



Universidad del Nordeste
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y
Agrimensura



Trabajo Final de Graduación
Licenciatura en Ciencias Biológicas

Caracterización histológica del corazón de *Scinax nasicus* (Anura: Hylidae) durante la fase larval y adulta del ciclo de vida.

Alumno: Kassor, Rodolfo Gustavo

Directora: Sandoval, María Teresa

Co-Directora: Petlzer, Paola

Laboratorio de Herpetología – FaCENA - UNNE

2023

INDICE

RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
Origen y fundamentos de la investigación	5
Antecedentes del tema.....	6
OBJETIVOS	7
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
HIPÓTESIS	7
MATERIALES Y METODOS	8
Obtención del material de estudio	8
Análisis macroscópico del corazón	8
Obtención y análisis de preparados histológicos del corazón	8
RESULTADOS	9
Morfología externa.....	9
Histología.....	15
Seno venoso.....	15
Aurícula.....	16
Ventrículo.....	18
Válvulas	20
Cono arterioso	22
Discusión	23
Consideraciones finales	26
Bibliografía.....	27

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que me acompañaron y me brindaron su apoyo incondicional durante estos años, sin ellos no hubiera podido lograrlo.

A la UNNE, a la FaCENA, donde pude llevar a cabo mi formación como alumno. A todos los docentes que forman parte de la carrera por su aporte a mi desarrollo profesional.

A todos mis compañeros y profesores del Laboratorio de Herpetología por darme la oportunidad de llevar a cabo mi trabajo final de graduación.

A mis amigos que superamos cada obstáculo y sobrellevamos momentos complicados acompañándonos siempre.

A mi familia, en especial a mis padres y hermanos que son los pilares fundamentales en mi vida, gracias por su amor condicional por siempre confiar en mí e incentivarme a cumplir cada una de mis metas.

RESÚMEN

A lo largo de la evolución, los corazones de los vertebrados han experimentado marcados cambios en su morfología y estructura a medida que las especies se adaptaron a condiciones ambientales y estilos de vida cambiantes. El corazón adulto de los anfibios se compone de cinco compartimentos: el seno venoso, las aurículas derecha e izquierda, el ventrículo y el cono arterioso. La organización de estos compartimentos difiere significativamente entre los distintos grupos de anfibios, reflejando una gran complejidad y diversidad. Las diferencias en las estructuras cardíacas están relacionadas con las adaptaciones durante la transición de la vida acuática a la terrestre. En el caso de los anuros, se destaca la ausencia de estudios comparativos sobre la estructura del corazón durante la fase acuática y terrestre del ciclo de vida. Por ello, el objetivo de este trabajo fue describir la morfología del corazón de *Scinax nasicus* (Anura: Hylidae) a nivel histológico, abarcando el periodo larval prometamórfico, el clímax metamórfico, así como las etapas juveniles y adulta del ciclo de vida. Para el análisis morfológico, los individuos recolectados en distintos estadios de desarrollo fueron fijados en formol al 10% y en solución de Bouin para su análisis histológico. Durante el primer análisis, se observó la disposición topográfica de las cámaras cardíacas y se registró cambios morfológicos a lo largo de todo el ciclo de vida. Para el análisis histológico, se prepararon muestras del corazón de larvas prometamórficas, clímax metamórfico, ejemplares juveniles y adultos, las cuales fueron observadas y comparadas mediante microscopio óptico. Los resultados obtenidos mostraron cambios topográficos en las cámaras del corazón y la formación de trabéculas en las aurículas. Además, se registró un aumento en el espesor del tejido miocárdico del cono arterioso durante los distintos estadios. Estos cambios histológicos, que comienzan durante el periodo metamórfico, sugieren una relación con la transición del hábitat de los individuos, de la vida acuática a la terrestre. En conclusión, este estudio contribuye a profundizar en el conocimiento de la morfología cardíaca de *Scinax nasicus* y sus variaciones a lo largo de su ciclo de vida. Se destaca la importancia de proporcionar una fuente de conocimientos sobre la anatomía e histología de las cámaras cardíacas, que sirvan de base para otras investigaciones y que contribuyan a interpretar las variaciones morfológicas en relación a los diferentes modos de vida de los anuros.

INTRODUCCIÓN

Origen y fundamentos de la investigación

A lo largo de la evolución, los corazones de los vertebrados han experimentado cambios notables sobre su morfología y estructura a medida que las especies se fueron adaptando a las condiciones ambientales y estilos de vida cambiantes. Por ejemplo, los mamíferos y las aves tienen dos aurículas y dos ventrículos. En cambio, los anfibios y la mayoría de los reptiles, que surgieron evolutivamente antes que los mamíferos y las aves, tienen dos aurículas y un único ventrículo compuesto de tejido trabecular (Ostadal, 1999; Victor et al., 1999). El interés por la morfología y el desarrollo del corazón de los anfibios lleva más de un siglo (Bruner, 1900; Burggren & Fritsche, 1997). La diversidad entre los anfibios es extremadamente alta con respecto a la morfología, fisiología y tipos de vida (Crump, 2009; Wiens, 2007). Esta diversidad también se ve reflejada en los corazones de los anfibios (Stephenson et al., 2017; de Bakker et al., 2015). El corazón de los anfibios está conformado por cinco compartimentos: el seno venoso, la aurícula izquierda y derecha, el ventrículo y el cono arterioso (Jensen et al., 2014). Sin embargo, las cámaras del corazón difieren significativamente entre los grupos de anfibios (Gymnophiona, Caudata, Anura) (Burggren & Warburton, 2007).

El desarrollo del corazón es un proceso altamente conservado entre los vertebrados (Warkman & Krieg, 2007). La morfogénesis del corazón está muy bien documentada en organismos modelo como el pollo, el ratón y el cerdo (Opitz & Clark, 2000; Bartman & Hove, 2005; Wittig & Münsterberg, 2016, 2020). El desarrollo cardíaco de los anuros se describió para unas pocas especies, siendo *Xenopus laevis* la más estudiada (Sater & Jacobson, 1989; Mohun et al., 2000; Warkman & Krieg, 2007; Hempel & Kühl, 2016). En esta especie, el corazón se origina a partir de dos primordios bilaterales de mesodermo ubicados en el lado dorsal del embrión al inicio de la gastrulación. Durante la gastrulación estos primordios cardíacos se mueven dorso-anteriormente y luego, durante la neurulación, migran a la línea media ventral de la faringe, donde se fusionan y forman un tubo lineal simple, el tubo endocárdico. Posteriormente, alrededor del estadio 18-19, tabla del desarrollo de Nieuwkoop & Faber (1956), este tubo endocárdico pasa por procesos de remodelación y torsión en “S” para dar origen a las cámaras cardíacas como arterial, ventrículo, aurículas y seno venoso (Warkman & Krieg, 2007). A partir del estadio 22, la aurícula migra hacia una posición antero-dorsal con respecto al ventrículo adquiriendo su posición definitiva. En el estadio 23 se inicia la formación de las válvulas y septos del cono y la bifurcación del tronco aórtico. En el estadio 24 aparece un septo interauricular que divide el atrio, mientras que en el estadio 25 ya se hacen distinguibles las trabéculas ventriculares. Este patrón también ha sido descripto para *Rana temporaria* (Viertel & Richter, 1999), *Rhinella arenarum* (Paz, 1987) y *Physalaemus biligonigerus* (Casco & Lajmanovich, 1999), reforzando la hipótesis del patrón morfogénico conservado también en los anfibios anuros. Sin embargo, muchos de estos estudios describen los eventos tempranos del desarrollo del corazón que ocurren durante el periodo embrionario y periodo larval premetamórfico del ciclo de vida. Recientemente, el equipo de trabajo del Laboratorio de Herpetología caracterizó a nivel macroscópico la morfogénesis del corazón de tres especies de la región nordeste de Argentina, incluida la especie objeto de estudio en el presente plan. En dicho trabajo Sandoval

et al. (2022) describieron variaciones respecto del patrón descrito para otras especies de anuros, principalmente en relación a la migración de la aurícula a una posición anterior y dorsal con respecto al ventrículo y la tabicación auricular. Sin embargo, la histología cardíaca no ha sido descrita para estas especies.

Antecedentes del tema

Existen pocas referencias acerca de la histología cardíaca en anfibios. Lemanski (1973) analizó a nivel histológico el desarrollo del corazón de *Ambystoma mexicanum* y caracterizó la capa endocárdica y miocárdica durante la cardiogénesis. Mohun et al. (2000) describieron la histología del corazón de *Xenopus laevis* durante los estadios premetamórficos, mientras que Jahr & Männer (2011) detallaron algunos caracteres histológicos del corazón en relación a la tabicación auricular, para esta misma especie. Akat (2020) analizó la histología cardíaca de ejemplares adultos de *Pelophylax cf. bedriagae*. En este trabajo el autor describe las características de los tejidos del tronco arterioso, ventrículo, atrio y seno venoso.

Ito et al. (2021) analizaron la histología cardíaca de adultos de tres especies de anuros con distintos hábitos de vida: *Xenopus laevis* (acuático), *Pelophylax nigromaculatus* (semiacuático), y *Bufo japonicus formosus* (terrestre). A partir de este estudio revelaron importantes diferencias en el tejido miocárdico del ventrículo en relación a los hábitos de vida de estas especies. Estos autores observaron que las especies de hábitos semiacuáticos y terrestres poseen una capa miocárdica más compacta y más rígida en comparación con la especie acuática. En base a sus resultados sugieren que el incremento en la rigidez y grosor del miocardio formaría parte de los cambios evolutivos ocurridos durante la transición hacia la vida terrestre. Este estudio pone en manifiesto la importancia de conocer y describir la estructura histológica del corazón en distintas especies de anuros.

Por otra parte, Olejnickova et al. (2021) describieron diferencias en la organización trabecular de los ventrículos de individuos pedomórficos y metamórficos de *Ambystoma mexicanum*, y retomaron la idea de una conexión entre los cambios morfológicos y la fisiología cardíaca y el cambio de los hábitos de vida. Sin embargo, en este trabajo los autores no analizan estadios larvales del grupo metamórfico por lo cual se desconoce la estructura histológica del corazón en este periodo del desarrollo.

En este contexto, se plantea el interrogante de si estas variaciones en la estructura cardíaca podrían evidenciarse durante la metamorfosis de los anuros como parte de los cambios que ocurren durante el paso de la vida acuática a la terrestre. A este respecto cabe destacar que no hay trabajos que describan comparativamente la histología cardíaca de larvas y adultos de anuros. Por tal motivo en este plan de trabajo se propone analizar y describir a nivel histológico la estructura del corazón de distintos estadios larvales del periodo prometamórfico, metamórfico, juvenil y de adultos de *Scinax nasicus*. Esta especie tiene una amplia distribución en Latino América, encontrándose en Paraguay, norte de Argentina, Uruguay, este de Bolivia y sudoeste de Brasil hasta el Estado de Rio Grande do Sul (Lavilla et al., 2000; Frost, 2007). En la provincia de Corrientes, es abundante, y su estado de categorización es “No Amenazada (NA)” según la Asociación Herpetológica Argentina (Vaira et al., 2012). Se reproduce durante fuertes lluvias de septiembre a abril en

cuerpos de aguas temporales o semipermanentes. Deposita los huevos en masas gelatinosas dispersas adheridas a las plantas acuáticas (Kehr & Duré, 1995; Savage, 2002).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

1. Caracterizar la estructura histológica del corazón de *Scinax nasicus* durante el periodo larval, juvenil y adulto del ciclo de vida y aportar datos de base para interpretar los cambios de la morfología cardíaca en relación con la transición del modo de vida acuático al terrestre.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir y comparar la estructura histológica de las cámaras del corazón (cono arterial, ventrículo, aurículas y seno venoso) de distintos estadios del desarrollo larval prometamórfico y metamórfico, juvenil y de adultos de *Scinax nasicus*.
2. Integrar los resultados obtenidos en el contexto de los cambios adaptativos que ocurren durante la transición del ambiente acuático al terrestre.

