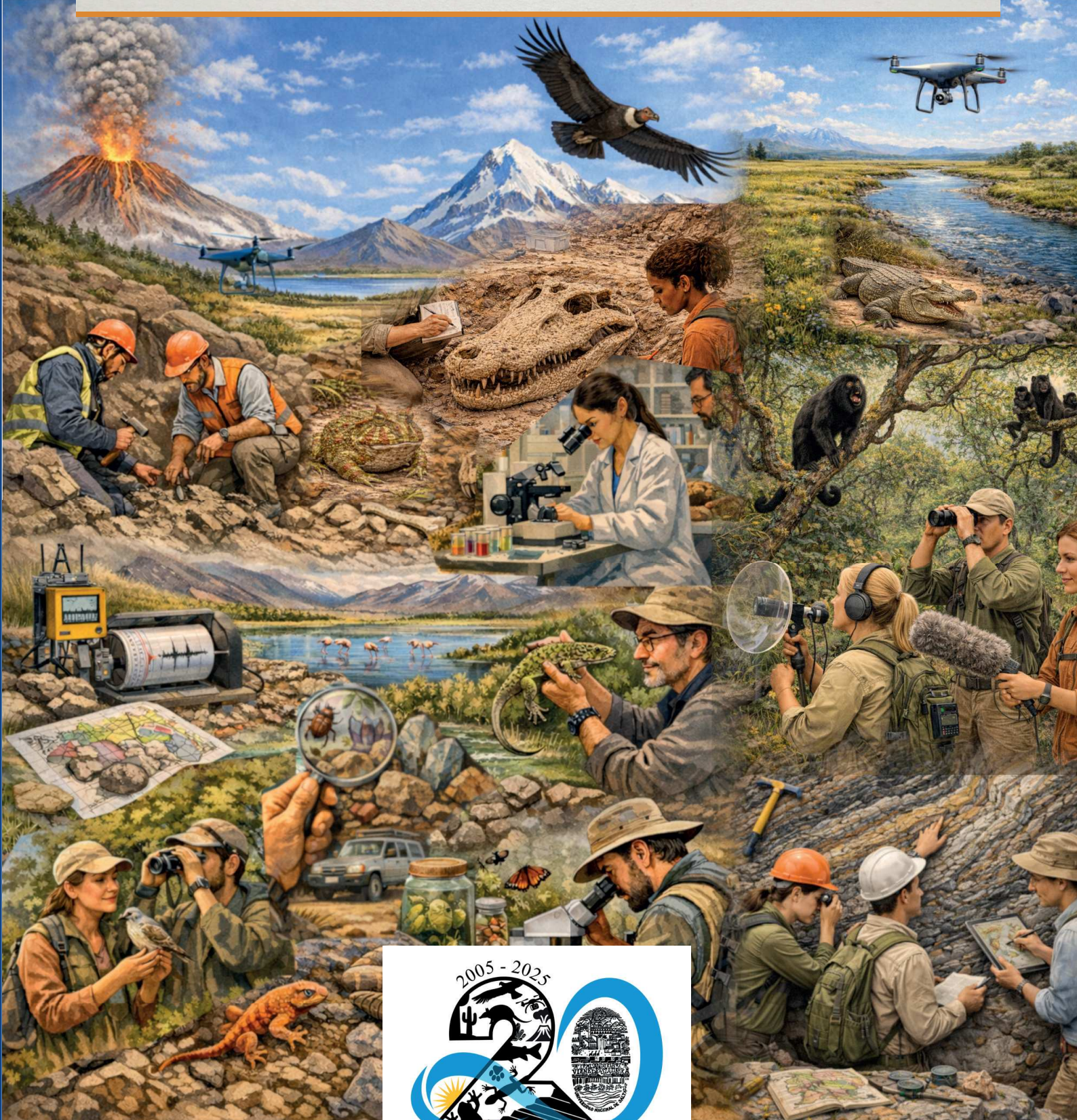


TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

ISSN 1853-6700

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias



I B I G E O

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 15, edición especial aniversario, 2025

ISSN 1853-6700

Comité Editorial

Silvana Geuna. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Carolina Montero. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Soledad Valdecantos. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Natalia Zimicz. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

EDITORIAL

Pág. 1 - Editorial

Pág. 4 - Un poco de historia sobre el Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO)

M Fabrezi

BITÁCORA

Pág. 12 - Bitácora de altura: descubriendo Payogasta

M Maidana Keticoglu, N Andreuz Babicz, F Bianchini, J Cafrune

NOTA BREVE

Pág. 18 - Introducción a la Geoquímica: explorando la química de la Tierra

G Valenti

ARTÍCULOS

Pág. 23 - ¿Los volcanes crecen indefinidamente?

Colapso de volcanes en el Noroeste de Argentina

E Bustos, G Norini, W Báez, P Grosse, M Arnosio, L Capra

Pág. 35 - Acuáticas y enigmáticas: ranas *Telmatobius* en la Cordillera Oriental de Salta, Argentina

JC Cruz, M Fabrezi

Pág. 44 - Un "mapa químico" revela los viajes secretos de los peces del Bermejo

F Alonso, E Avigliano, A Irigoyen, G Trobbiani, JJ Rosso, G Aguilera, G Terán, MT Chung, M Leisen, C Duquenoy, AL Chen, KF Huang, B Bugeau

continúa...

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy

9 de julio 14

Rosario de Lerma-4405 (Salta)

República Argentina

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.

CONICET



I B I G E O

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 15, edición especial aniversario, 2025

ISSN 1853-6700

continuación...

ARTÍCULOS

Pág. 59 - Diversidad en los ciclos de vida de las ranas del NOA: Cómo el ambiente y las hormonas modelan el desarrollo larval

M Fabrezi, JC Cruz, S Quinzio, J Goldberg, LR Antoniazzi

Pág. 80 - La revolución cuántica en marcha
H Estrada

TESIS IBIGEO 2025

Pág. 89 - Evolución tectónica plio-cuaternaria de la Cordillera Oriental entre los 25° y 25°35'S. Caracterización neotectónica de estructuras potencialmente sismogénicas en el sector sur del valle de Lerma

LI Elías

Pág. 92 - Volcanismo cuaternario de composición riolítica en el extremo sur de la Sierra de Calalaste, Puna Austral: Dinámica de ascenso y emplazamiento de magmas riolíticos
ES Berteza

Pág. 95 - Sismicidad del valle de Lerma (Noroeste Argentino) y fenómenos de amplificación impulsados por campos de ondas
EJM Criado Sutti

Imagen de tapa: IBIGEO, investigación en múltiples escalas. F Reckziegel, figura generada con apoyo de inteligencia artificial (ChatGPT, OpenAI)

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina



I B I G E O

Editorial

Estimados lectores,

En 2025, IBIGEO cumplió 20 años como instituto de la Universidad Nacional de Salta, y 15 desde que fue reconocido como unidad ejecutora de doble pertenencia UNSa-CONICET. No quisimos dejar pasar la oportunidad: el 5 de diciembre se abrieron las puertas de nuestra sede en una jornada para Celebrar la Ciencia, a la que invitamos a alumnos de colegios de enseñanza media de Rosario de Lerma y a toda la comunidad. Un día memorable.

La revista Temas BGNOA estuvo presente con su stand en esa jornada, y se anota también para el festejo con este volumen especial. A diferencia de números anteriores, éste contiene contribuciones que se fueron publicando en línea a lo largo del año, y que ahora reunimos en un único número anual. Nos pone muy felices poder decir que contiene varias contribuciones relevantes de nuestros miembros, que en tiempos difíciles siguen poniendo el hombro para sostener a éste que es el principal medio que el IBIGEO tiene para hacer llegar los resultados de sus investigaciones a la comunidad.

Abrimos el número con una reseña de la historia del IBIGEO por Marissa Fabrezi, en su doble condición de actual directora y miembro fundador. Marissa comenta los pormenores de la creación del instituto y aporta detalles sobre su crecimiento en términos de personal, equipamiento e infraestructura a lo largo del tiempo. También resume el tipo de aportes que se realizan al conocimiento científico y en qué medida responden a los objetivos principales del IBIGEO, vigentes desde su creación y cuyos enunciados acompañan la tapa de cada número de nuestra revista.

La bitácora que acompaña esta edición especial se relaciona con uno de esos objetivos primordiales de todo grupo de investigación: la formación de recursos humanos. Aquí nuestros alumnos de Biología de la UNSa relatan en primera persona la experiencia de su viaje de campo a Payogasta en octubre de 2024, en el marco de la materia Práctica de Formación II.

Griselda Valenti, geóloga y geoquímica recientemente incorporada al IBIGEO como personal de apoyo a nuestras tareas de laboratorio, introduce en una nota breve los conceptos fundamentales de la Geoquímica, su importancia como herramienta para comprender los procesos geológicos y sus múltiples aplicaciones.

Los artículos de esta edición muestran algo de la variedad de temas que se investigan en el IBIGEO. Emilce Bustos y colaboradores exploran el fenómeno de colapso de los edificios volcánicos del NOA. Explican la importancia de conocer el fenómeno por el riesgo que implica, ya que se traduce en avalanchas de material rocoso, por lo cual relevaron el territorio para confeccionar una base de datos de avalanchas ya ocurridas (¡disponible en la [página web del IBIGEO!](#)). La base de datos, a su vez, permite interpretaciones conjuntas, tendientes, entre otros objetivos, a poder predecir la ocurrencia de nuevas avalanchas.

El artículo de Julio Cruz y Marissa Fabrezi se refiere a las ranas *Telmatobius*, típicas de pequeños cuerpos de agua en valles intermontanos, usualmente por encima de los 3000 metros de altura, y describe dos nuevas poblaciones de estas ranas halladas en la provincia de Salta. Ya que se desarrollan en ambientes caracterizados por su fragilidad, el estudio de su distribución y de cómo ésta evoluciona en el tiempo tiene importantes implicancias ambientales.

En el mismo sentido, Felipe Alonso y colaboradores presentan un notable estudio de campo acompañado por análisis isotópicos del material recolectado en peces migratorios de la cuenca del Plata, en particular dorados y sábalos, en las áreas de nacientes situadas en el NOA. Los análisis complementarios, que de algún modo refieren a la geología de las áreas circundantes, permiten a los autores trazar el recorrido de estas especies, sorprendiendo con la variedad de caminos y tiempos de tránsito de las diversas poblaciones. Los autores extraen múltiples enseñanzas, que proponen aplicar, por ejemplo, para el diseño de las políticas de manejo pesquero.

Marissa Fabrezi y colaboradores hacen una revisión de todo lo que se sabe de los diversos géneros de ranas del NOA y de sus renacuajos, para luego proponer interesantísimas hipótesis acerca de cómo la diversidad de formas y tipos de evolución dependen fuertemente del ambiente, y de los cambios ambientales que responden a factores antrópicos y geológicos. Como ven, en varios de los artículos se ve la impronta de los estudios interdisciplinarios entre las bio y geociencias que surgen gracias a la interacción entre nuestros investigadores IBIGEO a lo largo de estos 20 años.

Anticipando nuevos desafíos metodológicos que surgen en respuesta a la necesidad de modelar sistemas naturales complejos, Henry Estrada introduce los conceptos básicos y resume el estado del arte de las computadoras cuánticas, instrumentos en pleno desarrollo que usan principios de la mecánica cuántica para procesar información con el objeto de abordar problemas que son de imposible resolución para las computadoras actuales.

Por último, nos complace poder reabrir la sección de Tesis Doctorales del IBIGEO con nada menos que tres nuevas tesis defendidas con éxito en este nuestro año aniversario, en tres casas de estudio diferentes: la Universidad Nacional de Salta (en Ciencias Geológicas, Esteban Berteá), la de Córdoba (en Ciencias Geológicas, Leonardo Elías) y la de Tucumán (en Riesgos Naturales y Estudios Geológicos de Campo, Emilio Criado Sutti), las dos últimas en sistema mixto o cotutela con la Universidad de Potsdam, Alemania.

En un contexto difícil para la ciencia argentina, el IBIGEO dice presente con su actividad constante, plasmada ahora parcialmente como contenidos para este volumen especial. Esperamos que lo disfruten.

Comité Editorial

Temas de Biología y Geología del NOA

Silvana Geuna

Carolina Montero

Soledad Valdecantos

Natalia Zimicz

Un poco de historia sobre el Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO)

Marissa Fabrezi¹

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa - CONICET), Argentina. e-mail: mfabrezi@gmail.com

La historia del IBIGEO se empieza a desarrollar a comienzos de la década del '90, cuando nos mudamos a Salta varios profesionales de la Biología y Geología en distintas instancias de nuestras carreras, con becas y en algunos casos esperando el ingreso a la Carrera del Investigador CONICET (Figura 1). Las y los geólogos tenían su lugar de trabajo "en préstamo" en cátedras de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta donde desarrollaban sus investigaciones atendiendo que allí las tareas docentes eran prioritarias. Mientras que, el Museo de Ciencias Naturales, dependiente de la Facultad de Ciencias Naturales, fue el espacio académico que reunió a las y los biólogos recién llegados que, junto a docentes de la Carrera de Biología, coincidieron en la necesidad de generar y organizar colecciones científicas. Durante la década del '90, se sucedieron innumerables situaciones y oportunidades de interacción que fueron incubando el plan que permitiría canalizar nuestra visión sobre cómo proyectar la investigación en el ámbito académico.

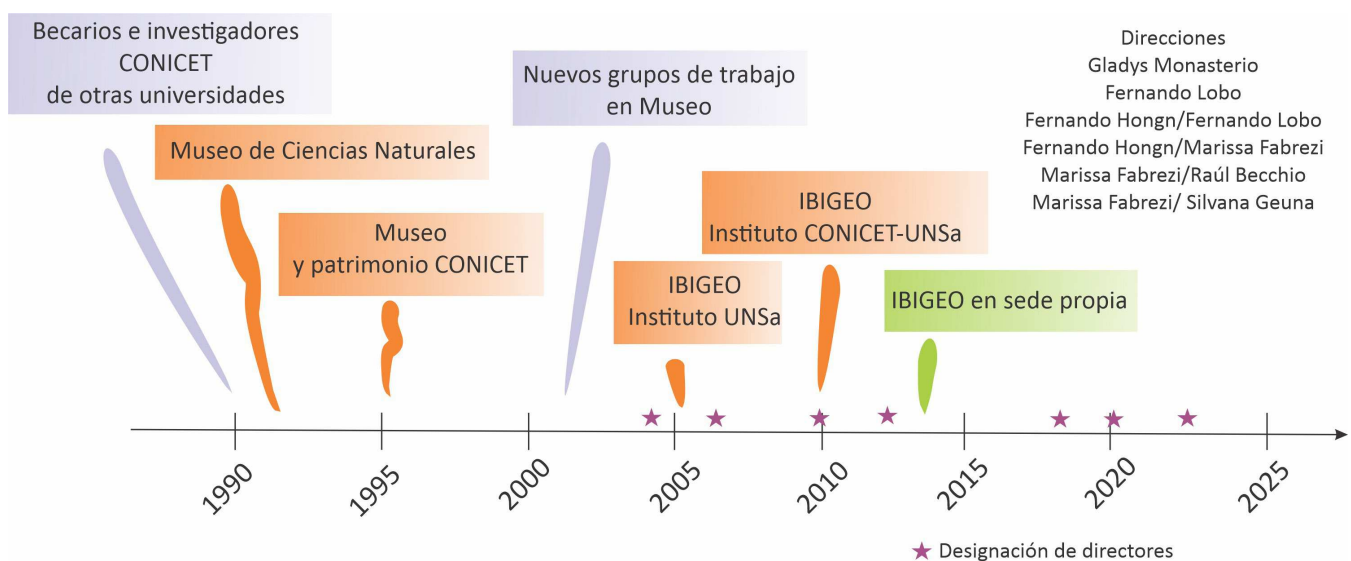


Figura 1: Línea del tiempo en la historia del IBIGEO

A partir del año 2000 y como consecuencia del crecimiento propio de la actividad docente en la Universidad, el Museo se transformó en lugar de trabajo para investigadoras e investigadores de CONICET y nuevos becarios doctorales que en conjunto fortalecieron la actividad del Museo y que más tarde, confluyeron en la creación del Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO). Si bien el Museo no contaba con las condiciones mínimas para el crecimiento de grupos de trabajo, tratamos de acomodarnos a las disponibilidades que existían.

A mediados de 2004, siete integrantes de la Carrera del Investigador (Alicia Kirschbaum, Cecilia del Papa, Sandra Caziani, Marissa Fabrezi, Ivan Petrinovic, Fernando Lobo y Fernando Hongn), dos Profesoras-Investigadoras de la Facultad de Ciencias Naturales (Gladys Monasterio y Virginia Martinez) y un grupo de becarias y becarios y estudiantes avanzados (Silvina Guzmán, Carolina Montero López, María Inés Martinez Oliver, Adriana Jerez Martinez, Silvia Quinzio, Javier Goldberg, Andrés Tálamo, Juan Manuel Diaz Gomez, Sebastián Quinteros, Patricio Payrola, Federico Arias, Soledad Valdecantos) elevamos la propuesta de creación del Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO), con sede administrativa en el Museo de Ciencias Naturales, como un Instituto de investigaciones de la Universidad Nacional de Salta. En aquella solicitud, propusimos como directora del IBIGEO a Gladys Monasterio por dos años. Unos meses más tarde se incorporó la Dra. Natalia von Ellenrieder que venía de Estados Unidos a instalarse como investigadora de CONICET.

El IBIGEO fue creado por Resolución del Consejo Superior 030/05 y sin poder disfrutar de ese tiempo, unos meses después de la creación falleció nuestra compañera Sandra Caziani. Sandra fue un motor incansable en la construcción que habíamos iniciado.

Una vez aprobado el Instituto iniciamos acciones para que el CONICET lo reconociera como Unidad Asociada de CONICET. Dicho trámite luego se direccionó para proponerlo como Unidad Ejecutora ya que la figura de Unidad Asociada estaba en desuso. Paralelamente, la dirección ejercida por Fernando Lobo desde 2006 realizó gestiones para que la Universidad adjudicara un terreno que en el futuro permitiera formalizar un anteproyecto de edificio propio.

Entre 2008 y 2009 se realizaron gestiones para consolidar un proyecto que nos permitiera formalizar una solicitud de Unidad Ejecutora ante CONICET. CONICET exigía un número mínimo de miembros de la Carrera del Investigador, de becarios y de proyectos en ejecución. Si bien completábamos esos números, solo dos de nuestros investigadores tenían la categoría de Investigador Independiente (I Petrinovic y F Hongn) y no contábamos con infraestructura para consolidar el proyecto de instituto. Esta debilidad hizo que fuéramos invitados a sumarnos a otros proyectos de Unidad

Acerca de CONICET

El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) es un organismo descentralizado del Estado Nacional dedicado a la promoción de la Ciencia y la Tecnología en la Argentina. Fue creado en 1958 y mediante Ley 20464 de 1973 se establecieron las pautas generales para su personal.

*La **Carrera del Investigador Científico (CIC)** comprende a las personas que realizan investigación y desarrollo creativo en sus distintos niveles de concepción, diseño, dirección y ejecución. Mientras que la **Carrera del Personal de Apoyo (CPA)** comprende los profesionales y técnicos con aptitudes para las tareas específicas de apoyo directo a la ejecución de los programas de investigación y ocupados en ellas. Por otra parte, las **Becas de Investigación Científica y Tecnológica** forman parte de un programa que otorga los estipendios que, a título de promoción y sin implicar relación de dependencia actual o futura, el CONICET otorga para posibilitar la formación doctoral o posdoctoral.*

Actualmente, se desempeñan en el organismo más de 11.800 investigadores, más de 10.300 becarios de doctorado y posdoctorado, más de 2.800 técnicos y profesionales de apoyo a la investigación y aproximadamente 1.400 administrativos.

