

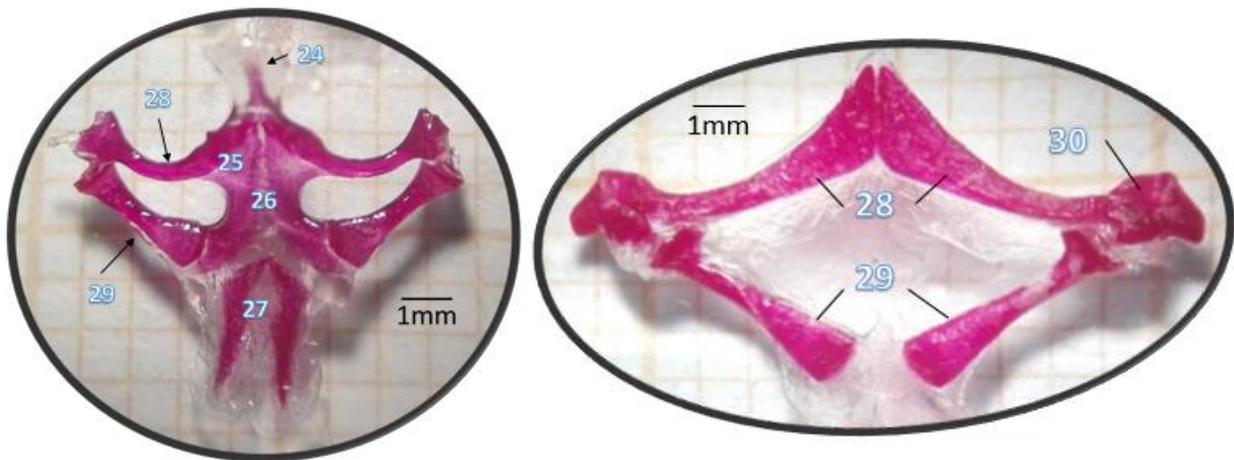


Figura 18. Cintura pectoral de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*:. 24. omosternón, 25. procoracoides, 26. epicoracoides, 27. esternón, 28. clavícula, 29. coracoides, 30. escápula

La cintura pectoral de *Xenopus laevis* (der) es de tipo pseudo-firmisternal, se encuentra unido en la parte anterior y en la posterior mediante los epicoracoides. Las clavículas son de un tamaño



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

mayor que los coracoides, están aplanados en la zona central, en los extremos de las clavículas se encuentran las escápulas, son de un tamaño mínimo en comparación con la clavícula y están fusionadas con ella. Los coracoides se unen a cada escápula pero no se unen uno con otro. En la figura 19 se observa la supraescápula de *H. eximia* (abajo), es de forma cilíndrica, de un extremo se aplanan mientras que el contrario se ensanchan. Se une al cleithrum y este se estrecha. El cleithrum de *X. laevis* es de gran tamaño y se abre hacia los extremos. .

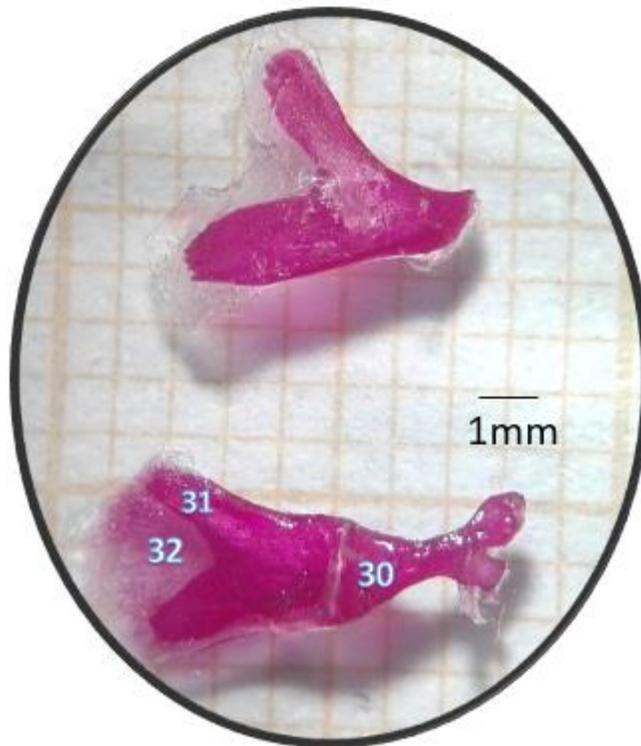


Figura 19. Aparato coracoidal de *Hyla eximia* 30. escápula, 31. cleithrum y 32. supraescápula.

## EXTREMIDADES ANTERIORES

Las extremidades tienen la función de entrar en contacto con el medio terrestre o acuático y así llevar a cabo la locomoción, igualmente auxilian al organismo en la captura de presas y la reproducción (amplexo). En general los miembros se componen de húmero, radioulna y extremidad, esta última se divide en carpos (huesos de la muñeca), metacarpos y falanges, es decir, los dedos. En la figura 20 se aprecian los húmeros, en ambos casos son huesos cortos y más o menos delgados, la diferencia principal es la presencia de la cresta deltoidea en *Hyla*

*eximia*, un hueso plano que se extiende desde el extremo proximal hasta alcanzar poco menos de la mitad de la longitud total. Además podemos observar que en esta especie el extremo proximal contiene la esfera que se insertará en la cintura pectoral, al contrario de *Xenopus laevis*, en este hueso ambos extremos son cóncavos. Una diferencia también presente en estos huesos se puede distinguir en la zona final del húmero de *Xenopus*, en esta se presenta una división del hueso como si se tratara de dos huesos fusionados, en esta zona se inserta la radioulna.

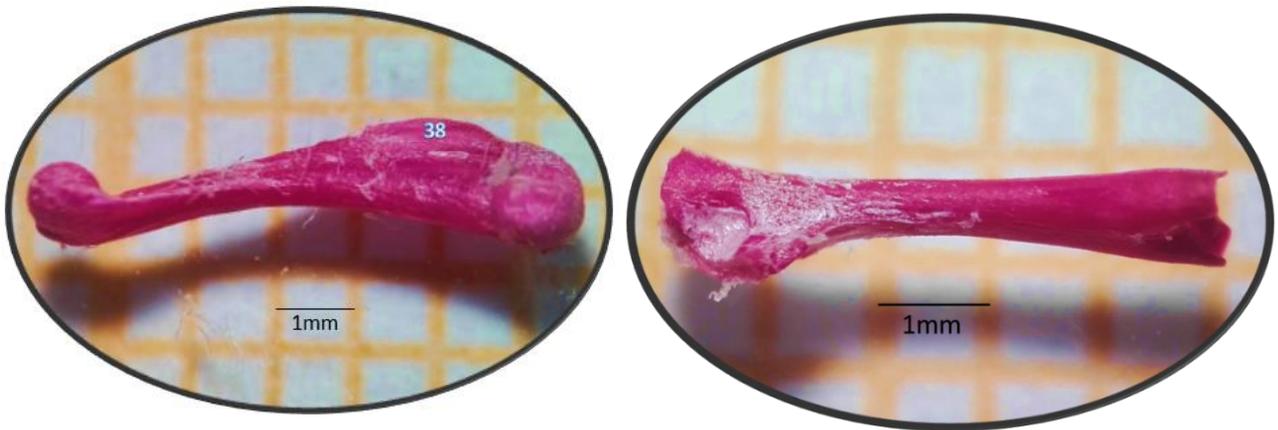


Figura 20. Húmero de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*; 38. cresta deltoidea

Esta se encuentra fusionada, en el caso de *Hyla eximia* (figura 21, arriba) es más delgada y sus bordes son redondeados, es esta la unión con el húmero se completa al insertar la esfera de este entre los espacios formados por la radioulna, al contrario de la especie acuática en cuyo caso los bordes son rectos y se nota más ancha, por lo que la unión es dependiente de un cartílago entre estos.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

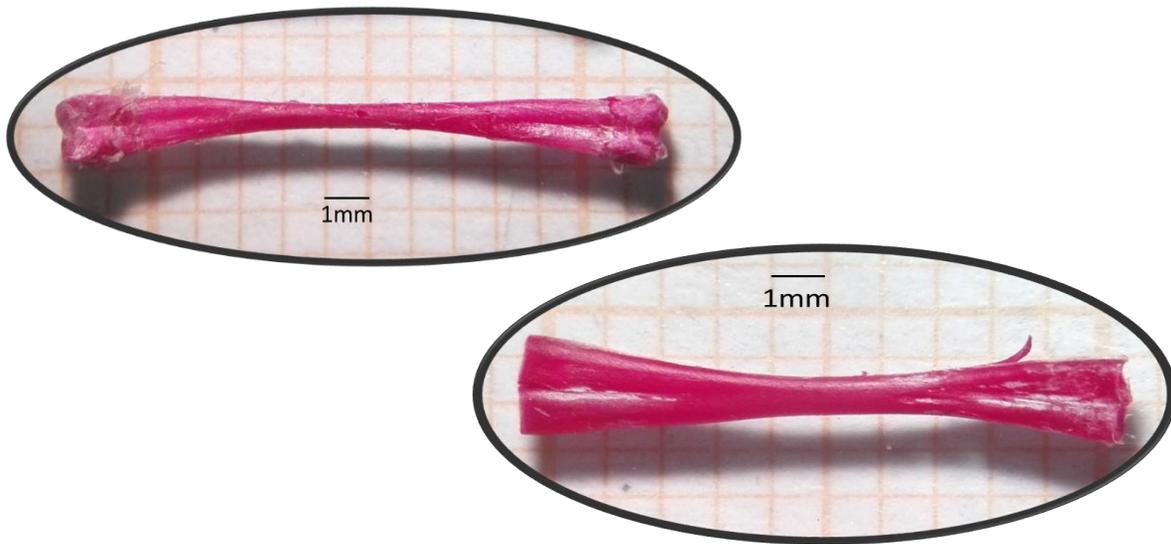


Figura 21. Radioulna de *Hyla eximia* (arriba) y de *Xenopus laevis* (abajo).

