

Temas de Biología y Geología del Noa

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Reportajes

Estudiar volcanes: Roberto Carniel

Artículos

Drone

Peces del NOA en riesgo

Metamorfosis

Volumen 8, Número 1, Abril 2018

CONICET



I B I G E O

Temas de Biología y Geología del Noa

Comité Editorial

Marissa Fabrezi. Ibigeo, CCT-Salta.

Carolina Montero. Ibigeo, CCT-Salta.

Silvia Quinzio. Ibigeo, CCT-Salta.

Virginia Martinez. Ibigeo, CCT-Salta y UNSa

Agradecimientos

Gladys Monasterio

Contenidos

REPORTAJES

Roberto Carniel (Estudiar volcanes) 3

ARTÍCULOS

Drone: aplicaciones geomáticas en Geología, Alejandro Aramayo 5

Una especie de pez del noroeste Argentino en peligro crítico de extinción, Felipe Alonso 8

Metamorfosis: cambio de forma durante el desarrollo, Julio Cruz 13

Foto de tapa

Corte transversal de glandula tiroides de un renacuajo de *Phyllomedusa azurea* momento previo a la metamorfosis. Coloración Hematoxilina-Eosina. Barra escala: 30 micrones. Foto: Julio C. Cruz

IBIGEO
INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA
www.ibigeo-conicet.gob.ar

CCT-Salta
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina
Te: 54 (0) 387 4931755

Es una Unidad Ejecutora de doble pertenencia CONICET-Universidad Nacional de Salta.

El **Ibigeo** tiene entre sus objetivos principales: 1) planificar y ejecutar investigaciones en diversos temas relacionados con los recursos naturales de la región; 2) promover la difusión de los resultados de las investigaciones en el ámbito científico; 3) participar en la formación de recursos humanos universitarios de grado y postgrado; 4) colaborar en la organización de conferencias, reuniones y cursos; 5) asesorar en ámbitos públicos y/o privados para la planificación y/o resolución de problemas; y 6) estimular el interés del público por las ciencias y difundir el conocimiento generado por el estudio de temas específicos de la región.

Reportajes

ESTUDIAR VOLCANES...

Una de las líneas de investigación del IBIGEO se orienta al estudio de volcanes y por este motivo, recibimos periódicamente la visita de Roberto Carniel. A diferencia de la mayoría de los expertos volcanólogos que provienen de las Ciencias Naturales, Roberto Carniel tiene una formación en Ciencias Exactas y por medio de modelos matemáticos y herramientas informáticas describe aspectos de la dinámica de un volcán. En este número, Temas BGNOA indaga sobre los estudios de Roberto Carniel.



ROBERTO CARNIEL

Doctor en Matemática Computacional e Informática Matemática en la Universidad de Padova (Italia).

Investigador de Geofísica Aplicada en la Universidad de Udine, Friuli, Italia.

Investigador visitante en NORSAR (Noruega), UNAM (México), Earthquake Research Institute de Tokio (Japón), CICTERRA e IBIGEO (Argentina).

Autor de unas 90 publicaciones internacionales.

Co-leader de la IASPEI/IAVCEI Joint Commission on Volcano Seismology & Acoustics.

Secretario del Working Group de la European Seismological Commission “Seismic phenomena associated with volcanic activity”.

¿Qué es un tremor volcánico y cómo puede ser utilizado para estudiar el comportamiento presente y futuro de un volcán?

Los tremores volcánicos consisten en señales sísmicas de larga duración a menudo asociados con el movimiento de fluidos a través de un conducto volcánico en un volcán activo (Schick y Riuscetti, 1973). Estas señales no tienen normalmente un inicio y un final claro como en el caso de los sismos tectónicos.

Las características de estos tremores varían considerablemente entre volcanes y fases eruptivas y dependen de efectos de fuente, geometría del conducto y de las bocas eruptivas, comportamiento reológico del magma y variaciones de presión en el sistema de alimentación causadas por factores externos (p.e. tectónica y reajustes gravitacionales) o internos (p.e. desgasificación del magma y cristalización).

La amplitud y la frecuencia del tremor pueden depender entonces de la geometría del conducto volcánico, así como de la intensidad (grado de explosividad) de una erupción. La existencia de cambios puede ser revelada por el estudio de otros parámetros basados, por ejemplo, en la teoría de sistemas dinámicos (Carniel y Di Cecca, 1999).

Por lo tanto, los tremores pueden proporcionar información sobre las variaciones de la fuente, el magma en erupción y/o el conducto y el sistema de bocas eruptivas antes y durante una erupción. Identificar los cambios es crucial también para entender el despertar de un volcán después de un período de tranquilidad/calma (unrest).

¿Cómo se pueden utilizar los métodos de análisis de series temporales en volcanología?

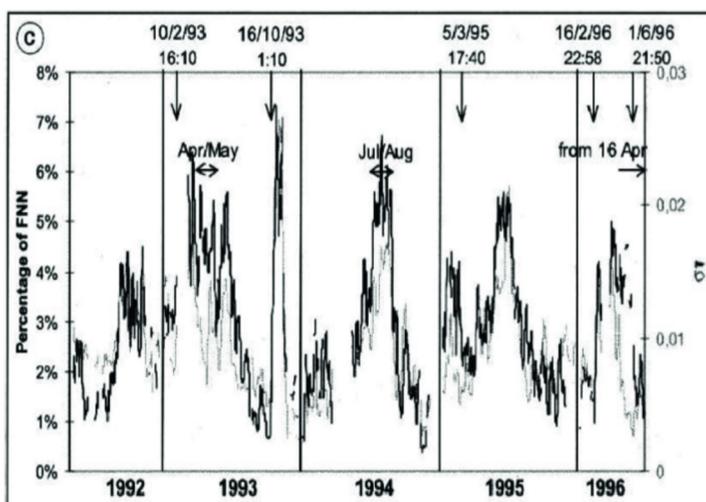
La previsión es una cuestión clave en volcanología, tanto desde la pura perspectiva de investigación (por ejemplo, para la validación de un modelo de un fenómeno) y desde el punto de vista más práctico de protección civil (por ejemplo, para reducir el impacto potencial de una erupción en la sociedad). Por supuesto, la previsión del comportamiento de un volcán no es para nada fácil. Las series temporales pueden ayudar a caracterizar el estado del volcán o a buscar precursores de fases eruptivas más intensas (paroxísticas).