HIPÓTESIS

- Durante la metamorfosis ocurren cambios en la estructura histológica del corazón, particularmente del ventrículo, como adaptación al modo de vida terrestre.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del material de estudio

Se colectaron larvas y adultos de *Scinax nasicus* en distintas áreas periurbanas de la provincia de Corrientes en diciembre del 2021. Las muestras se llevaron al laboratorio donde fueron mantenidos en condiciones controladas de luz y temperatura. Las larvas se criaron en bateas plásticas con agua declorinada y fueron alimentadas con lechuga hervida *ad libitum* hasta completar la metamorfosis. Periódicamente, grupos de diez larvas en distintos estadios del desarrollo fueron anestesiadas con una sobredosis de solución de Benzocaína al 5% (Muelita®) agregada al agua de cría, según lo recomendado por el Committee of the American Society of Ichthyologists and Herpetologists (Beaupre et al. 2004). Los ejemplares juveniles y adultos fueron anestesiados con solución de Benzocaína al 5% (Muelita®) aplicada en la parte interna del muslo.

Para el análisis macroscópico, los ejemplares fueron fijados en formol al 10%, para los análisis histológicos, en solución de Bouin. Posteriormente, fueron conservados en alcohol al 70%. Los estadios larvales (E.) fueron determinados según la tabla del desarrollo de Gosner (1960). Para el estudio morfológico se analizaron cinco ejemplares de cada estadio larval seleccionado. Se seleccionaron estadios larvales del período prometamórfico (E. 27, 28, 33, 35, 36, 38 y 41), larvas en clímax metamórfico (E. 43, 45 y 46). Asimismo, se analizaron ejemplares de juveniles de 10 (N=3), 25 (N=3) y 30 (N=3) días postmetamorfosis (dpm) y ejemplares adultos (N=3).

Análisis macroscópico del corazón

Para la observación y análisis de la morfología del corazón se realizaron disecciones de cinco ejemplares de cada estadio larval seleccionado, un ejemplar de cada estadio juvenil y un ejemplar adulto. Posteriormente el corazón fue aislado y analizado y fotografiado con lupa estereoscópica binocular Leica EZ4 con cámara digital incorporada. Debido al aspecto traslucido, los corazones de los estadios larvales fueron coloreados con azul de metileno para un mejor reconocimiento de las estructuras. Las fotografías fueron procesadas con el software LASZ4. Se realizaron esquemas de lo observado en distintos planos corporales. El análisis de la anatomía cardíaca incluyó la caracterización morfológica y topográfica de las cámaras del corazón (seno venoso, aurículas y ventrículo), cono arterioso y tronco arterioso en distintos estadios del desarrollo.

Obtención y análisis de preparados histológicos del corazón

Para obtención de preparados histológicos del corazón se procesaron 1-2 larvas prometamórficas enteras, con y sin cola, de cada estadio. Para las larvas en clímax metamórfico, los ejemplares juveniles y adultos, se seccionó la mitad del cuerpo a la altura del hígado y se extirparon los miembros anteriores. Se procesó la mitad anterior del cuerpo. A partir de dicho material se confeccionaron preparados histológicos siguiendo el protocolo convencional de histología consistente en: deshidratación en soluciones crecientes de alcohol etílico 70%, 80%, 96% y alcohol butílico (100%), impregnación en alcohol butílico - parafina (50-50%) e inclusión en parafina (100%). Posteriormente se procedió al armado del taco y orientación de la pieza para

la realización de secciones transversales y longitudinales. Se realizaron cortes seriados de 5-6 micras con micrótopo rotatorio manual tipo Spencer. Las muestras fueron coloreadas con hematoxilina-eosina (HE) y tinción tricrómica de Gomori y luego montadas de forma permanente con bálsamo de canadá (sintético). Las muestras fueron observadas en microscopio binocular Leica DM500. Se tomaron fotografías con cámara fotográfica de teléfono móvil. A partir de las imágenes obtenidas, se calculó el área de las aurículas, del ventrículo. Asimismo, en estadios larvales, juveniles y adultos se calculó el área ocupada por las trabéculas del ventrículo en relación al área del ventrículo. Dichos cálculos se realizaron mediante el software Image J 1.48v (Schneider et al., 2012). Los datos obtenidos fueron cargados en planillas de Excel. El análisis histológico incluyó la caracterización de la estructura tisular de cada una de las cámaras cardíacas (seno venoso, las aurículas y el ventrículo), cono arterioso y tronco arterioso.

RESULTADOS

Durante el desarrollo embrionario temprano de los anuros, dos tubos cardíacos derivados del hipómero esplácnico se fusionan formando un tubo único lineal, que luego sufre proceso de torsión en bucle, dando más tarde las distintas cámaras cardíacas. Una vez finalizado este proceso, el corazón de los anuros está conformado por un tracto de entrada (seno venoso), las aurículas, derecha e izquierda, el ventrículo y el tracto de salida (cono arterioso), que se continúa con el tronco arterioso del cual se originan las aortas ventrales derecha e izquierda. Dichas cámaras en etapas tempranas del corazón, tienen una disposición más o menos lineal, en dirección postero-anterior, y van cambiando de posición a lo largo del desarrollo embrionario larval a través de movimientos de rotación y migración que configuran su posición definitiva en el adulto. Asimismo, las válvulas son un componente importante del corazón. Se localizan entre la comunicación de las cámaras y tienen como función evitar el reflujo sanguíneo. Las válvulas auriculoventriculares delimitan la separación entre las aurículas y el ventrículo. Las válvulas semilunares, delimitan al cono arterioso del ventrículo. La válvula espiral, localizada dentro del cono arterioso, separa la sangre que se dirige hacia los arcos aórticos: sistémicos, carotídeos o pulmocutáneos.

Histológicamente, en estas cámaras se reconocieron: 1) el epicardio, la capa más externa, formada por un epitelio plano simple, 2) el miocardio, la capa media, formada por células musculares cardíacas, y 3) el endocardio, capa más interna, formada por un epitelio plano simple. Las tres capas se reconocieron en las distintas cámaras cardíacas durante los estadios del ciclo de vida, presentando un crecimiento gradual de los tejidos. Asimismo, el corazón está recubierto externamente por un pericardio de células planas uniestratificadas y tejido conectivo fino, que deriva del hipómero somático.

Morfología

Entre los E. 27 al E. 36 las cámaras del corazón se disponen linealmente, reconociéndose de posterior a anterior: seno venoso, aurícula, ventrículo y cono arterioso (Fig. 2A-F). El seno venoso presenta paredes muy delgadas y se abre hacia la derecha de la aurícula a través de la comunicación seno-auricular. La aurícula es una cámara amplia de forma irregular de paredes delgadas y aspecto traslucido. En su interior se reconoce un tabique que divide parcialmente la cámara en su región posterior y media (Fig. 2B), el cual,

en el E. 33, separa a la aurícula en cámara derecha de gran tamaño y una izquierda más pequeña, y además divide la comunicación auriculoventricular (Fig. 2D). Además, se observan pliegues dispuestos longitudinalmente en el interior de la pared de las aurículas (Fig. 2D). El ventrículo tiene forma más o menos triangular, con el ápice dirigido hacia ventral. Presenta paredes gruesas de aspecto opaco y se observan, en su superficie, cromatóforos dispersos. Internamente se observan trabéculas dispuestas longitudinalmente, que aumentan progresivamente de tamaño a medida que avanza el desarrollo larval (Fig. 2B, D, F y H). En el E. 36 el eje mayor del ventrículo rota levemente hacia la derecha, adquiriendo posición paralela al eje longitudinal de la larva (Fig. 2E). El cono arterioso tiene forma de "S" y, al igual que el ventrículo, presenta paredes gruesas, opacas y cromatóforos dispersos (Fig. 2A y B).

En el E. 41 las aurículas y el seno venoso cambian de posición, ubicándose dorsalmente al ventrículo (Fig. 2G y H), posición que mantienen hasta el E. 43. A partir del E. 44 continúan el desplazamiento hacia la región anterior, adquiriendo su posición definitiva, dorsal anterior al ventrículo, en el E. 46 (Fig. 3A). Al final de este movimiento, la aurícula derecha queda en posición dorsal al cono arterioso y lo envuelve parcialmente, mientras que la aurícula izquierda queda en posición lateral y dorsal (Fig. 4H). A partir del E. 44, los pliegues longitudinales de las aurículas alcanzan mayor desarrollo formando las trabéculas auriculares (Fig. 3B). Conjuntamente con el cambio de posición de las aurículas, el ápice del ventrículo se dirige hacia posterior, quedando la cara anterior del ventrículo en posición ventral. Las trabéculas ventriculares continúan aumentando de tamaño hasta finalizar la metamorfosis. A partir del E. 44, el cono arterioso adquiere forma tubular, con su eje mayor dispuesto de forma oblicua de izquierda a derecha (Fig. 3A y C).

En los estadios juveniles de 10, 25 y 30 dpm y en el adulto, no se observan cambios topográficos en la disposición de las cámaras del corazón con respecto al E. 46. Durante el periodo juvenil, se registra un crecimiento progresivo de las trabéculas auriculares, particularmente en la cámara derecha donde ocupan parte del lumen auricular. En sección transversal de la aurícula del adulto, se observa que las trabéculas son cortas en la cara anterior de la aurícula derecha, mientras que en el resto de la cámara ocupan parte del lumen, extendiéndose desde la pared externa hasta el borde de la comunicación auriculoventricular (Fig. 4G y H). A partir de los 25 dpm, el ventrículo adquiere forma triangular, observándose en los ejemplares de 30 dpm y adultos, el ápice bien pronunciado (Fig. 4C, E y F). En corte coronal del adulto, se observa las trabéculas ventriculares bien desarrolladas dirigiéndose desde el ápice hacia el orificio auriculoventricular (Fig. 4G). Estas trabéculas se agrupan, alineándose radialmente, formando bolsas interventriculares profundas, zonas lisas libres de trabéculas (Fig. 4G). El cono arterioso no muestra diferencias respecto a estadios previos en cuanto a forma y posición.

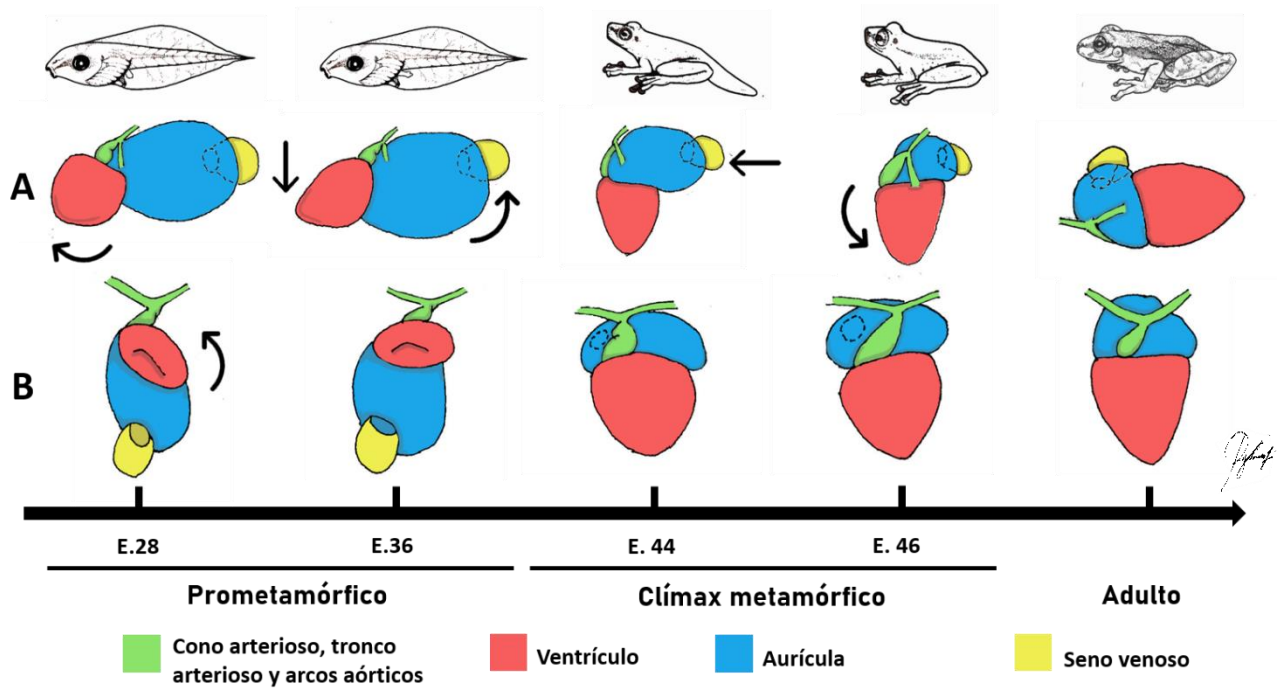


Figura 1. Ilustración de los movimientos de las cámaras cardíacas de *Scinax nasicus* durante el periodo prometamórfico, clímax metamórfico y adulto. A) Vista lateral. B) vista ventral. Ilustración de los estadios larvales y adulto: Vaca Ayelen. Ilustración de la morfología cardíaca: Kassor R. Gustavo.