Dentro de la estructura organizativa de CONICET (Decreto 310/2007) se configura la Red Institucional de CONICET que abarca todo el país. Depende de las autoridades nacionales (Presidencia y Directorio de CONICET) y áreas de gestión organizadas en la Sede Central. La Red Institucional está integrada por:

***Centros Científicos Tecnológicos (CCT)** que aseguran un ámbito apropiado para la ejecución de investigaciones científicas, tecnológicas y de desarrollo en el espacio físico y de influencia que le compete. Cada CCT está integrado por las UNIDADES EJECUTORAS (UE) y los grupos de investigación en la zona de su inserción; brinda apoyo a las UE, grupos de investigación y también a terceros; y articula y mantiene relaciones de cooperación y difusión con la comunidad.*

***Unidades Ejecutoras** (Centros, Institutos o Unidades Ejecutoras en Red) que son las unidades de investigación que, bajo la responsabilidad de un director, realizan tareas de investigación científica, tecnológica o de desarrollo, organizadas en varias líneas de trabajo; cuenta con una infraestructura de personal y equipamiento adecuada a la índole de su actividad, y forma investigadores y técnicos.*

Unidades Asociadas son estructuras de Investigación y Desarrollo en instituciones con las que el CONICET establece convenios en base a su relevancia científico-tecnológica.

Centros de Investigaciones y Transferencia (CIT), en función de las necesidades y oportunidades para el desarrollo socio-productivo local, son estructuras que promueven la conformación y consolidación de grupos de investigación orientados a la generación y transferencia de conocimientos a través de la promoción activa de la radicación de investigadores, así como la formación de becarios doctorales y postdoctorales.

La Red Institucional comprende 17 Centros Científico Tecnológicos (CCT), 7 Centros de Investigaciones y Transferencia (CIT), un Centro de Investigación Multidisciplinario y más de 300 Institutos y Centros exclusivos del CONICET y de doble y triple dependencia con universidades nacionales y otras instituciones. IBIGEO es una de esas Unidades Ejecutoras (UE), integrante del CCT Salta-Jujuy.

Ejecutora, lo cual implicaba perder nuestras coincidencias de origen y ampararnos en tutelas y estructuras con las que no habíamos estado cómodos. Nos mantuvimos firmes en nuestra idea original y presentamos el proyecto ¡dio resultado esta firmeza!

Cuando finalmente se creó el IBIGEO como unidad ejecutora de doble pertenencia (CONICET-UNSa, Resolución D. N° 3189/2009) se designó a Fernando Hongn como director. Al mismo tiempo Cecilia del Papa e Ivan Petrinovic se mudaron a Córdoba y unos meses después, también Natalia von Ellenrieder se trasladó a Estados Unidos, lo cual nos generó bastante preocupación. Esta preocupación se compensó cuando becarias y becarios del grupo fundador ingresaron a la Carrera del Investigador en esos años. Por otra parte, en 2011 se sumaron al IBIGEO como Grupo Vinculado, investigadores (Liliana Lupo y Marcos Vaira), personal de apoyo (Oscar Peinado) y becarios de CONICET que desarrollaban sus tareas en el ámbito de la Universidad Nacional de Jujuy. Este grupo creció, se consolidó y pudo organizar el Instituto de Ecorregiones Andinas como Unidad ejecutora de doble pertenencia CONICET-Universidad Nacional de Jujuy a fines de 2015.

A comienzos de 2010 una gran mayoría de los integrantes del IBIGEO desarrollábamos nuestras actividades en el Museo de Ciencias Naturales. La Dirección del IBIGEO como Unidad Ejecutora quedó a cargo de Fernando Hongn y Fernando Lobo quienes tuvieron que ocuparse de las necesidades de espacio e infraestructura que implicaba el crecimiento en investigadores, becarios y líneas de investigación. La imposibilidad de contar con un espacio en la Universidad para proyectar

el crecimiento del IBIGEO obligó a buscar otras alternativas. Como CONICET había recuperado un edificio de 650 m² en un predio de 2500 m² en la localidad de Rosario de Lerma (Salta) se destinó esa propiedad para que funcionara el IBIGEO. Hacia fines de 2014, nos instalamos en la sede de Rosario de Lerma y a partir de allí el IBIGEO logró tener una agenda propia en la que concentrar sus esfuerzos, reconocer sus logros y asumir sus fracasos (Figura 2). En 2017 se amplió el edificio con la construcción de una batería de nuevos laboratorios y se obtuvieron financiamientos de la Agencia Nacional de Promoción Científica, del Ministerio de Ciencia y Tecnología y subsidios internacionales que permitieron equipar varios laboratorios.

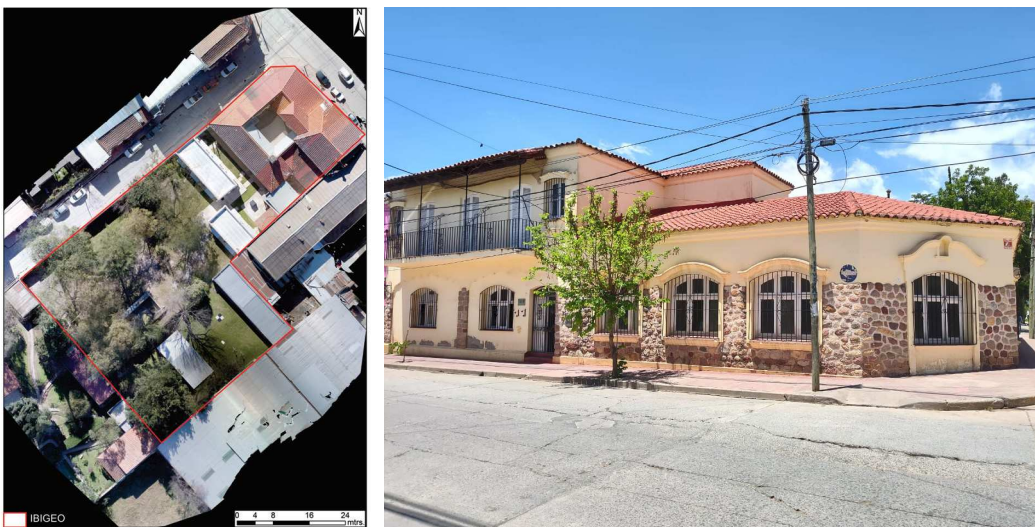


Figura 2: Vistas del IBIGEO. A la izquierda, el IBIGEO desde un dron. Un terreno con gran potencial. La construcción original que se observa en la foto de la derecha conserva el estilo de las construcciones en las esquinas de las ciudades y pueblos de valle de Lerma de la década del '50 en el siglo pasado donde funcionaban mercados municipales

Entre 2010 y 2020 la incorporación de becas que se renovaban (doctorales a postdoctorales) y de investigadores que se incorporaban a la Carrera del Investigador e investigadores que venían de otros centros de investigación, permitieron un crecimiento sostenido, dinámico y con una movilidad destacable, ya que también profesionales de nuestro Instituto fueron a incorporarse a otros laboratorios. Por otra parte, durante esa década, comenzó a crecer el equipo técnico del IBIGEO con los primeros concursos de personal de apoyo con perfiles definidos en el Instituto.

Los siguientes gráficos (Figuras 3, 4 y 5) muestran la evolución del IBIGEO en cuanto a su personal. El plantel de investigadores creció fundamentalmente por el impulso inicial como consecuencia de la consolidación de las carreras profesionales de aquellos becarios que entre 2005 y 2015 se convirtieron en investigadores. Luego el crecimiento se sostuvo por becarios del IBIGEO que continuaron como investigadores y también por investigadores que provenían de otros centros de investigación, aunque no todos ellos permanecieron en el IBIGEO mucho tiempo. También, el número de investigadores de la Universidad creció a medida que el IBIGEO se volvía atractivo para la dirección de tesis doctorales y becas.

Figura 3: Evolución de la planta de investigadores del IBIGEO desde 2009, la cual se mantiene en crecimiento, con la expectativa de la incorporación de investigadores que ya fueron evaluados en convocatorias de los años 2022 y 2023.



Entre 2018 y 2022 siete miembros de la CIC, cinco de ellos del área de Biología y una de Geología se mudaron a otros centros de investigación y la restante, del área de Geología se acogió a la jubilación. Al mismo tiempo se sumó al IBIGEO un grupo de ocho investigadores, dos técnicos y seis becarios en Ciencias Geológicas que venían de otro Instituto. En 2010, el único CPA del IBIGEO era parte del Grupo Vinculado y recién en 2014 el IBIGEO comenzó a proyectar sus equipos técnicos, con la incorporación de Angelina Chauque y Henry Estrada, quienes se ocuparon de cuestiones de informática y conectividad, inventarios y archivos, etc. (Figura 4). A partir de 2015 se concursaron nuevos cargos de CPA que permitieron organizar varios laboratorios: Colecciones científicas, Cartografía Digital y Prospección Geoeléctrica, Biología Molecular, Celular e Histología, Matemática Aplicada a las Ciencias Naturales y apoyar las actividades de campo.

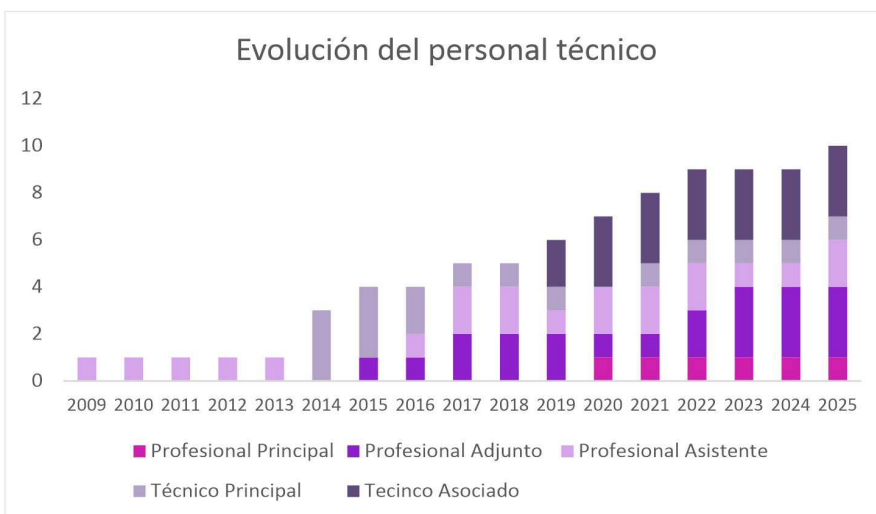
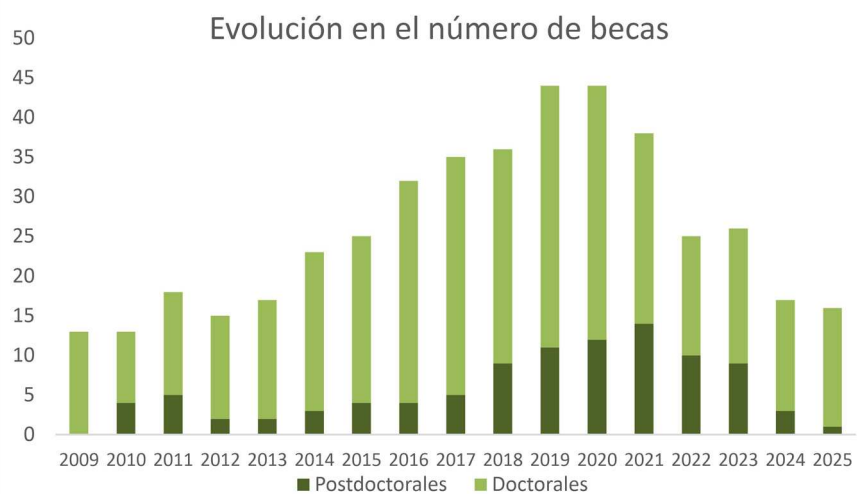


Figura 4: Evolución de los equipos técnicos del IBIGEO. El crecimiento se definió por la incorporación de personal que venía de otros institutos (7) y concursos en el IBIGEO (5). Actualmente, un equipo de 10 técnicos asiste a investigadores y becarios del Instituto.

La formación de recursos humanos de postgrado se tradujo en el desarrollo de 41 tesis doctorales ya defendidas en diversas universidades nacionales (Salta, Tucumán, Río Cuarto, Buenos Aires, Córdoba), cuatro de ellas, también en forma de doctorados mixtos con la Universidad de Potsdam (Alemania). Actualmente hay más de 12 tesis doctorales en ejecución. La realización de estos doctorados fue gracias a becas doctorales de CONICET (Figura 5) y de proyectos PICT. Evidentemente, la pandemia ha sido un evento disruptivo en la vida de los más jóvenes ya que fue el período de mayor deserción de becarios y además provocó la demora en la finalización de las tesis doctorales.

Figura 5: Evolución de la formación de recursos humanos del IBIGEO. La pandemia y la falta de atractivo en las becas tanto desde el punto de vista del financiamiento para investigación, el valor del estipendio y la descalificación de las ciencias no comerciales definen un futuro preocupante en el desarrollo científico no solo del IBIGEO.



La organización del IBIGEO también demandó atender la creciente actividad administrativa, por un lado, el cumplimiento de una normativa relacionada con la administración de fondos de funcionamiento, el registro patrimonial, la tramitación de licencias y viajes y por otro, las necesidades edilicias y el uso de los vehículos. Por esta razón, el CONICET designó personas que bajo una modalidad de contrato se sumaron a la cotidianeidad de las tareas en un principio en el Museo de Ciencias Naturales y luego Rosario de Lerma. Actualmente dos personas atienden la actividad administrativa del IBIGEO.

Desde su creación, los miembros del IBIGEO recibieron principalmente financiamientos para investigación a través de proyectos PICT y PICT-E (FONCyT), CONICET, CIUNSa. Algunos investigadores destinaron parte de esos financiamientos a la compra de equipamientos para organizar laboratorios y realizar tareas de campo. Entre 2014 y 2016 y en 2024, se pudo acceder a la adquisición de vehículos para realizar tareas de campo, ya que estas constituyen el pilar sobre las cuales se desarrollan todas las investigaciones del IBIGEO.

La producción científica del IBIGEO ha sido creciente y concomitante con el aumento de su

comunidad. Hemos participado en la elaboración de más de 600 artículos publicados en revistas de investigación del circuito internacional. Las colaboraciones con autores de otros países son frecuentes, las publicaciones en Ciencias de la Tierra involucran autores de 46 países mientras que, en los artículos de Biología, las colaboraciones abarcan autores de 57 países.

Entre los objetivos que nos propusimos al crear el IBIGEO, hay algunos que son consecuencias del proceso de investigación, se han mantenido en el tiempo y nos enorgullecen. Por ejemplo, el IBIGEO creó, organizó, conserva y custodia una colección de Peces que alberga más de 500 registros de especímenes de la cuenca del Plata; una colección de Anfibios del NOA con 3000 lotes, una colección de Reptiles de Argentina con más de 7000 especímenes y una colección de Fósiles de vertebrados que cuenta con 130 restos de distintas localidades de Salta.

Por otra parte, el compromiso con la divulgación científica se tradujo en distintos productos, la Revista Temas de Biología y Geología del NOA es quizás el más ambicioso por el esfuerzo y la dedicación que demanda. Se publica todos los años desde 2011 e insume el esfuerzo de un equipo editorial que trabaja los contenidos a lo largo de todo el año con los distintos autores para ofrecer una revista de temas para un público que valora la ciencia. Los autores pertenecen tanto al IBIGEO como a otros centros de investigación. Actualmente hemos encarado otros productos de divulgación que difundimos a través de nuestro canal de youtube.

El papel de nuestros investigadores en la consolidación del desarrollo científico en el NOA no se ha limitado a la consolidación del IBIGEO. Fernando Lobo fue integrante del Consejo directivo del CIT Jujuy (Centro de Investigaciones y Transferencia de Jujuy), precursor de la creación de nuevas Unidades Ejecutoras en la provincia vecina y que hoy forman parte del Centro Científico Tecnológico Salta-Jujuy. Varios investigadores del IBIGEO han integrado órganos de evaluación de capacidades científicas en CONICET, Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica, Consejo Nacional de la Universidad Nacional de Salta y como evaluadores en concursos y jurados de tesis doctorales.

El origen, las motivaciones, las dificultades y satisfacciones que modelaron el destino del IBIGEO son una prueba acabada de los procesos institucionales que requieren por, sobre todo, un grupo humano muy involucrado. La actividad del IBIGEO ha sido siempre intensa, hubo períodos de crecimiento con optimismo, períodos de resistencia con expectativa y períodos de zozobra y angustia como el que nos toca vivir. Tratamos de no bajar los brazos y continuar adelante, siempre con la premisa de no perder el sentido de pertenencia.

Bitácora de altura: descubriendo Payogasta

Maia Maidana Keticoglu¹, Neil Andreu Babicz^{1*}, Facundo Bianchini¹, Juan Cafrune¹

¹Facultad de Ciencias Naturales, UNSa. e-mail: neilandreu1@gmail.com

El 28 de octubre comenzó una experiencia inolvidable para nuestro grupo de estudiantes de biología: un viaje en el que compañeros se convertirían en futuros colegas, y las expectativas estaban listas para ser superadas. Durante una semana, acompañados de los profesores Soledad Valdecantos, Fernando Lobo, Roberto Sánchez y Julio Cruz, esta travesía fue mucho más que un simple viaje de estudio; se convirtió en un camino de aprendizaje, descubrimiento y momentos que siempre recordaremos.

Partimos en colectivo desde la Universidad Nacional de Salta hacia Payogasta, atravesando la Cuesta del Obispo, asombrándonos con la transición del verde característico del Valle de Lerma al árido paisaje de los Valles Calchaquíes (Figura 1A). Tras casi cinco horas de viaje, llegamos al albergue municipal, donde nos recibieron con calidez. Así comenzaba una semana llena de actividades de campo que incluyó metodologías de muestreo, observaciones y exploraciones sobre



Figura 1. A la izquierda (A), vista de la Ruta Nacional N° 33, camino a Payogasta. A la derecha (B), paisaje de Payogasta

la flora y fauna local. Mañanas en el río Calchaquí investigando peces, atardeceres descubriendo anfibios y jornadas experimentando técnicas para el estudio de lagartijas marcaron el inicio de una aventura que quedará en nuestra memoria.

Como primera actividad del viaje nos sumergimos en el interesante mundo de los peces, durante dos días, en el río Calchaquí, el cual sigue un curso sinuoso cuesta abajo hacia el oeste del pueblo (Figura 1B). Durante la mañana del primer día, al llegar al lugar, la primera tarea que realizamos fue contar el número de puestas de huevos de las viejas del agua (*Rineloricaria steinbachi*) las cuales se podían observar al levantar las rocas (Figura 2A). Desde nuestro punto de vista pareciese que, con su delicado comportamiento, parecían preferir las superficies planas de las rocas, que ofrecían un refugio perfecto para sus futuras crías.

Nos dividimos en 3 grupos. Uno se ubicó río arriba, otro río abajo y el tercer grupo en una zona media. De esta manera, cada equipo muestreó aproximadamente 100 m de río (Figura 2B). En cada tramo, medimos, contamos y registramos con precisión, observando que en promedio se registraban 40 puestas por sector. Éstas fueron fotografiadas para luego poder diferenciar los huevos fecundados de los no fecundados o eclosionados.

Pronto, nos dimos cuenta de que pasamos toda la mañana sumidos en esta fascinante actividad. Es así que, luego de un merecido descanso para almorzar, volvimos a bajar al río, pero esta vez para intentar capturar y reconocer las distintas especies de peces que habitan allí.

Usando redes, jaulas trampa y cañas de pesca logramos atrapar ejemplares representativos de la fauna del río. Entre ellos, además de las viejas del agua (*Rineloricaria steinbachi*), encontramos madrecitas (*Jenynsia maculata*), corydoras (*Urkumayu gladysae*) y yuscas (*Heptaterus mustelinus*), que luego fueron devueltos a su hábitat. A medida que el sol comenzaba a ponerse, dimos por concluida la actividad, sabiendo que al amanecer del día siguiente volveríamos al río para seguir nuestra labor, con el objetivo de recolectar las especies que aún nos faltaban para completar el inventario de este fascinante ecosistema.

En este segundo día de nuestra primera aventura ictícola, volvimos al río con el entusiasmo renovado. Buscamos corydoras en una zona específica, donde los profesores nos enseñaron que suelen encontrarse, asociadas a una planta que usan para refugiarse. Además, terminamos de recolectar ejemplares de torillos (*Trichomycterus spegazzini*) y yuscas, barriendo el fondo del río usando una red de arrastre para que estos salieran, ya que se ocultan entre las rocas.