Una serie temporal (o serie de tiempo) es simplemente una sucesión de datos, observaciones o valores, medidos en determinados momentos y ordenados cronológicamente.

Un volcán puede considerarse como un sistema dinámico y cada serie de tiempo (por ejemplo sísmica) registrada en un volcán puede ser interpretada como uno de sus parámetros observables. Por lo tanto, es teóricamente posible extraer, incluso a partir de una única serie temporal, información sobre el sistema dinámico subyacente. Ésto se hace a través de un procedimiento llamado “embedding”, que se basa en la hipótesis intuitiva de que la única serie de tiempo disponible lleva consigo información también sobre la evolución de otros parámetros que no podemos observar.

Este procedimiento requiere estimaciones de (pocos) parámetros clave como el tiempo de retardo óptimo y una adecuada dimensión de embedding. Hay otros métodos, independientes, pero conceptualmente similares, que permiten descomposiciones de la serie temporal en componentes que pueden asociarse a diferentes procesos fuente. La clave para la caracterización de regímenes volcánicos es entonces un proceso de reducción de datos, destinado a analizar las (pocas) componentes más útiles que puedan facilitar la interpretación del sistema. La secuencia de datos reducida se puede utilizar no sólo para caracterizar diferentes regímenes volcánicos sino también para determinar las transiciones entre ellos, examinando su relación con eventos externos o internos como decíamos antes, buscar precursores, etc.

Estos resultados pueden después ser utilizados en modelos físicos con el fin de comprender en detalle los cambios que ocurrieron en el sistema volcánico y sus posibles consecuencias. El artículo de Carniel (2014) presenta una revisión de este tipo de métodos de análisis. En la figura se ve por ejemplo cómo evolucionan en Stromboli dos parámetros relacionados con la “dimensión de embedding” a lo largo de varios años, y cómo se relaciona esa evolución con la ocurrencia de fases paroxísticas del volcán.



LITERATURA CITADA

Carniel, 2014. Characterization of volcanic regimes and identification of significant transitions using geophysical data: a review. *Bulletin of Volcanology*, 76(8), Art. No. 848.
DOI: 10.1007/s00445-014-0848-0

Carniel, R., Di Cecca, M. 1999. Dynamical tools for the analysis of long term evolution of volcanic tremor at Stromboli. *Ann. Geofis.* 42, 483–495.

Schick, R., Riuscetti, M. 1973. An analysis of volcanic tremor at South-Italian volcanoes. *Z. Geophys.* 39, 262–274.

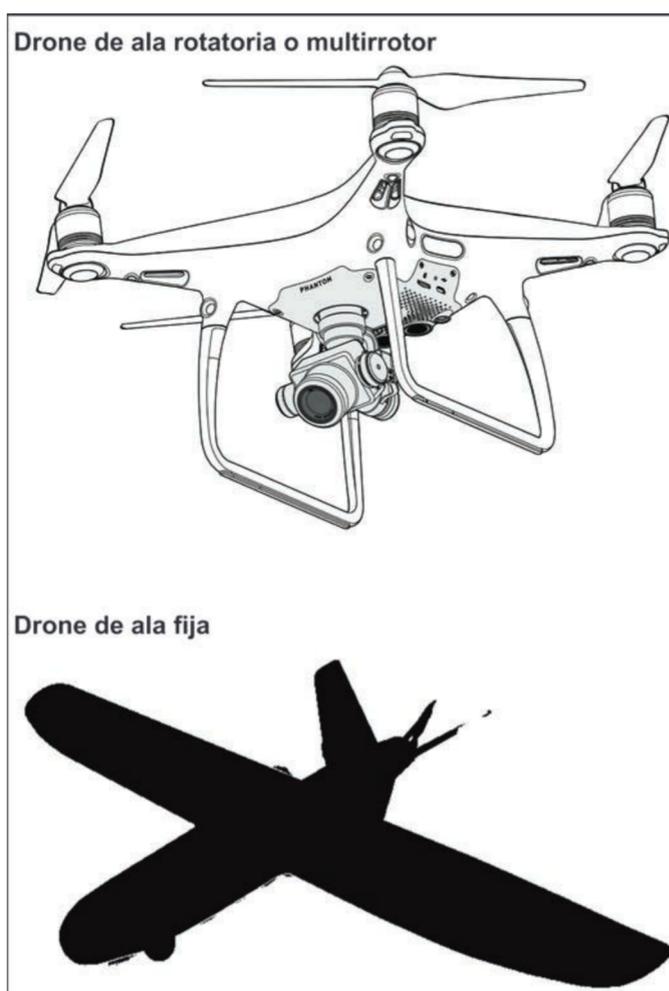
Drones: aplicaciones geomáticas en Geología