Enseguida a este hueso se encuentran las extremidades, cuentan con cinco elementos carpales, el más grande de ellos es el distal 3-4-5, enseguida el ulnar, el radial, el elemento Y y finalmente el prehalux, es de forma triangular y apenas visible debido a su ligera osificación. En *Hyla eximia* (figura 22 izq.) estos huesos son fácilmente visibles gracias a la tinción y al tamaño de estos, sin embargo en *Xenopus laevis* la tinción es mínima por lo que estos huesos no se observan con claridad. Los metacarpos son más anchos en los extremos que la parte central dando así una forma de reloj de arena, en total son cuatro dedos en los que el número de falanges es 2,2,3,3 respectivamente, las últimas son huesos pequeños que se insertan en las almohadillas que posee al ser una especie arborícola. En la imagen correspondiente a la especie acuática los metacarpos son delgados y casi mantienen en mismo ancho a todo lo largo del hueso, el número de falanges es 3, 3, 2, 2 respectivamente.

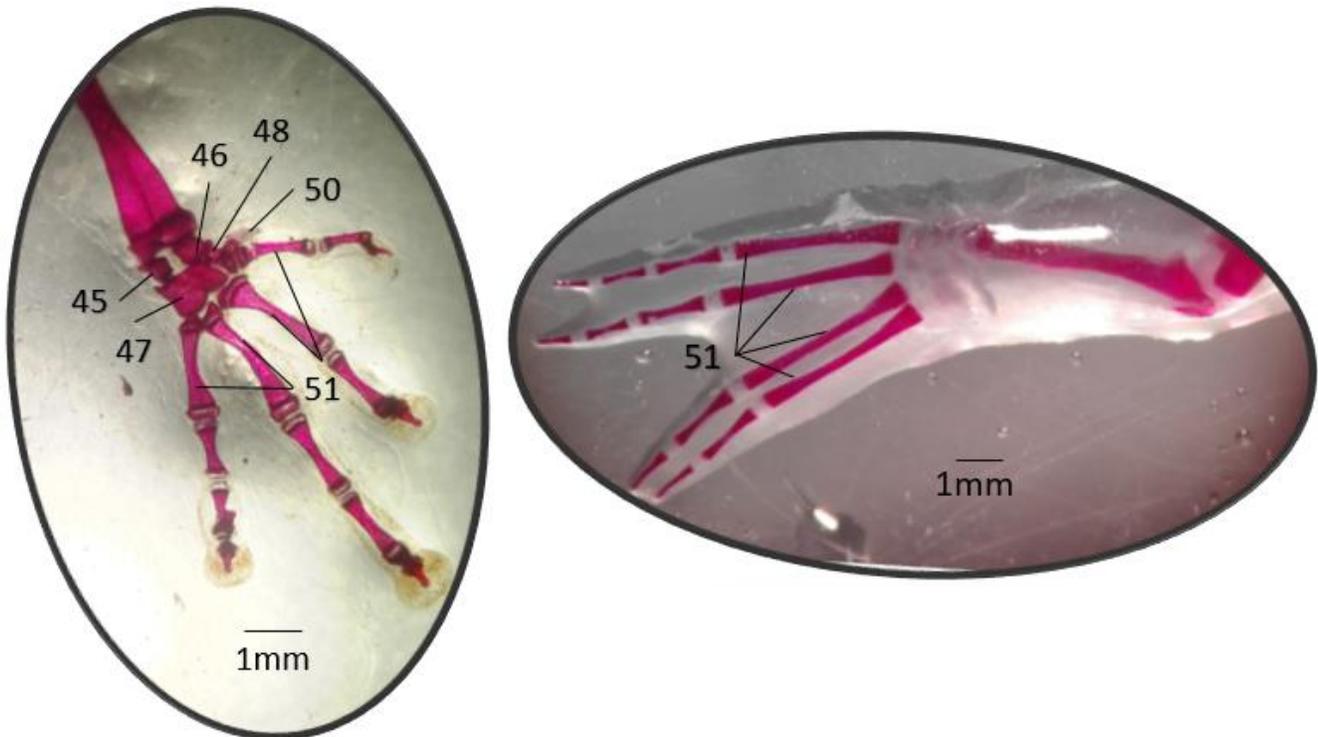


Figura 22. Extremidad anterior de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*; 45. ulnar, 46. radial, 47. distal carpiano 3-4-5, 48. elemento Y, 50. prepollex, 51. metacarpos. .

## CINTURA PÉLVICA

La cintura pélvica da soporte interno a los miembros inferiores y permite la locomoción, está compuesta por el acetábulo, el ílion y el isquion. En la figura 23 pueden observar los acetábulos de *H. eximia* (izq) y de *X. laevis* (der). Se observa que en el primer caso, este hueso es estrecho en su parte final, tomando una forma de “V” mientras que en la segunda imagen el hueso se ensancha más dando lugar a una forma más bien de “U”. En la imagen de la izquierda abajo los componentes están fusionados mientras que en la derecha están separados.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros "Rana de uñas" Xenopus laevis y "Rana verde" Hyla eximia*



Figura 23. Cintura pectoral de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*; 35. isquion, 36. acetábulo, 37. pubis.

## EXTREMIDADES POSTERIORES

Las extremidades posteriores al igual que las anteriores son necesarias tanto en la locomoción como en la captura de presas. De manera general se componen de fémur, tibiofíbula, y extremidad. Esta última divide en tarsos, metatarsos y falanges. En la figura 24 se observan ambos fémur, en *H. eximia* es delgado y alargado, igualmente se observa una ligera cresta en un lado del hueso, en *X. laevis* el hueso es más corto y ancho, los bordes también se hacen más grandes, no posee crestas visibles y destaca una curva más pronunciada en el largo del hueso.

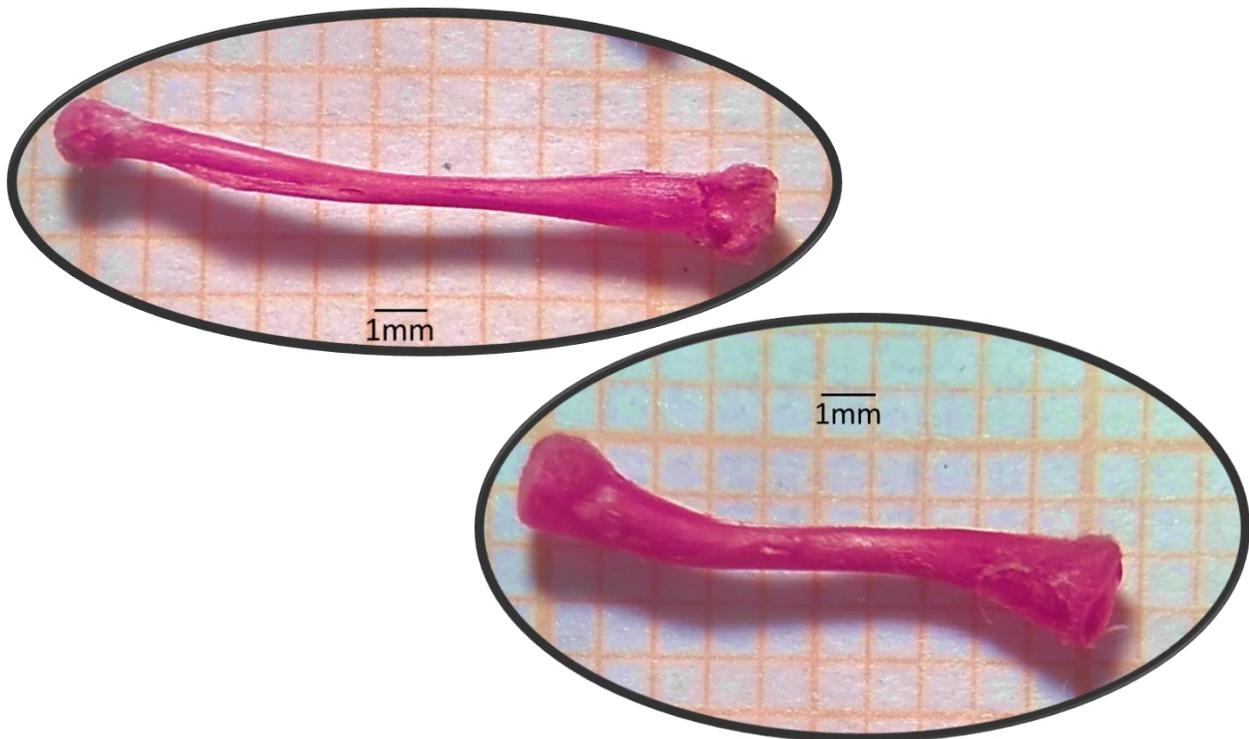


Figura 24. Fémur de *Hyla eximia* (arriba) y de *Xenopus laevis* (abajo).