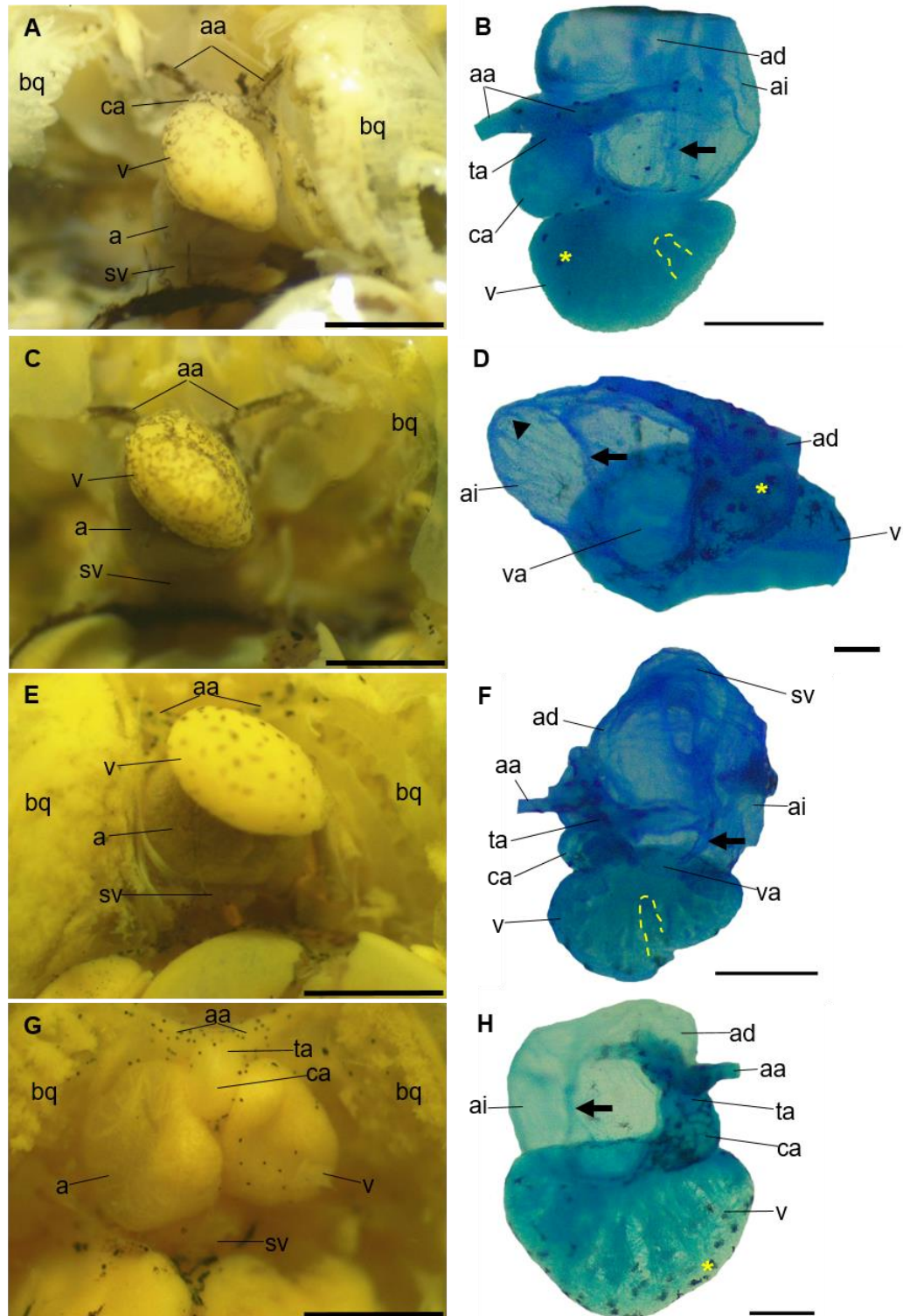


Figura 2. Morfología de los corazones de larvas prometamórficas de *Scinax nasicus*. **A)** Vista general del corazón del E. 28 en vista ventral. **B)** Sección coronal del corazón del E. 28 donde las trabéculas ventriculares son poco visibles. **C)** Vista general del corazón del E. 33 en vista ventral. **D)** Sección transversal de aurículas del E.33 donde se observa el tabique interauricular y pliegues longitudinales. **E)** Vista general del corazón del E. 36 en vista ventral. **F)** Sección coronal del E. 36 donde se observa aumento en el crecimiento de las trabéculas ventriculares hacia el orificio auriculoventricular. **G)** Vista general del corazón del E. 41 en vista ventral. **H)** Sección coronal del ventrículo del E.41 mostrando el aumento en el crecimiento de las trabéculas ventriculares y la abundante presencia de cromatóforos. **aa:** arco aórtico; **ad:** aurícula derecha; **ai:** aurícula izquierda; **bq:** branquias; **ca:** cono arterioso; **sv:** seno venoso; **ta:** tronco arterioso; **v:** ventrículo; **va:** válvulas auriculoventriculares; **flecha:** tabique auricular; **cabeza de flecha:** pliegues longitudinales; **asterisco amarillo:** cromatóforos; **líneas discontinuas amarillas:** trabéculas ventriculares. **Escala:** 0.5 mm.

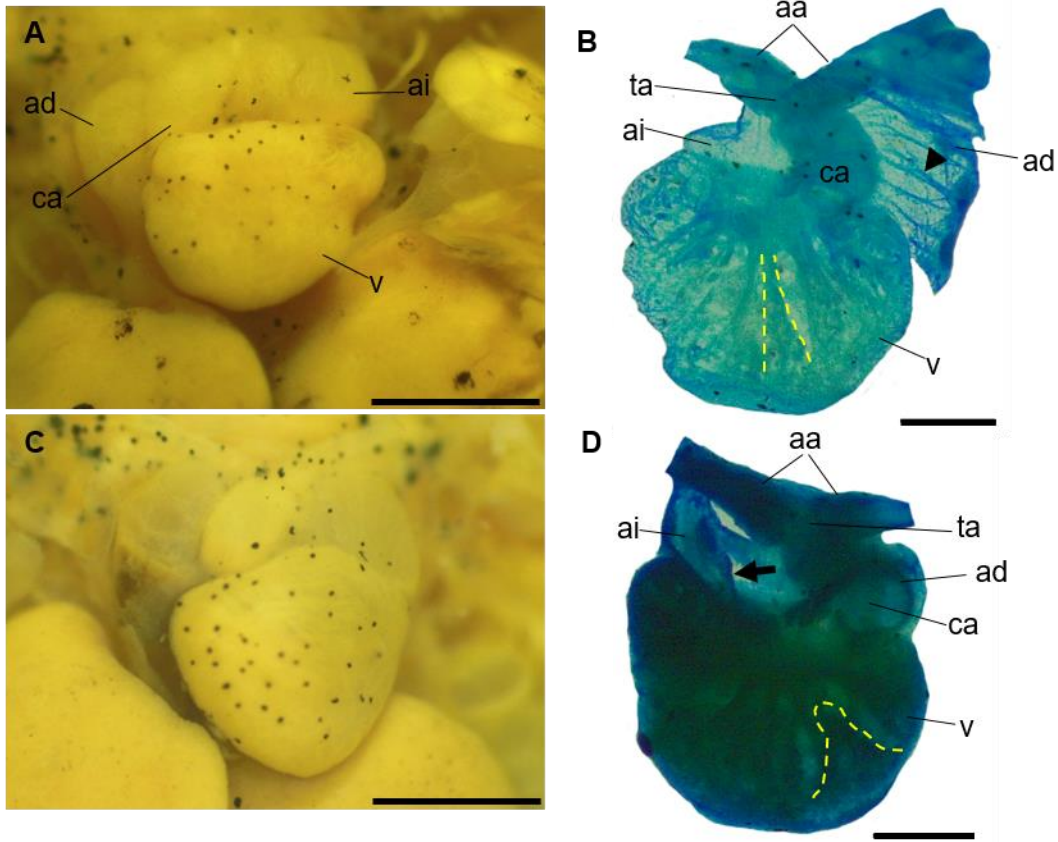


Figura 3. Morfología de los corazones de larvas en clímax metamórfico de *Scinax nasicus*. **A)** vista general del corazón del E. 44 en vista ventral. **B)** Sección coronal del corazón del E. 44 donde se detalla el desarrollo de las trabéculas auriculares. **C)** Vista general del corazón del E. 46 en vista ventral, donde las cámaras adquieren la disposición que será la definitiva en el adulto. **D)** Sección coronal del corazón del E.46 donde se muestra la morfología interna de las cámaras. **aa:** arco aórtico; **ad:** aurícula derecha; **ai:** aurícula izquierda; **bq:** branquias; **ca:** cono arterioso; **ta:** tronco arterioso; **v:** ventrículo; **flecha:** tabique auricular; **cabeza de flecha:** trabéculas auriculares; **líneas discontinuas amarillas:** trabéculas ventriculares. **Escala:** 0.5 mm.