Alejandro Aramayo

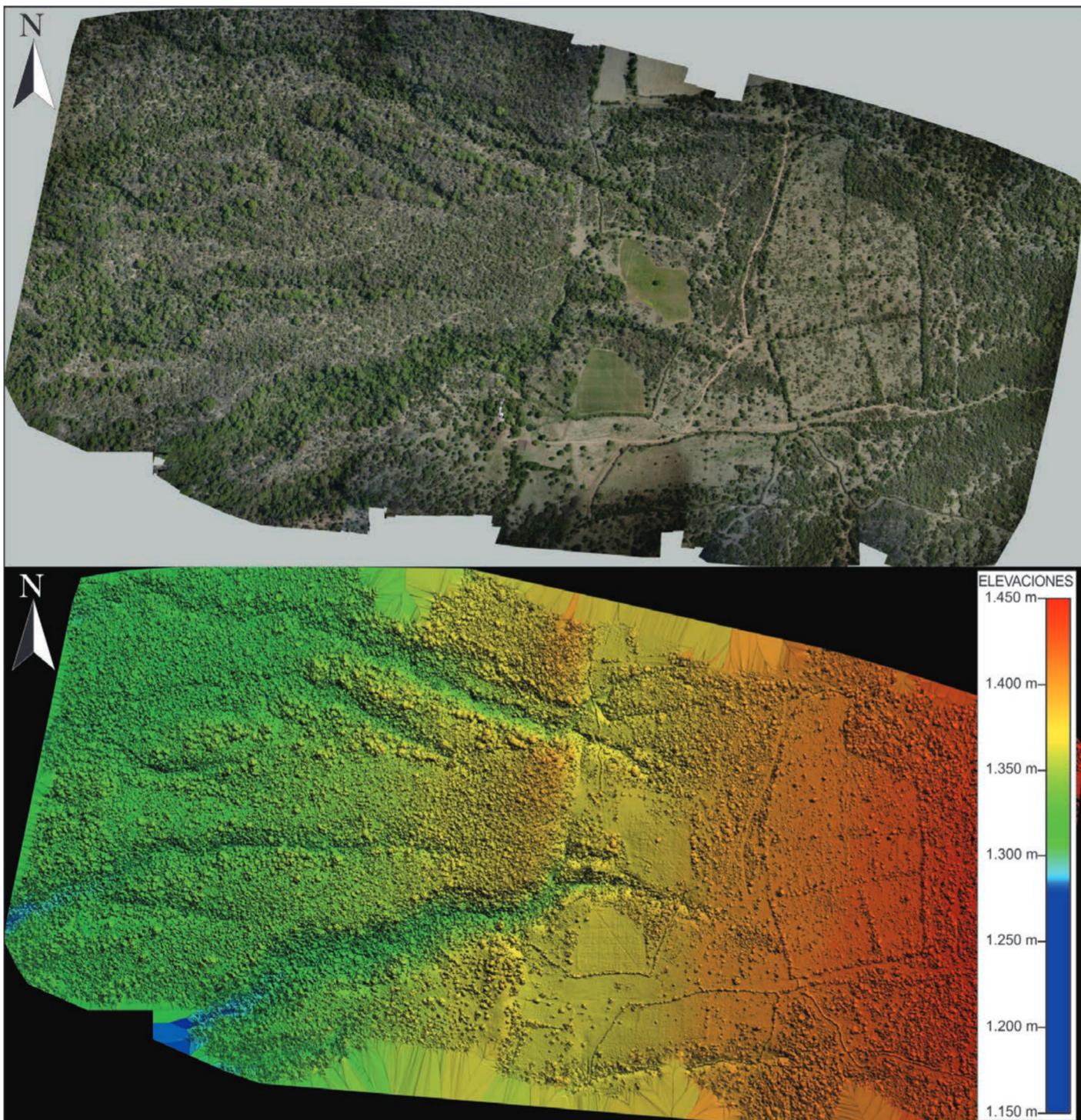
IBIGEO. CCT-Salta

Los drones son Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) que en el último tiempo su utilización ha encontrado una amplísima gama de aplicaciones, tales como: militar, agricultura, detección y control de incendios, control de vías férreas, inspección de redes eléctricas, control y mejoramiento de redes de telecomunicaciones, trabajos de ingeniería civil, arquitectura y en trabajos de Geomática (disciplina que tiene por objeto la administración y reestructuración de datos con una referencia espacial, es decir geográficamente referenciados, y que integra a las ciencias y tecnologías ligadas a su almacenamiento, tratamiento y/o difusión). En este último campo se puede emplear en subramas como la teledetección, fotogrametría, topografía y cartografía. Un relevamiento fotogramétrico-cartográfico con drones permite obtener ortofotografías (producto cartográfico georreferenciado y corregido de deformaciones, generado a partir de fotografías aéreas, que permite efectuar mediciones a escala, tanto de distancias como de superficies) y modelos digitales de la topografía, de alta resolución espacial, que permiten la ejecución de estudios cuali y cuantitativos de la información georreferenciada. Esta herramienta digital es profundamente útil para el análisis e interpretación de la información y los parámetros implícitos tanto en depósitos de roca en superficie como en las formas del terreno (relieve). Esto puede conducir a un más certero conocimiento de los procesos de interés (i.e. geológicos) y el desarrollo de trabajos científicos asociados.

En geología estas herramientas se han utilizado en campos como la paleontología, la geomorfología, la conservación de suelos, la vulcanología, la prospección minera, la hidrogeología, la geofísica, la geología estructural, la tectónica, etc. En el último caso, se incluye a la Neotectónica, la cual está dedicada al estudio de



Modelos de drones, de ala fija y de ala rotatoria



Ortofotografía (imagen superior) y Modelo Digital de Elevaciones (MDE, imagen inferior) obtenidos a través de un relevamiento fotogramétrico de un terreno.

los movimientos y deformaciones actuales o recientes en la corteza terrestre. Actualmente los estudios neotectónicos se basan fuertemente en el análisis de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) de alta resolución, obtenidos mediante LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) o fotogrametría. Los MDE permiten la elaboración de mapas de pendientes, estimaciones de tasas de deformación y magnitud de desplazamientos de las rocas a partir de un movimiento sísmico, monitoreo de deslizamientos, identificación de zonas de fallas,

etc. Estos modelos sirven de base a los análisis estructurales y geomorfológicos (Geomorfología tectónica) de las estructuras cuaternarias, mediante la detección de indicadores geomórficos o geoformas relacionadas a deformación (i.e. terrazas de ríos, quiebres - knickpoint - en el perfil longitudinal de un río, alineación de vegas, perturbaciones de la red de drenaje, etc.).

Los drones en general son de tamaño reducido y bajo peso, estas características no les impiden la incorporación de precisos GPS's (Sistema de posicionamiento global por sus siglas en inglés) y de sistemas inerciales que le otorgan una navegación autónoma. En el mercado tecnológico actual se encuentran dos tipos principales de drones: de ala fija y de ala rotatoria o multirrotores. La principal diferencia está dada en su estructura y radica esencialmente en la forma en que consiguen mantenerse en el aire, mientras que los drones de ala fija consiguen la sustentación a través de su perfil alar, los multirrotores la generan a través de las fuerzas que crean las hélices de sus rotores (motores). De todas formas, pueden llegar a encontrarse drones de ala mixta que constituyen modelos intermedios entre los dos principales.

Los drones tienen la posibilidad de incluir una amplia diversidad de sensores como cámaras fotográficas, el LIDAR, cámaras térmicas o multispectrales, etc. Estos sensores permiten la toma de datos de forma rápida y eficaz, esto se traduce en una considerable reducción de tiempo, sobre todo en términos del procesamiento posterior de la información obtenida. Además, los datos pueden ser consultados en tiempo real, permitiendo la corrección o planificación durante la ejecución del vuelo.