La tibiofíbula en la figura 25 en *Hyla eximia* está fusionada en ambos extremos, y es muy larga. En la especie acuática, los huesos son más cortos y no están completamente fusionados, solo se encuentran unidos gracias al tejido y sus extremos están aplanados.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros "Rana de uñas" Xenopus laevis y "Rana verde" Hyla eximia*

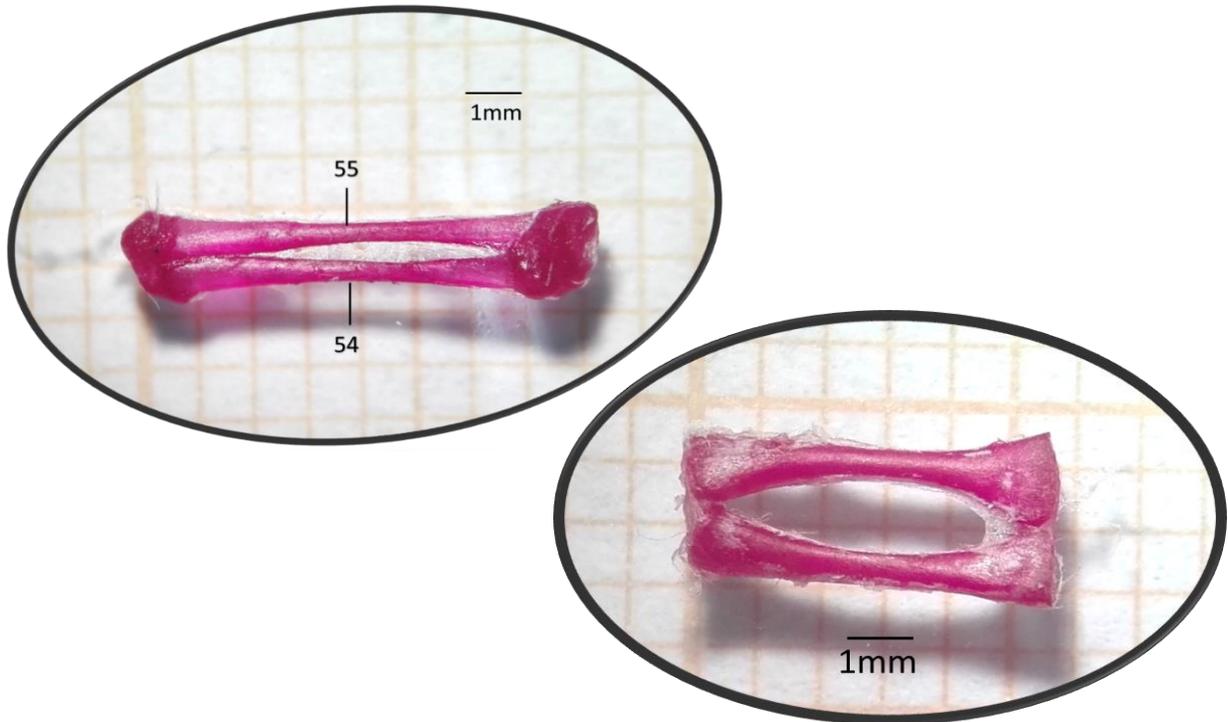


Figura 25. Tibiofibula de *Hyla eximia* (arriba) y de *Xenopus laevis* (abajo).

Enseguida las extremidades se encuentran en la figura 26, los tarsos no se observan en ambos casos, en *H. eximia* (izq.) los extremos de los metacarpos tienen mayor cantidad de tejido óseo, se aprecia gracias a que el color de esta parte es más oscuro, estos huesos son largos y delgados, las falanges son 2, 2, 3, 4, 3 respectivamente. En *Xenopus laevis* son más anchos y su color es uniforme a todo lo largo, las falanges poseen la siguiente fórmula 2, 2, 3, 4, 2.

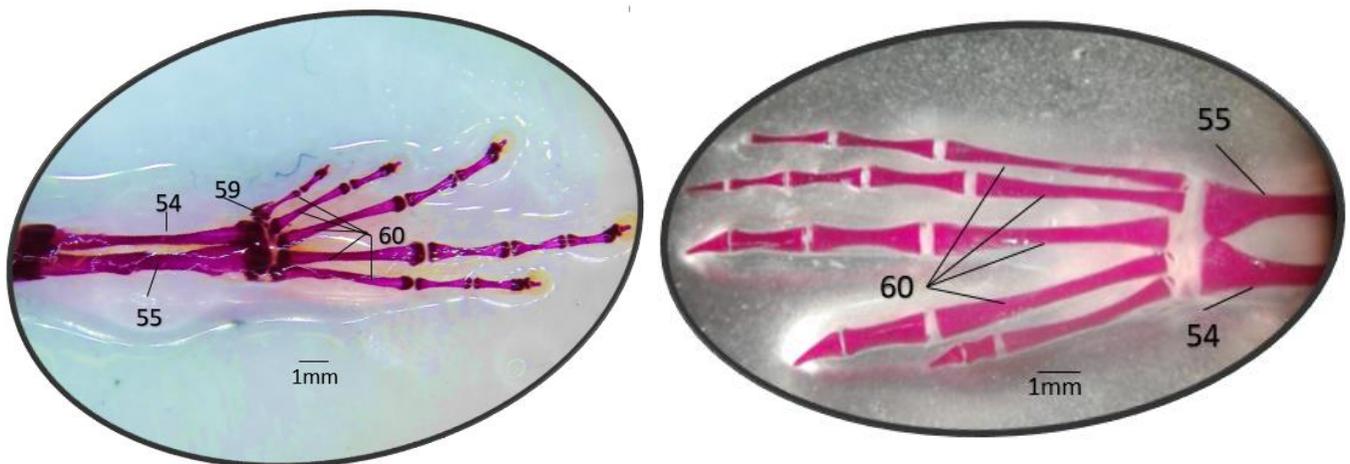


Figura 26. Extremidad posterior de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*; 54. tibial, 55. fibular, 59. prehallux, 60. metatarsianos.

## VII. Discusión

### A. Esqueleto axial

De acuerdo a los resultados obtenidos es evidente que existen diferencias en la estructura ósea de ambas especies. En primer lugar los datos del tamaño de la mandíbula se encuentran relacionados al tipo de alimento que aprovechan. Según Guzmán y Salazar en 2012 cuando la mandíbula es más ancha, los anuros tienden a comer organismos más grandes en menor cantidad a aquellos que poseen mandíbulas más cortas y estrechas. Como sabemos *Hyla eximia* es de hábitat arborícola y consume presas vivas, en este caso el hecho de que su mandíbula sea en promedio más ancha que larga favorece este tipo de dieta al permitir una mayor superficie. En el caso de *Xenopus laevis* su dieta puede componerse tanto de organismos vivos o incluso carroña, por lo que al no depender de presas vivas puede perfectamente atrapar su alimento con mandíbulas angostas.

En seguida otra diferencia marcada la tenemos en mandíbula inferior, en esta existen los mentomeckelianos. Estos huesos se encuentran presentes en la mayoría de los géneros de anuros sin embargo están ausentes en *Xenopus laevis* así como en otras especies del mismo género como lo es *Pipa pipa*, esto también fue reportado Grandez y colaboradores en 2018.

- Cráneo

Las diferencias entre ambos cráneos se refieren mayormente a la presencia o ausencia de ciertos huesos, el mentomeckeliano y los vómeros están claramente presentes en *Hyla eximia*. Las especies acuáticas en general carecen de estos dientes extra, cuentan con una cantidad no tan numerosa, lo cual podría estar relacionado al hecho de que no dependen de presas vivas por el contrario según estudios la gran parte de su alimento se compone de zooplancton (Measey 1998; Lobos 1998; Lobos et al. 1999). De manera general en anuros, la forma en que la lengua se retrae es un indicio de la dieta y forma de alimentación, *Xenopus laevis* carece de esta, por lo que su alimentación se basa en la succión y la sujeción con las mandíbulas, es decir que junto con el aparato respiratorio, la parte ósea juega un papel importante.

El oído es otra gran diferencia entre estas, esto deriva principalmente del medio en el que se desarrollan. En el aire la audición es directa entre las ondas de sonido y la membrana timpánica mientras que en el agua esto es imposible debido a que en ella el movimiento del organismo provoca demasiadas ondas de sonido por lo que se captan de manera directa. La información



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

consultada con anterioridad afirma que las *X. laevis* macho utilizan vocalizaciones para atraer a las hembras a las que estas contestan con vocalizaciones en otras frecuencias, este comportamiento hace determinante que los organismos posean un oído que les permita captar este tipo de sonidos bajo el agua que es donde se desenvuelven la mayor parte del tiempo. En el aire las ondas de sonido viajan con mayor lentitud que en el medio acuático (Ladish y Winkler, 2017) por lo que no se necesita un aparato auditivo tan desarrollado. Según una investigación de Mason y colaboradores en el 2009, el oído medio de *Xenopus laevis* carece de membrana timpánica, en su lugar posee un cartílago ubicado detrás del ojo, llamado disco timpánico.

Los huesos de la cámara craneal se observaron casi fusionados en *H. eximia*, este hecho puede estar relacionado con el hecho que de estos organismos se desplazan mediante saltos por lo que los huesos están expuestos a golpes y movimientos rápidos por lo que las estructuras firmes son más provechosas, por otro lado, los anuros acuáticos pasan la gran parte de su vida completamente bajo el agua, su desplazamiento es a través del nado y muy pocas veces de saltos. La región ocular en *X. laevis* se ubica en una zona parcialmente dorsal lo cual les permite mantener sus ojos al nivel de la superficie del agua de manera similar a los cocodrilos y caimanes.

- **Columna vertebral**

La columna vertebral difiere en ambas especies tanto en el número de vértebras como en la forma de estas además de que los procesos transversales también toman direcciones diferentes. En primer instancia la columna de *Xenopus laevis* tiene un número de vertebras que varía desde las cinco a las nueve vértebras; esto debido tanto a la ausencia de algunas piezas óseas como a la fusión del atlas con la segunda vértebra. Esto ha sido revisado por algunos autores a través de los años como lo es Ortega en el 2016, cuyo trabajo realizado en ranas en cautiverio resalta que las deformidades óseas de estos organismos están relacionadas a la enfermedad metabólica ósea. Lo cual da razón a pensar que los organismos de nuestro estudio al ser invasores no siguen la dieta que requieren sino una nativa, o por otro lado, las condiciones de cría en cautiverio no son las adecuadas.

En el caso de *Hyla eximia* al ser una especie nativa de México, su dieta es menos difícil de suplementar o de conseguir por el mismo, por lo que al menos en organismos los revisados, no fueron encontradas deformidades óseas determinantes.

En cuanto al urostilo, la fusión de este al sacro ha sido catalogada por diversos autores como una característica diagnóstica en algunos anuros (Pugener y Maglia, 2009).