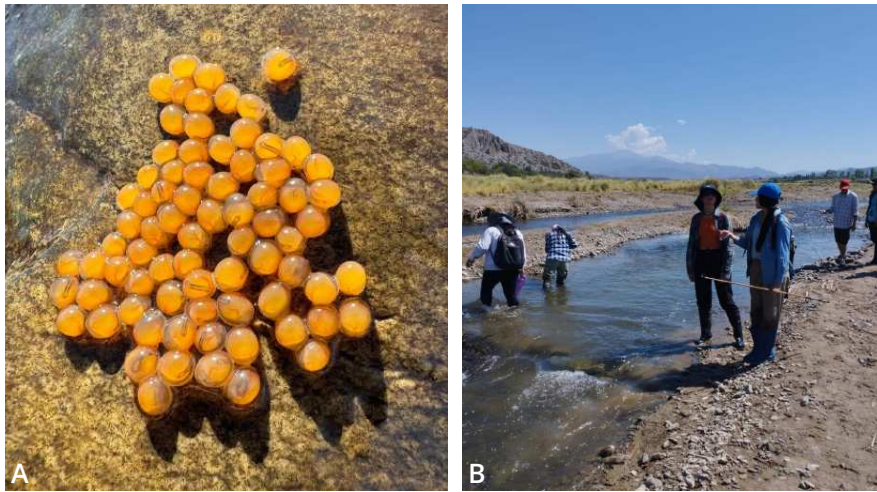


Figura 2. A la izquierda (A), puestas de huevos de viejas del agua (*Rineloricaria steinbachi*) debajo de una de las rocas del río Calchaquí. Se puede identificar, en tono oscuro, los embriones dentro de los huevos. A la derecha (B), uno de los grupos haciendo rastrillaje en la zona correspondiente del río

Así, gracias a la orientación de nuestros guías y el trabajo en equipo, concluimos nuestra exploración de la fauna del río, habiendo logrado un registro valioso de su diversidad y su interacción con el entorno.

Tras la fascinante experiencia con los peces, continuamos nuestro recorrido por el ecosistema acuático, esta vez centrándonos en los anfibios. Estas especies, al igual que los peces, juegan un papel crucial en el equilibrio de los hábitats acuáticos, pero con un enfoque más directo en la transición entre los ambientes acuáticos y terrestres.

Durante la noche del segundo día bajamos al río, donde se escuchaban los coros de sapos y ranas que podíamos encontrar en el lugar. Es así que, equipados con botas y linternas, nos aventuramos a escuchar y atrapar estos pequeños animales para aprender de ellos y conocerlos mejor.

Algunos lograron vencer sus miedos y, con entusiasmo, pudieron atraparlos y tomarles fotos (Figuras 3A y B). De esta forma es que muchos aprendieron que éstos son inofensivos y descubrieron que son bellos e interesantes a su manera.

Pudimos observar tres especies que habitan la zona: sapo común (*Rhinella arenarum*, Figura 3A, ejemplar de la derecha), sapo espinoso andino (*Rhinella spinulosa*) y rana trepadora andina (*Boana riojana*, Figura 3C) y diferenciar cada uno de sus cantos, algunos más graves y continuos, y otros más pausados y agudos.

Fue tan divertida e interesante esta experiencia que decidimos repetirla un par de noches más ya que, si bien encontramos las mismas especies, pudimos detectar que en unas partes del río escuchábamos y encontrábamos ejemplares de sapo común y ranita trepadora, y en otras partes

sólo veíamos al sapo espinoso. Esto nos llevó a preguntarnos ¿Por qué su distribución es así? ¿Qué factores determinan que sea de esta manera? Esto nos invitó a observar con mayor atención y buscar respuestas en el entorno.



Figura 3. A la izquierda (A) y centro (B), estudiantes manipulando las especies observadas. En 3A, a la izquierda en la mano un ejemplar de *Boana riojana* y en la mano a la derecha un ejemplar de *Rhinella arenarum*. A la derecha (C), detalle de un ejemplar de *Boana riojana*

Los últimos días del viaje, pese al agotamiento, fueron sumamente enriquecedores. Luego de un día de práctica, los estudiantes nos dividimos en dos grupos, mañana y tarde, para llevar a cabo el muestreo, reconocimiento y toma de datos biológicos de lagartijas de la especie *Liolaemus quilmes*.

En los alrededores de la Ruta 33, guiados por el equipo docente, en grupos realizamos el muestreo de 60 lagartijas. Para tomar datos de cada individuo de lagartija, debíamos colectarlo y luego registrar su temperatura corporal interna, su medida de tamaño (longitud desde el hocico hasta la cloaca, orificio común para la salida de los sistemas digestivo, urinario y reproductor en muchos vertebrados), peso corporal y marcarlo con pintura temporal para que posteriormente, luego de liberarlo, se evite tomar muestras dos veces del mismo individuo.

Aunque la metodología pueda resultar simple y repetitiva, al aplicarla reiteradas veces nos surgieron cuestiones propias de nuestra inexperiencia; particularmente nuestro grupo tiene recuerdos de estar en la tarde, bajo el sol, buscando lagartijas escondidas bajo los churquis con nuestros ojos poco entrenados, que tardaron minutos en ser atrapadas por nuestra ineficacia al utilizar las cañas adaptadas con un lazo corredizo para recolectarlas (Figura 4). Una vez atrapada la lagartija, debíamos proceder rápida y cuidadosamente con la toma de datos, con una mínima manipulación tras la captura para evitar cualquier perturbación en las medidas. Para ello sujetamos al animal de las patas, reduciendo la superficie de contacto. Utilizando una termocupla (sensor de temperatura), primero medimos la temperatura interna del animal introduciéndola en la cloaca para

así obtener su temperatura interna. Proseguimos tomando la temperatura del sustrato donde estaba asentada la lagartija y del aire (a un centímetro de altura desde el suelo) en donde está el individuo. Finalmente medimos su tamaño y obtuvimos su peso corporal. Cabe destacar que higienizamos con un algodón con alcohol la termocupla cada vez que fue utilizada, además de que marcamos minuciosamente los individuos previo a liberarlos.



Figura 4. Grupo de estudiantes colectando ejemplares de lagartija con ayuda de cañas con lazo

Tomadas las medidas, también registramos el sexo de los individuos encontrados, observando la morfología del área de la cloaca, siendo la escamación en la cloaca más prominente en machos que en las hembras y examinando la coloración dorsal, teniendo en cuenta la presencia de escamas azuladas en los machos o su carencia en las hembras (Figuras 5A y B).

Fuimos adquiriendo mayor habilidad en el proceso de captura con el correr del día de trabajo y para optimizar la actividad distribuimos las tareas logrando obtener datos de 60 lagartijas. Aunque el trabajo exhaustivo (pero más entretenido) ya estaba hecho, faltaba analizar los datos, lo cual hicimos a la vuelta del viaje ya con las vivencias formadas.

Fuimos adquiriendo mayor habilidad en el proceso de captura con el correr del día de trabajo y para optimizar la actividad distribuimos las tareas logrando obtener datos de 60 lagartijas. Aunque el trabajo exhaustivo (pero más entretenido) ya estaba hecho, faltaba analizar los datos, lo cual hicimos a la vuelta del viaje ya con las vivencias formadas.



Figura 5. Ejemplares de *Liolaemus quilmes*. A la izquierda (A), un ejemplar macho adulto, se observan los colores vivos azules. A la derecha (B), un ejemplar hembra

Al tomar la temperatura corporal de las lagartijas pudimos observar en los datos obtenidos, que luego resumimos estadísticamente, características del metabolismo de estos organismos: los mismos son ectotérmicos, es decir, su temperatura corporal depende del entorno. Además, fueron medianamente termoconformistas, es decir que su temperatura corporal varió en función de la temperatura del sustrato y ambiente donde estuvieron. Con los datos incluso pudimos concluir ciertos aspectos, como afirmar que existe diferencia significativa en la temperatura corporal entre adultos y juveniles (Figura 6).

Grandes experiencias surgen sin grandes planificaciones, como aquella tarde que pasó de ser una reunión donde compartimos mates a un avistaje de aves, las cuales pudimos observar con guías de identificación en mano, descubriendo diversas especies locales que se escondían entre pastizales y árboles del lugar (Figura 7A). Además en esos atardeceres en medio de la naturaleza con ansias de observar todo en detalle, pudimos ver una araña lobo hembra (*Lycosa sp.*), que captó por completo nuestra atención, con su tamaño imponente que la diferenciaba del macho, que apareció segundos después (Figura 7B). Nos convertimos en testigos de un cortejo fallido.

Luego de una semana de actividades planeadas y otras más espontáneas, que incluyó, además de enseñanzas, risas y convivencia, nuestra experiencia en Payogasta culminó, dejándonos aprendizajes acerca de la biodiversidad local, conocimientos sobre el trabajo del biólogo en el campo y muchos recuerdos de esta inolvidable experiencia (Figura 7C).

Clasificación	Edad
Variable	Tb
Grupo 1	adultos
Grupo 2	juveniles
n1	48
n2	15
Diferencia de medias	2,84
p-valor	0,0034

Figura 6. Tabla con los datos estadísticos del muestreo de *L. quilmes*, comparando las medias de la temperatura corporal (Tb) entre juveniles y adultos, basándonos en que el p-valor, una medida estadística, al ser menor a 0,05 no lleva a indicar que hay diferencia significativa entre las medias



Figura 7. A la izquierda (A) vista del atardecer durante la actividad del avistaje. Al centro (B), ejemplar de araña lobo. A la derecha (C), una fotografía grupal de los estudiantes y profesores

Introducción a la Geoquímica: explorando la química de la Tierra

Griselda Valenti¹

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa - CONICET), Argentina. e-mail: grivalenti7@gmail.com

¿Alguna vez te preguntaste qué tienen en común el agua que bebemos, el aire que respiramos y los minerales de tu celular? La respuesta está en la geoquímica

La geoquímica es la ciencia que estudia cómo los elementos químicos se distribuyen, se transforman y se relacionan en los distintos componentes del planeta Tierra. Estos incluyen: rocas y suelos (geósfera), agua (hidrósfera), aire (atmósfera) e incluso organismos vivos (biósfera) (Figura 1). Es una disciplina que conecta la química con la geología para entender procesos naturales que ocurren desde el núcleo terrestre hasta la superficie y también más allá.

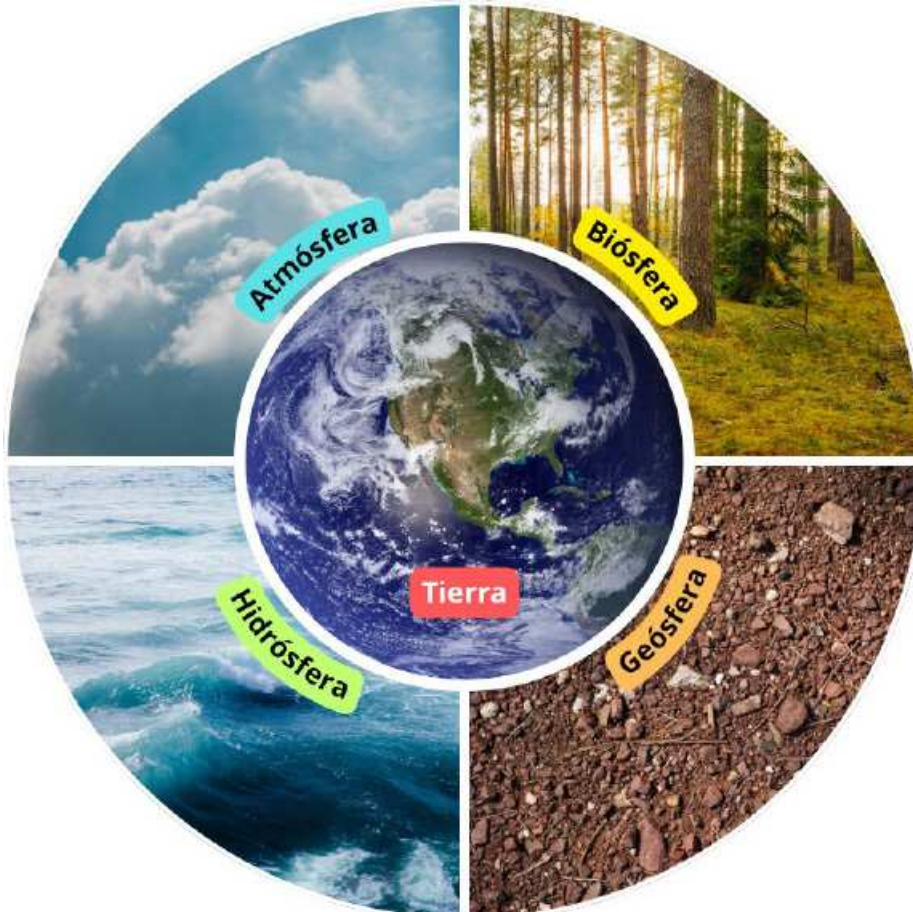


Figura 1: Esquema que ejemplifica las cuatro esferas de la Tierra: Hidrósfera, Atmósfera, Geósfera y Biósfera

Una forma simple de entender cómo los elementos químicos interactúan con las distintas esferas de la Tierra es a través de los ciclos biogeoquímicos. Los ciclos biogeoquímicos son como una rueda de reciclaje planetaria en constante movimiento. Un ejemplo bien conocido por todos es el Ciclo Biogeoquímico del Carbono o, simplemente llamado, Ciclo del Carbono (Figura 2).

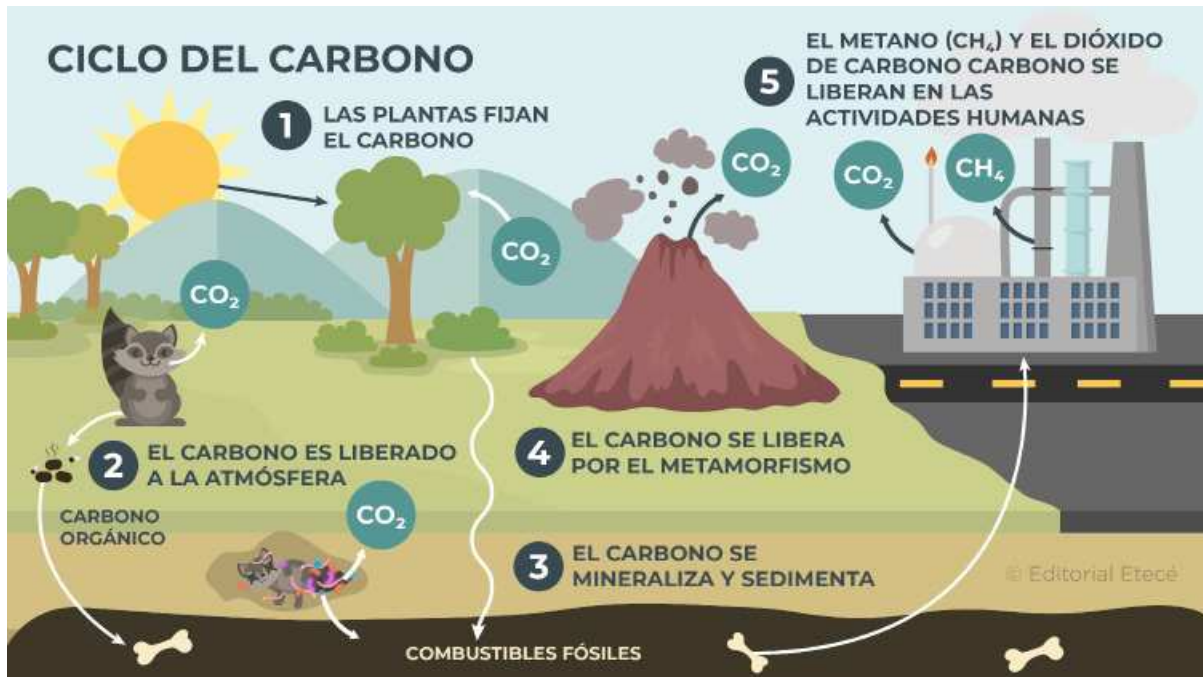


Figura 2: Esquema simplificado del Ciclo Biogeoquímico del Carbono. Tomado de Ondarse Álvarez (2025)

En este ciclo, el carbono cambia su forma química (su estado de oxidación o reducción) según el medio con el que interactúa. A lo largo del proceso, puede presentarse como sólido, líquido o gas, dependiendo de sus combinaciones y del entorno.

En la biósfera, las plantas fijan el carbono mediante la fotosíntesis, utilizando la luz solar y el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera. A su vez, los organismos vivos liberan CO₂ al aire a través de la respiración celular (lo cual se incrementa durante la respiración nocturna de las plantas) y de la descomposición de la materia orgánica.

En la geósfera, procesos físicos y químicos movilizan el carbono durante millones de años. Este se acumula en el suelo y los océanos, formando depósitos que con el tiempo pueden transformarse en rocas sedimentarias, fósiles y combustibles fósiles como el petróleo y el gas. Cuando estas rocas se desplazan o sufren metamorfismo¹, liberan nuevamente el carbono. También lo hacen las erupciones

¹Metamorfismo: proceso geológico que transforma rocas preexistentes debido a cambios en la temperatura y/o presión.

volcánicas, a través de los gases emitidos.

Por otro lado, la actividad humana libera grandes cantidades de CO_2 y metano (CH_4), principalmente por la quema de combustibles fósiles, la minería y procesos industriales. Esto intensifica el efecto invernadero² y contribuye al cambio climático.

Conocer los ciclos biogeoquímicos es clave para entender cómo los elementos esenciales para la vida circulan, se transforman y se reciclan en la Tierra, permitiendo el equilibrio de los ecosistemas y la sostenibilidad ambiental.

Aunque a primera vista parezca una disciplina distante, la geoquímica está profundamente conectada con nuestra vida diaria. Está presente en el agua que bebemos, en la calidad del aire que respiramos, en los suelos donde cultivamos nuestros alimentos y en los minerales que componen nuestros celulares y computadoras. Además, la geoquímica es una herramienta clave para entender cómo funciona nuestro planeta: ayuda a estudiar el cambio climático, detectar la contaminación ambiental, comprender la formación de volcanes y encontrar recursos naturales como el litio, el cobre o el petróleo. En pocas palabras, la geoquímica nos permite leer la historia de la Tierra escrita en sus elementos.

Esta Nota Breve es una invitación a explorar los distintos campos de la geoquímica. En la figura 3 se presentan sus principales ramas de estudio y aplicaciones de cada una.

Además de sus usos en el campo, la geoquímica se apoya fuertemente en el trabajo de laboratorio. Allí se analizan muestras de rocas, agua, suelo o aire utilizando técnicas precisas que permiten detectar y medir los elementos químicos presentes. Estos análisis ayudan a entender cómo cambian los componentes del ambiente según factores como la temperatura, la presión, la contaminación o el paso del tiempo. Gracias a estos estudios, podemos responder preguntas como: ¿qué minerales hay en una zona?, ¿cómo se dispersan los contaminantes?, ¿qué señales químicas anuncian una erupción volcánica?

La Tierra es un laboratorio natural en constante cambio. La geoquímica nos da las herramientas para descifrar sus secretos. ¿Te animás a seguir explorando?

²Efecto invernadero: fenómeno natural donde los gases de la atmósfera, como el CO_2 y el vapor de agua (H_2O), forman una capa que retiene el calor del sol para mantener la temperatura de la Tierra. Sin embargo, la actividad humana, como la quema de combustibles fósiles, ha aumentado la concentración de estos gases, provocando un exceso de calor y, en consecuencia, el calentamiento global.



Figura 3: Principales ramas de estudio de la Geoquímica, objeto de estudio y aplicaciones



REFERENCIA



ONDARSE ÁLVAREZ D. 2025. Ciclo del carbono. Enciclopedia Concepto. Editorial Etecé. <https://concepto.de/ciclo-del-carbono/>

¿Los volcanes crecen indefinidamente? Colapso de volcanes en el Noroeste de Argentina

Emilce Bustos¹, Gianluca Norini², Walter Báez¹, Pablo Grosse^{3,4}, Marcelo Arnosio¹, Lucía Capra⁵

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa - CONICET), Argentina. e-mail: emilcebustos@gmail.com

²Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Area della Ricerca CNR - Italy

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

⁴Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina

⁵Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, México

Las formas que presentan los volcanes en la actualidad son el resultado de una combinación de procesos constructivos (como la emisión de flujos de lava) y destructivos (como el colapso/destrucción). Los volcanes no pueden crecer de manera indefinida por varias razones. Por un lado, están expuestos a la erosión provocada por la lluvia, el viento y otros agentes naturales. Por otro lado, pueden experimentar cambios en su sistema interno, como el desplazamiento o enfriamiento del magma, o incluso el vaciamiento de su cámara magmática. Además, el propio peso del volcán, sumado a las pendientes cada vez más empinadas que desarrollan con el tiempo, puede llevar al **deslizamiento o colapso del edificio volcánico**, formando una **avalancha volcánica de detritos** (Figura 1). Este es uno de los procesos más importantes en el modelado del paisaje volcánico.