Comprobación de señal GPS y plan de vuelo previo a tareas de relevamiento.

En el IBIGEO se están realizando relevamientos fotogramétrico-cartográficos con la utilización de un drone multirrotor, modelo Phantom 4 Pro, que realiza vuelos de hasta 30 minutos, cubriendo superficies de hasta 40 hectáreas. Este VANT posee una cámara equipada con un sensor CMOS de 1 pulgada, estabilizada por un Gimball (plataforma motorizada y controlada por sensores, acelerómetros y compás magnético, encargada de estabilizar la cámara independientemente del movimiento del VANT) de 3 ejes, que puede grabar en formato 4K y captura fotografías de 20 megapíxel. Así, se han obtenido MDE's con los cuales algunos miembros del IBIGEO están basando sus investigaciones relacionadas a estudios tectónicos y neotectónicos en diferentes zonas del NOA (Puna, Cordillera Oriental, Valles Calchaqués, Valle de Lerma, Lomas de Olmedo, Sierra de la Candelaria).

Literatura recomendada

- Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G. 2016. Aplicaciones geológicas de los drones. Revista de la Sociedad Geológica de España, 29: 89-105.
- Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G., García-Talegon, J. 2016. Drones: Nuevas aplicaciones geométicas en el campo de las Ciencias de la Tierra. IX Congreso Geológico de España. Huelva. Geo-temas, 16: 725 728.
- Ghilani, C.D., WOLF, P.R. 2011. Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics. ISBN-10: 0132554348 | ISBN-13: 978-0132554343
- <http://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Fotogrametria/Principal>. Nociones de Fotogrametría.
- <http://www.anac.gov.ar/anac/web/index.php/2/368/normativa/vant>. Normativa para vuelos con VANT.

Artículos

Una especie de pez del noroeste Argentino en peligro crítico de extinción

Felipe Alonso
IBIGEO-CCT-Salta



Corydoras petracinii, pequeña especie de bagre que habita en el Río San Lorenzo, en el dpto. Capital de Salta cuyo estado de conservación es realmente preocupante debido a las actividades antrópicas que se realizan en esa zona.

Quizás muchos no lo sepan pero el noroeste Argentino presenta una gran diversidad de especies únicas y exclusivas endémicas, es decir restringidas a un determinado lugar. Muchas de nuestras mojarras, bagres, viejas, torillos y dientudos son exclusivos de esta región. Por esto es importante que los conozcamos y valoremos ya que si desaparecieran de nuestra región desaparecerían completamente de la faz de la tierra y se extinguirían para siempre. Entre estas especies únicas que tenemos se destaca una que está en serio peligro de desaparecer para siempre de la faz de la tierra. Es un pequeño bagrecito cuyo cuerpo está cubierto de placas de hueso que tiene unos escasos 3 o 4 cm de largo cuanto máximo. Esta especie pertenece al género *Corydoras*, el mismo al que pertenecen los famosos “limpiafondos” que se ven en los acuarios. Este es un género de peces Siluriformes al igual que el Surubí, los bagres y las viejas del agua, por ejemplo.

El gran problema de esta especie es que el único lugar donde se la ha registrado el Río San Lorenzo, cerca de su desembocadura en el Río Arenales, en las inmediaciones de la ciudad de Salta Capital. Esta zona presenta graves alteraciones debidas a contaminación, modificación del curso de agua, captación del agua del río en sus nacientes para consumo humano, a la extracción de áridos, entre otras actividades humanas que generan que las poblaciones de esta especie estén en estado crítico. A continuación expondré algunas cuestiones a este respecto.

¿POR QUÉ TENEMOS ESPECIES ÚNICAS EN EL NOA?

El noroeste de Argentina presenta varios endemismos (es decir especies que habitan única y exclusivamente en este lugar del mundo), como el caso de los “limpiafondos”: *Corydoras gladysae*, *C. petracinii* y *C. micracanthus*; de las “viejas de agua”: *Rineloricaria steinbachi* y *Loricaria holmbergi*; los “bagres”: *Rhamdella aymarae* y *Microglanis nigrolineatus*, la “yusca” *Heptapterus qenqo*; el torillo: *Trichomycterus spegazzini*, las “mojarras” *Astyanax endy*, *A. chico*, *A. latens*, *A. puka*, *A. tumbayaensis*, *A. powelli*, *Bryconamericus indefessus*, *Piabina thomasi*; los “dientudos” *Oligosarcus bolivianus* y *O. itau*, la “mariposita” *Characidium borelli* y las madrecitas, panzonas u overitos: *Jenynsia maculata*, *J. tucumana* y *J. alternimaculata* solo para nombrar algunas especies.

Los altos niveles de endemismos en esta área probablemente estén relacionados con el aislamiento ecológico de las cabeceras de los ríos de la cuenca del Plata que se originan en la región andina. Los ríos en esta área presentan agua clara, con un flujo de agua de velocidad relativamente alta con fondo rocoso y se encuentran en una región biogeográfica denominada Yungas, que es una selva con marcadas estaciones secas (invierno) y húmedas (verano). Las lluvias de verano aumentan considerablemente el flujo de agua y la turbidez de estos ambientes. Los canales secundarios generalmente presentan una corriente lenta y abundante vegetación acuática donde se observan muchos peces. Las hojas y la materia orgánica de fuera del río contribuyen de manera importante a su ecología. El agua generalmente es ligeramente alcalina (pH 7,4) dependiendo del río y la época del año. Cuando estos ríos desembocan hacia el oeste en la llanura de inundación chaco-pampeana, se produce un gran cambio en las condiciones ecológicas.



Río de montaña en las yungas



Río Bermejo en la planicie chaqueña

El fondo rocoso es reemplazado por barro y limo, la vegetación acuática es casi inexistente y el agua permanece turbia durante todo el año, aunque esto disminuye en invierno. También se observan abundantes troncos arrastrados por la corriente en los márgenes de estos ríos. Estos cambios ecológicos se reflejan en cambios drásticos también en la composición de especies de peces entre ambas zonas. La fauna en la llanura chaqueña es en general la típica del río Paraná y Paraguay, compartiendo muchas especies con esas cuencas, mientras que la fauna en las cabeceras es casi exclusiva de esas áreas. La diferencia ecológica tan marcada entre estas áreas ha funcionado como una barrera para la dispersión de estas especies que ha favorecido los fenómenos de especiación biológica en las cabeceras.