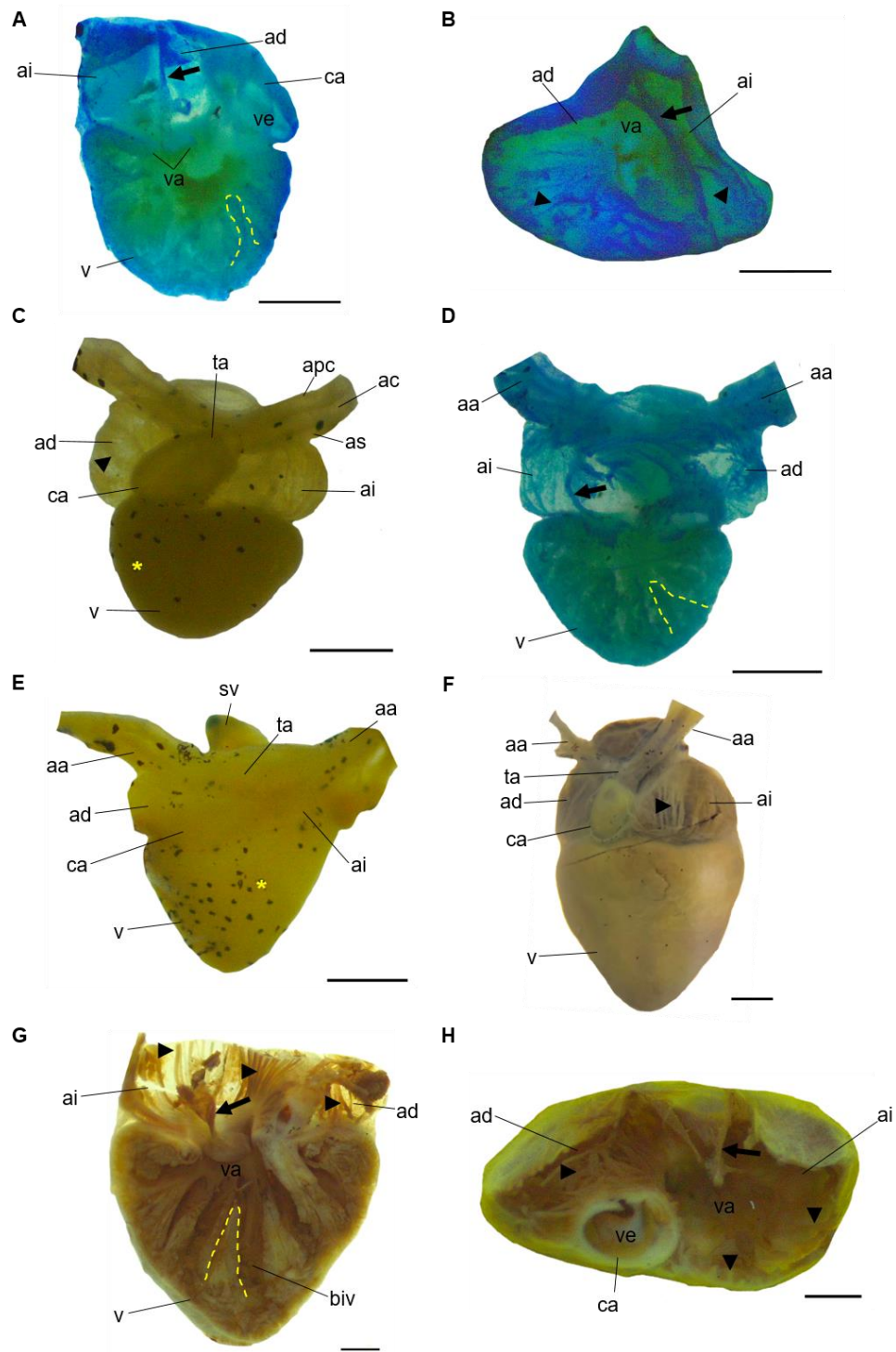


Figura 4. Morfología de los corazones de juveniles y adulto de *Scinax nasicus*. **A)** Sección coronal del corazón del E. 10dpm. **B)** sección transversal de aurículas del E. 10dpm mostrando la disposición que adquieren las trabéculas auriculares y la orientación del tabique interauricular. **C)** Vista general del corazón del E. 25dpm en vista ventral donde se observa la disminución en la forma de “S” del cono arterioso. **D)** Sección coronal del corazón del E. 25dpm mostrando el crecimiento y disposición de las trabéculas ventriculares. **E)** Vista general del corazón del E. 30dpm en vista ventral donde se observa la agudización del ápice del ventrículo. **F)** Vista general del corazón del Adulto en vista ventral. **G)** Sección coronal del corazón del Adulto donde se observan las bolsas interventriculares dispuestas entre las trabéculas. **H)** Sección transversal de las aurículas del adulto indicando la disposición de las trabéculas ventriculares dispuestas por las paredes de la aurícula y en el lumen. **aa:** arco aórtico; **ac:** arco carotideo; **ad:** aurícula derecha; **ai:** aurícula izquierda; **apc:** arco pulmocutáneo; **as:** arco sistémico; **biv:** bolsas interventriculares; **ca:** cono arterioso; **sv:** seno venoso; **ta:** tronco arterioso; **v:** ventrículo; **va:** válvulas auriculoventriculares; **flecha:** tabique auricular; **cabeza de flecha:** trabéculas auriculares; **asterisco amarillo:** cromatóforos; **líneas discontinuas amarillas:** trabéculas ventriculares. **Escala:** 0.5 mm.

Histología

Seno venoso

El seno venoso se visualizó como una cámara de pared muy delgada. El epicardio, miocardio y endocardio presentaron una célula de espesor, siendo dificultoso individualizarlas (Fig. 5B). Ésta constitución se observó durante todo el periodo prometamórfico. A partir del E. 43, clímax metamórfico, es posible distinguir las tres capas, y presentó un aumento del miocardio (Fig. 5D). Este aumento del miocardio continúa hasta el adulto. En el seno venoso del adulto se identificaron células musculares y un incremento en el epicardio (Fig. 5F).

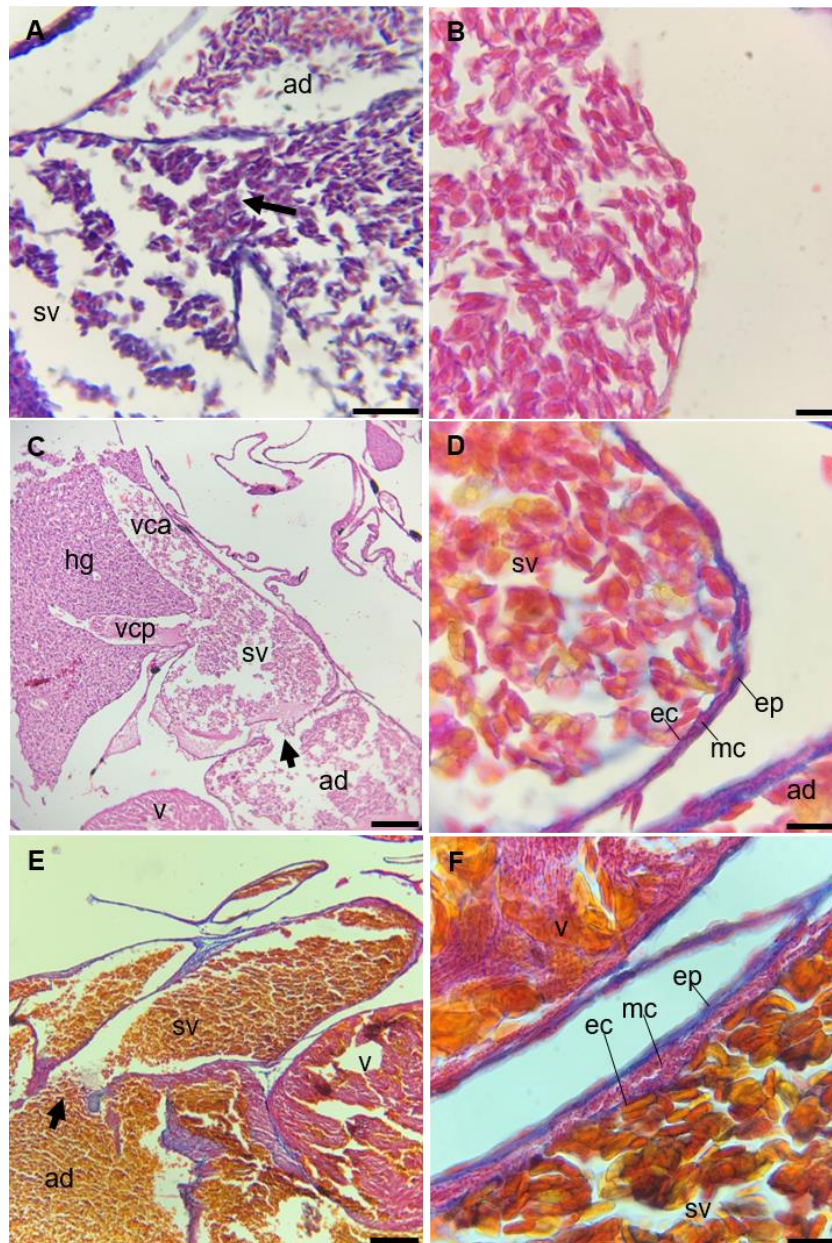


Figura 5. Secciones histológicas del seno venoso de *Scinax nasicus* en el periodo prometamórfico (A y B), clímax metamórfico (C y D) y adulto (E y F). A) Vista general del seno venoso y la comunicación con la aurícula derecha en E. 33. **B)** Detalle de la pared del seno venoso E. 27, donde no es posible distinguir las tres capas. **C)** Vista general del seno venoso y comunicación con la aurícula derecha e hígado, en E. 43. **D)** Detalle de la pared del seno venoso en E. 43 donde se aprecian las tres capas cardíacas y se observa la presencia de miocardio. **E)** Vista general del seno venoso y la comunicación a la aurícula derecha en el adulto. **F)** Detalle de la pared del seno venoso en el adulto y el aumento del tejido muscular miocárdico. **ad:** aurícula derecha; **ec:** endocardio; **ep:** epicardio; **hg:** hígado; **mc:** miocardio; **sv:** seno venoso; **v:** ventrículo; **vca:** vena cava anterior; **vcp:** vena cava posterior; **flecha:** comunicación seno venoso-aurícula; **Escala:** **A:** 50 μ m y **B-F:** 10 μ m.

Aurícula

La aurícula presenta una estructura histológica semejante a lo observado en el seno venoso, hasta el E. 33. En el epicardio se reconocen vasos sanguíneos y cromatóforos dispersos (Fig. 6A y C). A partir del E. 35, se reconocen engrosamientos del miocardio revestidos por endocardio. Estos, se disponen de forma aislada, y sobresalen hacia la luz de la aurícula (Fig. 6B). En estadios subsiguientes, estos engrosamientos aumentan de tamaño y crecen en longitud hacia la luz de la aurícula (Fig. 6C-F), constituyendo las trabéculas auriculares, que se corresponden con los pliegues longitudinales observados a nivel morfológico. En el adulto, se observa que estas trabéculas son cortas y simples en la aurícula izquierda, mientras que en la aurícula derecha son más largas y ramificadas, e invaden la luz auricular (Fig. 6F).

El tabique interauricular, se observa como una delgada membrana, continuación de la membrana endocárdica (Fig. 6G-J). En el E. 27, este tabique se observa en la pared dorsal de la aurícula y divide parcialmente la cámara (Fig. 6G). E. 35 se observa, además, un tabique ventral, que se origina a nivel de la comunicación auriculoventricular (Fig. 6H). Sin embargo, hasta este estadio, no fue posible observar un tabique completo que divida a la aurícula. En el E. 43 se pudo reconocer un tabique completo, que separa la aurícula derecha de la izquierda, las cuales comunican independientemente con el ventrículo (Fig. 6J). En el adulto, el tabique interauricular mantiene las características histológicas observadas en estadios anteriores (Fig. 6K).