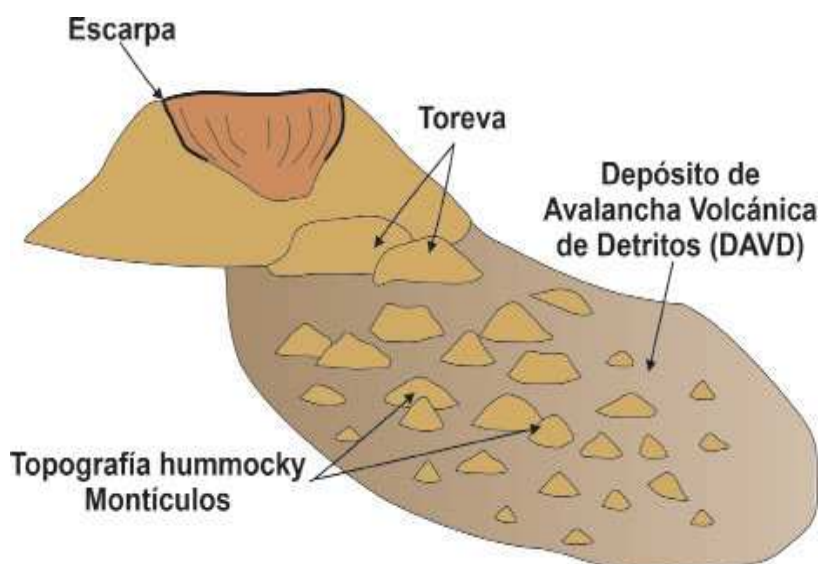


Figura 1. Esquema mostrando un volcán colapsado con su escarpa y el depósito de avalancha volcánica de detritos (DAVD). Se observan los bloques toreva y la morfología superficial de montículos (topografía hummocky). Redibujado de Dufresne et al. (2021)

La primera vez que la humanidad pudo documentar en tiempo real un fenómeno de avalancha volcánica fue en 1980, con la erupción y colapso del Monte Santa Helena, en Estados Unidos (Glicken, 1991, 1996). Las avalanchas volcánicas de detritos son fenómenos comunes (Dufresne et al., 2021), ya que muchos volcanes, incluso aquellos que ya no están activos, pueden colapsar.

Estos colapsos representan una amenaza significativa, ya que pueden causar muertes de manera directa o indirecta. Los volcanes pueden desestabilizarse por diversas razones, como por actividad tectónica, acumulación de peso en las laderas, debilitamiento por procesos hidrotermales, terremotos, intrusión de magma, eventos meteorológicos extremos, o, incluso, sin una causa aparente. Por eso, es importante no subestimar este tipo de fenómenos en la evaluación de la peligrosidad y riesgo volcánico (ver [Montero et al. 2012. Temas B&GNOA, vol.2, n°3](#); [Cirer y Berteza 2023. Temas B&GNOA, vol. 13, n°1](#)).

Avalanchas Volcánicas de Detritos

El colapso de edificios volcánicos forma una **avalancha volcánica de detritos**, que deja como evidencia una cicatriz o escarpa, y un **depósito de avalancha volcánica de detritos** (Figura 1). Se estima que los volcanes compuestos concentran el 75% de las avalanchas volcánicas de detritos reconocidas (Zernack y Procter, 2021). Durante el desplazamiento del material, los mecanismos de transporte generan una serie de rasgos característicos tanto en el relieve (geomorfológicos) como en el interior del depósito (sedimentológicos). Entre los rasgos geomorfológicos se destaca la topografía *hummocky* y los bloques *toreva* (Figura 1). Las características sedimentológicas incluyen megabloques, fracturas tipo *jigsaw* (red de fracturamiento caótico, caracterizado por desplazamientos pequeños de los fragmentos), clastos destrozados (*shattered clasts*) y clastos incorporados del sustrato (Figura 2).

Rasgos geomorfológicos

La zona del volcán en la cual se registra el colapso forma una **escarpa**: una depresión, generalmente en forma de herradura, con paredes empinadas y un piso más o menos plano que marca el área de donde se desprendió el material (Figura 1). En la base del volcán, donde la pendiente cambia bruscamente, suele formarse una **topografía hummocky**, un paisaje irregular compuesto por montículos (o "*hummocks*") rodeados de superficies más planas (Figura 1). Estos montículos se alinean en la dirección en la que se desplazó la avalancha y suelen hacerse más pequeños a medida que se alejan del volcán. Cuando estos montículos se alargan, forman crestas, también alineadas en el sentido del transporte. En la zona más cercana al volcán, a menudo se encuentran grandes bloques conocidos como **bloques Toreva** (Figura 1). Estos bloques tienen poca movilidad y tienden a rotar hacia atrás, es decir, en dirección a la fuente del colapso. Lo interesante es que estos bloques suelen conservar la estructura interna original del volcán, ya que no se desplazan mucho.

Rasgos sedimentológicos

La estructura interna de estos depósitos se caracteriza por tres componentes:

Megaclastos (>1 m): constituyen porciones relativamente intactas del edificio volcánico que colapsó (Figura 2a). Muchas veces presentan fracturas con un patrón denominado en rompecabezas (*jigsaw*). A medida que aumenta la distancia a la zona de colapso y hacia los márgenes laterales del depósito, el tamaño y número de los megaclastos disminuye, mientras aumenta el porcentaje de matriz. La fragmentación en rompecabezas constituye una red de fracturamiento caótico, caracterizado por desplazamientos pequeños de los fragmentos (Figura 2b). El proceso se asocia con la dilatación de una roca originalmente no fracturada; sin desagregación de los fragmentos. Se observan en todas las escalas y en toda la extensión del depósito.

Clastos (<1 m): corresponde a todos los componentes del depósito con tamaño entre 2 mm y 1 m que están rodeados por una superficie y presentan una homogeneidad litológica interna (Figura 2a).

Matriz: consiste en una mezcla de fragmentos pequeños, con tamaños que abarcan desde arcilla a arena muy gruesa (<2 mm). Incluye todo el material fino ubicado entre partículas más grandes (Figura 2c).

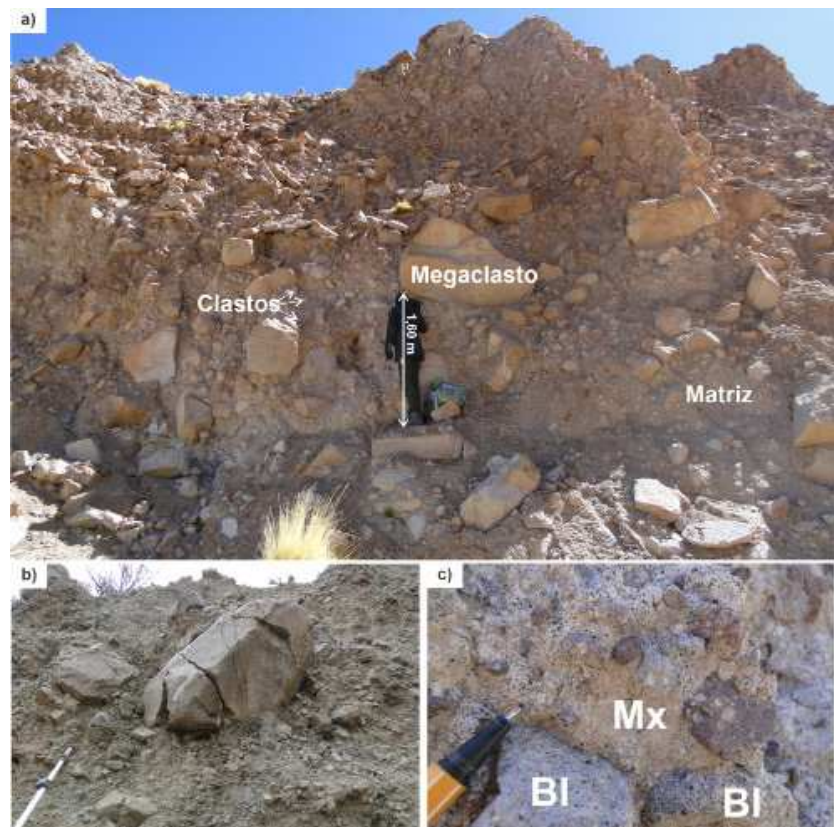


Figura 2. Fotografías de campo de depósitos de avalancha volcánica de detritos. a) Vista de afloramiento de la avalancha volcánica de detritos del volcán Quevar (Salta) mostrando sus componentes principales. b) Bloque con estructura en rompecabezas (Volcán Chimpa, Salta). c) Detalle de la brecha que forma el depósito de avalancha volcánica de detritos (Volcán Chimpa, Salta). Se observa la matriz (Mx) y los bloques (BI).

Geometría de las avalanchas volcánicas de detritos

Las escarpas y los depósitos dejados por las avalanchas de material volcánico presentan formas muy particulares (Figura 3). Para poder entender mejor estas formas y compararlas entre sí, se miden distintos aspectos de su geometría, es decir, parámetros morfométricos. En el caso de las escarpas, se obtienen datos como el ancho, el largo, la altura, el ángulo de apertura y el área. Además, su forma en planta (vista desde arriba) puede clasificarse como semicircular, triangular o en forma de anfiteatro. Por otro lado, en los depósitos de avalancha volcánica de detritos (DAVD) se miden parámetros como el ancho, el largo, el área, la altura, el espesor, entre otros.

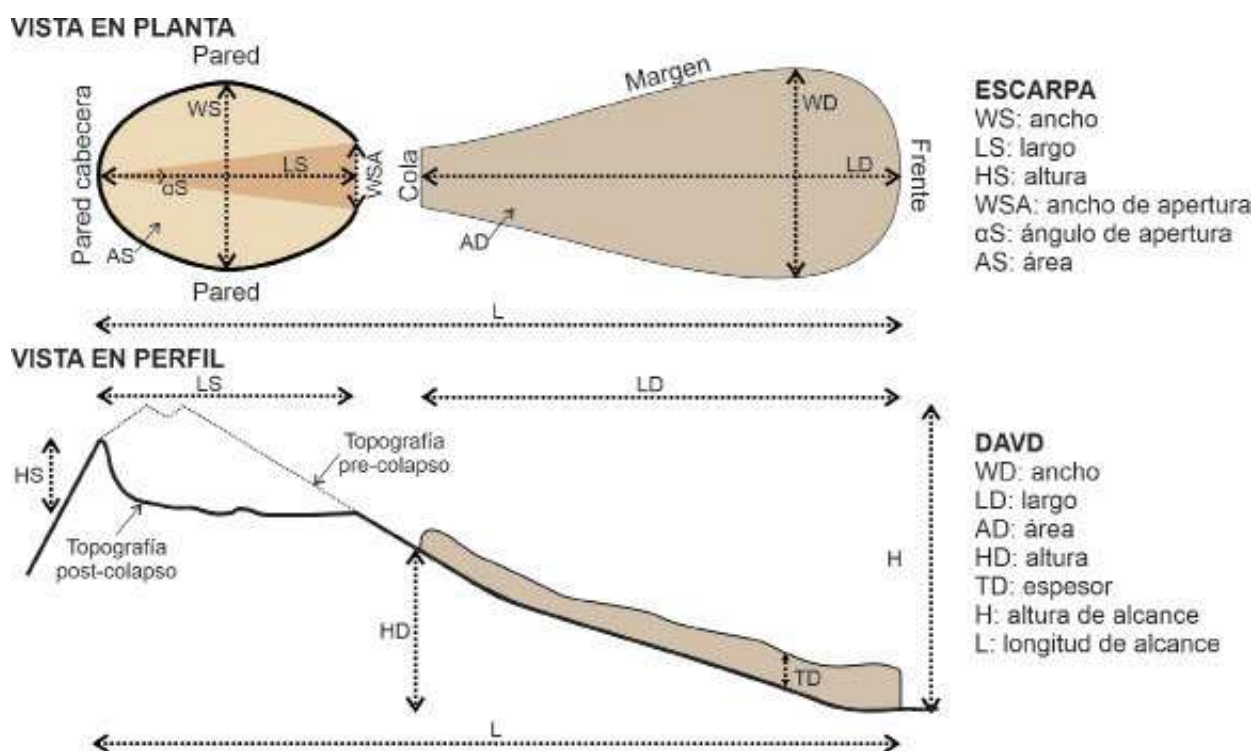


Figura 3. Términos descriptivos y parámetros geométricos de la escarpa (en este caso con forma semicircular en planta) y el depósito de avalancha volcánica de detritos (DAVD) (con forma en planta elongada). Las siglas están en inglés, ya que así figuran en las entradas de la base de datos que se expone a continuación. Tomado de Bernard et al. (2021).

Volcanes, Colapsos y Datos: Explorando las avalanchas de detritos en el Noroeste Argentino

En los Andes Centrales se encuentran algunas de las avalanchas volcánicas de detritos más grandes del mundo. Algunos de los depósitos más conocidos provienen de volcanes como Socompa, Llullaillaco y Lastarria, todos ellos ubicados en la Puna salteña y catamarqueña, límite con Chile.

Los Andes Centrales constituyen una de las zonas volcánicas más relevantes del planeta, con muchos de los volcanes más altos del mundo. Esta región es especialmente adecuada para estudiar

avalanchas de detritos mediante sensores remotos, debido a varias razones: baja tasa de erosión, que favorece la preservación de los depósitos; la predominancia de volcanes de forma cónica y con pendientes empinadas, más propensos al colapso; y un clima árido con escasa vegetación, que permite una excelente visibilidad y análisis a partir de imágenes satelitales.

Una **base de datos** es una colección organizada de información, estructurada para facilitar su acceso, manejo y actualización. En este caso, se creó una **base de datos geoespacial** compilando los eventos de avalanchas volcánicas de detritos del noroeste argentino. Se realizó a partir de mediciones de los parámetros geométricos presentados en la Figura 3 realizadas sobre un modelo digital de elevación (representación tridimensional del terreno que permite observar con detalle las alturas y formas del relieve), con resolución espacial de 12,5 metros (cada píxel representa un área de 12,5 × 12,5 m). Esta base está disponible en la página del IBIGEO (<https://ibigeo.conicet.gov.ar/volcanic-debris-avalanche-database/>). El sitio cuenta con un visor interactivo para explorar los datos y una sección de descargas para acceder a la información completa. Esta base de datos permite almacenar y gestionar la información de forma eficiente y segura, facilita el acceso rápido y preciso a los datos generados, permite compartir información y tomar decisiones basadas en evidencia geoespacial.

¿Cómo se organizan los datos eficientemente?

La arquitectura de la base de datos se basa en la premisa de que toda la información contenida debe ser comparable y consistente, de manera que permita realizar análisis y comparaciones rigurosas. Esta estructura facilita la organización, consulta y relación entre los datos, apoyando tanto el análisis geológico como la gestión del riesgo volcánico. Todos los atributos de la base de datos están georreferenciados. La estructura de la base de datos tiene tres capas principales:

Volcán: archivo de puntos que contiene el nombre del volcán, tipo, coordenadas, composición química, edad, presencia o ausencia de alteración hidrotermal en superficie, presencia o ausencia de colapsos y sus causas si fueran conocidas.

Escarpa: archivo de líneas que registra las escarpas presentes en los volcanes. Contiene columnas con el nombre del volcán al que está vinculada la estructura, nombre de la escarpa, nombre del depósito, grado de preservación, forma en planta, parámetros geométricos calculados (e.g., largo, ancho, ancho de apertura, altura, ángulo de apertura, pendiente, azimuth, área).

DAVD: capa vectorial de polígonos que define la extensión en planta de estos depósitos. La información comprendida en la base de datos incluye datos geométricos del depósito (e.g., largo,

ancho, espesor, volumen, distancia de desplazamiento, etc.), y la forma del depósito.

Más adelante revisamos un ejemplo de los parámetros de la base de datos de avalanchas volcánicas de detritos del volcán Chimpa ubicado en la Puna salteña.

Estas tres capas están vinculadas entre sí mediante el campo común “volcán”. Debido a que sobre la traza de las estructuras tectónicas regionales se desarrollan zonas de alteración hidrotermal (Ver [Salado Paz 2012. Temas B&GNOA, vol. 2, n°2](#)), las cuales constituyen factores que llevan a la inestabilidad de los volcanes, se agregaron esos datos como capas complementarias que enriquecen la base de datos.

Avalanchas volcánicas en los Andes del Noroeste Argentino: una mirada a los colapsos ocultos del pasado geológico

La base de datos sobre avalanchas volcánicas de detritos en el noroeste de Argentina recopila 19 eventos de colapso volcánico cuyas evidencias geológicas quedaron registradas en diferentes zonas de esta región (Figura 4). Cada registro incluye información detallada sobre las escarpas, los depósitos generados por las avalanchas, características morfométricas y datos complementarios relacionados con estructuras geológicas y zonas de alteración hidrotermal. De los 19 eventos documentados, 15 cuentan con información completa tanto de la escarpa como del depósito. Cinco de estos casos ya habían sido estudiados previamente, otros cinco se conocían por trabajos cartográficos o investigaciones regionales, y los nueve restantes fueron identificados por primera vez en esta investigación (Figura 4).

El análisis estadístico de los datos revela relaciones entre diversos parámetros morfométricos y muestra que la mayoría de las avalanchas se desplazaron en direcciones perpendiculares a las principales estructuras tectónicas de la región. Además, se destaca la influencia de las zonas de alteración hidrotermal en la inestabilidad de los edificios volcánicos.

Los colapsos provienen mayoritariamente de volcanes compuestos, siendo los eventos de mayor magnitud aquellos asociados a composiciones dacíticas¹. Las edades estimadas de estos fenómenos se sitúan entre el Mioceno tardío y el Plioceno (aproximadamente de 12 a 2,5 millones de años), aunque la falta de fechamientos radiométricos limita la precisión respecto a su frecuencia.

¹Dacita: roca volcánica de composición intermedia a ácida, con un contenido de sílice (SiO₂) alto, generalmente entre 63% y 69%.

En cuanto a la forma en planta, las escarpas tienden a ser semicirculares, con un ancho que suele duplicar su largo. Los depósitos de avalancha, por su parte, presentan configuraciones alargadas, muchas veces confinadas por valles. Tanto las escarpas como los depósitos muestran valores de los parámetros geométricos muy variables.

Si bien la mayoría de las avalanchas siguen direcciones perpendiculares a los lineamientos geológicos predominantes, se identificaron excepciones notables. En general, los depósitos se concentran a lo largo de la región conocida como lineamiento Calama-Olacapato-Toro (COT, figura 4), con una disposición noroeste-sureste, y también hacia el sur siguiendo el eje norte-sur del arco volcánico (límite Argentina-Chile).