Corydoras petracinii, UNA ESPECIE ENDÉMICA AMENAZADA

Esta especie la describimos formalmente, es decir que publicamos un trabajo científico donde entre otras cosas le asignamos un nombre científico, en el año 2009 junto a Pablo Calviño. Ese trabajo se basó en ejemplares recolectados en un pequeño arroyo, afluente del Río San Lorenzo, que forma parte de la cuenca del río Juramento, en los alrededores de la ciudad de Salta. El estado de conservación de esta especie es muy crítico ya que la única localidad conocida de ocurrencia de esta especie es en esta zona que ha sido muy modificada por la construcción de una carretera y otras actividades humanas.

El nombre de esta especie fue dedicado a Roberto Petracini, un acuarista argentino, que durante décadas ha estado contribuyendo al desarrollo, conocimiento y difusión de este hobby en Argentina y Latinoamérica. *Corydoras petracinii* difiere entre otras cosas de todas las demás especies del género por tener 23 placas óseas dorsolaterales en el cuerpo, 21 placas ventrolaterales, ojos pequeños, cuerpo moderadamente alargado, y espinas dorsales y pectorales cortas.

La localidad de dónde fue descrita esta especie está seca hoy en día y desde la descripción no se volvieron a coleccionar más especímenes allí. Sin embargo, en el Río San Lorenzo donde termina este pequeño arroyo, *Corydoras petracinii* ha sido observado durante los meses secos en algunos pozones. Además, este año encontramos otra población a 340 metros al oeste de este punto, en otro pequeño arroyo afluente del río San Lorenzo. A pesar de los esfuerzos de muestreo en la cuenca superior de Juramento, aún no hemos podido recolectar esta especie en otras localidades. Incluso en el Río San Lorenzo mismo, en otras áreas, esta especie no está presente. Esto podría deberse a que esta especie tiene condiciones ecológicas muy restrictivas. Tal vez su presencia en estos pequeños arroyos está relacionada con el hecho de que estos arroyos tienen pequeñas cuencas y por lo tanto su aumento en el flujo de agua en verano es muy poco, mientras que otros ríos, como el San Lorenzo, tienen grandes cuencas y en verano pueden presentar grandes crecidas acompañadas de importantes incrementos en la velocidad del flujo de agua y turbidez.



Río San Lorenzo, Noviembre de 2014

En Noviembre de 2014 el Río San Lorenzo a esta altura estaba completamente seco. Las aguas de este río son captadas para consumo humano en las cabeceras, en la zona de la Quebrada de San Lorenzo. Como en esta región las lluvias se concentran principalmente de diciembre a marzo, la mayor parte del río se seca en torno a octubre, lo cual evidentemente no es una condición natural, ya que este era un río permanente. Además, el hábitat ha sido extremadamente modificado con máquinas que excavaron el río para formar “defensas” en los lados para evitar inundaciones en los vecindarios cercanos, una política equivocada, desafortunadamente muy extendida en esta región, ya que esto hace que el agua fluya más rápido y erosione más el río al eliminar el efecto amortiguador sobre la velocidad del agua que tiene la estructura del mismo (brazos secundarios, pozones, etc). Además, estas alteraciones en el medio ambiente destruyen completamente la mayor parte de la estructura del ecosistema, que es fundamental para la sustentabilidad de su biodiversidad.



Imagen de satélite de la localidad tipo *Corydoras petracinii* marcada con un símbolo amarillo, rodeada por la ciudad e impactada por la construcción de la autopista

Pero el combo aún no está completo, la contaminación en esta área es muy preocupante, especialmente en el Río Arenales, al cual se une el Río San Lorenzo a unos 4km río debajo de la localidad tipo de *C. petracinii*. Se observan muchos desperdicios y algunos vertederos al aire libre en el área, también algunas alcantarillas terminan en el río. Análisis recientes de las aguas del río Arenales muestran altos niveles de varios metales según el periódico local La Gaceta (Valores admitidos por la Ley Nacional 24.051 de residuos peligrosos para la protección de la vida acuática):

Zinc: el límite es $30\mu\text{g} / \text{L}$ y se encontraron hasta $50\mu\text{g} / \text{L}$;

Cobre: hasta 15 veces más de lo permitido;

Cromo total: el límite indica $2\mu\text{g} / \text{L}$ y se registraron $3\mu\text{g} / \text{L}$;

Plomo: cerca del depósito de lixiviados del vertedero de San Javier hay 20 veces más de lo permitido por la ley. A lo largo del curso excede el límite de $1\mu\text{g} / \text{L}$;

Aluminio: la ley acepta hasta $5\mu\text{g} / \text{L}$ y en la cuenca hay sectores donde se encontraron valores máximos de $2040\mu\text{g} / \text{L}$. y mínimos de $24\mu\text{g} / \text{L}$



Localidad tipo de *Corydoras petracinii*, antes de la construcción de la autopista alrededor de enero de 2007.



Durante la construcción de la carretera alrededor de 2009, el curso del río fue cambiado y excavado.



Localidad tipo en noviembre de 2014. Completamente seca.

Hasta ahora, solo se sabía que una especie de pez estaba en peligro en Argentina, la “mojarra desnuda” *Gymnocharacinus bergi*, que habitaba un pequeño arroyo en el norte de la Patagonia que está bajo la presión de truchas arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*), una especie exótica proveniente del hemisferio norte que también hace estragos en la fauna del NOA. Le hemos informado a las autoridades locales sobre la situación de *Corydoras petracinii* y han mostrado preocupación sobre la situación de esta especie, pero aún no se han implementado políticas para protegerla. Esta especie sería la segunda especie considerada como críticamente amenazada en Argentina. Es mi deseo que esta nota ayude a llamar la atención sobre el estado de conservación de esta especie para que las autoridades locales tomen medidas concretas que sirvan para proteger a esta especie y asegurar su conservación.