## B. Esqueleto apendicular

- Cintura pectoral

Ambas cinturas son de diferente tipo, mientras que para *Xenopus laevis* es de tipo firmisternal para *Hyla eximia* es arciferal. Grandez y colaboradores dan referencias a experimentos cinematográficos que han servido para demostrar que la cintura pectoral de tipo arciferal se mueve el momento del salto en anuros no acuáticos, es decir, los cartílagos epicoracoides se mueven uno sobre otro cuando salen a tierra, mientras que en los anuros firmisternales se forma una sola placa la cual absorbe el golpe que recibe el organismo al dejar su medio acuático.

- Cintura pélvica

Las cinturas de ambas especies se diferencian principalmente en las separaciones presentes en ambas. Mientras que en *Hyla eximia* los huesos que la componen se encuentran fusionados, en *Xenopus laevis* estos pueden observarse por separado, entre ellos hay cartílago, lo cual podría implicar que las extremidades posteriores tienen una mayor libertad de movimiento de dependiendo si la articulación es de tipo sinovial o sinartrosis (Kardong, 1999). Lo cual es pertinente pensar gracias a que estos organismos se desplazan principalmente a través del nado, por lo que sus movimientos deben ser rápidos y dinámicos. Además de que también se favorecen gracias a que para protegerse de depredadores, utilizan movimientos regresivos para ingresar a cuevas.

- Extremidades

Las extremidades tienen diversas funciones en los organismos, en los anuros particularmente se encargan de la sujeción, tanto en el terreno como al momento de amplexo en el apareamiento, además de ayudar a conseguir alimento. En la alimentación existen al menos cinco movimientos que se utilizan, en el género *Hyla* el más común es de agarre mientras que en las especies acuáticas el paleo es el movimiento que se encuentra muy desarrollado (Gray et al., 1997), este es utilizado tanto para la captura de presas como para el transporte de estas, aunque al carecer de lenguas, los pípidos se valen principalmente de transporte hidráulico. Estas diferencias en las formas de alimentación se observan también en la morfología de sus extremidades; el primer hueso es el húmero, la mayor diferencia entre estos huesos en las especies analizadas recae en



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

la ausencia de la cresta deltoidea en *Xenopus laevis*, en esta zona se inserta el músculo deltoides, cuya función es la de dar mayor amplitud a los movimientos de la extremidad. . En anuros típicamente saltadores, esta cresta se encuentra muy desarrollada (Sigurdson et al., 2012). Permite que los anuros arborícolas puedan realizar saltos amplios y caer sin recibir daño en su cuerpo. Una carencia de esta estructura en el húmero de *Xenopus laevis* podría estar relacionada a su hábitat, en el que sus extremidades anteriores no reciben impactos tan fuertes al permanecer casi permanentemente bajo el agua, por lo que el desarrollo de esta estructura no se ve favorecido.

La radioulna está conformada por la fusión de dos huesos (radio y ulna). En ambas especies la fusión es bastante notoria sin embargo la diferencia más marcada se presenta en los extremos del hueso; mientras que para *Hyla eximia* el extremo es redondeado en *Xenopus laevis* los extremos se cortan de manera aplanada y recta, también es más corto.

La extremidad anterior de ambas especies difiere tanto en la zona de los metacarpianos como en las falanges. En el primer caso en *Hyla eximia* los metacarpos están claramente teñidos con el rojo de alizarina mientras que en *Xenopus laevis* la tinción de estos huesos es casi nula, lo que indica que se trata de cartílago. En principio podría deberse a que los individuos son jóvenes por lo que sus huesos podrían no haber calcificado aún. En el caso de las falanges las diferencias se abocan igualmente a la tinción pero en esta situación, las falanges de *X. laevis*, están teñidas de manera uniforme a lo largo del hueso, para *H. eximia* los huesos tienen regiones claramente más teñidas que otras como lo son los extremos, el reactivo utilizado tiene afinidad por los depósitos de calcio de la matriz extracelular (Meloan, 1972), por lo que la cantidad de color puede denotar una mayor concentración de calcio en estos sitios. De acuerdo a la forma, las falanges de *X. laevis* son delgadas y largas muy parecidas entre sí.

Según un estudio llevado a cabo por Lires y colaboradores, el largo de los huesos de las extremidades se relaciona a su tipo de locomoción, en el caso de los organismos que caminan saltando, las extremidades son relativamente cortas con fémures más largos que la tibiofíbula y tarsos proximales más cortos y gruesos que los de otros anuros. En este caso *Hyla eximia* contó con fémures de en promedio 1.3 cm, mientras que las tibiofibulas midieron 0.9 cm sin embargo los tarsos son más bien delgados. Esto se contrapone a las características de ranas saltadoras en las que la tibiofíbula es de mayor longitud pero coincide con que los tarsos proximales son delgados y alargados.

### VIII. Caracterización estadística de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*.

Las mediciones morfométricas realizadas a ambas especies fueron las indicadas en la tabla 1, siendo un total de 11 expresadas en cm.

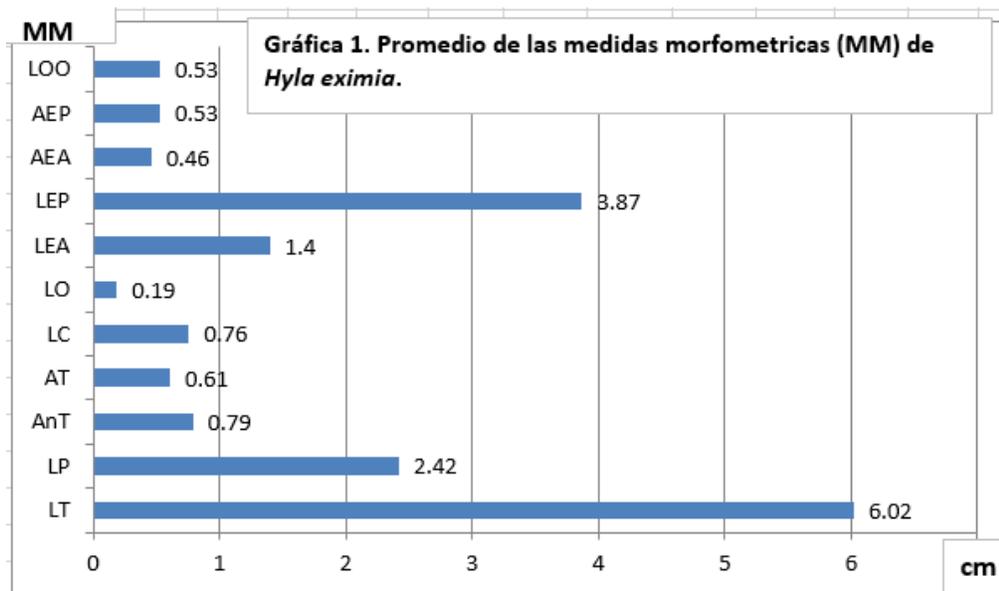
Tabla 1. Medidas morfométricas realizadas en <i>Hyla eximia</i> y <i>Xenopus laevis</i> (cm)	
Medida morfométrica	Abreviatura
Longitud total	LT
Longitud patrón	LP
Ancho total	AnT
Altura	AT
Longitud cefálica	LC
Longitud ocular	LO
Longitud extremidad anterior	LEA
Longitud extremidad posterior	LEP
Ancho extremidad anterior	AEA
Ancho extremidad posterior	AEP
Longitud ojo-ojo	LOO

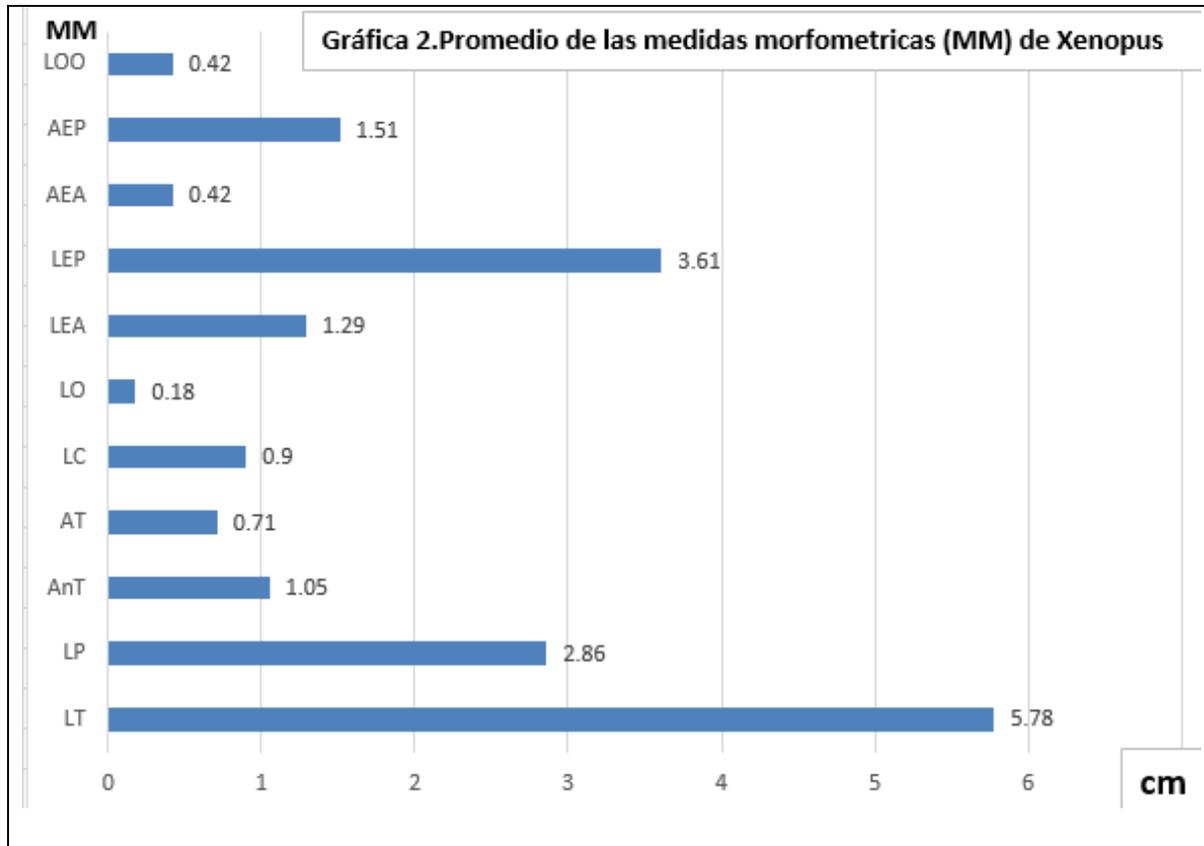
Se realizó una caracterización estadística tanto descriptiva como inferencial, considerando para la primera las medidas de tendencia central: media, mediana, moda y como medidas de dispersión: rango, varianza y desviación estándar, con los valores de las medias se realizaron los cálculos de las razones geométricas: LT/LP, LT/AnT, LT/AT, LT/LC, LEP/LEA, LC/LOO, con el fin de mostrar el número de veces que una medida morfométrica está presente en la otra. En lo referente la estadística inferencial, se aplicó el estadístico t student ( $\alpha=0.05$ ) para mostrar si hay diferencia significativa en varias medidas morfométricas de ambas especies y finalmente se realizaron varias ecuaciones alométricas ( $Y=b_0X^{b_1}$ , Y,X son las medidas morfométricas seleccionadas) con el fin de obtener modelos de predicción de varias medidas morfométricas, enfatizando aquellas cuyos coeficientes de determinación fueran de 0.9 en adelante, por el nivel de confianza de la predicción del modelo.