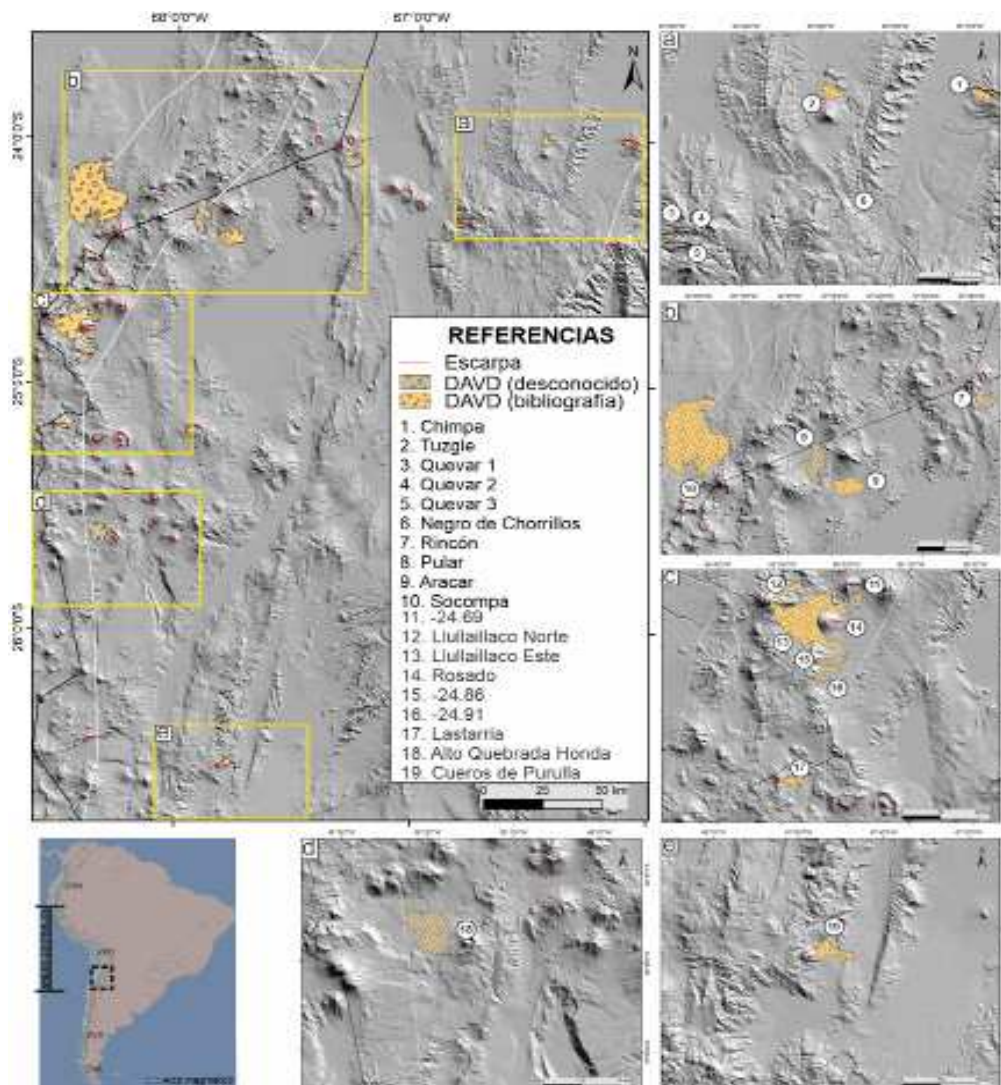


Figura 4: Distribución de escarpas y depósitos de avalanchas volcánicas de detritos en el noroeste argentino. Se representan 19 eventos documentados, 5 en color amarillo que corresponden a los nuevos hallazgos. En color marrón se ilustran los eventos ya documentados en la bibliografía. Con línea azul punteada se marca el lineamiento Calama-Olacapato-El Toro (COT). Modificado de Bustos et al. (2025). Los recuadros amarillos en la figura del margen superior izquierdo muestran el área abarcada por las imágenes a-e. En el margen inferior izquierdo se muestra la zona de estudio en el marco de Sudamérica, la ubicación de los Andes Centrales y de las zonas volcánicas Norte, Central, Sur y Austral (ZVN, ZVC, ZVS y ZVA respectivamente)

Ejemplo de la Avalancha Volcánica de Detritos en el Volcán Chimpa

La Figura 5 muestra un ejemplo del visor interactivo de la base de datos, disponible en la página web del IBIGEO (<https://ibigeo.conicet.gov.ar/volcanic-debris-avalanche-database/>). Se observa la ubicación del volcán (diamante rojo), la traza de las escarpas en líneas rojas, el depósito de avalancha del volcán Chimpa representados como un polígono de color amarillo. También se observan los lineamientos geológicos (en color marrón) y las zonas de alteración hidrotermal (estrella amarilla).



Figura 5. Ejemplo del visor de la base de datos de la avalancha (volcán Chimpa)

A continuación, vemos cómo se almacenan los datos de la base de datos para el mismo ejemplo, el del colapso de la avalancha volcánica de detritos del volcán Chimpa:

Capa Volcán:

Volcán	Chimpa
Tipo	Estratovolcán
Latitud	-24,01
Longitud	-66,09
Composición	Andesítica
Edad	Mioceno Superior (7 Ma)
Alteración hidrotermal	Si
Colapso	Si
Cantidad de colapsos	1

Capa Escarpa: para el caso del volcán Chimpa los parámetros de las escarpas no se calculan porque son rectilíneas y paralelas entre sí.

Volcán	Chimpa
Nombre	Escarpa norte y escarpa sur
Depósito asociado	Casana VDAD
Grado de preservación	Moderadamente definida
Forma en planta	Rectilínea
Largo LS (m)	
Largo LS (km)	
Ancho WS (m)	
Ancho WS (km)	
Ancho de apertura WSA (m)	
Ancho de apertura WSA (km)	
Altura HS (m)	
Ángulo de apertura αS [°]	
Pendiente βS [°]	
Azimut γS [°]	
Área AS [m²]	
Área AS [km²]	
Factor de elongación	
Factor de cierre	
Gatilladores	Tectónica y alteración hidrotermal
Observaciones	Las características propias de las escarpas no permiten realizar las mediciones de los parámetros
Bibliografía	NORINI G, E BUSTOS, M ARNOSIO, W BÁEZ, MC ZULUAGA, M ROVERATO. 2020. Unusual volcanic instability and sector collapse configuration at Chimpa Volcano, Central Andes. <i>Journal of Volcanology and Geothermal Research</i> 393: 106807. BUSTOS E, L CAPRA, M ARNOSIO, G NORINI. 2022. Volcanic debris avalanche transport and emplacement at Chimpa volcano (Central Puna, Argentina): Insights from morphology, grain-size and clast surficial textures. <i>Journal of Volcanology and Geothermal Research</i> , 432, 107671.

Capa depósito (ver abreviaturas en Figura 3):

Volcán	Chimpa
Nombre del depósito	Casana VDAD
Depósito asociado	VDAD
Vista en planta	Elongada
Longitud LD [m]	6817,95
Longitud LD [km]	6,82
Ancho LD [m]	2328,33
Ancho LD [km]	2,33
Área AD [m²]	9248340
Área AD [km²]	9,25
Altura HD [m]	850
Pendiente α [°]	0,12
Longitud de alcance L [m]	7518,38
Longitud de alcance L [km]	7,52
Altura de alcance H [m]	850
Coefficiente de fricción	0,11
Edad	Desconocida
Gatilladores	Tectónica-Alteración hidrotermal
Bibliografía	<p>NORINI G, E BUSTOS, M ARNOSIO, W BÁEZ, MC ZULUAGA, M ROVERATO. 2020. Unusual volcanic instability and sector collapse configuration at Chimpa Volcano, Central Andes. <i>Journal of Volcanology and Geothermal Research</i> 393: 106807.</p> <p>BUSTOS E, L CAPRA, M ARNOSIO, G NORINI. 2022. Volcanic debris avalanche transport and emplacement at Chimpa volcano (Central Puna, Argentina): Insights from morphology, grain-size and clast surficial textures. <i>Journal of Volcanology and Geothermal Research</i>, 432, 107671.</p>

En síntesis...

Es importante destacar que el reconocimiento de estos eventos de colapso por medio de modelos digitales de elevación puede resultar complejo, especialmente en volcanes que han experimentado procesos constructivos posteriores al colapso, los cuales pueden borrar o modificar las evidencias originales de estos fenómenos.

Aunque los parámetros morfométricos ofrecen información valiosa, deben interpretarse con precaución. Por ejemplo, las escarpas pueden haber sido afectadas por erosión o relleno, alterando así su forma original. Los elementos geométricos permiten establecer las características físicas que definen a las avalanchas volcánicas de detritos y, además, funcionan como datos de entrada para modelos numéricos que simulan la dinámica de estos fenómenos. El emplazamiento de una avalancha volcánica de detritos generalmente modifica la topografía local, interrumpiendo y desviando la red hidrológica circundante.

Esta base de datos, accesible a través del sitio web del IBIGEO, representa una herramienta valiosa tanto para investigadores como para organismos nacionales responsables de la evaluación del riesgo geológico, permitiendo un análisis sistemático dentro de un entorno SIG (Sistema de Información Geográfica). Su utilización contribuye a mejorar el entendimiento de la distribución espacial y temporal de las avalanchas volcánicas de detritos en la Zona Volcánica Central de los Andes.

Artículo escrito a partir de la publicación científica Bustos, E, G Norini, W Báez, P Grosse, M Arnosio, L Capra. 2025. A new remote-sensing-based volcanic debris avalanche database of Northwest Argentina (Central Andes). *Landslides*, 22(2), 353-372.

Este trabajo recibió financiamiento de los proyectos de investigación PIBAA 28720210100094CO "Morfología y Arquitectura Interna de Depósitos de Avalancha Volcánicas de Detritos en la Puna Central. Evaluación de la Dinámica de Flujo" y PICT-2021-GRFTI-00145 "Avalanchas Volcánicas de Detritos en los Andes Centrales: Distribución Espacial y Mecanismos de Colapso" dirigidos por Emilce Bustos.

REFERENCIAS

BERNARD B, S TAKARADA, D ANDRADE, A DUFRESNE. 2021. Terminology and strategy to describe volcanic landslides and debris avalanches. Pp 51-73. En Roverato M, A Dufresne, JN Procter (Eds.), Volcanic debris avalanches: from collapse to hazard. Springer book series advances in volcanology.

BUSTOS E, G NORINI, W BÁEZ, P GROSSE, M ARNOSIO, L CAPRA. 2025. A new remote-sensing-based volcanic debris avalanche database of Northwest Argentina (Central Andes). *Landslides*, 22 (2): 353-372.

CIRER M, E BERTEA. 2023. Una ventana al pasado del volcán Láscar, ejemplo de la colaboración científica entre Argentina y Chile en la gestión del riesgo. [Temas Biología y Geología del NOA, 13 \(1\): 5-15.](#)

DUFRESNE A, A ZERNACK, K BERNARD, JC THOURET, M ROVERATO. 2021. Sedimentology of volcanic debris avalanche deposits. Pp 175-210. En: Roverato M, A Dufresne, JN Procter (Eds.), Volcanic debris avalanches: from collapse to hazard. Springer book series advances in volcanology.

GLICKEN H. 1991. Sedimentary architecture of large volcanic-debris avalanches. Pp 99. En Fisher RV, GA Smith (Eds.), Sedimentation in volcanic settings. Special publication. SEPM.

GLICKEN H. 1996. Rockslide-debris avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens volcano, Washington. U.S. geological survey open-file report 96-677, 90p, 5 plates, <https://pubs.usgs.gov/of/1996/0677/>

MONTERO C, VH GARCÍA, S GUZMÁN. 2012. Desastres naturales: ¿se pueden predecir y prevenir los eventos geológicos destructivos? [Temas Biología y Geología del NOA, 2 \(3\): 84-100.](#)

SALADO PAZ N. 2012. Ambientes termales: evidencias de actividad biológica en sistemas termales fósiles (vetas epitermales) y actuales en la laguna de Incachule, Puna Salteña. [Temas Biología y Geología del NOA, 2 \(2\): 54-63.](#)

ZERNACK AV, JN PROCTER. 2021. Cyclic growth and destruction of volcanoes. Pp 311-355. En Roverato M, A Dufresne, JN Procter (Eds.), Volcanic debris avalanches: from collapse to hazard. Springer book series advances in volcanology.

Acuáticas y enigmáticas: ranas *Telmatobius* en la Cordillera Oriental de Salta, Argentina

Julio César Cruz¹, Marissa Fabrezi¹,

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa - CONICET), Argentina. e-mail: juliocruz13@gmail.com, mfabrezi@gmail.com

Las ranas del género *Telmatobius* viven en ecosistemas de montaña a lo largo de los Andes, desde Ecuador hasta el norte de Argentina y Chile. Estas ranas varían entre formas semiacuáticas y completamente acuáticas, y habitan ambientes fríos de mediana y gran altitud. Hasta el presente, en Argentina se registraron 15 especies, de las cuales la mayoría vive por encima de los 3000 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.) ocupando arroyos de montaña, lagunas y vertientes en vegas; aunque sólo unas pocas habitan ríos en bosques montanos de menor altitud.

La identificación o diagnosis de estas especies se ha basado tanto en el ambiente que ocupan como en características anatómicas de sus larvas y adultos. Como las diferencias entre especies son sutiles y hay abundante variación intraespecífica, las descripciones a veces no son precisas por lo tanto la designación de las especies muchas veces es controvertida y las hipótesis de parentesco son débiles. A esto se suma que el estudio a nivel genético aún es limitado.

No obstante estudiar estas ranas es una experiencia muy motivadora y una de las grandes satisfacciones es encontrarlas en esos ambientes que rara vez frecuentamos, sumado a que pasan desapercibidas incluso para los pobladores, ya que permanecen la mayor parte del tiempo abajo del agua.

Aquí reportamos y describimos dos nuevas poblaciones de ranas *Telmatobius* halladas en los valles de altura de la Cordillera Oriental en la provincia de Salta, más precisamente al norte del Valle Calchaquí y Tastil, una región que permanecía como un vacío de conocimiento sobre la presencia estas ranas (Figura 1a). Estos ambientes tienen características de valles intermontanos ubicados por encima de los 3000 m s.n.m., una zona de transición hacia lo que consideramos Puna (ver [Fabrezi et al. 2022. Temas BGNOA, vol. 12, n° 2](#)).

Las características morfológicas de estas ranas indican semejanzas con las ranas de la especie *Telmatobius pisanoi*, aunque existen sutiles diferencias que podrían ser enmarcadas como propias de la variación intraespecífica (Figura 1b). Aquí mencionamos las características que nos

permiten reconocer a sus renacuajos, juveniles y adultos, además de presentar sus diferencias con otras poblaciones más alejadas de la especie en la provincia de Tucumán. Analizamos aspectos relacionados con su desarrollo y biología, y proponemos un mapa de distribución geográfica basado en el paisaje geológico e hidrografía de la región, incorporando registros antiguos y datos aportados por habitantes del lugar.

Finalmente, compartimos con nuestros lectores algunas ideas que surgen a partir de la presencia de estas ranas en el norte del Valle Calchaquí. Abordamos algunos aspectos sobre su conservación en ambientes en los que la fragilidad de los humedales es siempre una amenaza para la biodiversidad. Al tratarse de poblaciones aisladas geográficamente son particularmente interesantes desde el punto de vista evolutivo, hecho que lleva a plantear la necesidad de estudios moleculares para dilucidar la relación entre poblaciones o incluso tratarse de otra especie.

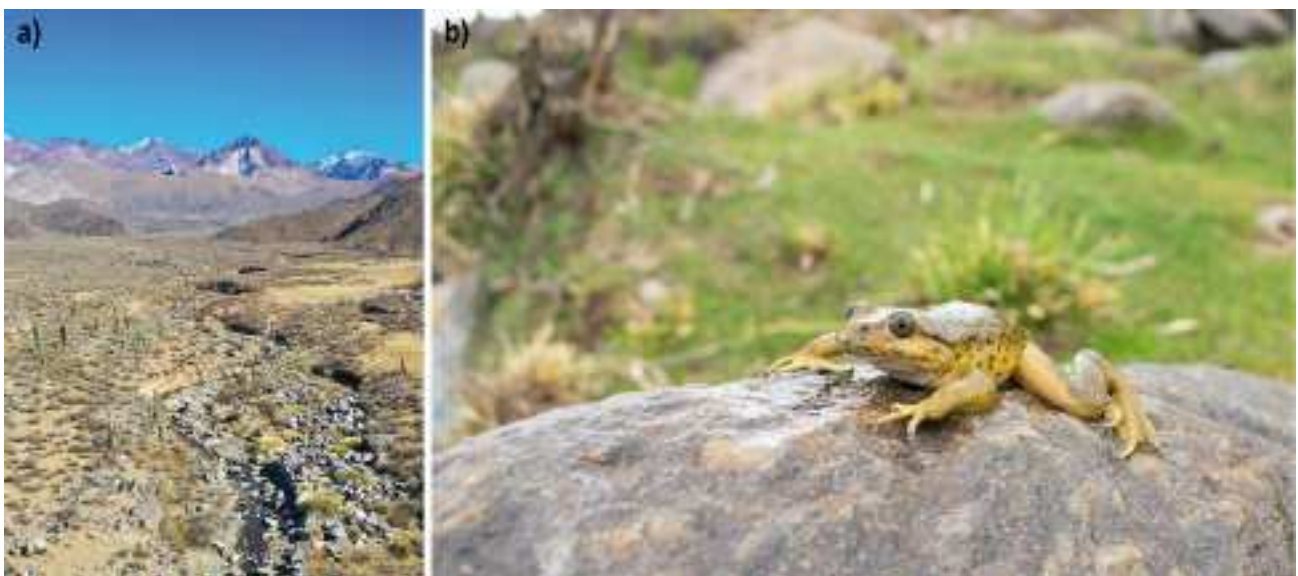


Figura 1: a) En los arroyos de aguas cristalinas que nacen en el Nevado de Cachi, más específicamente en la localidad de Las Pailas habita una de las poblaciones de *Telmatobius pisanoi*. b) Hembra adulta de *T. pisanoi*.

Características generales de *Telmatobius pisanoi*

Esta especie fue descrita inicialmente por Raymond Laurent en 1977, quien se basó en especímenes de la población que habita el sur del Valle Calchaquí en la provincia de Tucumán. El nombre es homenaje a Armando Pisanó, un embriólogo italiano que llegó a la Argentina en 1948 y desarrolló su trabajo en diferentes instituciones del país. Junto con otros colegas, fue pionero en el estudio de la Biología del Desarrollo, dejando como legado numerosas investigaciones y grupos de investigación que enriquecieron nuestro conocimiento de los ciclos de vida en anfibios.

Como la gran mayoría de los anuros, estas ranas presentan un ciclo de vida bifásico donde después de la eclosión de los huevos emerge una larva, también conocida como renacuajo, que pasa un determinado tiempo de su vida como tal para luego transformarse mediante un proceso de metamorfosis en un juvenil tetrápodo y sin cola (ver [Cruz 2018. Temas BGNOA, vol. 8, n° 1](#)).

La coloración de los renacuajos va entre marrón oscuro a oliva con manchas negras aleatorias en el cuerpo, y alcanzan un tamaño considerable antes de alcanzar la metamorfosis. Tienen un cuerpo alargado y algo aplanado, con aspecto hidrodinámico, y una cola con aletas dorsal y ventral apenas más altas que el cuerpo. A diferencia de otras especies, el origen de la aleta dorsal se presenta muy por detrás de la musculatura caudal y no sobre el tronco (Figura 2a). La boca del renacuajo se ubica ventralmente, y se trata de un disco amplio formado por pequeñas papilas rodeadas por hileras de dentículos que sirven para raspar el alimento.

Los adultos suelen pasar desapercibidos bajo el agua y se confunden con el sustrato. Tienen una coloración dorsal que va de marrón a verde oliva con manchas negras redondas o irregulares (Figura 2b). El dorso además presenta algunas granulaciones con espículas queratinizadas dispersas. Por el contrario, presentan un vientre vistoso, de color blanco opaco con toques de naranja brillante en la parte ventral de las patas (Figura 2c).



Figura 2: Especímenes en vida de *Telmatobius pisanoi*. a) El renacuajo presenta un dorso verde oliva con manchas negras evidentes y un origen muy posterior de la aleta dorsal sobre la musculatura de la cola (flecha). b) Vista dorsal de un macho adulto, se distingue la coloración verde oliva y sus manchas negras características, que ya estaban presentes en el renacuajo. Además, se alcanza a observar la almohadilla nupcial propia de los machos presente en el dedo pulgar (flecha). c) Vista ventral de un macho adulto con su llamativa coloración naranja en la región ventral de las extremidades.

Las características mencionadas son comunes en ambos sexos, sin embargo, hay algunas diferencias entre machos y hembras conocido como dimorfismo sexual. Por ejemplo, los machos tienen espículas en el pecho y una mayor concentración en forma de almohadilla en el dedo pulgar, caracteres ausentes en las hembras. Además, los machos adultos varían entre 5 y 6 cm de tamaño corporal, mientras que las hembras son considerablemente más grandes y pueden alcanzar los 8 cm.

Como otras características generales, estas ranas presentan una cabeza algo aguzada con ojos ubicados lateralmente y no tienen tímpano visible. Las patas delanteras y traseras son robustas; y estas últimas presentan membranas interdigitales, con rol importante en la natación. En cuanto al esqueleto, las estructuras óseas del cráneo y las extremidades muestran rasgos típicos del género *Telmatobius*.