Artículos

Metamorfosis: cambio de forma durante el desarrollo

Julio César Cruz
IBIGEO-CCT-Salta

La transición de un renacuajo a una rana es una de las más llamativas transformaciones que ocurren durante el ciclo de vida de la mayoría de los anuros, en una pequeña fracción de tiempo del periodo de vida y se denomina metamorfosis. El fenómeno es un apasionante ejemplo de reestructuración morfológica, fisiológica y ecológica; y tiene una gran relevancia en el estudio de la biología del desarrollo. La metamorfosis también ocurre en otros grupos animales (insectos, crustáceos, peces) pero aquí nos centraremos en sapos y ranas para explicar como un renacuajo se convierte en una rana en un periodo tan corto de tiempo.

La continuidad de la vida animal es de forma cíclica. La sucesión de una generación a otra a través de la reproducción está representada en lo que se denomina un ciclo de vida. Una buena forma de describir este ciclo es tomando como inicio al huevo; la célula capaz de dar origen a un nuevo individuo.

En los anfibios actuales —agrupados en Anura (sapos y ranas), Caudata (salamandras y tritones) y Gymnophiona (cecilias) — la reproducción en general tiene lugar en el agua. Luego de la fecundación del huevo el desarrollo comienza con sucesivas divisiones celulares que resultan en una esfera hueca denominada blástula. A partir de la blástula, una serie de movimientos e interacciones entre células (proceso conocido como gastrulación) dan origen a tres capas celulares denominadas hojas embrionarias o germinales (endodermo, mesodermo y ectodermo). Una vez finalizada la gastrulación se diferencian los distintos órganos y tejidos en lo que se conoce como organogénesis. Toda esta serie de eventos constituyen el periodo embrionario o embriogénesis. En el caso de los anfibios, el desarrollo posterior puede ser directo o indirecto, dependiendo de la ausencia o presencia de una etapa larval. El desarrollo indirecto implica un ciclo de vida bifásico, con dos fases diferentes tanto morfológica (renacuajo versus rana) como ecológica (acuático versus terrestre) que tienen continuidad por medio de la metamorfosis.

La metamorfosis (del griego *meta* “cambio” + *morphe* “forma”) es una transición en la historia de vida de ciertos organismos multicelulares desde un estadio larval a un estadio juvenil (o adulto) que afecta la morfología, fisiología y ecología del animal de manera irreversible. Esta transición es parte del ciclo de vida y ocurre en insectos (ej: mariposas, moscas, cigarras), invertebrados marinos (ej. tunicados, equinodermos), peces (lenguado) y en la mayoría de los anfibios. En los anfibios involucra básicamente una reestructuración de la morfología (por ejemplo en órganos locomotores y de la alimentación), cambios fisiológicos (por ejemplo el funcionamiento de diferentes órganos, la maduración gonadal) y ecológicos (todo lo que refiere a la transición de un medio acuático a terrestre).

Entre los anuros, los renacuajos habitan charcos, acequias, ríos, lagunas o huecos de árboles; son en general omnívoros y se alimentan de partículas en suspensión y detritos. Ellos tienen a la cola como órgano locomotor por excelencia. Mientras que la mayoría de las ranas y los sapos viven fuera del agua, son carnívoros y predadores; no presentan cola pero tienen dos pares de extremidades para la locomoción (Fig. 1). Las diferencias morfológicas y de hábitat entre los renacuajos y los adultos de los anuros son extremadamente marcadas y hacen que la metamorfosis sea la más espectacular entre los anfibios.

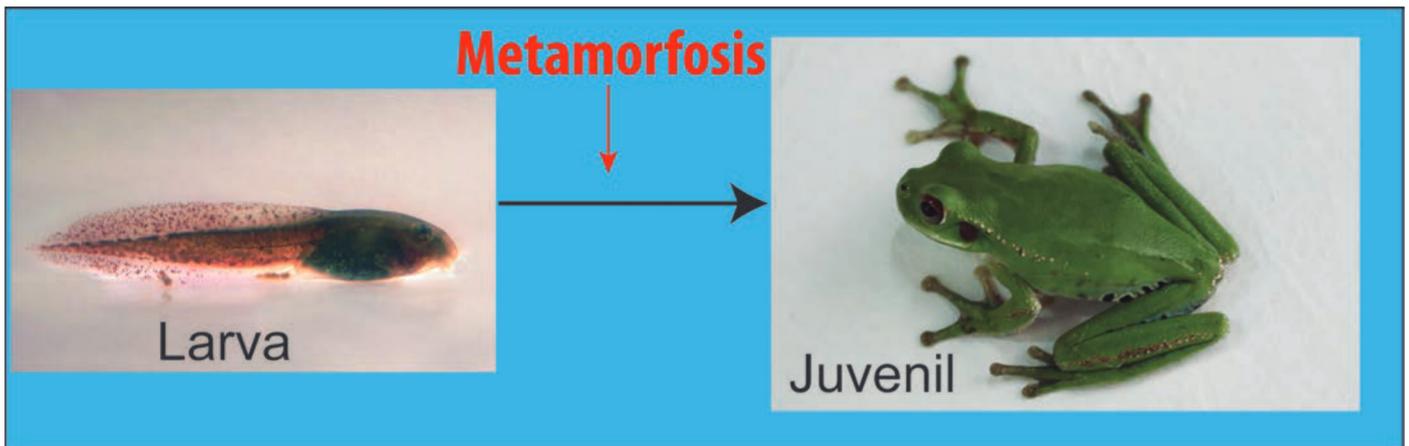


Figura 1. Extremos morfológicos en una rana (*Boana riojanus*) con ciclo de vida bifásico. La metamorfosis involucra un completo cambio del plan corporal.

¿QUE DISPARA LA METAMORFOSIS?

Los anfibios en general se reproducen en cuerpos de agua de distinta duración, lo cual va a condicionar la longitud del periodo larval (el tiempo en el que una especie pasa como renacuajo puede variar entre 15 días a dos años y el tiempo en que una especie vive después de la metamorfosis puede ser de meses a 25 años). Además, las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua junto con la disponibilidad de alimentos, los efectos de la temperatura, el fotoperiodo y la interacción con otros organismos de la misma u otras especies (incluyendo predadores) pueden modificar el tiempo de desarrollo y crecimiento de un renacuajo. Entonces, la metamorfosis está condicionada por distintos factores ambientales a los que están expuestos los renacuajos y las hormonas actúan en respuesta a esto.