## A. Resultados estadísticos

El énfasis en la descripción de algunas de las 11 medidas morfométricas, se consideró por evidenciarse contrastes significativos en estas estructuras del esqueleto apendicular, como es el caso de las extremidades anteriores versus las posteriores. En ambas especies son notorias las longitudes de sus extremidades posteriores versus las anteriores, en *Hyla eximia* la media de la longitud de las extremidades posteriores fue de  $3.87 \pm 0.48$  cm y de *Xenopus laevis*  $3.61 \pm 0.31$  cm, mientras que la longitud de sus extremidades anteriores fue de 1.4 cm y 1.3 cm respectivamente, esto es la LEP es casi tres veces la LEA, para *H. eximia* y 2.8 veces para *X. laevis*. La longitud craneal en *Xenopus laevis* es de 0.9 cm versus 0.7 cm de *H. eximia*, un ligero incremento de 2 mm de la primera con respecto a la segunda. El ancho promedio de la extremidad posterior de *Hyla eximia* fue de 0.53 cm, mientras que la de *Xenopus laevis* fue de 1.51 cm, 0.98 cm más que la primera (Gráfica 1 y Gráfica 2). El coeficiente de variación de estas medidas morfométricas. Los %CV para la LEP fueron de 12.37% para *H. eximia* y 8.5% para *Xenopus laevis*.



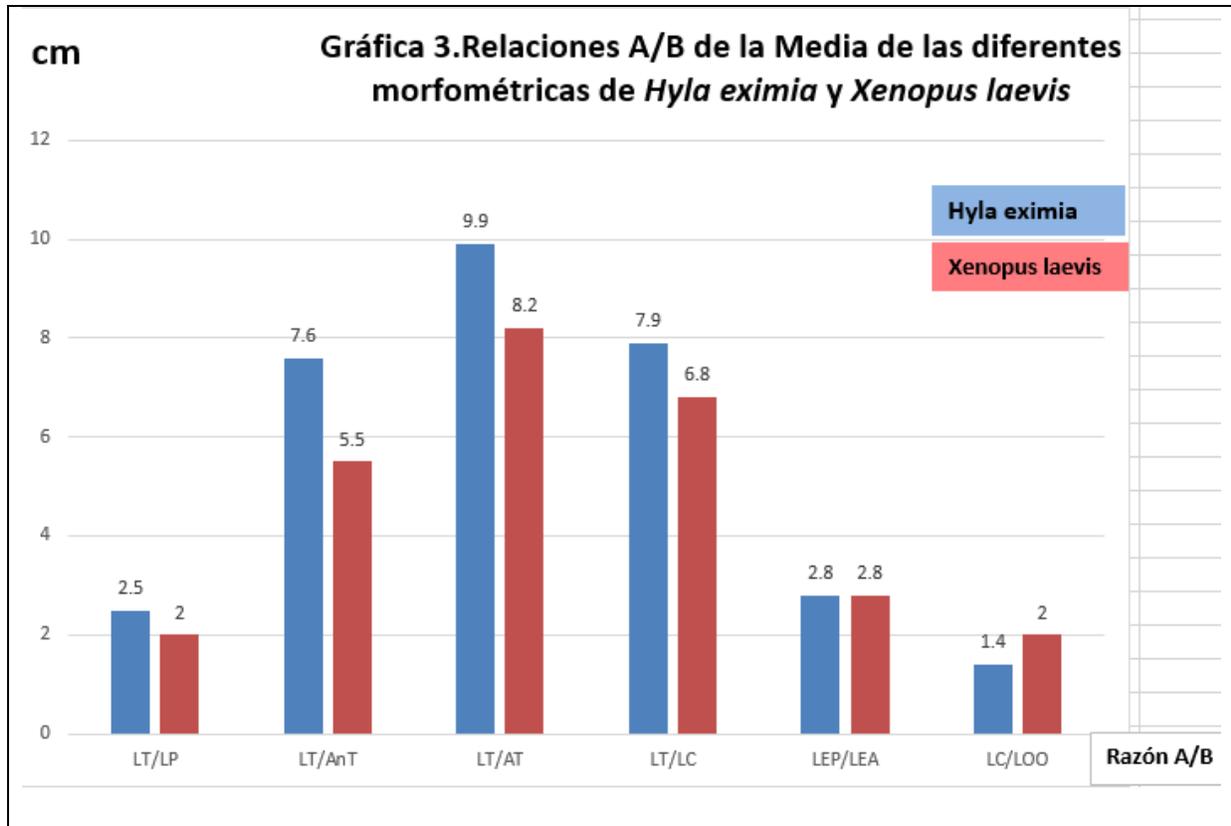


Las razones A/B mayores se manifestaron en *H. eximia* comparado con *Xenopus laevis*. En esta especie se resaltan la LT/AT de 9.9, es decir la AT cabe casi 10 veces en la LT; coincidieron ambas especies en el cociente LEP/LEA con un valor de 2.8 (Tabla 2, Gráfica 3).

	<i>Hyla eximia</i>	<i>Xenopus laevis</i>
LT/LP	2.5	2
LT/AnT	7.6	5.5
LT/AT	9.9	8.2
LT/LC	7.9	6.8
LEP/LEA	2.8	2.8
LC/LOO	1.4	2



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*



La comparación de las 7 medidas morfométricas, habiendo aplicado la prueba de t Student con un  $\alpha=0.05$  mostró que sólo el caso de la LT indica que no hubo diferencia significativa en las medias de la longitud total, por lo que no nos permite diferenciar a ambas especies. Las 6 restantes comparaciones si mostraron diferencias significativas entre las medias de las citadas medidas morfométricas las cuales fueron: LEA, LEP, AEP, AnT, LC Y LOO, lo cual se hace evidente al observar y describir anatómicamente a los organismos (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medidas morfométricas de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis* a través de la aplicación de t Student ( $\alpha=0.05$ ),  $t_c=1.98$  con 97 g.l. bilateral.

No.	Medida Morfométrica comparada	Valor de to	Condición de la Ho
1	Longitud Total	1.87	Aceptada
2	Longitud de Extremidad Anterior	3.09	Rechazo

3	Longitud de Extremidad Posterior	2.97	Rechazo
4	Ancho Extremidad Posterior	-29.8	Rechazo
5	Ancho Total	-9.00	Rechazo
6	Longitud Cefálica	-3.35	Rechazo
7	Longitud Ojo-Ojo	4.3	Rechazo

Finalmente de las 5 ecuaciones alométricas para *Hyla eximia* dos de ellas tuvieron un R2 de 0.92 y 0.97, lo cual permite predecir el valor de una de las variables con respecto a la otra con un 92% y 97%. Para *Xenopus laevis* las asociaciones LEA vs LEP; LT vs LP; LP vs AT tuvieron valores de R2 de 0.94; 0.95 y 0.91 respectivamente; valores aceptables para la predicción de una de las variables.

Tabla 4. Ecuaciones alométricas de <i>Hyla eximia</i> y <i>Xenopus laevis</i> . Las abreviaturas indican las variables relacionadas.				
No.	<i>Hyla eximia</i>		<i>Xenopus laevis</i>	
	Ecuación alométrica	R2	Ecuación alométrica	R2
1	LEP=2.8612LEA0.9025	0.92	LEP=2.9477LEA0.808	0.94
2	LO=0.2765LC1.3804	0.74	LO=0.2255LC1.4568	0.88
3	LP=0.3668LT1.0506	0.97	LP=0.6437LT0.8505	0.95
4	AT=0.1647LP1.4761	0.75	AT=0.1473LP1.488	0.91
5	LOO=0.7687LC1.4315	0.80	LOO=0.5389LC1.7199	0.80

Esta caracterización muestra una concordancia con la revisión anatómica de los anfibios en cuestión por lo que se logra una descripción más completa.



## IX. Conclusiones

Se describieron ambos esqueletos; en primera instancia el esqueleto axial, el cual comprende el cráneo y la columna vertebral y en segunda, el esqueleto apendicular, es decir, cinturas pectoral y pélvica y extremidades anteriores y posteriores. Cada hueso se identificó para facilitar su ubicación en las fotografías.