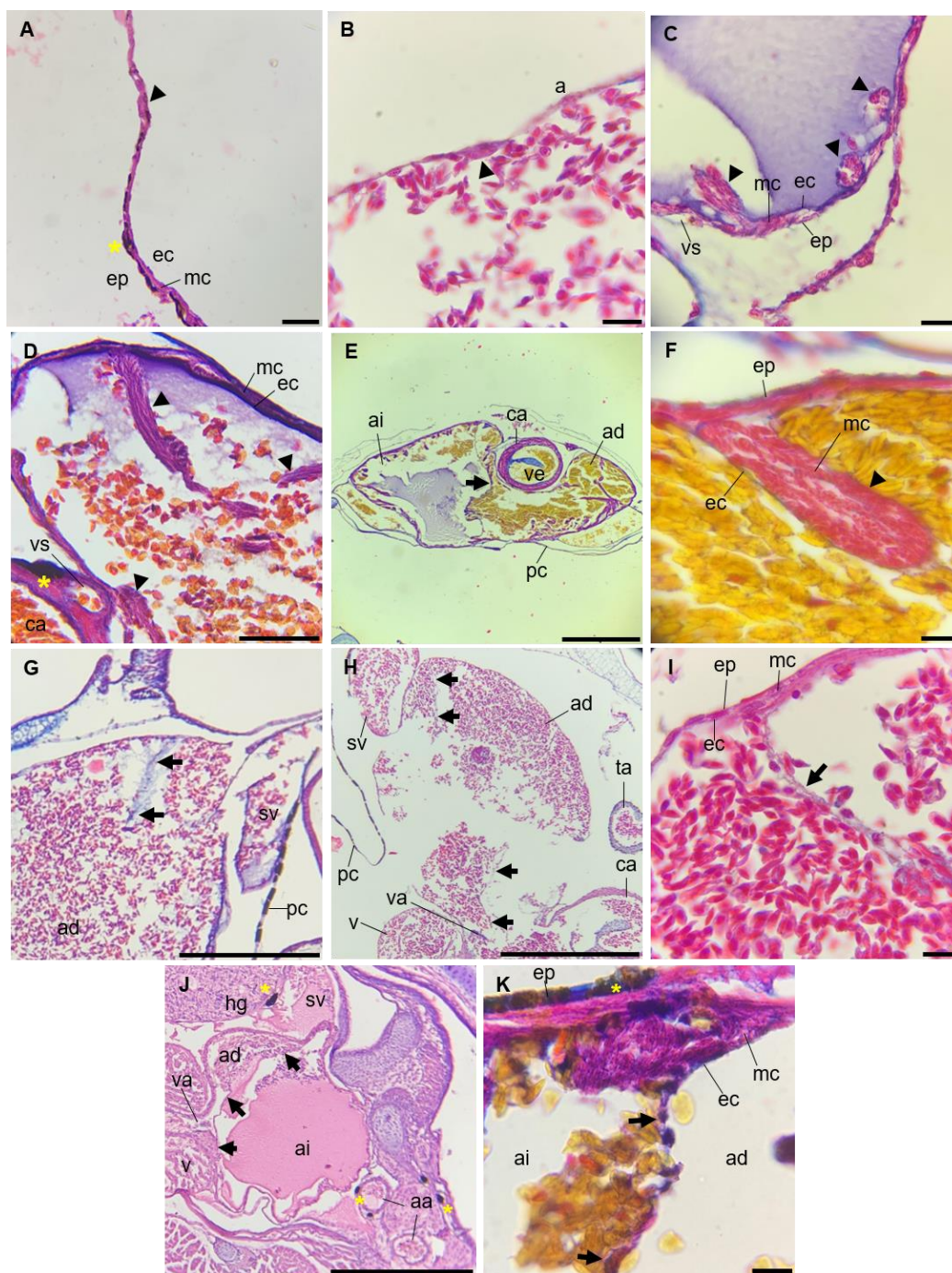


Figura 6. Secciones histológicas de la aurícula de *Scinax nasicus* en el periodo prometamórfico (A, B, G, H y I), clímax metamórfico (C, D y J) y adulto (E, F y K). A) Detalle de la pared de la aurícula en E. 27, indicando engrosamiento en células miocárdicas de la pared interna que se corresponden con las trabéculas ventriculares. **B)** Detalle del aumento en grosor de una trabécula auricular en E. 35. **C)** Detalle del crecimiento en longitud trabéculas ventriculares y revestidas por endocardio en E. 43. **D)** Detalle del aumento en longitud de trabéculas auriculares en E. 45. **E)** Sección transversal de las aurículas donde se observa la disposición de las trabéculas ventriculares en el adulto. **F)** Detalle del tejido miocárdico alcanzado por una trabécula auricular en el adulto comparado con el grosor de la pared auricular. **G)** Detalle de la pared dorsal de la aurícula en E. 27 donde se observa el tabique interauricular incompleto. **H)** Detalle del tabique interauricular en E. 35 de la pared dorsal y ventral de la aurícula, pero incompleto en la parte media, unido a la válvula auriculoventricular. **I)** Detalle del tabique interauricular en E.35. **J)** Detalle del tabique completo en E. 43, separando las aurículas en izquierda y derecha. **K)** Detalle del tabique interauricular en el Adulto de similar característica histológica al observado en el estadio larval. **aa:** arcos aórticos; **ad:** aurícula derecha; **ai:** aurícula izquierda; **ca:** cono arterioso; **ec:** endocardio; **ep:** epicardio; **hg:** hígado; **mc:** miocardio; **pc:** pericardio; **sv:** seno venoso; **ta:** tronco arterioso; **v:** ventrículo; **va:** válvula auriculoventricular; **ve:** válvula espiral; **vs:** vaso sanguíneo; **flecha:** tabique interauricular; **cabeza de flecha:** trabécula auricular; **asterisco amarillo:** cromatóforo; **Escala:** A, B, C, F, I y K: 10 μ m y D, E, G, H y J: 50 μ m.

Ventrículo

El ventrículo se caracteriza por la presencia de trabéculas formadas por miocardio revestidas de endocardio. Las trabéculas nacen desde la pared como proyecciones que se dirigen hacia la luz ventricular. Estas presentan diferentes longitud y grosor, dependiendo de la ubicación. Las trabéculas cortas, se observan en los márgenes del ventrículo y están formados por células mesenquimáticas (Fig. 7B). Las trabéculas más largas están formadas por células miocárdicas y se extienden hacia la luz del ventrículo dividiéndolo en pequeñas cámaras (Fig. 7A, C y D). Esta morfología se observa hasta el E. 38. En el E. 43, en el ventrículo se reconocen tres zonas. Una zona marginal, donde las trabéculas son cortas y muy ramificadas, y se entrecruzan dando aspecto laberíntico. Una zona submarginal formada por las trabéculas más largas, las cuales convergen y se entrecruzan en la región media. Y una zona central, libre de trabéculas que se continúa con el canal auriculoventricular (Fig. 7E y F). En el adulto se observan características similares a la descrita, diferenciándose la zona marginal por presentar mayor cantidad y ramificación de trabéculas en la cara ventral que en la dorsal del ventrículo (Fig. 7G y H). En el epicardio, se reconocen gran cantidad de cromatóforos.

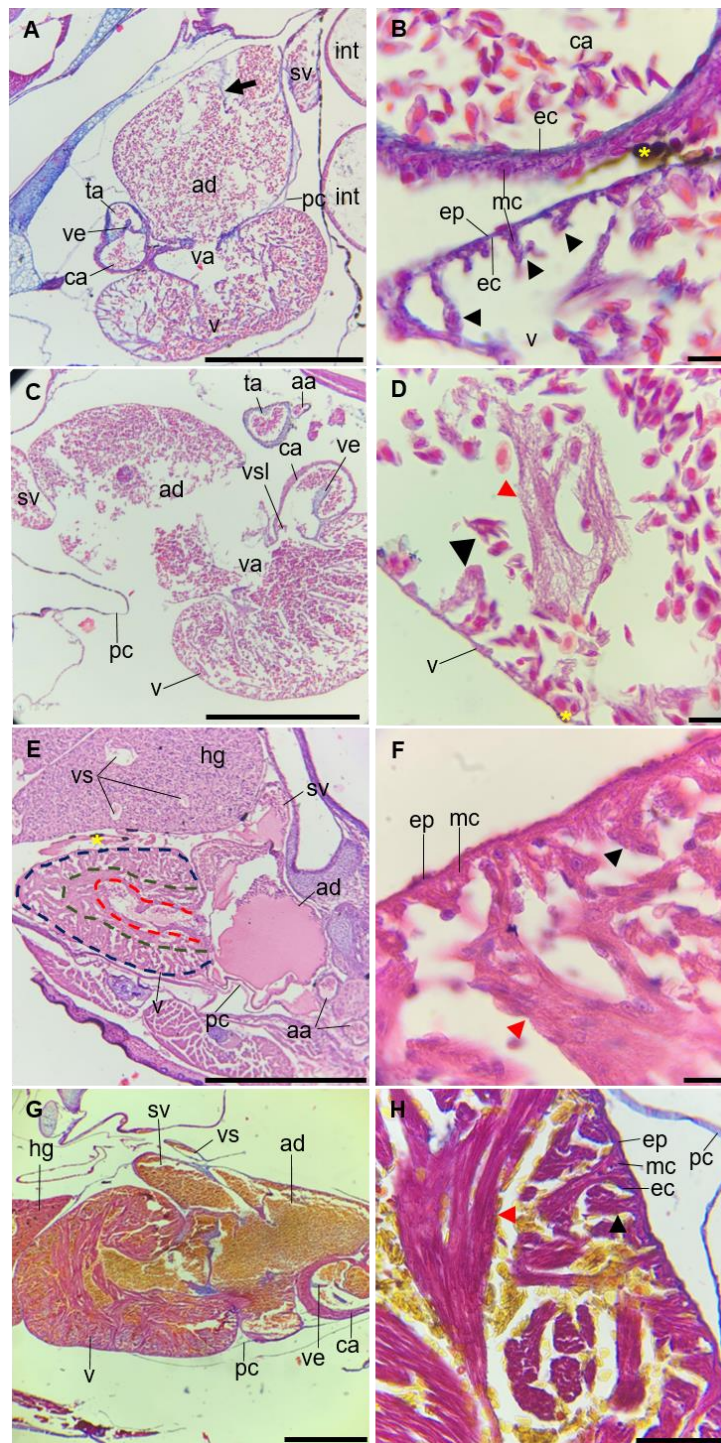


Figura 7. Secciones histológicas del ventrículo de *Scinax nasicus* en el periodo prometamórfico (A-D), clímax metamórfico (E y F) y adulto (G y H). A) Vista general del ventrículo y disposición de las trabéculas en E. 27. B) Detalle de la pared del ventrículo en E. 27, donde no se reconocen fibras musculares en las trabéculas en comparación con el cono arterioso. C) Vista general del ventrículo y disposición de las trabéculas en E. 35. D) Detalle de una trabécula ventricular en E. 35, donde se reconocen las fibras musculares. E) Vista general del ventrículo y disposición de las trabéculas en E. 43, donde se reconocen tres zonas según el tipo de trabéculas: zona central, zona submarginal y zona marginal. F) Detalle del aumento en tejido muscular miocárdico en trabéculas de E. 43. G) Vista general del ventrículo y disposición de las trabéculas en adulto. H) Detalle de trabéculas marginales mostrando miocardio esponjoso en el adulto. aa: arco aórtico; ad: aurícula derecha; ca: cono arterioso; ec: endocardio; ep: epicardio; hg: hígado; int: intestino; mc: miocardio; pc: pericardio; ta: tronco arterioso; va: válvula auriculoventricular; ve: válvula espiral; vs: vaso sanguíneo; vsl: válvula semilunar; flecha: tabique interauricular; cabeza de flecha negra: trabéculas de tejido esponjoso; cabeza de flecha roja: trabéculas fibrosas; línea punteada azul: zona marginal; línea punteada verde: zona submarginal; línea punteada roja: zona central; asterisco amarillo: cromatóforo; Escala: A, C, E, G y H: 50 μ m y B, D y F: 10 μ m.

Válvulas

Tanto en estadios larvales, juveniles y adultos, las válvulas auriculoventriculares, las válvulas semilunares, y la válvula espiral del cono arterioso, están formadas por un tejido conjuntivo rico en colágeno, revestido por endocardio.

Las válvulas auriculoventriculares, desde el E.27 al E. 35, delgadas y cortas, y se disponen en sentido horizontal (Fig. 8A). En el E.33, se reconocen cordones de tejido rico en colágeno, que unen la cara interna de las válvulas a las trabéculas que delimitan la zona central del ventrículo (Fig. 8A). A partir del E. 43, se registra un aumento en espesor y longitud de las válvulas, se disponen en sentido vertical y presentan una región más ensanchada basal y un extremo globoso (Fig. 8B). Esta característica se observa también en los ejemplares adultos (Fig. 8C).

La válvula espiral, desde E. 27 se observa como una capa gruesa de tejido conjuntivo rico en colágeno, el cual crece progresivamente en los estadios subsiguientes hasta el adulto (Fig. 8G-I).

Las válvulas semilunares hasta el E. 33 están constituidas por una delgada capa de tejido conjuntivo rico en colágeno, el cual crece progresivamente en grosor en los estadios subsiguientes (Fig. 8D-F). En el estado adulto, la región basal se ensancha y el extremo globoso (Fig. 8F).