Las interacciones entre el organismo y el ambiente son procesadas internamente por el sistema neuroendócrino. Siendo la metamorfosis por excelencia disparada y coordinada por una molécula producida en la glándula tiroidea, la hormona tiroidea (HT). Desde principios del siglo pasado se ha demostrado que esta hormona es claramente esencial en la metamorfosis, ya que desencadena procesos en distintos órganos y tejidos como la proliferación, muerte, diferenciación o migración celular. Si bien no es la única hormona involucrada en este fenómeno, su ausencia impide que se continúe con el programa normal de desarrollo y que la metamorfosis se complete.

Etkin (1936) infirió un modelo de cambios endócrinos de la HT en la circulación sanguínea de los renacuajos sobre la base de las características histológicas de la glándula tiroidea. Además propuso términos para describir las distintas etapas larvales relacionando niveles de HT y los cambios morfológicos, como: premetamorfosis, renacuajos sin grandes cambios pero generalmente con marcado crecimiento y con muy bajos niveles de HT; prometamorfosis, renacuajos con gran crecimiento de las extremidades posteriores y un aumento en los niveles de HT; y clímax metamórfico, renacuajos con transformaciones morfológicas y altos niveles de HT. La caracterización de la glándula tiroidea ha sido de gran utilidad para entender la actividad endócrina y correlacionar la misma con la secuencia de cambios morfológicos que se dan durante el desarrollo (Fig. 2).

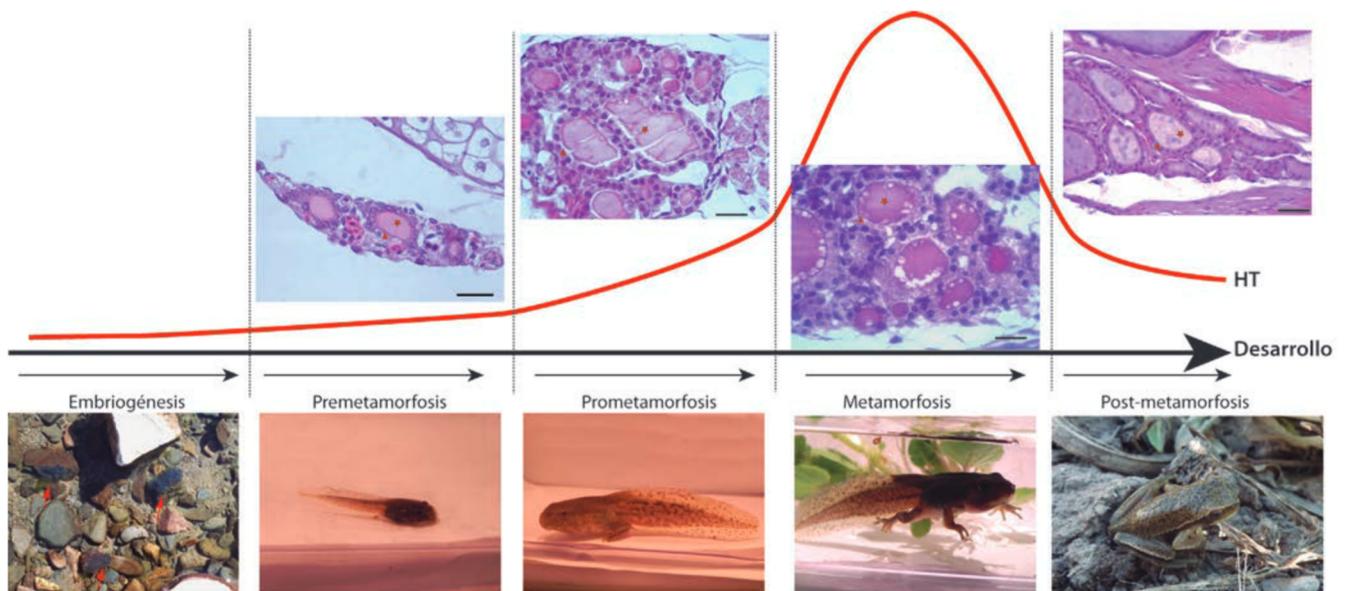


Figura 2. Desarrollo de *Boana riojanus*, desde la embriogénesis en el huevo (flechas rojas) pasando por el periodo larval (pre, pro y metamorfosis) hasta el organismo juvenil (post-metamorfosis). El desarrollo está regulado por la hormona tiroidea (HT), secretada por la glándula tiroidea. La glándula se forma al inicio del periodo larval pero se ha detectado la presencia de HT de origen materno durante la embriogénesis.

Los niveles de HT se indican con la curva roja. En la larva los niveles de HT en circulación van en aumento a medida que avanza el desarrollo y alcanzan un pico durante la metamorfosis. El grado de actividad glandular está correlacionado con los niveles de HT en sangre y las características histológicas de la glándula tiroidea (imágenes superiores). Durante la premetamorfosis la glándula muestra poca cantidad de folículos que pueden o no tener presencia de coloide (estrella) en el lumen (cavidad del folículo), además de presentar células foliculares (triángulo) pobres en citoplasma que pueden ser planas o cúbicas.

Durante esta etapa, la actividad secretoria de la glándula es escasa y condiciona la duración de la premetamorfosis. En la prometamorfosis hay un aumento considerable del tamaño glandular además de la cantidad de coloide en el interior de los folículos. Hay un aumento progresivo de la altura de las células foliculares que pueden ser cúbicas o incluso columnares hacia el final de esta etapa. Durante la metamorfosis las células foliculares alcanzan su máxima altura, son columnares con gran actividad secretora, en coincidencia al pico máximo de HT presente en la circulación. Hacia el final de la metamorfosis la glándula se reduce, hay menor cantidad de coloide en los folículos y la altura de las células foliculares disminuye. Estas últimas características son similares a las encontradas en las glándulas de los individuos después de la metamorfosis. Barra de escala: 30 μ m.