En conjunto con la descripción, cada hueso de la especie arborícola fue comparado con su correspondiente en la especie acuática, tomando en cuenta forma, tamaño y ubicación. De manera general las características del sistema óseo de *Hyla eximia* son provechosas en su medio, su cráneo más ancho que largo le facilita la captura de presas vivas, su cintura pectoral de tipo arciferal le permite un mayor rango de movimiento por lo que su desplazamiento ya sea en medio arborícola o en el sustrato es facilitado, algo parecido en el caso de sus extremidades las cuales son largas y delgadas, una condición que garantiza el desplazamiento mediante saltos. En el caso de *Xenopus laevis* ocurre de manera similar, la forma de este anuro es triangular, sus extremidades posteriores son más grandes que las anteriores y su cintura pélvica posee cartílago entre sus partes lo que puede sugerir una mayor capacidad de movimiento de tipo paleo, una característica útil en el medio acuático ya sea para el nado, para captura de presas o para ocultarse en huecos en las charcas. Sin embargo, al no depender de presas vivas, una mandíbula más estrecha es igualmente funcional. En cuanto a los estadísticos se obtuvieron ecuaciones predictivas en la relación longitud patrón vs longitud total con un porcentaje de 97% en el caso de *Hyla eximia* y de 95% en el caso de *Xenopus laevis*.

Se realizó un compendio fotográfico para poder ilustrar las piezas óseas. Para ambas especies fueron tomadas fotografías del cráneo en vista dorsal, lateral y ventral, tanto de la mandíbula superior como inferior, para *Xenopus laevis* también se tomaron de las partes del cráneo de manera individual, de las vértebras y del atlas así como de las cinturas y las extremidades (húmero, radioulna, fémur y tibiofíbula). A todas las fotografías les fue colocada la escala a 1mm para facilitar su comparación.

En futuros trabajos se recomienda hacer una diferenciación entre machos y hembras, de ambas especies. Para *Xenopus laevis* se sugiere comparar poblaciones locales y africanas para estudiar cambios relacionados al cambio de región, para *Hyla eximia* la comparación con otras especies endémicas que ocupen el mismo nicho sería también provechosa.

## X. Anexos

### Anexo 1. Tablas de medidas morfométricas de *Hyla eximia* y *Xenopus laevis*

Para *Hyla eximia* se obtuvieron las siguientes medidas morfo métricas.

Org.	Long. total	Long. Patrón	An. total	Alt.	Long. cefálica	Long. ocular	Long. Extd. ant.	Long. Extd. post.	An. Extd. ant.	An. Extd. post.	Long. ojo-ojo
1	5.5	2.3	1	0.8	1	0.1	1.6	3.8	0.4	0.5	0.8
2	5.5	2.9	1.3	0.9	1.3	0.1	1.2	3.5	0.5	0.6	0.5
3	6.2	2.9	0.7	0.6	1	0.1	1.3	3.9	0.5	0.6	0.5
4	6.8	2.7	1.2	1.1	1.2	0.2	1.8	4.3	0.5	1	0.6
5	6.7	2.5	1.3	1.3	0.7	0.2	1.9	3.9	0.6	0.5	0.9
6	6.7	3	1.1	0.9	0.8	0.1	2	4.5	0.9	0.5	0.5
7	6	2.7	0.7	0.6	1	0.1	1.6	4.7	0.5	0.7	0.6
8	6.1	2.4	0.7	0.7	0.8	0.2	1.2	3.9	0.4	0.6	0.6
9	6	2.3	0.8	0.6	0.8	0.2	1.3	3.7	0.4	0.5	0.6
10	5.8	2.3	0.8	0.6	0.8	0.15	1.2	3.7	0.45	0.65	0.6
11	5	2.8	0.9	0.6	0.75	0.25	1.6	2.2	0.6	0.75	0.7
12	5.7	2.2	0.7	0.65	0.6	0.15	1.3	3.55	0.5	0.55	0.5
13	7.4	2.85	0.9	0.65	0.9	0.2	1.8	4.55	0.5	0.45	0.7
14	5.5	2.3	0.6	0.6	0.8	0.2	1.3	3.7	0.55	0.6	0.5
15	7.15	2.8	0.9	0.6	0.75	0.2	1.4	4.4	0.5	0.75	0.65
16	6.6	2.6	0.85	0.65	0.8	0.15	1.5	4	0.6	0.75	0.6
17	7.1	2.7	0.85	0.6	0.85	0.2	1.5	4.65	0.4	0.7	0.65
18	7.5	2.9	1	0.65	0.8	0.2	1.5	4.95	0.65	0.85	0.6
19	6.65	2.5	0.75	0.6	0.7	0.25	1.56	4.5	0.4	0.65	0.65
20	6.5	2.75	0.8	0.6	0.75	0.2	1.5	4.25	0.5	0.6	0.6
21	5.5	2.25	0.65	0.45	0.7	0.2	1.3	3.35	0.35	0.55	0.5
22	6.85	2.55	0.8	0.65	0.4	0.25	1.5	4.15	0.5	0.7	0.7
23	6	2.45	0.6	0.8	0.8	0.2	1.4	3.56	0.4	0.4	0.5



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros "Rana de uñas" Xenopus laevis y "Rana verde" Hyla eximia*

24	5.8	2.2	0.6	0.6	0.75	0.2	1.35	3.75	0.5	0.55	0.5
25	6.1	2.35	0.65	0.6	0.9	0.2	1.35	4	0.5	0.5	0.45
26	7.15	2.75	0.75	0.65	0.85	0.25	1.65	4.5	0.75	0.6	0.65
27	4.8	1.8	0.65	0.45	0.6	0.15	1.1	3.15	0.4	0.45	0.4
28	5	1.8	0.55	0.5	0.65	0.1	1.25	3.2	0.45	0.5	0.4
29	5.7	2.1	0.7	0.6	0.65	0.2	1.25	3.8	0.35	0.4	0.5
30	6.45	2.65	0.75	0.6	0.65	0.2	1.45	4.25	0.35	0.6	0.6
31	5.56	2.3	0.75	0.6	0.6	0.15	1.3	3.56	0.35	0.55	0.5
32	5.9	2.45	0.8	0.5	0.8	0.2	1.35	3.85	0.4	0.45	0.5
33	5.8	2.35	0.85	0.6	0.8	0.2	1.25	3.9	0.5	0.4	0.6
34	5.56	2.3	0.65	0.5	0.65	0.2	1.25	3.75	0.3	0.4	0.5
35	5.9	2.3	0.75	0.6	0.75	0.2	1.35	3.95	0.35	0.5	0.55
36	4.25	1.75	0.5	0.4	0.6	0.1	0.9	2.7	0.3	0.3	0.45
37	5.8	2.25	0.8	0.55	0.7	0.2	1.25	3.85	0.4	0.45	0.5
38	6.1	2.5	0.7	0.5	0.7	0.2	1.4	3.9	0.3	0.4	0.55
39	6.15	2.5	0.8	0.6	0.75	0.2	1.4	4	0.5	0.5	0.6
40	5.45	2.15	0.75	0.6	0.65	0.15	1.2	3.5	0.4	0.3	0.4
41	5.55	2.3	0.7	0.5	0.65	0.2	1.35	3.55	0.3	0.4	0.55
42	6	2.3	0.75	0.55	0.75	0.2	1.35	3.9	0.45	0.4	0.5
43	5.1	1.9	0.65	0.5	0.65	0.15	1.3	3.45	0.45	0.4	0.5
44	5.51	2.2	0.75	0.6	0.65	0.2	1.25	3.55	0.3	0.4	0.5
45	5.55	2.4	0.7	0.55	0.7	0.2	1.45	3.5	0.3	0.4	0.55
46	5.3	2.1	0.7	0.55	0.65	0.2	1.3	3.35	0.4	0.35	0.5
47	5.55	2.2	0.6	0.55	0.7	0.2	1	3.3	0.4	0.4	0.55
48	6.25	2.55	0.8	0.6	0.9	0.2	1.4	3.9	0.6	0.55	0.55
49	5.8	2.35	0.75	0.55	0.75	0.15	1.3	3.85	0.35	0.3	0.6
50	6.7	2.6	0.9	0.6	0.9	0.2	1.6	4.1	0.6	0.5	0.7
51	5.9	2.45	0.7	0.6	0.7	0.2	1.3	3.9	0.5	0.4	0.55
52	5.65	2.25	0.6	0.5	0.65	0.15	1.3	3.55	0.5	0.6	0.5

53	6.4	2.5	0.8	0.55	0.8	0.35	1.7	4.5	0.5	0.6	0.25
54	5.95	2.25	0.85	0.5	0.8	0.3	1.45	3.8	0.5	0.45	0.3
55	6.15	2.45	0.85	0.5	0.65	0.3	1.4	3.9	0.5	0.4	0.2
56	6.35	2.5	0.85	0.65	0.75	0.2	1.5	3.95	0.5	0.7	0.25
57	6.65	2.4	0.9	0.65	0.75	0.25	1.6	4.45	0.5	0.5	0.35
58	5.7	2.3	0.85	0.5	0.75	0.25	1.3	4	0.5	0.65	0.4
59	6.1	2.4	0.85	0.5	0.7	0.25	1.25	3.9	0.4	0.5	0.25
60	6.9	2.65	0.85	0.7	0.75	0.2	1.5	4.5	0.5	0.5	0.35

Para *Xenopus laevis* se obtuvieron los siguientes resultados las siguientes medidas morfo métricas:

Org,	Long. total	Long. patrón	An. total	Alt.	Long. cefálica	Long. ocular	Long. Extrd. ant.	Long. Extrd. post.	An. Extrd. ant.	An. Extrd. post.	Long. ojo-ojo
1	6	3	1.05	0.75	0.8	0.15	1.35	3.7	0.4	1.5	0.5
2	5.5	2.9	1.15	0.7	0.85	0.15	1.25	3.75	0.3	1.55	0.5
3	5.5	2.8	1	0.65	0.6	0.15	1.35	3.6	0.3	1.35	0.5
4	6.45	3.25	1.2	0.75	0.9	0.2	1.45	4	0.3	1.8	0.6
5	6	3	1	0.75	0.9	0.2	1.1	3.75	0.3	1.5	0.5
6	5.1	2.4	0.9	0.6	0.8	0.15	1	3	0.2	1.35	0.4
7	5.7	2.9	1.1	0.8	0.9	0.2	1.2	3.7	0.5	1.7	0.5
8	6	3	1.1	0.8	0.75	0.1	1.2	3.5	0.6	1.6	0.4
9	6.3	2.9	1.1	0.75	0.9	0.15	1.3	3.7	0.5	1.6	0.5
10	5.7	2.9	1.1	0.7	0.8	0.2	1.3	3.7	0.5	1.7	0.5
11	5.35	3	1	0.75	0.9	0.2	1.25	3.4	0.3	1.65	0.5
12	6	3	1.1	0.7	0.8	0.2	1.25	3.65	0.4	1.75	0.5
13	5.7	3	1.1	0.8	0.8	0.15	1.3	3.5	0.5	1.65	0.5
14	5.45	2.65	1	0.65	0.75	0.15	1.25	3.3	0.5	1.6	0.45
15	5.25	2.9	1.2	0.7	0.75	0.15	1.35	3.4	0.5	1.55	0.5
16	5.2	2.7	1	0.75	0.75	0.15	1.15	3.35	0.5	1.55	0.45
17	5.45	2.75	1	0.65	0.65	0.1	1.3	3.4	0.45	1.6	0.45
18	5	2.65	0.95	0.7	0.85	0.15	1.2	3.45	0.4	1.65	0.5
19	5.2	2.7	1	0.75	0.75	0.15	1.25	3.35	0.35	1.5	0.5
20	4.95	2.35	0.9	0.55	0.75	0.15	1.15	3	0.35	1.5	0.45
21	4.85	2.45	0.9	0.7	0.7	0.15	1.2	3.1	0.3	1.45	0.45



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros "Rana de uñas" Xenopus laevis y "Rana verde" Hyla eximia*

22	5.35	2.8	1.05	0.8	0.75	0.2	1.3	3.35	0.4	1.5	0.5
23	5	2.55	1	0.7	0.7	0.15	1.25	3.45	0.5	1.4	0.5
24	5.1	2.6	0.9	0.75	0.8	0.2	1.05	3.45	0.2	1.5	0.5
25	6.4	3.25	1.2	0.8	0.85	0.2	1.45	4.2	0.7	0.85	0.6
26	6.75	3.2	1.35	0.8	1.15	0.2	1.4	3.9	0.4	1.5	0.3
27	5.9	2.75	1	0.7	0.9	0.2	1.4	3.65	0.45	1.5	0.25
28	6.5	3.15	1.15	0.8	1.1	0.25	1.5	3.4	0.5	1.45	0.35
29	5.7	2.8	1	0.5	1	0.2	1.35	3.75	0.35	1.8	0.25
30	5.75	2.7	1	0.55	0.9	0.2	1.3	3.55	0.45	1.55	0.25
31	6.5	3	1.15	0.65	1	0.25	1.5	4.15	0.35	1.4	0.3
32	5.6	2.5	1	0.55	0.95	0.15	1.2	3.35	0.35	1	0.25
33	6.7	3.15	1.1	0.7	1	0.25	1.5	4.15	0.5	1.3	0.3
34	6.8	3.15	1.1	0.75	1	0.25	1.4	4.1	0.65	1.75	0.3
35	6.5	3.15	1.1	0.8	1.1	0.2	1.4	4.2	0.55	1.65	0.3
36	6.45	3.15	1	0.8	0.95	0.25	1.4	3.9	0.5	1.4	0.35
37	6	2.8	0.9	0.75	0.9	0.15	1.25	3.7	0.35	1.35	0.3
38	6.25	2.95	1.15	0.7	0.75	0.2	1.4	3.75	0.4	1.45	0.3
39	5.7	2.8	0.85	0.5	0.85	0.2	1	3.6	0.3	1.4	0.25

Anexo 2. Particularidades observadas en la columna vertebral de organismos *Xenopus laevis*

- a. El atlas carece de procesos transversales, sin embargo las siguientes dos vértebras tienen procesos muy marcados, su particularidad reside en que el proceso transversal derecho de la vértebra II posee un alargamiento del hueso en la zona media que se dirige hacia la parte anterior del cuerpo.
- b. El atlas se encuentra ligeramente dividido en la parte media, sus procesos transversales son delgados y se sitúan hacia la región anterior.
- c. Los procesos transversales del atlas son delgados, en sus extremos el hueso se aplana y termina en punta.
- d. Los procesos trasversales del atlas son considerablemente cortos.
- e. El atlas carece de procesos, mientras que los que poseen las vértebras II y III son más largos y angulados en comparación a los demás, sus ángulos poseen huesos con bordes agudos.
- f. El atlas se encuentra ligeramente separado en la zona ventral, dando lugar a siete vértebras presacrales, en la parte posterior de él se hallan los procesos mientras que no se presentan en el área anterior.
- g. El atlas se divide en otra vértebra dando lugar a ocho vértebras en total, la más pequeña sostiene a los procesos que son cortos y delgados.
- h. El proceso transversal de la vértebra II es asimétrico, en el lado izquierdo es corto mientras que en el derecho es largo, en esta misma vertebra el lóbulo que colinda con el atlas está desviado hacia la derecha.
- i. La columna está compuesta por ocho vértebras, el atlas carece de procesos.
- j. La parte izquierda del sacro es un poco más ancha que la derecha, del urostilo se extiende el hueso y en la placa hay un hueco.
- k. Posee seis vertebrae presacrales, en el atlas los procesos transversales son cortos, en la vértebra II los procesos no forman un ángulo si no que de manera casi recta se dirigen a la zona anterior, la primera parte es delgada y corta, la segunda es más ancha y tiene una ligera curva, en la vértebra III el proceso derecho es más largo que el izquierdo en el que se encuentra un hueso pequeño con forma curva.
- l. El atlas se encuentra ligeramente unido a la segunda vértebra por el lado izquierdo, donde comparte un proceso, del lado derecho se encuentra completamente separado.
- m. Las tres primeras vértebras (incluido el atlas) poseen procesos, en el lado izquierdo estos se encuentran más cercanos que en el derecho.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros "Rana de uñas" Xenopus laevis y "Rana verde" Hyla eximia*

- n. El atlas se encuentra ligeramente dividido en la parte ventral derecha.
- o. El atlas carece de procesos transversales, las vértebras II y III son asimétricas, en el primer caso el proceso derecho termina en forma ensanchada, el izquierdo por otro lado es más corto y termina en forma aguda. En la vértebra III el proceso derecho es corto y termina ensanchado, el izquierdo termina en una bifurcación ancha y de puntas roma.
- p. Se compone de ocho vertebras, la octava formada en la parte posterior del atlas, esta es de la mitad de largo que las demás, tiene procesos transversales al igual que las dos siguientes.
- q. Posee ocho vertebras, el atlas es libre de procesos, las siguientes tres vértebras los poseen y son más o menos simétricos.
- r. El atlas se encuentra alargado en sus extremos hasta concluir en pequeñas proyecciones agudas a la mitad de su largo en ambos lados.
- s. El atlas se encuentra semidividido en su parte posterior, la división se extiende desde ambos lados hacia el centro en la zona ventral, de esta división se proyectan los procesos transversales, que son casi perpendiculares al eje del cuerpo.
- t. Sus siete vertebras son más o menos simétricas, los procesos transversales de la última son más anchos en el lado derecho que en el izquierdo, el atlas tiene procesos cortos.
- u. La vértebra II es más corta que las demás,
- v. Los procesos transversales del atlas se dirigen hacia el lado posterior, y en el lado proximal, estos terminan en huesos aplanados.
- w. El atlas carece de procesos, los de las vértebras II y III son irregulares, los bordes tienen prolongaciones en los ángulos.
- x. Las vértebras II y III tienen procesos no tan angulosos, en el proceso transversal derecho de la VII, hay una prolongación del hueso hacia el lado anterior en forma de punta.
- y. Los procesos del lado derecho están ligeramente dirigidos hacia la zona anterior mientras que los del lado izquierdo se dirigen hacia la zona posterior. En la vértebra VII, el proceso del lado derecho es del doble de ancho que los otros y es también más largo.
- z. Este organismo tiene una osamenta completamente malformada, posee las cuatro extremidades sin embargo posee una extremidad trasera extra en la parte ventral en el lado derecho. Todo el lado derecho del cuerpo es más pequeño que el izquierdo. El sacro es asimétrico, siendo su parte derecha anormalmente pequeña, mientras que la derecha conserva su tamaño adecuado. La columna carece de procesos transversales. El urostilo se enchueca hacia el lado izquierdo. El coracoides también se encuentra reducido de tamaño. El ilión está desviado hacia el lado izquierdo e igualmente reducido.