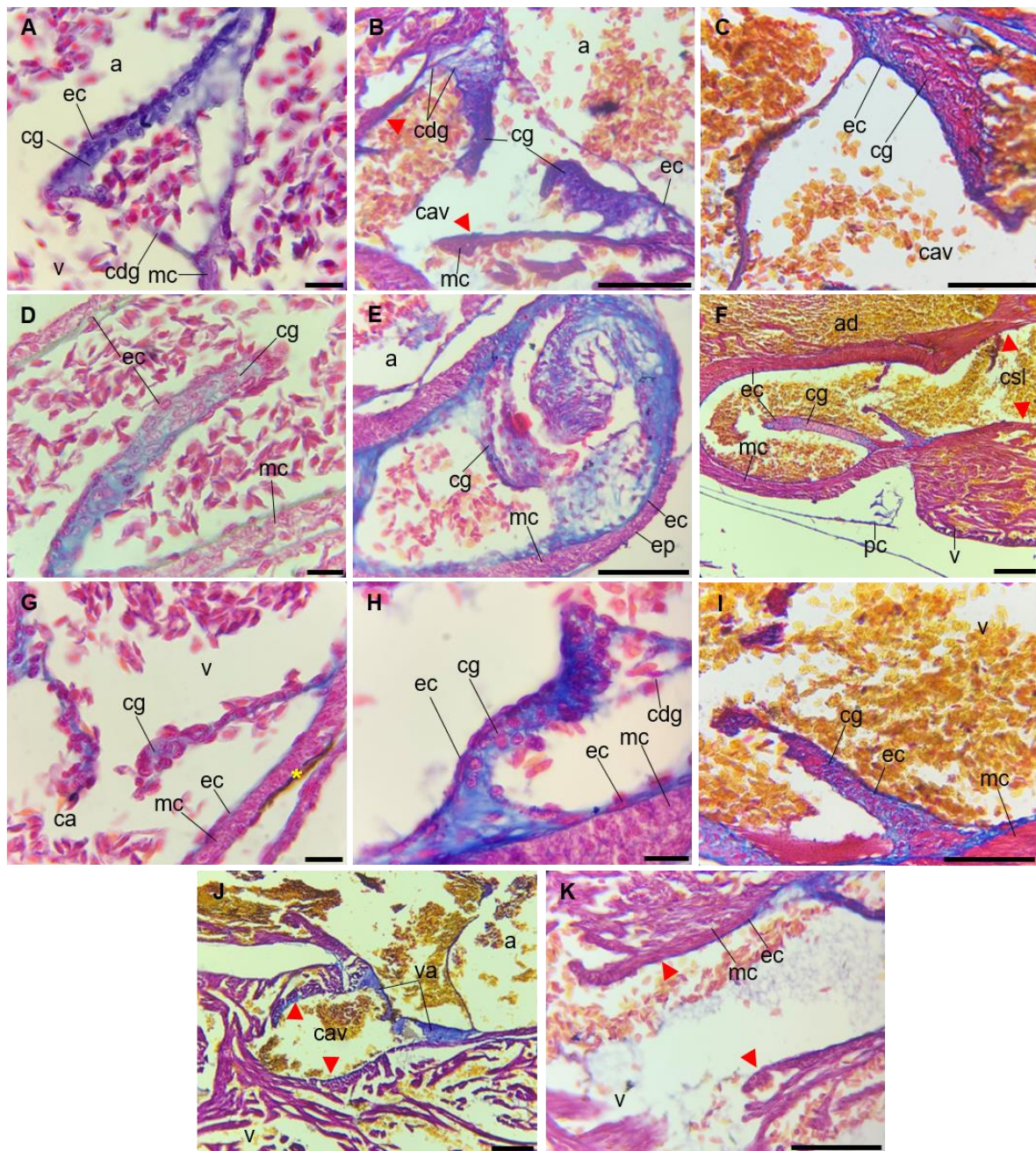


Figura 8. Secciones histológicas de las válvulas auriculoventriculares, espiral y semilunares en *Scinax nasicus* en el periodo prometamórfico (A D y G), clímax metamórfico (B, E, H y K) y adulto (G, F, I y J). A) Detalle de válvula auriculoventricular E. 33, se observa una morfología recta y formadas por pocas células de colágeno de espesor, además de cordones de colágeno que las unen a trabéculas ventriculares **B)** Detalle de válvulas auriculoventriculares E. 45, donde se produce aumento del grosor y se observa ensanchamiento en el extremo basal. **C)** Detalle de válvula auriculoventricular en adulto, dispuestas en sentido vertical respecto a la pared ventricular. **D)-F)** Detalle de la válvula espiral del cono arterioso formada por células de colágeno que aumentan progresivamente a medida que avanzan los estadios. **G)-I)** Detalle de válvula semilunar formada por células de colágeno que aumentan progresivamente a medida que avanzan los estadios. **J)** Detalle del canal auriculoventricular ventral a la comunicación auriculoventricular en el adulto. **K)** Detalle del canal semilunar ventral a la comunicación del ventrículo con el cono arterioso en el E.45. **a:** aurícula; **ad:** aurícula derecha; **ca:** cono arterioso; **cav:** canal auriculoventricular; **cdg:** cordones de colágeno; **cg:** células colágenas; **csl:** canal semilunar; **ec:** endocardio; **ep:** epicardio; **mc:** miocardio; **pc:** pericardio; **v:** ventrículo; **va:** válvula auriculoventricular; **flecha:** tabique interauricular; **cabeza de flecha roja:** canal auriculoventricular y canal semilunar; **asterisco amarillo:** cromatóforo; **Escala:** **A, D, F, G, H y J:** 10 μ m y **B, C, E, I y K:** 50 μ m.

Cono arterioso

El cono arterioso es la cámara que presenta el mayor desarrollo de epicardio, miocardio y endocardio, desde el E. 27 hasta el adulto, siendo constantemente la cámara más gruesa (Fig. 9A-C). En el adulto, alcanza el grosor de hasta seis veces el de la pared del ventrículo (Fig. 9C). En el epicardio, se reconocen cromatóforos dispersos en la superficie.

El tronco arterioso y los arcos aórticos, que le continúan al cono arterioso, presentan una constitución histológica de colágeno, revestidos por epicardio y endocardio. Del E.27 al E.43 ésta constitución se mantiene (Fig. 9D). A partir del E.45 aparecen células musculares cardíacas entre las células de colágeno (Fig. 9E). En el adulto el tronco arterioso está compuesto completamente de miocardio, y los arcos aórticos, compuestos de miocardio y colágeno (Fig. 9F). En ambas estructuras, se observa la presencia de cromatóforos en la superficie de epicardio.

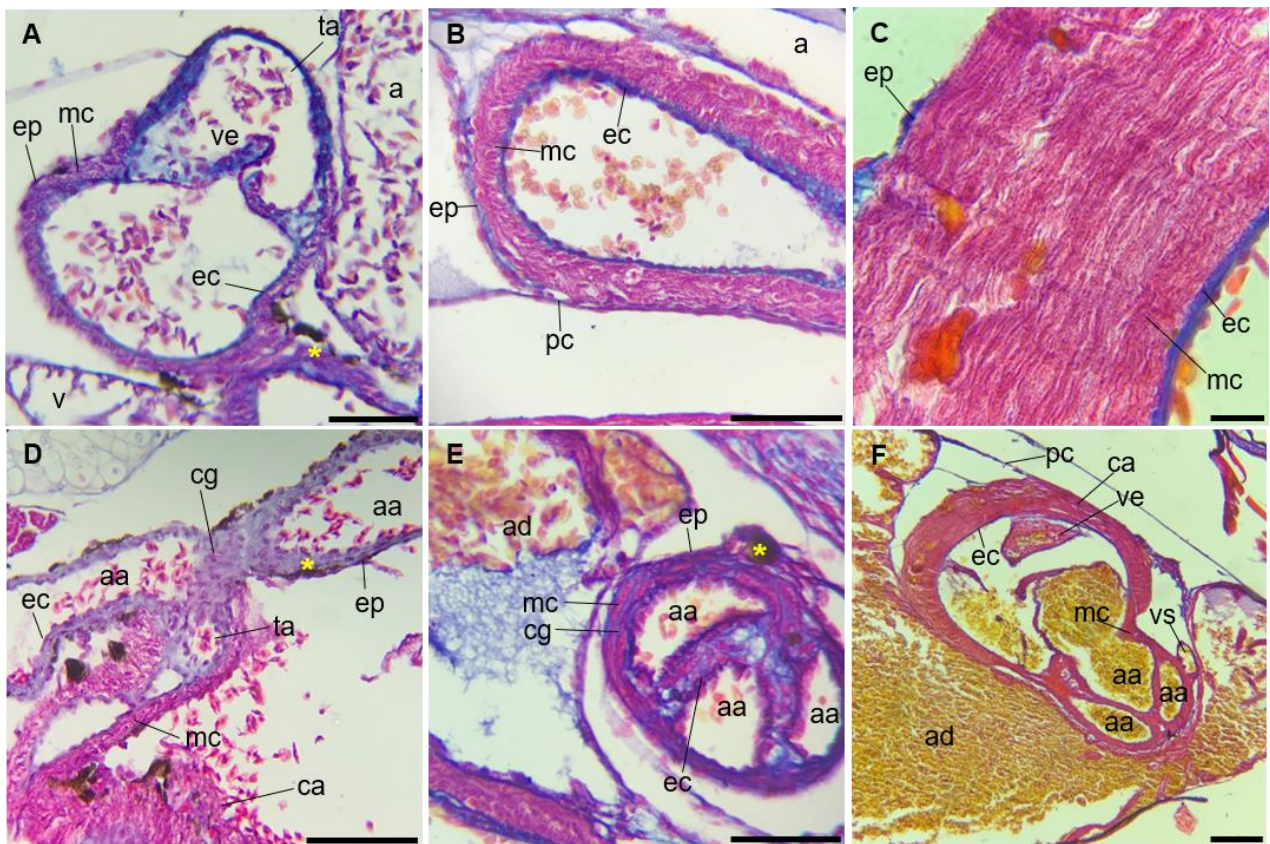


Figura 9. Secciones histológicas del cono arterioso, tronco arterioso y arcos aórticos en *Scinax nasicus* en el periodo prometamórfico (A y D), clímax metamórfico (B y E) y adulto (C y F). A) Detalle del cono arterioso en E. 27, donde se observan fibras musculares cardíacas y un espesor de la pared mayor al presentado por la aurícula y el ventrículo. B) Detalle del aumento del miocardio en el cono arterioso de E. 43. C) Detalle de la disposición de las fibras musculares en el cono arterioso del adulto. D) Detalle del tronco arterioso y arcos aórticos formados por colágeno en E. 33 y se observa la transición de tejidos. E) Detalle del tronco arterioso en E. 45 donde se observa la presencia de células musculares cardíacas entre las células de colágeno. F) Detalle del tronco arterioso formado por tejido muscular cardíaco en el adulto. Además, se observa la aurícula derecha abraza al cono y tronco arterioso. a: aurícula; ad: aurícula derecha; ca: cono arterioso; cg: células colágenas; ec: endocardio; ep: epicardio; mc: miocardio; pc: pericardio; ta: tronco arterioso; v: ventrículo; ve: válvula espiral; vs: vaso sanguíneo; asterisco amarillo: cromatóforo; Escala: A, B, D y E: 50 μ m y C y F: 10 μ m.

Variaciones en el espesor de la pared de las cámaras cardíacas

En la figura 10 se muestra comparativamente el espesor de la pared de la aurícula, el ventrículo y el cono arterioso a lo largo del ciclo de vida. Se observa que tanto la aurícula como el ventrículo no presentan variaciones significativas en el espesor durante todo el periodo larval, incrementándose ligeramente a partir del periodo juvenil. En contraste, el cono arterioso muestra variaciones en el espesor a lo largo de los periodos analizados, registrándose un aumento significativo después del clímax metamórfico.

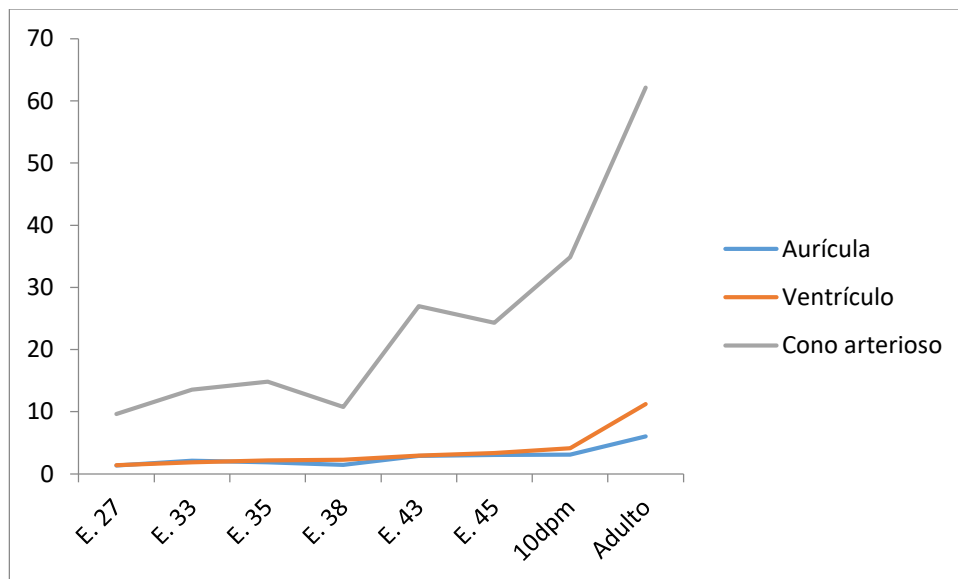


Figura 10. Comparación del espesor (en μm) de la pared de la aurícula, ventrículo y cono arterioso de *Scinax nasicus* en diferentes estadios (E.) del periodo larval prometamórfico y clímax metamórfico, juvenil (10dpm) y adulto.