Sobre el hábitat de *Telmatobius pisanoi*

Telmatobius pisanoi es una rana totalmente dependiente de los cuerpos de agua tanto para su reproducción como para su supervivencia en etapa adulta. La población original que le dio nombre a la especie se encuentra en el sector sur del Valle Calchaquí, por encima de los 2200 m s.n.m. Las nuevas poblaciones habitan pequeños arroyos y ríos de montaña de agua dulce en la provincia de Salta, y fueron encontradas por encima de los 3000 m s.n.m. Una de ellas se encuentra en la localidad de Las Pailas (Cachi), en la región norte del Valle Calchaquí, habitando una serie de arroyos permanentes y de caudal moderado que nacen en el Nevado de Cachi (Figura 3a). Estos arroyos discurren por la quebrada de Las Pailas y tributan al río Calchaquí. El ambiente se puede describir como una quebrada amplia con orientación Este-Oeste, con abundante luz diurna y una gran amplitud térmica entre el día y la noche. Presenta características de un valle intermontano, una zona de transición hacia la Puna, con abundante vegetación arbustiva, la presencia de cactus y cortaderas, además de algunas vegas laterales a los arroyos. Los ríos de esta zona presentan un caudal bajo durante la estación seca, con un aumento importante durante la temporada de lluvias. Los adultos y juveniles se observan en el cauce principal del río, mientras que los renacuajos permanecen generalmente en pozos laterales de aguas más tranquilas (Figura 3b).

Otra de las poblaciones se encuentra en Tastil, localidad ubicada en la Quebrada del Toro, habitando arroyos tributarios del denominado río Toro. En esta localidad, los arroyos son más pequeños y tienen la particularidad sufrir una considerable pérdida de caudal por filtración en época seca y por su uso intensivo en el riego de cultivos (Figura 3c). El resto de las características

ambientales son similares a las Pailas, incluyendo la vegetación de altura.

Compartiendo el cuerpo de agua, en todos estos arroyos se encontraron además renacuajos de *Boana riojana* y *Rhinella altiperuviana*, y peces del género *Trichomycterus*.

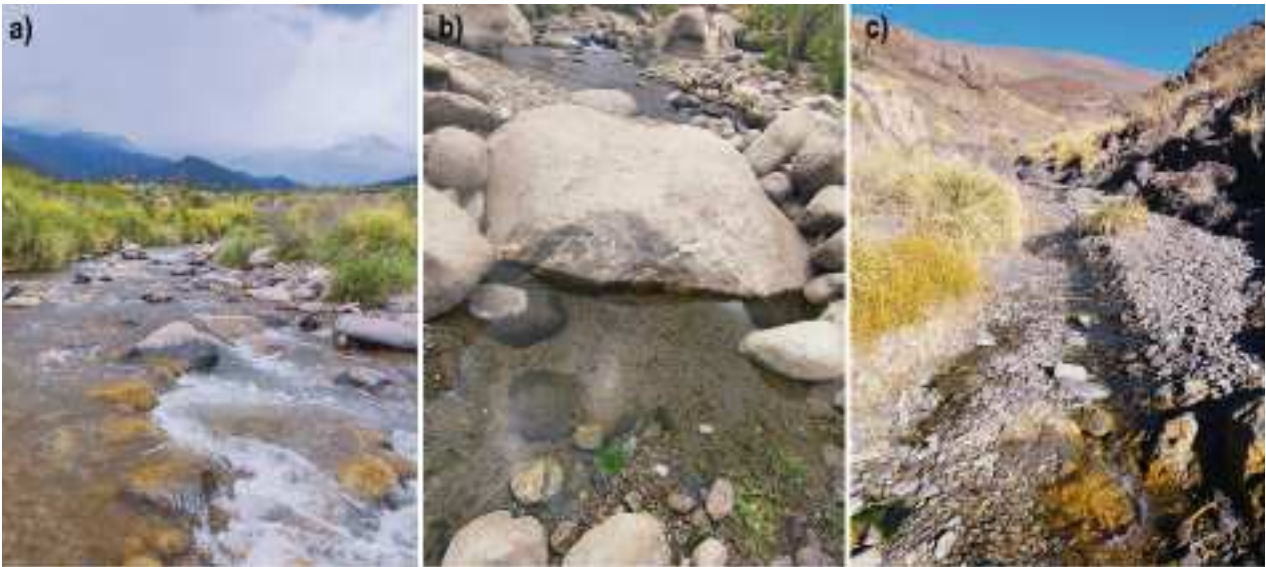


Figura 3: Diferentes tipos de arroyos donde habita *Telmatobius pisanoi*. a) Arroyo con abundante caudal de agua en la localidad de Las Pailas. b) En los arroyos de caudal abundante, los renacuajos permanecen y se desarrollan en los pozones laterales donde el agua fluye lentamente. c) Arroyo de bajo caudal agua y con una gran tasa de filtración en la localidad de Tastil.

Las nuevas poblaciones de Las Pailas y Tastil presentan algunas mínimas diferencias entre ellas, y con las ranas del sur del Valle Calchaquí. Los especímenes de Tastil son algo más pequeños que los de Las Pailas y presentan un color más oscuro y opaco. La cuestión del tamaño probablemente se deba a que habitan arroyos pequeños que traen aparejado una menor disponibilidad de alimento (algas y restos vegetales que consumen los renacuajos; e insectos, crustáceos y larvas que constituyen el alimento de los adultos). Por otra parte, el sustrato de los arroyos puede estar influenciando en la coloración dorsal, algo común en sapos y ranas. En la población de Tucumán se ha descrito la presencia de espículas tanto laterales como pectorales para especímenes de ambos sexos (Laurent, 1977), estas están ausente en los especímenes hembras del norte que muestran una piel en general más lisa, y sólo hay espículas en la zona pectoral de los machos. La coloración naranja brillante en la región ventral de las patas de los adultos es un patrón conservado en las poblaciones del norte del valle, pero algo más variable y amarillento fue descrito para las poblaciones del sur.

La información obtenida en relevamientos de campo y recopilada de testimonios aportados por observadores locales que avistaron estas ranas en parajes de difícil acceso permitió

elaborar un mapa de la distribución tentativa de *Telmatobius pisanoi* en la provincia de Salta (Figura 4). Aunque es necesario continuar los relevamientos en lugares aún no explorados.

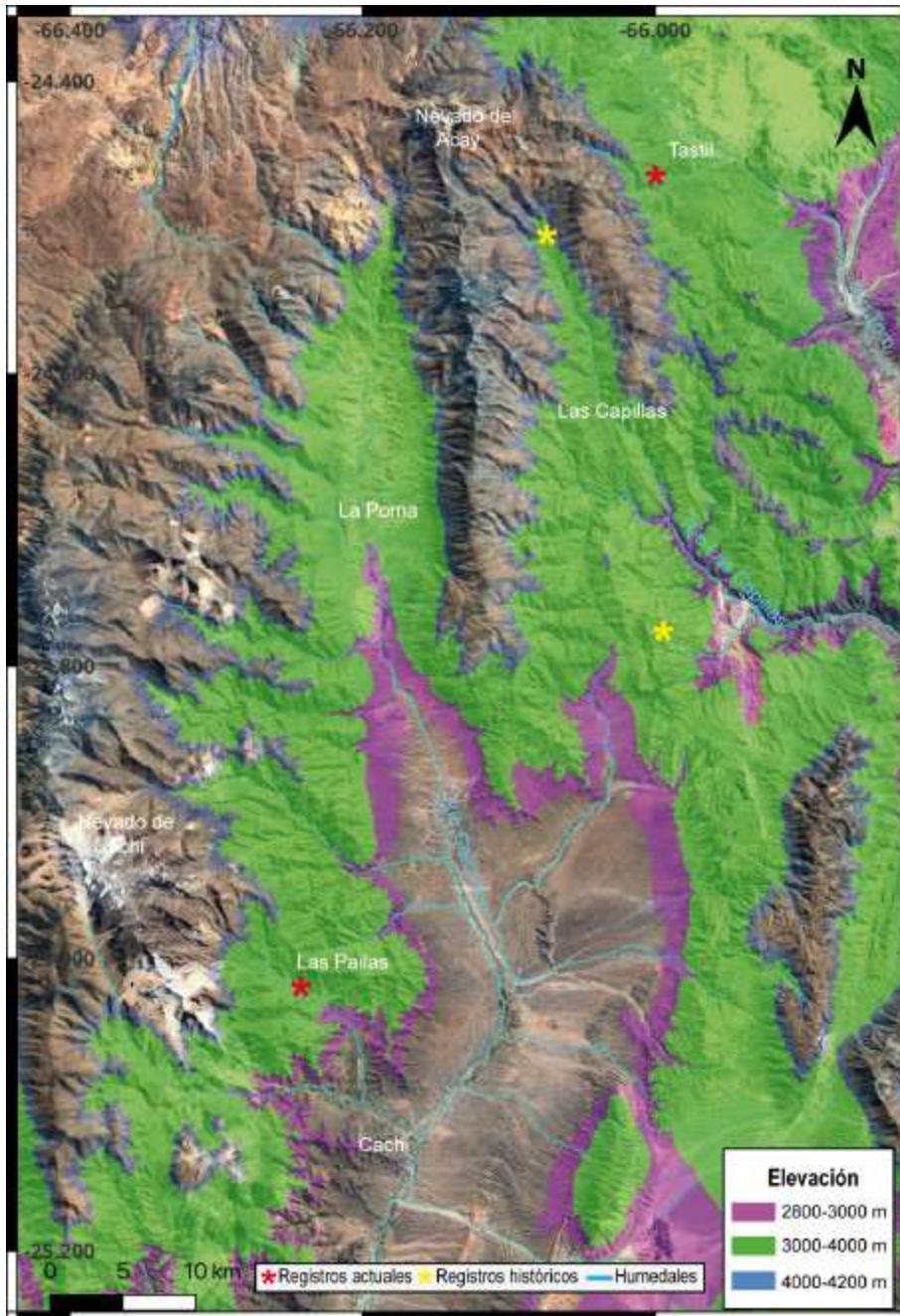


Figura 4: Mapa de la zona norte del Valle Calchaquí y alrededores, en la provincia de Salta. Se muestran los registros actuales de *Telmatobius pisanoi* (asterisco rojo) y los antiguos registros de los pobladores (asterisco amarillo). Todos los registros en este sector están entre los 3000 a 4000 m s.n.m. (franja verde). Los principales cauces de agua están delineados en celeste. En la actualidad el sector norte del río Calchaquí y el río Las Capillas presentan poblaciones de truchas naturalizadas, lo cual puede tener impacto directo sobre la presencia de estas ranas.

Aspectos sobre su historia natural y conservación

Las observaciones *in vivo* indican que *Telmatobius pisanoi* tiene un comportamiento semiacuático. Los adultos suelen permanecer por largo tiempo fuera del agua en un ambiente húmedo, incluso alimentándose de invertebrados terrestres, y emitiendo sonidos en superficie. Sin embargo,

permanecer fuera del agua a grandes altitudes donde la radiación solar es alta y la atmósfera baja en humedad es casi imposible, por lo que su dependencia del agua durante el día es obligada siendo bastantes más activos durante la noche.

Una de las principales amenazas para esta rana es la introducción de especies exóticas en los cuerpos de agua donde habita, como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) que fue introducida en la región a partir de 1950. Dada su dependencia del agua, estas ranas son vulnerables y pueden ser fácilmente depredadas por las truchas, tanto en su etapa larval como adulta. Esto restringe la distribución de las ranas a pequeñas vertientes o arroyos, y explicaría por qué en los cuerpos de agua donde se encontraron las nuevas poblaciones de *T. pisanoi* no se registró la presencia de estos peces. Un hecho a destacar es la intensa actividad humana (agricultura, ganadería, extracción de áridos) en el pueblo de Cachi y alrededores, sitio de unión de los arroyos tributarios donde habitan estas ranas al río Calchaquí. Esto genera una cierta fragmentación en la confluencia de estos ríos, lo cual estaría impidiendo la expansión de las poblaciones de trucha ya naturalizadas que habitan el sector norte del río Calchaquí a los arroyos tributarios. De todas maneras, para tener más certezas es necesario un relevamiento más exhaustivo de los cuerpos de agua donde hay presencia de truchas en la actualidad, como la zona del río Calchaquí norte y el río Las Capillas (ver mapa de la figura 4).

Otro de los factores que pueden estar influenciando la supervivencia de estas ranas son algunos aspectos del clima. Con menos lluvias, temperaturas más extremas y la poca duración de la nieve, las vertientes y en consecuencia los arroyos de montaña pueden verse afectados de forma considerable en su caudal. Cabe destacar que parte del conocimiento que tenemos hoy proviene de los pobladores que observaron la presencia de estas ranas hace más de 30 años, posterior a la introducción de truchas a partir del año 1950 en localidades relativamente cercanas a los sitios donde las ranas están hoy presentes.

Por lo mencionado, en la actualidad estas poblaciones de ranas *Telmatobius* pueden considerarse amenazadas. En principio, la población de Las Pailas parece tener un contexto más favorable, por la vigorosidad y extensión del ambiente donde habita, aunque sigue siendo frágil. Sin embargo, se necesitan más estudios para conocer mejor el ciclo de vida, el estado de salud y tamaño poblacional, y otros aspectos de su historia natural.

Relación con otras especies de *Telmatobius* cercanas

Las especies de *Telmatobius* son difíciles de diferenciar y aunque comparten rasgos similares, la combinación de varias características en lugar de una sola y el aislamiento geográfico fueron la base

de la diagnosis de cada especie. En *T. pisanoi*, las diferencias entre individuos adultos (variación intraespecífica) ocurren sobre todo en la coloración del dorso, la diferencia de tamaño entre machos y hembras, y la presencia de rasgo propios de los machos; mientras que la morfología larval es similar en todas las poblaciones.

En relación con otras especies del género más cercanas (variación interespecífica), *Telmatobius pisanoi* comparte el color naranja ventral en las patas con las especies de *T. platycephalus* y *T. hypselocephalus* (de la Puna de Jujuy), pero estas últimas sí tienen tímpano visible. Mientras que los especímenes de *T. atacamensis* (de la Puna de Salta) difieren de las poblaciones de *T. pisanoi* porque no tienen el color naranja ventral característico y tienen una piel más rugosa. Los renacuajos de *T. pisanoi* también difieren de los de *T. atacamensis* y *T. oxycephalus* (de las Yungas de Jujuy), en estas dos últimas especies el renacuajo tiene un cuerpo redondeado y globoso, con el origen de la aleta dorsal sobre en el tronco de la cola.

En ejemplares del norte del Valle Calchaquí observamos en el esqueleto rasgos que no han sido mencionados en otros estudios, pero interesantes: el “prepollex” tiene más segmentos que lo ilustrado en otras especies (incluida *T. pisanoi* de Tucumán); mientras que el “prehallux” también presenta una organización distintiva. Prepollex y prehallux son estructuras de manos y patas que podrían aportar información para identificar especies.

A pesar de similitudes y diferencias, no hay consenso entre los investigadores en el valor diagnóstico de algunas características aisladas o combinadas y por esta razón en varios casos no es posible distinguir especies de *Telmatobius* solo por los renacuajos, por la combinación de colores o una estructura esquelética. Para ello los datos moleculares podrían aportar otro tipo de información que ayudaría a tomar decisiones sobre los límites de una especie. Gladys Monasterio encontró los primeros especímenes de Las Pailas (1996), pasaron casi 30 años y recién hoy abrimos una ventana al estudio de estas enigmáticas ranas en la provincia.

Eventos históricos y distribución geográfica

En la historia evolutiva del género *Telmatobius*, el hallazgo de fósiles confirma su presencia desde hace más de 12 millones de años (Gómez et al., 2024). Otras investigaciones basadas en secuencias genéticas estiman que las especies actuales se diversificaron rápidamente en los últimos 5 millones de años, impulsadas por el levantamiento de los Andes. La historia geológica a partir del Mioceno en la Cordillera Oriental donde se ubican los Valles Calchaquíes y Tastil podría develar parte de las incógnitas que inquietan a los estudiosos de las ranas *Telmatobius*. En este sentido, las poblaciones

de *Telmatobius pisanoi* del Valle Calchaquí sur (Tucumán) presentan mayores diferencias morfológicas con las del Valle Calchaquí norte y Tastil, a pesar de que la separación geográfica entre estas dos últimas (cuencas diferentes y completamente separadas por cordones montañosos) es mayor. Así, integrar datos de la biodiversidad (morfolología, ecología, genética molecular) y la historia reciente del paisaje (neotectónica) es nuestro próximo objetivo en esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

La información presentada en este artículo ha sido posible gracias a las autorizaciones de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Salta, al trabajo de varios integrantes del IBIGEO que participaron en la exploración de campo (incluyendo a la Dra. Gladys Monasterio) y cartografía, y a la colaboración de miembros de las comunidades de Las Pailas y de Tastil que de una forma desinteresada nos aportaron datos valiosos y nos permitieron estudiar la presencia de estas ranas.

REFERENCIAS Y LITERATURA RECOMENDADA

CRUZ J. 2018. Metamorfosis: cambio de forma durante el desarrollo. [Temas de Biología y Geología del NOA, 8 \(1\): 13-17.](#)

FABREZI M, C CAMARDELLI, F HONGN, A ARAMAYO, JC CRUZ, C MONTERO LÓPEZ, G CÓRDOBA, A GUEVARA. 2022. Provincias geológicas, provincias fitogeográficas y ecorregiones del NOA. [Temas de Biología y Geología del NOA, 12 \(2\): 4-19.](#)

GÓMEZ RO, T VENTURA, GF TURAZZINI, L MARIVAUX, R FLORES, ... & PO ANTOINE. 2024. A new early water frog (*Telmatobius*) from the Miocene of the Bolivian Altiplano. *Papers in Palaeontology*, 10 (1), e1543.

LAURENT RF. 1977. Contribución al conocimiento del género *Telmatobius*. 4a nota. *Acta Zoologica Lilloana*, 32: 189-206.

Un “mapa químico” revela los viajes secretos de los peces del Bermejo

Felipe Alonso¹, Esteban Avigliano², Alejo Irigoyen³, Gastón Trobbiani³, Juan José Rosso⁴, Gastón Aguilera⁵, Guillermo Terán⁵, Ming-Tsung Chung⁶, Mathieu Leisen⁷, Camille Duquenoy⁷, Ai-Lin Chen⁸, Kuo-Fang Huang⁸, Baltazar Bugeau⁵

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa - CONICET), Salta, Argentina. e-mail: felipealonso@gmail.com

²Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA, UBA - CONICET), Buenos Aires, Argentina.

³Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR-CONICET), Puerto Madryn, Argentina.

⁴Grupo de Biotaxonomía Morfológica y Molecular de Peces, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC, UNMDP - CONICET), Buenos Aires, Argentina.

⁵Unidad Ejecutora Lillo (CONICET)-Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.

⁶National Taiwan University, Taipei, Taiwán.

⁷Géosciences Environnement Toulouse, CNRS-IRD-Université de Toulouse, Francia.

⁸Academia Sinica, Taipei, Taiwán.

La conservación y el manejo sostenible de los recursos pesqueros dependen de conocer con precisión cómo viven las especies en sus ambientes naturales (Figura 1). Cada especie de pez posee un ciclo vital complejo, con fases diferenciadas de alimentación, crecimiento y reproducción que muchas veces ocurren en ambientes distintos, a veces separados por cientos de kilómetros. Entender dónde se desarrollan esas etapas, cómo se conectan los hábitats y qué factores alteran esas conexiones es esencial para proteger las poblaciones y asegurar la sustentabilidad de las pesquerías.

Los peces migratorios añaden una dificultad particular: se desplazan entre regiones y países, cruzando límites políticos y ecológicos. En el sistema fluvial del Plata, estos movimientos sostienen tanto la biodiversidad como las economías regionales. Sin embargo, la expansión agrícola, la fragmentación por represas, el dragado de cauces, la contaminación y el cambio climático están modificando los flujos hídricos, el régimen térmico y las rutas de dispersión natural. La pérdida de conectividad entre montañas, llanuras y humedales representa hoy una de las mayores amenazas para los grandes peces migratorios sudamericanos.

Entre los protagonistas de estas migraciones se destacan el dorado (*Salminus brasiliensis*), predador tope carismático y símbolo de los ríos del Plata, y el sábalo (*Prochilodus lineatus*), detritívoro, es decir, que se alimenta de los restos orgánicos depositados en el fondo del río —como fragmentos de plantas, algas y materia en descomposición— clave en la cadena trófica y base económica de múltiples pesquerías. Ambas especies realizan desplazamientos que pueden superar los 1.000 km, sincronizados con los pulsos de crecida e inundación. En esos viajes, cada tramo del río cumple una función ecológica específica: las cabeceras y afluentes son sitios de refugio y reproducción, las

llanuras aluviales y bañados funcionan como guarderías naturales, y los grandes ríos principales son corredores donde los adultos se alimentan y dispersan.