## XI. Literatura citada

- ☞ Aguilar, J. y Luría, R. (2016). Los anfibios en la cultura mexicana. Comunicaciones libres. Ciencia.
- ☞ Álvarez-Romero, J., Medellín, R. A., Gómez de Silva, H. y Oliveras de Ita, A. (2005). *Xenopus laevis*. Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto U020. México. D.F.
- ☞ Brito, J. y Pozo-Zamora. (2013). Una nueva especie de rana terrestre del género *Pristimantis* (Amphibia: Craugastoridae), de la Cordillera de Kutukú, Ecuador. *Papéis Avulsos de Zoología*. Vol. 53 (24): 315-325pp.
- ☞ Chablé, J. Especies. Durán R. y M. Méndez (Eds). (2010). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 pp
- ☞ Chandramouli, S. y Dutta, S. (2015). Comparative osteology of anuran genera in the Western Ghats, Peninsular India. *Alytes, International Journal of Batrachology*. Vol. (32), 67-81pp.
- ☞ De Oliveira-Lagoa, S., Cruz, F., Moreno, D., O Lavilla, D. y Abdala, V. (2018). Anuran forelimb muscle tendinous structures and their relationship with locomotor modes and habitat use. *Current Zoology*. Vol. (0), 0. 1–10pp.
- ☞ Díaz, A. y Sánchez, G. (2015). Descripción anatómica del sistema óseo de *Ambystoma mexicanum* a través de la técnica de transparentación. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala UNAM.
- ☞ Duellman, W. E. (2001). *The Hylid frogs of Middle America*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Ithaca, New York, USA.
- ☞ Felix, J. y Montori, A. (1986). Determinación de las especies de anfibios anuros del nordeste ibérico mediante el hueso ilion. *Misc. Zool.*, 10: 239-246pp.
- ☞ Garvey, N. (2001). *Xenopus laevis*, African clawed frog [en línea] Michigan, EUA. <http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/index.html> [consulta: 2017]
- ☞ Grandez, R., Raffael, M., Hermoza C. y Valencia, R. (2018). Estudio de la osteología radiográfica de la rana pipa (*Pipa pipa*). *Rev Inv Vet Perú* 2018; 29(1): 84-94pp.
- ☞ Gray, L., O'Reilly, J. y Nishikaw, K. (1997). *Evolution of Forelimb Movement Patterns for Prey Manipulation in Anurans*. *The Journal of Experimental Zoology*. 277:417–424pp.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

- ☛ Grenat, P., Salas, N y Martino, A. (2011). Variación morfométrica intra e interespecífica entre poblaciones de *Odontophrynus* (Anura: Cycloramphidae) del área central de Argentina. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 60 (4): 1589-1601pp
- ☛ González-Acosta, A., Rubio-Rodríguez, U. y Ruiz-Campos, G. (2014). El Hueso Urohial de los Peces Gerreidae (Teleostei: Percoidei) de América y su Aplicación Taxonómica. *Int. J. Morphol.* 32(3): 923-929pp
- ☛ Guzmán, P. y Salazar, J. (2012). Una aproximación estadística para explorar la relación entre la morfometría de unas ranas colombianas y sus hábitos alimenticios. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia.* 23-39pp
- ☛ Hoperskaya, O. (1975). The development of animals homozygous for a mutation causing periodic albinism (*ap*) in *Xenopus laevis*. *J. Embryol. exp. Morph.* 34 (1). 253-26pp.
- ☛ Hoyos, J., Sánchez-Villagra, M., Carlini, A. y Mitgutsch, C. (2012). Skeletal development and adult osteology of *Hypsiboas pulchellus* (Anura: Hylidae). *Acta Herpetologica* Vol. 7(1): 119-138pp.
- ☛ Jared, C., Antoniazzi, M., Navas, C., Katchburian, E., Freymüller, E., Tambourgi, D. y Rodrigues, M. (2005). Head co-ossification, phragmosis and defence in the casque-headed tree frog *Corythomantis greening*. *J. Zool., Lond.* Vol. 265, 1–8pp.
- ☛ Kardong, K. (1999). *Vertebrados: Anatomía comparada, función y evolución.* Madrid, España. McGraw-Hill. Interamericana.
- ☛ Ladish, F. y Winkler, H. (2017). Acoustic communication in terrestrial and aquatic vertebrates. *Journal of Experimental Biology* (2017) 220, 2306-2317pp.
- ☛ Lavín, P. A., Lazcano, D. & Gadsden, H. (2014). Anfibios y reptiles exóticos y traslocados invasores. En R. Mendoza y P. Koleff (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 435-441.
- ☛ Lires, A., Soto, I. y Gómez, R. (2016). Walk before jump: new sightson early frog locomotion from the oldest known salietian. *Paleobiology*, 42(4). 612–623pp.
- ☛ Lobos, G. (1998) Antecedentes ecológicos del sapo africano *Xenopus laevis* (Pipidae) en la zona central de Chile. *Memoria Médico Veterinario. U de Chile.* Santiago 49 pp
- ☛ Lobos G., Cattán, P. y López, M. (1999) Antecedentes de la ecología trófica del sapo africano *Xenopus laevis* en la zona central de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Santiago).* 48: 7 – 18pp.
- ☛ López, J., Arias, M., Peltezer, P. y Lajmanovich, R. (2005). Dieta y variación morfométrica de *Leptodactylus ocellatus* (Linnaeus, 1758) (Anura: leptodactylidae) en tres localidades

- del centro-este de Argentina. Instituto Nacional de Limnología. Boletín de la Asociación Herpetológica Española. Vol. 16 (1-2): 32-39pp.
- ☞ Martínez-Solano, I. y Sanchiz, B. (2005). Anfibios y reptiles del Pleistoceno medio de Ambrona (Soria). Un siglo de investigaciones arqueológicas. 232-239pp.
  - ☞ Masey, J.G. (1998). The common platanna, *Xenopus laevis*. Department of Zoology, University of the Western Cape. Ciudad del Cabo, Sudáfrica.
  - ☞ Mason, M., Wang, M. y Narins, P. (2009). Structure and function of the middle ear apparatus of the aquatic frog, *Xenopus laevis*. Proceedings of the Institute of Acoustics Vol. (31).
  - ☞ Measey, J. (1998) Diet of a feral *Xenopus laevis* (Daudin) in South Wales, U.K. Journal of Zoology 246: 287 – 298pp.
  - ☞ Measey, J. (2016). Overland movement in African clawed frogs (*Xenopus laevis*): a systematic review. Centre for Invasion Biology, Department of Botany & Zoology, Stellenbosch University, South Africa. PeerJ 4:e2474.
  - ☞ Meloan, S., Puchtler, H. y Valentine, L. (1972) Alkaline and acid alizarin red S stains for alkali-soluble and alkali-insoluble calcium deposits. Arch Pathol; 93 (3):19-27.
  - ☞ Nieto, A. y Pérez, E. (1999). Anfibios y reptiles del estado de Querétaro. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H250. México, D.F.
  - ☞ Ortega, E. (2016). Caracterización de la deformación ósea por imagenología e histopatología de anfibios de la especie *Agalychnis spurrelli* dentro del Centro de Conservación Balsa de Sapos (tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
  - ☞ Padilla, F. y Cuesta, A. (2003). Zoología aplicada. Madrid, España. Diaz de Santos.
  - ☞ Parra-Olea, G., Flores-Villela, O. y Mendoza-Almeralla, C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. Revista Mexicana de Biodiversidad. Supl. 85. 460-466pp.
  - ☞ Pugener, L. y Maglia, A. (2009). Skeletal Morphogenesis of the Vertebral Column of the Miniature Hylid Frog *Acris crepitans*, With Comments on Anomalies. JOURNAL OF MORPHOLOGY 270:52–69 (2009)
  - ☞ Quinzio, S., Goldberg, J., Cruz, J., Chuliver, M. y Fabrezi, M. (2015). La morfología de los Anuros: pasado, presente y futuro de nuestras investigaciones. Cuad. herpetol. 29 (1): 51-67pp
  - ☞ Quiroz, D. y Martínez, I. (2014). Restos de anfibios en la costa de la Araucanía: Problematización y perspectivas. Revista Chilena de Antropología 29. 109-115pp.



*Descripción y comparación anatómica del esqueleto de dos especies de anuros “Rana de uñas” Xenopus laevis y “Rana verde” Hyla eximia*

- ☛ Rockova, H. y Rocek, Z. (2005). Development of the pelvis and posterior part of the vertebral column in the Anura. J. Anat. 206, 17–35pp.
- ☛ Rodríguez-Ibarra, L., Abdo-De la Parra, M., Velasco-Blanco, G. y Aguilar-Zárate, G. (2017). Desarrollo osteológico de la columna vertebral y del complejo caudal de larvas del pez payaso *Amphiprion ocellaris* (Pomacentridae) en condiciones de cultivo. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 52 (1): 113-119pp.
- ☛ Sampson, C- (2003). “Amphibians from the Acheulan site at Duinefontein 2 (Western Cape, South Africa)”. Journal of Archaeological Science 30: 547-557pp.
- ☛ San Mauro, D. Anfibios. Vargas, P. y Zardoya, R. (eds). (2012). El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos. Impulso Global Solutions, S.A. 400-407pp.
- ☛ Sigurdson, T., Green, D. y Bishop, P. (2012). Did Triadobatrachus Jump? Morphology and Evolution of the Anuran Forelimb in Relation to Locomotion in Early Salientians. Fieldiana: Life and Earth sciences, NO. 5, October 18. 77–89pp.
- ☛ Slater, B., Liu K., Kwan, M., Quarto, N. y Longaker, M. (2009). Cranial Osteogenesis and Suture Morphology in *Xenopus laevis*: A Unique Model System for Studying Craniofacial Development. PLoS ONE 4(1). 12pp.
- ☛ Stebbins, R. C. (2003). Western Reptiles and Amphibians, Third Edition. Houghton Mifflin, Boston.
- ☛ Solís, R., Lobos, G. e Iriarte, A. (eds). (2004). Antecedentes sobre la biología de *Xenopus laevis* y su introducción en Chile.
- ☛
- ☛ Trueb, L. (1966). Morphology and Development of the Skull in the Frog *Hyla septentrionalis*. Copeia, Vol. 1966, No. 3, 562-573pp.
- ☛ Trueb, L. y Hanken, J. (1992). Skeletal development in *Xenopus laevis*. Journal of Morphology. 214: 1-41pp.
- ☛ Uribe-Peña, Z., Ramírez-Bautista A. y Casas-Andreu, G. (1999). Anfibios y reptiles de las serranías del Distrito Federal. México. Cuadernos 32:1-119pp.
- ☛ Vitt, L. y Caldwell, J. (2014). Herpetology An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles. ELSEVIER.
- ☛ Vogt, S., De Villierres, F., Ihlow, F., Rödder, D. y Measey, J. (2017). Competition and feeding ecology in two sympatric *Xenopus* especies (Anura: Pipidae). PeerJ5:e3130pp