Discusión

En este trabajo se caracterizó y describió la estructura histológica de las distintas cámaras del corazón de *Scinax nasicus* y sus variaciones a lo largo del ciclo de vida, información que era desconocida para la especie. Asimismo, aporta información complementaria a descripciones previas de la morfología cardíaca, particularmente de individuos juveniles y adultos.

En cuanto a la morfología externa, lo observado es coincidente con lo descrito por Sandoval et al., (2022) para el periodo larval del desarrollo. Lo más característico de ésta etapa se refiere al proceso de migración del seno venoso y las aurículas, a su posición definitiva, dorsal anterior al ventrículo. Asimismo, durante esta etapa se evidencia un cambio en la orientación del ventrículo, y del cono arterioso. Estos

procesos, ocurren durante el periodo prometamórfico y se completan hacia el final de la metamorfosis, configurando la morfología y topografía definitiva del corazón del adulto (Fig. 1).

El seno venoso, durante todo el desarrollo, se observó como una cámara de paredes muy delgadas y lisas. En esta cámara, el miocardio, muy escaso durante el periodo prometamórfico, mostró un aumento progresivo en el número de células a partir del clímax metamórfico hasta el estado adulto.

El seno venoso en los anfibios es el responsable de iniciar los latidos del corazón y de recibir la sangre venosa que retorna de la cabeza, las extremidades y el cuerpo (Deng et al., 2013). Moorman et al (2010), menciona que no se considera al seno venoso como una verdadera cámara ya que no se forma por abombamiento, como las aurículas y el ventrículo, pero aun así se la clasifica como tal por la presencia de miocardio. En la mayoría de los peces teleósteos la pared del seno venoso no contiene miocardio, excepto en la unión sinoatrial, que alberga el marcapasos. En los reptiles, se conserva un seno venoso miocárdico, dorsal y posterior a la aurícula derecha, similar al de anfibios. En el desarrollo de los mamíferos y aves, se produce la incorporación, o atrialización, del seno venoso a la aurícula derecha. No se sabe aún el motivo de la atrialización del seno venoso, y sigue sin explicarse por qué sólo los mamíferos desarrollan un nódulo sinoatrial morfológicamente diferenciado. El seno venoso de los anfibios es el modelo de marcapasos básico y natural, similar al nódulo sinoauricular de los mamíferos y se localiza dorsal y posterior a la aurícula derecha.

Las aurículas, al igual que el seno venoso, presentaron paredes muy delgadas, durante todo el periodo analizado. Sin embargo, se diferenciaron por presentar trabéculas constituidas por miocardio y endocardio. Estas trabéculas mostraron un crecimiento progresivo desde el E. 27 hasta el inicio del clímax metamórfico. A partir del periodo metamórfico, estas trabéculas mostraron un marcado crecimiento en longitud y un aumento en el espesor de la capa miocárdica, la cual, en el adulto, triplica el espesor de la pared externa. Las trabéculas auriculares, también denominadas músculos pectinados, están presentes en todos grupos de vertebrados, incluyendo humanos. Estas trabéculas conducen los impulsos nerviosos que se inician en el seno venoso, o nodo sinoauricular, y se propagan a través de las aurículas. Estas propagaciones nerviosas, parecen ser más rápidas a través de músculos pectinados, que activan la contracción casi simultánea y coordinada de las aurículas durante la diástole (Sedmera et al., 2006). De este modo, la geometría miocárdica desempeña un papel importante en la determinación de los patrones de conducción auricular hasta las válvulas auriculoventriculares, y luego, el impulso nervioso se transmite a las trabéculas ventriculares (Sedmera et al., 2003). Estas trabéculas, han sido descriptas en: pez cebra (*Danio rerio*) (Hu et al., 2001), pez pulmonado africano (*Protopterus dolloi*) (Icardo et al., 2005), salamandra (*Ambystoma mexicanum*) (Olejnickova et al., 2021), lagarto (*Varanus monitor*) (Mathur 1944), serpiente del maíz (*Pantherophis guttatus*), anole (*Anolis sagrei*) (Jensen et al., 2013), aves (*Gallus gallus*) (Sedmera et al., 2006), ratón (*Rattus norvegicus albinus*) (Todd et al., 1990), cerdo (*Sus scrofa doméstica*) (Sashse 2004) y humanos (Berenfeld et al., 2002; Siddiqui et al., 2013; Rastogi et al., 2016). Sin embargo, no se encontró menciones al respecto para anuros. Estos trabajos refieren a la morfología cardiaca de los individuos adultos. El presente trabajo, aporta información acerca del desarrollo de las trabéculas auriculares desde el

estado larval hasta el estado adulto de *S. nasicus*, y pone de manifiesto un cambio morfológico significativo a partir del periodo metamórfico. Esto podría estar relacionado con un cambio en este sistema de conducción nervioso dentro del corazón durante la transición de la vida acuática a la vida terrestre.

En los anfibios suele evidenciarse un tabique interauricular prominente, pero poca o ninguna tabicación ventricular. La tabicación auricular en los anfibios es mucho más variada que en los amniotas, que presentan un tabique interauricular completo orientado en el plano sagital. En las cecilias, orden Gymnophiona, el tabique interauricular puede estar en el plano sagital o en el plano frontal (Wilkinson & Nussbaum, 1997). Además, se menciona la presencia de múltiples tabiques interauriculares orientados en el plano frontal en algunas familias (Schilling, 1935). En las salamandras, orden Caudata, el tabique interauricular puede ser completo, parcial y perforado o desaparecer por completo en ciertas especies sin pulmones, y puede estar orientado oblicuo al plano frontal (Benninghoff, 1933; Putnam & Kelly, 1978). En ranas y sapos, orden Anura, el tabique interauricular es completo y orientado como en los amniotas (Benninghoff, 1933; Ramsdell et al. 2006).

En larvas de *Rana pipiens* de E. 24, según la tabla del desarrollo de Shumway (1940), el tabique interauricular aparece primero como una proyección no celular, desde la pared dorsal de la aurícula. El tabique continúa extendiéndose hacia la parte interior y dorsal de la aurícula. Al mes, el tabique celular completa la división de la aurícula, en una derecha, más grande, y una izquierda, más pequeña (Jaffee 1963). En larvas de *Xenopus laevis* de E. 45-46, tabla del desarrollo de Nieuwkoop & Faber (1956), tabique interauricular se extiende desde la pared dorsal de la aurícula, pliegue sinopulmonar, hasta la comunicación auriculoventricular, separando de forma incompleta las dos cámaras auriculares, y de forma completa en la región caudal. Esta división es desigual, siendo la aurícula derecha notablemente mayor que la izquierda. (Mohum 2000; Jahr & Manner 2011). En *S. nasicus*, la formación del tabique interauricular se inicia con un septo dorsal que divide parcialmente la aurícula, por lo que esta comunica con el ventrículo a través de un único orificio auriculoventricular. En el E. 35 se registra un tabique ventral, sin embargo, la tabicación de la aurícula, en aurícula derecha e izquierda, y la división del orificio auriculoventricular, en orificio derecho e izquierdo, se completa en el clímax metamórfico.

El ventrículo, presentó una pared externa delgada y trabéculas ventriculares formadas por miocardio y endocardio. A diferencia de la aurícula, el ventrículo presentó trabéculas ventriculares bien desarrolladas y ramificadas, desde estadios prometamórficos. Estas trabéculas mostraron un crecimiento progresivo durante todo el periodo larval, siendo más pronunciado en el periodo metamórfico. Durante el periodo postmetamórfico, estas trabéculas continúan creciendo y ramificándose, ocupando progresivamente un mayor porcentaje del lumen ventricular.

Akat (2020) reconoce en la pared del ventrículo adulto de *Pelophylax cf. bedriagae* la presencia de dos capas miocárdicas: una capa externa compacta y una capa interna trabecular, denominada espongirosa. En *Scinax nasicus* solo se reconoce una capa de miocardio trabecular.

Ito et al., (2021) analizaron la rigidez del ventrículo del corazón de ejemplares adultos de tres especies de hábitats diferentes: una especie acuática, *Xenopus laevis*, una especie semiacuática,

Pelophylax nigromaculatus, y una especie terrestre, *Bufo japonicus formosus*. Estos autores reconocieron diferencias interespecíficas en la estructura histológica y la rigidez del miocardio compacto que relacionaron con el hábitat. Las especies de hábitats semiacuático y terrestre mostraron una pared ventricular más compacta y de mayor rigidez, que la especie acuática que presentó una pared menos compacta, hecho que fue interpretado, por estos autores, como una adaptación al modo de vida terrestre. Si bien en este trabajo no se analizó la rigidez del ventrículo, en *Scinax nasicus*, especie de hábitos terrestres, no se reconoció una pared compacta en el ventrículo, y mostró una estructura trabecular, semejante a la reportada para *Xenopus laevis*, especie de hábitos acuáticos. Esto no evidencia lo propuesto por dichos autores acerca de la relación entre la estructura del ventrículo y los hábitos terrestres.

El cono arterioso, es la cámara cardíaca que más variaciones registró a lo largo del desarrollo. A diferencia de las restantes cámaras, presentó una conspicua capa compacta de miocardio y una capa endocárdica rica en colágeno.

En cuanto al desarrollo del miocardio, se observó un aumento progresivo del espesor durante los estadios prometamórficos y un marcado crecimiento a partir del periodo metamórfico, que se continuó de forma exponencial durante el periodo juvenil hasta el adulto. Comparando con estadios prometamórficos, el espesor de la capa miocárdica del adulto, es cinco veces mayor. Dentro de cono arterioso se observó la válvula espiral formada por endocardio, con una capa gruesa de tejido subendocárdico rico en colágeno revestido por endotelio.

El cono arterioso de peces y anfibios, a diferencia de los amniotas, se preserva en el corazón del adulto. La incorporación del cono arterioso al ventrículo, es decir, el proceso de ventricularización que ocurre en cocodrilos, aves y mamíferos, contribuye a la tabicación completa del ventrículo (Goodrich 1930; Holmes 1975). Duran et al., (2014), luego de realizar un análisis filogenético de la anatomía del cono arterioso en peces actinoptergios, destacan la idea de que el bulbo arterioso de los peces, ha desempeñado un papel esencial en la evolución del corazón de los vertebrados, ya que es el precursor del tronco de la aorta y de la arteria pulmonar, en aves y mamíferos. El tronco arterioso, que continúa al cono arterioso, es considerado como la región de transición entre el corazón y el sistema vascular. (Wang et al., 1999).

Consideraciones finales

A partir de este trabajo se logró caracterizar el desarrollo del corazón considerando aspectos morfológicos, cambios topográficos y variaciones en la estructura histológica de cada una de las cámaras, que se sucedieron a lo largo del desarrollo larval, así como también durante el periodo juvenil hasta el adulto de *Scinax nasicus*. Los mayores cambios registrados en la estructura histológica del corazón, se evidenciaron durante el periodo metamórfico, y estarían relacionados con el paso de la vida acuática a la vida terrestre.

Se destaca la importancia de proporcionar una fuente de conocimientos sobre la anatomía e histología de las cámaras cardíacas, que sirvan de base para otras investigaciones y que contribuyan a interpretar las variaciones morfológicas en relación al modo de vida de los anuros.