Figura 1: El río Popayán serpentea en el bosque chaqueño de las sierras subandinas dentro del Parque Nacional El Rey, en la provincia de Salta. Sus aguas transparentes y frías descienden entre piedras y raíces, un refugio vital para los peces migratorios que remontan los ríos del noroeste argentino.

La cuenca del Plata: un sistema interconectado

La cuenca del Plata abarca más de tres millones de km² y atraviesa cinco países: Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay. Nace en las montañas andinas y en el Planalto brasileño, fluye a través de extensas planicies y desemboca en el Río de la Plata, un estuario de mezcla fluvial y marina. Su heterogeneidad geológica y climática genera una enorme diversidad de ambientes: torrentes serranos, ríos meandriformes, esteros, lagunas, pantanos, y humedales temporarios que funcionan como reservorios de biodiversidad y reguladores del ciclo hidrológico.

El dorado y el sábalo están distribuidos en casi toda la red hidrográfica de la cuenca del Plata, pero su biología migratoria se conoce principalmente a partir de estudios realizados en los grandes ríos Paraná y Paraguay. Hasta hace poco, se sabía muy poco sobre sus movimientos en los ríos del noroeste, donde las cabeceras nacen en los Andes y descienden atravesando las selvas de Yungas hasta alcanzar las planicies chaqueñas. En ese recorrido, los ríos atraviesan ambientes muy

contrastantes: desde cursos de montaña, con fondos rocosos, aguas claras, frías y bien oxigenadas, hasta llanuras de aguas turbias y fondos de sedimentos finos. En esta región, la marcada variación estacional del caudal genera pulsos de conectividad entre los ambientes de cabecera y los de llanura, a través de una red de ríos intermitentes.

El río Bermejo y sus afluentes

El río Bermejo, uno de los grandes tributarios del río Paraguay, nace en la vertiente oriental de los Andes y fluye hacia el este atravesando las provincias de Jujuy, Salta, Formosa y Chaco. Su régimen es marcadamente estacional: las lluvias veraniegas aumentan el caudal y generan extensas inundaciones; durante la estación seca, entre el otoño y la primavera, los caudales bajan drásticamente y numerosos brazos quedan aislados. Este pulso natural crea un mosaico de ambientes acuáticos temporales —lagunas, esteros y bañados— de enorme productividad biológica.

En el sector medio y bajo del Bermejo, el sistema **Río del Valle-Bermejito** (Figura 2) es un ejemplo de esa dinámica. Allí, el **Bañado del Quirquincho**, un humedal que puede alcanzar medio millón de hectáreas en años húmedos, actúa como sitio de desove y desarrollo larval de sábalos y otras especies migratorias. Durante las crecidas, las aguas del Bermejo y del Bermejito se conectan, permitiendo el ingreso y salida de peces. En la estación seca, el bañado se aísla y muchos individuos quedan atrapados, generando un ciclo natural de renovación y mortalidad.



Figura 2: Vista del río Dorado (afluyente del río Bermejito) bajo el puente de la Ruta Nacional 34, que atraviesa la planicie del Chaco semiárido donde sus aguas se tornan turbias.

Conectividad ecológica y amenazas

La conectividad entre estos ambientes —cabeceras, tramos medios y llanuras— sostiene el ciclo de vida de los peces. Pero esta conectividad se encuentra en riesgo. La deforestación y el cambio en el uso del suelo, la construcción de canales de drenaje, el represamiento de afluentes y la extracción intensiva de agua alteran la dinámica natural de las crecidas. A ello se suma la aridificación progresiva registrada en las últimas décadas: la precipitación anual promedio en esta zona se redujo de picos de más de 1.400 mm hace 30 años a menos de 700 mm en los últimos años. Este descenso limita la frecuencia y duración de las conexiones hídricas y, por ende, las oportunidades reproductivas de los migradores.

El presente estudio surge ante la necesidad de entender si los grandes peces del Bermejo siguen utilizando estos corredores altitudinales y qué papel juegan las áreas protegidas —como el **Parque Nacional El Rey**— en su conservación (Figura 3). Para ello se integraron herramientas de ecología, geología y química ambiental con el fin de reconstruir las rutas migratorias de dorados y sábalos y determinar el origen de los individuos capturados en distintos sectores del sistema fluvial.



Figura 3. Vista de un camino interno del Parque Nacional El Rey que se abre paso entre la espesura del monte de Chaco serrano.

Marco conceptual: los otolitos como archivos biogeoquímicos

Los otolitos —estructuras calcáreas situadas en el oído interno de los peces— crecen anualmente acumulando capas de carbonato de calcio y elementos del ambiente. A diferencia de otras estructuras corporales, no se remodelan, por lo que cada capa conserva información química del agua donde vivió el pez. La relación entre diferentes isótopos de estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) del agua está determinada por la geología local y difiere entre diferentes cuencas, incorporándose directamente en los otolitos a medida que estos crecen a lo largo de la vida, convirtiéndolos en auténticos “archivos geoquímicos”, como cajas negras que nos permiten reconstruir dónde estuvieron los peces en diferentes etapas de su vida.

Las variaciones espaciales del $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a lo largo de una cuenca reflejan la mezcla de aportes de rocas antiguas (con altos valores de ^{87}Sr) y jóvenes (con bajos valores). Cada tramo del río presenta, por tanto, una proporción isotópica única (“firma isotópica”). Si esa firma se conserva en el núcleo de un otolito, puede identificarse el lugar donde nació el individuo.

El uso de esta técnica —denominada microquímica de otolitos— ha revolucionado la comprensión de las migraciones en peces continentales y marinos. En la cuenca del Plata permitió demostrar desplazamientos superiores a 1.000 km en dorados y sábalos entre los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay. Sin embargo, nunca se había aplicado en el noroeste argentino, donde la heterogeneidad geológica y los gradientes altitudinales ofrecen una oportunidad excepcional para analizar conectividades entre montañas y llanuras.

Zona de estudio

El sistema Río del Valle–Bermejito se extiende entre las provincias de Salta y Chaco (Figura 4), atravesando una gradiente altitudinal de más de 1.500 metros. Las cabeceras nacen en las Yungas, sobre formaciones del Cretácico–Paleógeno (tiempo de la escala geológica que abarca entre 145 y 23 millones de años) compuestas por areniscas, limolitas, tobas y calizas. Al descender, el río atraviesa depósitos aluviales del Neógeno (entre 23 y 2,5 millones de años) y finalmente penetra en la llanura chaqueña, caracterizada por sedimentos arcillosos y suelos con elevada salinidad. Esta transición geológica genera contrastes marcados en la composición iónica del agua y, por ende, en la proporción de isótopos de estroncio.

Durante las campañas de campo se muestrearon ocho sitios representativos: Popayán, Morenillo, Dorado, Tortugas, Río del Valle medio y bajo, y Bermejito (Figura 4). Los puntos fueron seleccionados

de acuerdo con accesibilidad, representatividad geológica y presencia de peces migratorios.

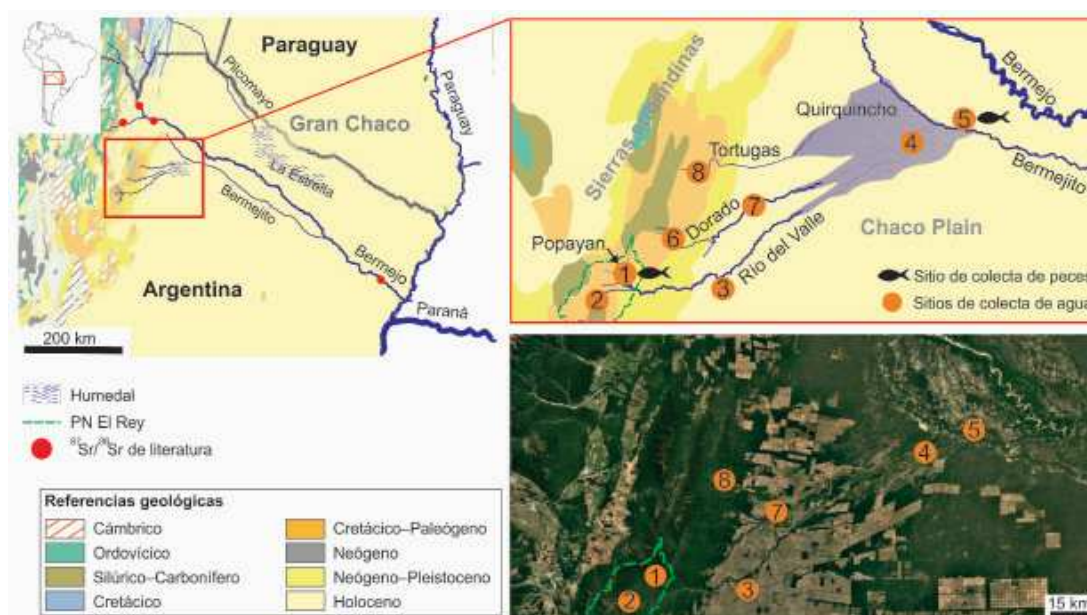


Figura 4. Mapa de la cuenca del río Bermejo. Se observan las formaciones geológicas que atraviesa desde las montañas hasta el llano y los sitios de muestreo señalados con números. Cada punto representa una historia de agua, roca y vida entrelazadas.

Entre octubre de 2022 y octubre de 2023 se realizaron capturas en distintos puntos de la cuenca, abarcando tanto la estación seca como la húmeda. Se obtuvieron 20 sábalos y 18 dorados en ríos de montaña, y 14 sábalos adicionales en el Bermejito. Las técnicas empleadas incluyeron pesca con

mosca, señuelos y redes de arrastre (Figura 5), bajo permisos de la Administración de Parques Nacionales y la Secretaría de Ambiente de Salta. Por normativa, solo se permitió el sacrificio de hasta 15 ejemplares por especie y campaña. En el campo se extrajeron los otolitos, se limpiaron con agua destilada y se guardaron en tubos rotulados para su análisis posterior.

Figura 5: Jornada de colecta en el río Dorado. Los investigadores avanzan entre aguas marrones y corrientes fuertes, midiendo la química del río y obteniendo muestras que revelarán los secretos migratorios de dorados y sábalos.



Los registros del Sistema Nacional de Información Hídrica evidenciaron una fuerte estacionalidad: las lluvias superan los 200 mm mensuales en enero y febrero, y caen a menos de 5 mm en invierno. Por ejemplo, el nivel medio del río San Francisco, uno de los principales afluentes del río Bermejo en esta zona, varía entre 4 m en la época húmeda en verano y 1,7 m en la seca en invierno. En los últimos treinta años la precipitación anual se redujo de unos 1430 a menos de 700 mm, un claro signo de aridificación que altera las inundaciones naturales y la conectividad de los ambientes acuáticos.

La conductividad eléctrica del agua, que indica su capacidad para conducir corriente eléctrica, depende de la cantidad de sales disueltas, como cloruros, sulfatos y carbonatos. Cuanto mayor es la concentración de estos iones, mayor es la conductividad. En los ríos estudiados, este valor aumentó progresivamente desde las montañas hacia el llano, reflejando el enriquecimiento natural en sales típico del clima semiárido y los efectos de la evaporación estacional. En paralelo, los análisis isotópicos de estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) mostraron valores más altos en las cabeceras —como en los ríos Popayán y Morenillo— y menores hacia el Bermejito, donde las lluvias abundantes tienden a homogeneizar la señal química del agua. Estas variaciones, aunque sutiles, son suficientes para diferenciar regiones y rastrear los desplazamientos de los peces a lo largo de su recorrido entre la montaña y la llanura.

Los otolitos como relojes del tiempo

Además de revelar las rutas migratorias, los otolitos también permiten conocer la edad de los peces. Estos pequeños cristales de carbonato de calcio, ubicados en el oído interno, crecen de manera continua a lo largo de la vida del animal y van depositando capas sucesivas, como los anillos de un árbol. En regiones como el norte argentino, las variaciones estacionales de temperatura y alimentación generan períodos de crecimiento rápido y lento. Durante el verano, las aguas cálidas y la mayor disponibilidad de alimento favorecen el crecimiento del pez, lo que produce una banda clara y ancha en el otolito. En cambio, durante el invierno, el descenso de la temperatura reduce el metabolismo y la actividad alimentaria, haciendo que el crecimiento disminuya y se forme una banda más densa y fina. La alternancia entre estas bandas a lo largo del tiempo permite estimar la edad del individuo en años, ya que cada par de bandas corresponde a un ciclo anual.

Resultados

Los sábalos del Popayán mostraron once clases de edad, entre 1990 y 2019, con mayor frecuencia en 2005 y 2016. En el Bermejito se reconocieron tres cohortes principales (2013, 2014 y 2017). Los dorados presentaron edades entre 2 y 12 años, con un máximo en 2014 (Figura 6). El hallazgo más notable fue un sábalo de 33 años, mucho más longevo que el máximo registrado para la especie en

el Paraná (25 años), lo que sugiere baja mortalidad y la existencia de refugios donde los ejemplares mayores persisten durante décadas.

Los resultados isotópicos definieron tres grupos según el origen natal reflejado en los otolitos. Los sábalos del Bermejito mostraron señales locales; dorados y sábalos del Popayán, valores compatibles con sectores bajos del río del Valle, lo que indica migraciones río arriba; y un tercer grupo, con señales intermedias, provenía de zonas de transición. Algunos peces mostraron perfiles estables, propios de residentes, mientras que otros presentaron cambios bruscos, señal de migraciones altitudinales o laterales. Un caso excepcional fue el de un sábalo cuyo perfil coincidía con aguas del Bermejo principal, a más de 300 kilómetros del sitio de captura, evidencia de conexiones hidrológicas intermitentes que permiten desplazamientos a gran escala.



Figura 6: Izquierda: Sábalos y dorados nadan en las aguas transparentes del río Popayán, dentro del Parque Nacional El Rey. Derecha: Un sábalo en primer plano domina la escena, mientras al fondo, a la derecha, un dorado se aproxima con sigilo. La imagen resume un instante de tensión y equilibrio entre presa y depredador en las aguas de montaña.

En los dorados (Figura 7) se observaron patrones mixtos: algunos permanecieron en las cabeceras y otros alternaron entre tramos altos y medios. En varios casos, sus movimientos coincidieron con los pulsos de lluvia y el aumento del caudal, lo que sugiere un control estacional del comportamiento.



Figura 7: El investigador Alejo Irigoyen sostiene un dorado recién capturado en el río Popayán. Cada ejemplar será medido, sexado y se colectarán muestras de otolitos y tejidos.

En conjunto, los datos de conductividad, isótopos y edad (Figura 8) muestran que el sistema Río del Valle–Bermejito funciona como un corredor ecológico activo. Durante la estación húmeda los peces migran río arriba para reproducirse y dispersarse, mientras que en la seca se refugian en pozones y lagunas remanentes. Las áreas protegidas de montaña, como el Parque Nacional El Rey, permiten la supervivencia de las clases adultas y longevas, y los humedales del Chaco actúan como zonas de cría y alimentación juvenil, completando un ciclo que enlaza las montañas con las llanuras del norte argentino.



Figura 8. Toma de muestras y análisis de los ejemplares obtenidos. Los otolitos —pequeñas estructuras del oído interno— son extraídos cuidadosamente: en ellos quedará grabada la historia química de cada pez.

Conectividad ecológica a escala de paisaje

Los resultados (Figura 9) muestran que el sistema Yungas–Chaco, lejos de ser un mosaico de ambientes aislados, constituye un continuo ecológico donde las fluctuaciones hidrológicas determinan los patrones de conectividad. El gradiente isotópico del estroncio revela que tanto el dorado como el sábalo se desplazan a lo largo de ese continuo, aprovechando los pulsos de crecida para colonizar nuevas áreas y mantener el flujo genético entre poblaciones. Estos movimientos altitudinales —inusuales en peces fluviales sudamericanos— amplían el concepto de migración en la cuenca del Plata, tradicionalmente centrado en desplazamientos longitudinales (aguas arriba–aguas abajo).

En ambientes tan dinámicos, la conectividad no es constante: se activa y desactiva de manera pulsátil. Durante los años lluviosos, los ríos de montaña se enlazan con los humedales chaqueños, generando corredores temporales que los peces explotan para reproducirse. En años secos, esos corredores se interrumpen, forzando a las poblaciones a adoptar estrategias alternativas, como la

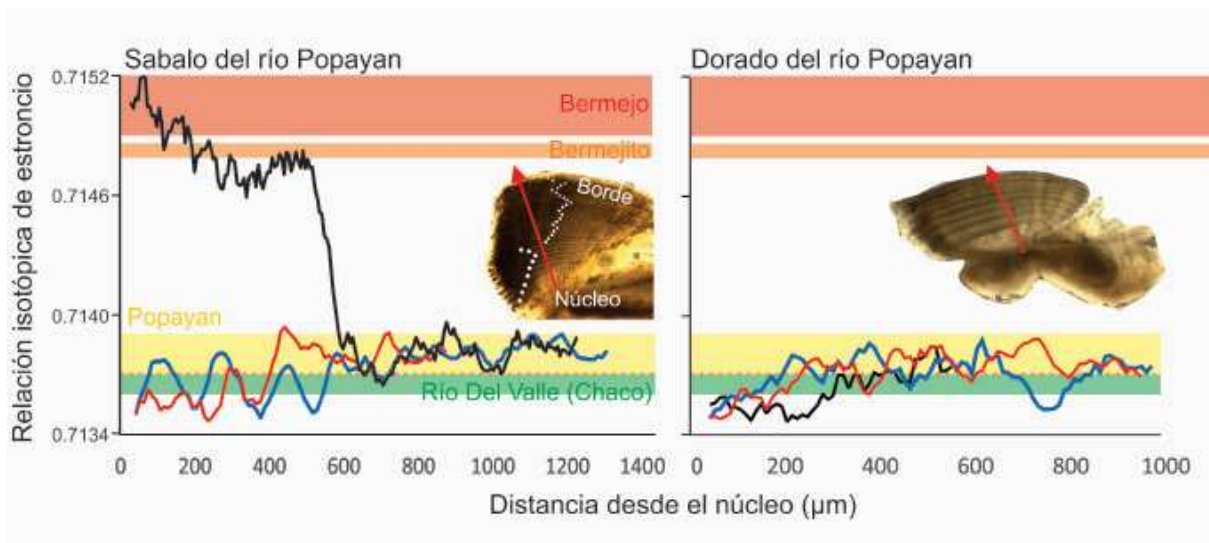


Figura 9: Gráfico que muestra la relación isotópica del estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) obtenida de distintos otolitos. Cada línea representa una ruta migratoria de un individuo diferente, un mapa invisible trazado por los propios peces a lo largo de su vida

residencia o el uso de refugios permanentes en pozas profundas. Esta plasticidad ecológica es una forma de resiliencia biológica frente a la variabilidad climática, pero tiene un límite: si la frecuencia de conexiones se reduce por causas antrópicas, la estructura metapoblacional puede colapsar.

El rol de los refugios de montaña

El hallazgo de individuos longevos en el Parque Nacional El Rey indica que las áreas protegidas de montaña actúan como verdaderos refugios poblacionales. En estos ambientes la pesca está prohibida, la calidad del agua se mantiene alta y la vegetación ribereña ayuda a regular la temperatura y el aporte de nutrientes. En un estudio previo (Irigoyen et al., 2023) se observó que dentro del parque las poblaciones de sábalos y dorados son más abundantes y los ejemplares alcanzan mayores tamaños. Los otolitos de estos peces muestran una señal isotópica estable durante varios años, coherente con una permanencia prolongada en el mismo ambiente. Es probable que estos adultos reproductores contribuyan periódicamente con nuevos individuos a las poblaciones del llano, cuando las lluvias intensas arrastran sus larvas y juveniles río abajo.

La presencia de sábalos de más de tres décadas obliga a reconsiderar los modelos de dinámica poblacional de la especie. Las tasas de mortalidad natural empleadas en las evaluaciones pesqueras del Paraná podrían estar subestimadas para las poblaciones de montaña. Esto tiene implicancias directas sobre la estimación del rendimiento máximo sostenible: si los individuos viven más tiempo y alcanzan la madurez sexual más tarde, las estrategias de manejo deben ajustarse para evitar la sobrepesca.