Otros estudios con resultados similares condujeron a generalizaciones en el comportamiento de la glándula y si bien hay un patrón que se repite en la mayoría de las ranas y sapos, hay especies que en condiciones naturales escapan a estas generalizaciones. Por ejemplo hay especies que habitan el chaco semiárido que se desarrollan y crecen muy rápido (15 a 22 días) como los escuerzos (*Ceratophrys cranwelli*, *Chacophrys pierottii*, *Lepidobatrachus laevis* y *L. llanensis*) y otras, como la rana *Pseudis paradoxa* con un periodo larval prolongado (6 meses) cuyo renacuajo puede alcanzar los 16 cm (Fabrezi, 2011). En los escuerzos, las glándulas tiroides muestran características de poca actividad y sugiere la posible influencia de HT exógena o de su herencia materna, mientras que *P. paradoxa* presenta una muy baja actividad tiroidea durante el periodo larval temprano (premetamorfosis) en el que crece aproximadamente el 75 % de su tamaño larval final, donde la baja tasa de desarrollo coincide con la baja actividad tiroidea (Cruz, 2017).

¿QUÉ PASA EN LAS RANAS QUE NO PRESENTAN METAMORFOSIS?

Evolutivamente, los tres grupos de anfibios tendrían ancestros con ciclo de vida bifásico, de larva acuática y adulto terrestre. No obstante con distinta frecuencia la etapa larval ha sido eliminada de la historia de vida de algunos linajes. En este caso nace del huevo un organismo juvenil similar al adulto, aunque de menor tamaño. Previo al nacimiento, el embrión dentro del huevo ya tiene una morfología general con apariencia de rana (boca, ojos, dos pares de extremidades), pero además mantiene rasgos larvales como la cola (a veces modificada para la respiración) y un intestino con reserva de nutrientes (como la yema de huevo) denominado endodermo nutricional (Fig. 3).

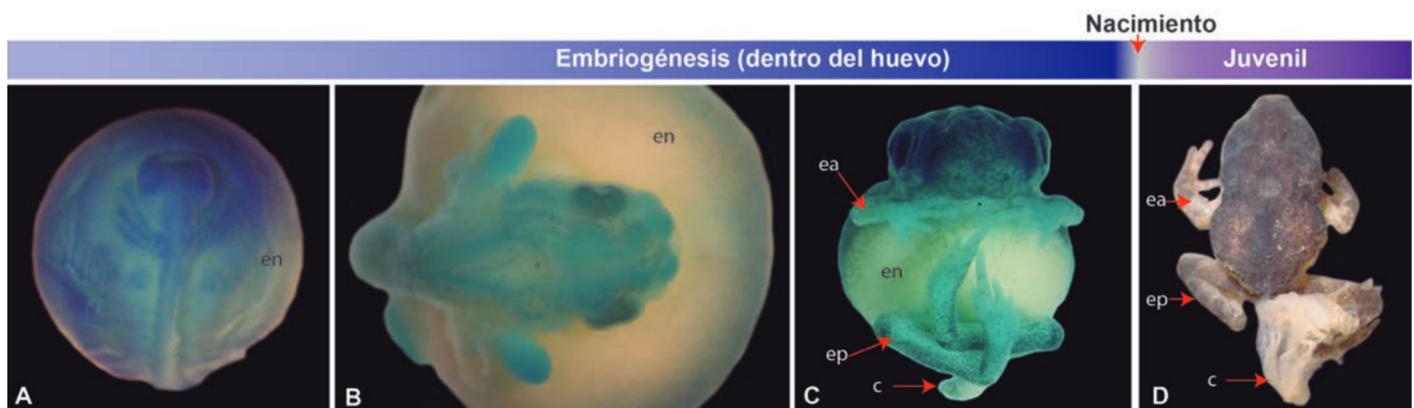


Figura 3. Desarrollo directo de *Oreobates barituensis*. Dentro del huevo se desarrolla de forma gradual un organismo con un plan corporal similar al del adulto (A, B, C) y nace un organismo juvenil (D). El desarrollo también está regulado por las hormonas tiroideas, que son determinantes para el momento previo al nacimiento (C). Abreviaturas: c cola, ea extremidad anterior, en endodermo nutricional, ep extremidad posterior. Fotos cedidas gentilmente por Javier Goldberg.

La transición desde embrión a un organismo juvenil sin tener que pasar por la etapa de renacuajo también requiere hormonas tiroideas. Esto se observó de forma experimental en una rana de desarrollo directo de Puerto Rico (*Eleutherodactylus coqui*) en la que la inhibición de la síntesis de la hormona tiroidea (con metimazol, un disruptor endócrino comúnmente utilizado para tratar el hipertiroidismo) detiene el nacimiento. Los embriones presentan desarrollo incompleto de la piel, la musculatura del cuerpo, los cartílagos mandibulares y el tracto digestivo. Además se ve afectada la reducción de la cola y la desaparición del endodermo nutricional. Se observó además que todos los efectos del metimazol pueden ser revertidos adicionando HT exógena, de manera que claramente estos eventos de transformación morfológica son dependientes de HT. La descripción del desarrollo de la glándula tiroidea en esta rana mediante histología demostró que la misma presenta cambios que están correlacionados con estas transformaciones morfológicas. El pico de actividad glandular fue asociada con los cambios morfológicos que suceden antes del nacimiento y que son comparables a los cambios metamórficos propios de los renacuajos. De hecho algunos autores la denominaron como una metamorfosis críptica (camuflada).

Lo descrito sintetiza la complejidad del desarrollo animal relacionando la forma, las hormonas y la influencia de factores externos. La integración de estos tres aspectos del desarrollo por el sistema neuroendócrino desencadena una respuesta capaz de enlentecer o acelerar la metamorfosis, haciendo evolutivamente distintivo el desarrollo para cada especie

LITERATURA RECOMENDADA

Cruz, J.C. 2017. Histomorfología de la glándula tiroidea durante la ontogenia en *Pseudis paradoxa* (Anura, Hylidae). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. pp.173.

Etkin, W. 1936. The phenomena of the anuran metamorphosis. III. The development of the thyroid gland. *Journal of Morphology*, 59, 68–89.

Fabrezi, M. 2011. Ciclos de vida en ranas del Gran Chaco. [Temas de Biología y Geología del NOA, 1:105–113.](#)

ISSN 1853-6700

Temas de Biología y Geología del Noa

Volumen 8, Número 1, Abril 2018

IBIGEO

INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA

www.ibigeo-conicet.gob.ar

CCT-Salta

9 de julio 14

Rosario de Lerma-4405 (Salta)

República Argentina

Te: 54 (0) 387 4931755

ibigeotemas@gmail.com