Bibliografía

- Akat E. 2020. A histological study on heart of *Pelophylax cf. Bedriagae* (Anura: Ranidae). Russian Journal of Herpetology, 27(3): 123-126.
- Bartman T, Hove J. 2005. Mechanics and function in heart morphogenesis. Developmental Dynamics: an official publication of the American Association of Anatomists 233(2):373-381.
- Beaupre SJ, Jacobson ER, Lillywhite HB, Zamudio K. 2004. Guidelines for Use of Live Amphibians and Reptiles in Field and Laboratory Research. Herpetological Animal Care and Use Committee (HACC) of the American Society of Ichthyologists and Herpetologists. American Society of Ichthyologists and Herpetologists.
- Benninghoff A. 1933. Das Herz. Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbelthiere, 6:467-556.
- Berenfeld O, Zaitsev AV, Mironov SF, Pertsov AM, Jalife J. 2002. Frequency-dependent breakdown of wave propagation into fibrillatory conduction across the pectinate muscle network in the isolated sheep right atrium. Circulation research 90(11):1173-1180.
- Bruner HL. 1900. On heart of lungless salamanders. Journal of Morphology 16:323.
- Burggren WW, Fritsche R. 1997. Amphibian cardiovascular development. Burggren WW, Keller BB, eds. Development of Cardiovascular Systems: Molecules to Organisms. New York: Cambridge University Press 1997:166-182.
- Burggren WW, Warburton S. 2007. Amphibians as animal models for laboratory research in physiology. ILAR J 48(3): 260-269.
- Casco VH, Lajmanovich RC. 1999. Atlas Histo-Embriológico de los principales estadios organogénicos de *Physalaemus biligonigerus* (Amphibia: Leptodactylidae). Santa Fe: Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino.
- Crump ML. 2009. Amphibian diversity and life history. Dodd CK Jr, ed. Amphibian Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques. Oxford: Oxford University Press; 2009:3-20.
- de Bakker DM, Wilkinson M, Jensen B. 2015. Extreme variation in the atrial septation of caecilians (Amphibia: Gymnophiona). J Anat 226(1):1-12.
- Deng X, Guan C, Wang Y, Zhang B, Li S, Sun G, Hao G, Li G. 2013. Identification and detection of the isolated sinus venosus from the Asian toad. Cell Biochem. Func 31(8):660-667.

- Durán AC, Reyes-Moya I, Fernández B, Rodríguez C, Sans-Coma V, Grimes AC. 2014. The anatomical components of the cardiac outflow tract of the gray bichir, *Polypterus senegalus*: their evolutionary significance. *Zoology* 117(6):370-376.
- Duré MI. 1999. Interrelaciones en los nichos tróficos de dos especies sintópicas de la familia Hylidae (Anura) en un área subtropical de Argentina. *Cuadernos de Herpetología* (13).
- Frost DR. 2007. Amphibian Species of the World: an online reference. Version 5.1. Electronic Database accessible at <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. American Museum of Natural History, New York, USA. Captured on 25 April 2008.
- Goodrich ES. 1930. Chapter X. Vascular system and heart. In: *Studies on the structure and development of vertebrates*. London: Macmillan & Co. 536– 577.
- Gosner KL. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* 16:183-190.
- Hempel A, Kühl M. 2016. A matter of the heart: the African clawed frog *Xenopus* as a model for studying vertebrate cardiogenesis and congenital heart defects. *Journal of Cardiovascular Development and Disease* 3(2):21.
- Holmes EB. 1975. A reconsideration of the phylogeny of the tetrapod heart. *Journal of morphology* 147(2):209-228.
- Hu N, Yost HJ, Clark EB. 2001. Cardiac morphology and blood pressure in the adult zebrafish. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*, 264(1):1-12.
- Icardo JM, Brunelli E, Perrotta I, Colvee E, Wong WP, Ip YK. 2005. Ventricle and outflow tract of the African lungfish *Protopterus dolloi*. *Journal of morphology* 265(1):43-51.
- Ito M, Ujihara Y, Sugita S, Nakamura M. 2021. Comparison of the histology and stiffness of ventricles in Anura of different habitats. *Journal of Biological Physics*, 47:287–300.
- Jaffee OC. 1963. Bloodstreams and the formation of the interatrial septum in the anuran heart. *The Anatomical Record* 147(3):355-357.
- Jahr M, Männer J. 2011. Development of the venous pole of the heart in the frog *Xenopus laevis*: a morphological study with special focus on the development of the venoatrial connections. *Developmental Dynamics* 240(6):1518-1527.
- Jensen B, Boukens BJ, Wang T, Moorman AF, Christoffels VM. 2014. Evolution of the sinus venosus from fish to human. *Journal of Cardiovascular Development and Disease* 1(1):14-28.
- Jensen B, Moorman AF, Wang T. 2014. Structure and function of the hearts of lizards and snakes. *Biol Rev Camb Philos Soc* 89(2):302-336.

- Jensen B, van den Berg G, van den Doel R, Oostra RJ, Wang T, Moorman AF. 2013. Development of the hearts of lizards and snakes and perspectives to cardiac evolution. *PLoS One*, 8(6): e63651.
- Katano W, Moriyama Y, Takeuchi JK, Koshiba-Takeuchi K. 2019. Cardiac septation in heart development and evolution. *Development, Growth & Differentiation* 61(1): 114-123.
- Kehr AI, Duré MI. 1995. Descripción de la larva de *Scinax nasicus* (Cope, 1862) (Anura, Hylidae). *Facena* (11)99-103.
- Lavilla EO, Ponssa ML, Baldo D, Basso N, Bosso A, Céspedes J, Chebez JC, Faivovich J, Ferrari L, Lajmanovich R, Langone JA, Peltzer P, Úbeda C, Vaira M, Vera Candioti F. 2000. Capítulo 2. Categorización de los anfibios de Argentina. En: Lavilla, E.O.; Richard, E. & Scrocchi, G.J. (eds.). *Categorización de los Anfibios y Reptiles de la República Argentina*. Asociación Herpetológica Argentina, San Miguel de Tucumán.
- Leary S, Underwood W, Anthony R, Cartner S, Corey D, Grandin T, Greenacre C, Gwaltney-Brant S, McCrackin MA, Meyer R, Shearer DM, Yanong R. 2013. AVMA guidelines for the euthanasia of animals 2013 edition. Schaumburg: American Veterinary Medical Association.
- Lemanski, LF. 1973. Heart development in the Mexican salamander, *Ambystoma mexicanum*. I. Gross anatomy, histology and histochemistry. *Journal of Morphology*, 139(3): 301-327.
- Mathur PN. 1944. The anatomy of the reptilian heart: Part I. *Varanus monitor* (Linné). In *Proceedings/Indian Academy of Sciences*. New Delhi: Springer India 20(1):1-29.
- Mohun TJ, Leong LM, Weninger WJ, Sparrow DB. 2000. The morphology of heart development in *Xenopus laevis*. *Developmental biology* 218(1):74-88.
- Moorman AF, van den Berg G, Anderson RH, Christoffels VM. 2010. Early cardiac growth and the ballooning model of cardiac chamber formation. In *Heart development and regeneration*. Academic Press 219-236.
- Nieuwkoop PD, Faber J. 1956. Normal table of *Xenopus laevis* (daudin): A systematical and chronological survey of the development from the fertilized egg till the end of metamorphosis. North-Holland, Amsterdam.
- Olejnickova V, Kolesova H, Bartos M, Sedmera D, Gregorovicova M. 2021. The Tale-Tell Heart: Evolutionary tetrapod shift from aquatic to terrestrial life-style reflected in heart changes in axolotl (*Ambysyoma mexicanum*). *Developmental Dynamics* 2021:1-11.
- Opitz JM, Clark EB. 2000. Heart development: an introduction. *American Journal of Medical Genetics* 97(4):238-247.
- Ostadal B. 1999. Comparative aspects of the cardiac blood supply. *Advances in Organ Biology*. Elsevier 7:91-110.

- Paz DA. 1987. Análisis descriptivo y experimental de los procesos de diferenciación de área cardíaca de *Bufo arenarum*. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Putnam JL, Kelly DL. 1978. A new interpretation of interatrial septation in the lungless salamander, *Plethodon glutinosus*. *Copeia* 251-254.
- Pyburn WF. 1967. Breeding and larval development of the hylid frog *Phrynohyas spilomma* in southern Veracruz, Mexico. *Herpetológica*. 184-194.
- Ramsdell AF, Bernanke JM, Trusk TC. 2006. Left-right lineage analysis of the embryonic *Xenopus* heart reveals a novel framework linking congenital cardiac defects and laterality disease. *Development* 133:1399-1410.
- Rastogi R, Budhiraja V, Jain SK, Sharma N, Garg R, Nafees H. 2016. Morphological pattern of Crista terminalis, Musculi pectinati and Taenia sagittalis with applied significance. *Journal of Morphological Sciences* 33(03):142-145.
- Sachse FB. 2004. Computational cardiology: modeling of anatomy, electrophysiology, and mechanics (Vol. 2966). Springer Science & Business Media.
- Sandoval MT, Gaona R, Curi LM, Abrelano F, Lajmanovich RC, Peltzer PM. 2022. Anuran heart development and critical developmental periods: A comparative analysis of three neotropical anuran species. *The Anatomical Record*, 2022:1-15.
- Sater AK, Jacobson AG. 1989. The specification of heart mesoderm occurs during gastrulation in *Xenopus laevis*. *Development* 105(4):821-830.
- Savage JM. 2002. The amphibians and reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two seas. University of Chicago press.
- Schilling K. 1935. Das Herz von Hypogeophis und seine Entwick-lung. *Morphol jahrb* 76:52-91.
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9(7):671-675.
- Sedmera D, Reckova M, DeAlmeida A, Sedmerova M, Biermann M, Volejnik J, Sarre A, Raddatz E, McCarthy RA, Gourdie RG, Thompson RP. 2003. Functional and morphological evidence for a ventricular conduction system in zebrafish and *Xenopus* hearts. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 284(4):H1152-H1160.
- Sedmera D, Wessels A, Trusk TC, Thompson RP, Hewett KW, Gourdie RG. 2006. Changes in activation sequence of embryonic chick atria correlate with developing myocardial architecture. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 291(4):H1646-H1652.
- Shumway W. 1940. Stages in the normal development of *Rana pipiens* I. External form. *The Anatomical Record* 78(2):139-147.

- Siddiqui AU, Daimi SRH, Gandhi KR, Siddiqui AT, Trivedi S, Sinha MB, Rathore M. 2013. Crista terminalis, musculi pectinati, and taenia sagittalis: anatomical observations and applied significance. International Scholarly Research Notices, 2013.
- Stephenson A, Adams JW, Vaccarezza MJ. 2017. The vertebrate heart: an evolutionary perspective. J Anat 231(6):787-797.
- Todd ME, Hebden RA, Gowen B, Tang C, McNeill JH. 1990. Atrial structure and plasma ANF levels in rats with chronic diabetes mellitus. Diabetes 39(4):483-489.
- Vaira M, Akmentins M, Attademo M, Baldo D, Barrasso D, Barrionuevo S, Basso N, Blotto B, Cairo S, Cajade R, Céspedes C, Corbalán V, Chilote P, Duré M, Falcione C, Ferraro D, Gutierrez RF, del Rosario Ingramo M, Junges C, Lajmanovich R, Lescano JN, Marangoni F, Martinazzo L, Marti R, Moreno L, Natale GS, Péres Iglesias JM, Peltzer P, Quiroga L, Rosset S, Sanabria E, Sanchez L, Schaefer E, Úbeda C, Zaracho V. 2012. Categorización del estado de conservación de los anfibios de la República Argentina. Cuadernos de herpetología (26): 131-159.
- Victor S, Nayak VM, Rajasingh R. 1999. Evolution of the ventricles. Texas Heart Institute Journal 26(3):168.
- Viertel B, Richter S. 1999. Anatomy: Viscera and Endocrines. In: Mc Diarmid RW, Altig R, editors. Tadpoles: The Biology of anuran Larvae. Chicago: University of Chicago Press. p 92-148.
- Wang T, Hedrick MS, Ihmied YM, Taylorm EW. 1999. Control and interaction of the cardiovascular and respiratory systems in anuran amphibians. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology 124(4):393-406.
- Warkman AS, Krieg PA. 2007. *Xenopus* as a model system for vertebrate heart development. Seminars in Cell & Developmental Biology 18:46-53.
- Wiens JJ. 2007. Global patterns of diversification and species richness in amphibians. Am Nat. 170(S2):S86-S106.
- Wilkinson M, Nussbaum RA. 1997. Comparative morphology and evolution of the lungless caecilian *Atretochoana eiselti* (Taylor) (Amphibia: Gymnophiona: Typhlonectidae). Biological Journal of the Linnean Society 62(1):39-109.
- Wittig JG, Münsterberg A. 2016. The early stages of heart development: insights from chicken embryos. Journal of Cardiovascular Development and Disease 3:12.
- Wittig JG, Münsterberg A. 2020. The chicken as a model organism to study heart development. Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 12(8):a037218.
- Zweifel RG. 1964. Life history of *Phrynohyas venulose* (Salienta: Hylidae) in Panamá. Copeia (1):201-208.