Diversidad de estrategias de vida

El análisis combinado de edades e isótopos mostró que, dentro de una misma especie, los peces presentan distintas estrategias de vida. Algunos son migradores unidireccionales, que se desplazan hacia las zonas altas del río durante el período reproductivo y mueren tras el desove. Otros son migradores bidireccionales, alternando entre montaña y llano en distintos momentos del año. También hay individuos residentes, que permanecen todo su ciclo vital en un mismo tramo del río, y otros que realizan desplazamientos ocasionales más allá del rango habitual de la especie.

Esta diversidad de comportamientos migratorios contribuye a la estabilidad de las poblaciones, ya que distintas formas de uso del ambiente responden de manera diferente a las fluctuaciones del caudal, la temperatura o la disponibilidad de hábitats. Cuando las condiciones modifican o restringen una de las estrategias, otras pueden seguir operando, manteniendo la continuidad demográfica.

Este patrón se vincula con el concepto ecológico de bet-hedging, o “apuesta diversificada”, que describe cómo la variación individual dentro de una población reduce el riesgo ante ambientes impredecibles. En este caso, la coexistencia de migradores, residentes y móviles de corto alcance distribuye la exposición a perturbaciones ambientales —como sequías o crecidas intensas—, favoreciendo la persistencia del conjunto poblacional.

Geoquímica y biología evolutiva

El gradiente isotópico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, al reflejar la geología del territorio, se convierte también en una herramienta para comprender los procesos evolutivos y adaptativos de estas especies. Los dorados que habitan ríos con aguas más mineralizadas presentan otolitos de mayor densidad y anillos de crecimiento más espaciados, posiblemente como respuesta fisiológica a ambientes más duros. En cambio, los sábalos de montaña muestran otolitos menos densos, coherentes con aguas más frías y tasas metabólicas reducidas. Estas diferencias, aunque sutiles, ilustran cómo geología, fisiología y ecología interactúan en la configuración evolutiva de las poblaciones.

Interacciones entre peces y paisaje

En la cuenca alta del Bermejo se observa una estrecha relación entre los procesos físicos del paisaje y la ecología de los peces que la habitan. Los aportes de sedimentos provenientes de las Yungas determinan la turbidez del agua y, con ella, la eficiencia visual de los predadores como el dorado (*Salminus brasiliensis*). En condiciones de aguas claras pueden detectar a sus presas a distancia, y las mismas también pueden detectarlos de lejos, lo que podría favorecer diferentes estrategias de

depredación en diferentes contextos de turbidez, como cazar en grupos y acorrallar a las presas en aguas claras mientras que, en ambientes turbios, pueden priorizar estrategias de caza por emboscada a menor distancia. El sábalo (*Prochilodus lineatus*), en cambio, basa principalmente su dieta en detritos —restos de materia vegetal y animal en descomposición— y en biofilm, una capa delgada formada por algas, bacterias y microinvertebrados que se adhieren a los fondos y piedras sumergidas. Este material constituye una importante fuente de energía en los ecosistemas fluviales.

De esta manera, los pulsos naturales de erosión, transporte y sedimentación no solo modifican el paisaje, sino que también influyen en la estructura y composición de las comunidades de peces, integrando procesos geológicos e hidrológicos con la dinámica ecológica del sistema.

Implicancias ecológicas y de conservación

Los resultados muestran que las fronteras administrativas carecen de significado para los peces: sus rutas migratorias cruzan provincias e incluso países. La conservación del dorado (*Salminus brasiliensis*) y del sábalo (*Prochilodus lineatus*) requiere, por lo tanto, políticas de manejo a escala de cuenca y no basadas en jurisdicciones aisladas. La coordinación binacional entre Argentina y Bolivia, e interprovincial dentro del país, es esencial. Iniciativas como el Programa Bermejo-Chaco podrían incorporar estos resultados para diseñar corredores biológicos acuáticos que integren conocimiento científico y gestión ambiental.

Los humedales temporarios del Chaco, como el Bañado del Quirquincho, cumplen un papel fundamental como zonas de cría y alimentación juvenil. Su degradación por drenaje agrícola o ganadero interrumpe el ciclo vital de los peces migradores. Restaurar la conectividad entre cauces y bañados mediante la protección de corredores hídricos y la regulación de pequeñas represas podría mejorar significativamente el éxito reproductivo anual. En este contexto, los mosaicos de conservación —que combinan áreas protegidas públicas y privadas— representan una estrategia viable y eficaz.

La disminución de las lluvias y el aumento de la temperatura reducen los flujos hídricos y la frecuencia de los pulsos de inundación, afectando la conexión entre la montaña y la llanura. Los resultados isotópicos sugieren que, bajo escenarios más secos, los individuos residentes en las cabeceras podrían volverse más comunes, aumentando el riesgo de aislamiento genético. Para mitigar este efecto, se recomienda conservar los tramos medios del río como zonas de amortiguamiento que mantengan la conectividad incluso en años de sequía.

El reconocimiento de longevidades extremas y migraciones altitudinales tiene implicancias directas en la gestión pesquera. Las vedas deberían ajustarse a los pulsos hidrológicos locales, ya que la captura de grandes reproductores longevos puede afectar desproporcionadamente la población. Incorporar la información isotópica en la trazabilidad de los productos pesqueros permitiría verificar el origen de las capturas y asegurar que provengan de sectores no reproductivos, favoreciendo la sostenibilidad del recurso.

La creación de un programa de monitoreo permanente, que combine muestreos de agua, análisis isotópicos y registros de captura, permitiría seguir los cambios en las rutas migratorias a lo largo del tiempo. Las comunidades locales, pescadores y guardaparques podrían participar recolectando otolitos o muestras de agua bajo protocolos estandarizados. Este enfoque de ciencia ciudadana fortalecería el vínculo entre conocimiento científico y manejo ambiental, aportando datos valiosos y fomentando la conciencia sobre la conservación de los ecosistemas fluviales.

La tendencia hacia una menor precipitación y una mayor aridez podría fragmentar los corredores migratorios y aislar las poblaciones. En ese escenario, las estrategias residentes, limitadas a los tramos de montaña, podrían predominar a costa de la pérdida de flujo genético y diversidad funcional. Los registros isotópicos actuales, que reflejan una conectividad todavía activa, evidencian un sistema ecológico en equilibrio frágil. Conservarlo implica proteger tanto las cabeceras como los valles y humedales donde las aguas de montaña alcanzan el llano.

Aunque el estudio se centra en el sistema Río del Valle–Bermejito, sus implicancias se extienden a toda la cuenca del Plata. Las metodologías empleadas —microquímica de otolitos y mapeo isotópico del agua— pueden aplicarse en otros tributarios como los ríos Pilcomayo, Juramento o Salí–Dulce, donde aún se desconoce la estructura migratoria de las poblaciones. Cada nuevo mapa isotópico permitirá avanzar hacia una cartografía biogeoquímica del sistema del Plata, reconstruyendo las rutas de los peces a través del paisaje.

Este trabajo integra geoquímica, biología y conservación, y muestra el valor del enfoque interdisciplinario para comprender los sistemas fluviales. Los análisis isotópicos, una herramienta derivada de la geología, se aplican aquí al estudio de la vida, uniendo las ciencias físicas y biológicas. La colaboración entre instituciones argentinas, francesas y taiwanesas resalta la dimensión global de los procesos locales y su relevancia frente al cambio ambiental.

Los otolitos del sábalo y del dorado son, en definitiva, pequeñas “piedras” que guardan la memoria del río. Cada capa acumulada cuenta una historia de desplazamientos, sequías, inundaciones y supervivencia. En ellas se leen las huellas del tiempo, la geología y la vida entrelazadas.

El estudio del sistema Bermejo demuestra que la ciencia puede hacer visible lo invisible: los viajes silenciosos bajo el agua, las conexiones que sostienen ecosistemas enteros y los vínculos ocultos entre las montañas y el mar.

Proteger esos ríos no es solo una tarea de biólogos o conservacionistas: es una responsabilidad compartida, porque en sus aguas viajan también las historias y los futuros posibles de las comunidades humanas que dependen de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Fundación Williams y CONICET. Agradecemos especialmente a Pachamama Fly Fishing Lodge (Barazzuol Fascio), Méndez-López, Cortés Hernández, Elías, Mateo y Farías por su apoyo durante el trabajo de campo. A la Administración de Parques Nacionales, y a los guardaparques del Parque Nacional El Rey por su invaluable colaboración durante las campañas. A la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Salta, particularmente a Bonduri y Musalem, y al guardaparque Luna del Parque Provincial Los Palmares. Al IBIGEO, INPA-CONICET-UBA y a la Fundación Miguel Lillo por su constante apoyo y a todos los miembros de la Killifish Foundation.

CITA DEL ARTÍCULO ORIGINAL

AVIGLIANO E, M-T CHUNG, M LEISEN, G AGUILERA, A IRIGOYEN, G TROBBIANI, G TERÁN, B BUGEAU, JJ ROSSO, C DUQUENOY, A-L CHEN, K-F HUANG, F ALONSO. 2025. Fish migration patterns in semi-isolated and seasonally variable freshwater systems from the Yungas Forest to the Chaco Plain (South America). River Research and Applications. <https://doi.org/10.1002/rra.70067>

LITERATURA RECOMENDADA

IRIGOYEN AJ, G TROBBIANI, AM DE WYSIECKI, G AGUILERA, G TERÁN, BH BUGEAU, ... F ALONSO. 2023. Efecto del Parque Nacional El Rey y de una crecida sobre peces de interés pesquero en un río subandino del noroeste de la Argentina. *Ecología Austral*, 33(3): 909-922. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.3.0.2168>

Diversidad en los ciclos de vida de las ranas del NOA: Cómo el ambiente y las hormonas modelan el desarrollo larval

Marissa Fabrezi^{1*}, Julio César Cruz¹, Silvia Quinzio², Javier Goldberg², Leandro Raúl Antoniazzi¹

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa - CONICET), Argentina. *e-mail: mfabrezi@gmail.com

²Instituto de Diversidad y Ecología Animal (IDEA, UNC - CONICET), Argentina.

La diversidad de paisajes del Noroeste Argentino (NOA) es el resultado de los procesos geológicos y climáticos que durante el Cenozoico involucraron el levantamiento de los Andes (Hoorn et al. 2010). Durante esta era, entre los 66 y 30 millones de años, ocurrió también la gran diversificación de los anuros con varios linajes que se expandieron en nuevos y variados hábitats (Portik et al. 2023).

En el NOA, el número de especies de anuros, reunidas en las Familias Bufonidae, Ceratophryidae, Hemiphractidae, Hylidae, Leptodactylidae, Microhylidae, Odontophrynidae, Pristimantidae y Telmatobiidae, aumenta desde los Andes-Puna hacia la llanura chaqueña, con especies con amplia distribución y otras que están limitadas a ambientes muy particulares (Figura 1).

Diversidad de especies y de los ciclos de vida

La variación altitudinal en el NOA y su correspondencia climática, definen ecorregiones (ver [Fabrezi et al. 2022. Temas BGNOA, vol. 12, n° 2](#)) que tienen consecuencias en la diversidad específica, la cual incluye diferentes modos de reproducción y desarrollo. Con excepción de los géneros *Gastrotheca* (Hemiphractidae) y *Oreobates* (Pristimantidae) en los que se han descrito especies con desarrollo directo (ver [Goldberg y Vera Candiotti 2019. Temas BGNOA, vol. 9, n° 2](#)), la batracofauna del NOA tienen ciclos de vida bifásicos. Esto implica que el organismo, atraviesa una etapa larval acuática, de vida libre (renacuajo) y luego de la metamorfosis continúa en otras etapas de vida libre capaces de reproducirse e iniciar un nuevo ciclo de vida (ver [Cruz 2018. Temas BGNOA, vol. 8, n° 1](#)). Dependiendo de las especies, el período larval puede durar desde diez días o hasta más de ocho meses. La metamorfosis, que reúne un conjunto de transformaciones morfológicas y fisiológicas regresivas, progresivas e irreversibles en órganos y sistemas del renacuajo, puede durar entre 12 horas y dos semanas según la especie. Mientras que las etapas postmetamórficas varían desde dos años hasta veinte en la mayoría de las especies.

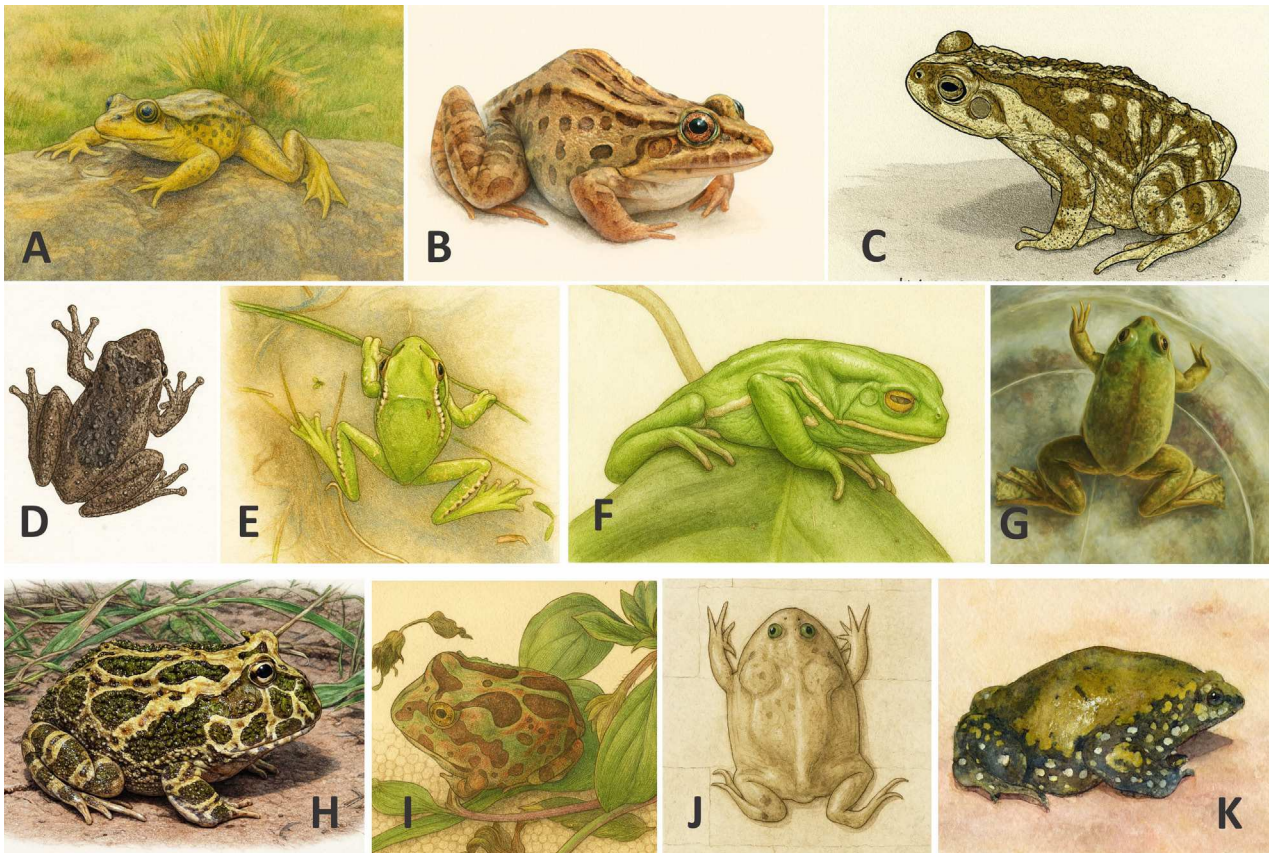


Figura 1. Algunas de las especies de ranas y sapos del NOA. A. *Telmatobius pisanoi* (Telmatobiidae), ranas de hábitos acuáticos en ríos de montaña, de piel lisa y brillante. B. *Leptodactylus macrosternum* (Leptodactylidae), extremidades robustas, membrana timpánica muy evidente por detrás del ojo y patrón de coloración de manchas oscuras alineadas longitudinalmente. C. *Rhinella arenarum* (Bufonidae), con su piel áspera y rugosa, glándulas parótidas sobresalientes detrás del tímpano. D. *Scinax fuscovarius* y E. *Boana riojana* (Hylidae), frecuentes en arbustales y la vegetación baja, con los extremos de los dedos con ventosas que le permiten permanecer adheridas a superficies verticales por mucho tiempo. F. *Phyllomedusa sauvagii* (Hylidae) es una rana de movimientos lentos, suele desplazarse trepando o caminando sobre las ramas y a diferencia de las ranas anteriores no tiene los extremos digitales dilatados. Llama la atención por su piel verde encerada y sus movimientos lentos. G. *Pseudis platensis* (Hylidae), conocida como rana paradójica, su renacuajo alcanza hasta 22 cm, superando el tamaño del adulto. Son ranas acuáticas, de piel verde uniforme y patas con membranas interdigitales muy desarrolladas. H. *Ceratophrys cranwelli*, I. *Chacophrys pierottii*, y J. *Lepidobatrachus laevis* (Ceratophryidae), conocidos como escuerzo, escorcito y escuerzo de agua respectivamente, se caracterizan por tener cabeza muy ancha, mandíbulas poderosas y extremidades cortas. K. *Dermatonotus muelleri* (Microhylidae) es una rana de cabeza muy pequeña y cuerpo rechoncho.

Reproducción

Los charcostemporarios formados por agua de lluvia, los semipermanentes donde las lluvias suman caudal, las acequias y ríos de montaña constituyen los humedales donde el ciclo de vida de los anuros comienza (ver [Fabrezi et al. 2023. Temas BGNOA, vol. 13, nº 1](#)). Cuando llega el momento reproductivo, el macho se ubica en el charco o un sitio “inundable” y emite vocalizaciones que atraen a las hembras. Una vez producido el encuentro de la pareja, el macho abraza a la hembra ubicando su vientre sobre el dorso de la hembra (comportamiento denominado amplexo) (Figura 2). Durante el amplexo la hembra va liberando los ovocitos mientras el macho libera los espermatozoides y mediante el pataleo va

produciendo la hidratación de las envolturas que protegen el ovocito fertilizado. Cada pareja deposita una “puesta” o elabora un “nido” con un número variable de huevos (entre 150 y 5000 dependiendo de la especie).



Figura 2. La particularidad del ciclo de vida de *Boana riojana* radica en que esta especie se reproduce en distintas oportunidades. En la figura una pareja en amplexo en una acequia a fines de marzo.

La mayoría de las especies de Hylidae, Leptodactylidae y Odontophrynidae depositan sus huevos en nidos de espuma, algunas especies del género *Leptodactylus* lo hacen en formaciones de barro o en oquedades de troncos (Figura 3). En Microhylidae los huevos quedan suspendidos en una película sobre el charco hasta la liberación de las larvas (Figura 3). Un caso diferente se da en las especies de ranas mono (*Phyllomedusa sauvagii*, *P. boliviana* y *Pythecopus azureus*). Estas construyen envolturas con hojas de árboles que protegen la espuma con huevos hasta que la lluvia provoca la caída de los embriones al charco (ver [Fabrezi et al. 2013. Temas BGNOA, vol. 2, nº 2](#)). En las especies de *Telmatobius*, los huevos forman pequeños racimos que se adhieren a la vegetación o las rocas. Las especies de Bufonidae forman cordones gelatinosos con los huevos dispuestos como las cuentas de un collar. Finalmente, en los Ceratophryidae los ovocitos fecundados caen al fondo del charco, cada uno con su propia envoltura, no agrupados.

Las particularidades de los cuerpos de agua (temperatura, oxigenación, cantidad y calidad de nutrientes, altura de la columna de agua, iluminación, etc.) sumadas a la historia de cada linaje de ranas definen las características de su desarrollo larval.

El conocimiento de la batracofauna a nivel mundial ha enfatizado en distintos aspectos morfológicos, funcionales y ecológicos de los estadios postmetamórficos y la mayoría de las diagnósis, es decir la identificación de las 7873 especies conocidas al momento, no incluyen descripciones de sus estadios larvales o embrionarios. Esta es una de las razones por las cuales, nos propusimos

estudiar el desarrollo de las especies del NOA enfatizando en el período larval y la metamorfosis para entender los ciclos de vida y su papel en los procesos evolutivos.



Figura 3. Distintos tipos de puesta: A y B, los nidos de espuma, tan frecuentes después de una lluvia contienen numerosos ovocitos. A medida que avanza el desarrollo embrionario la espuma pierde turgencia y se va haciendo más fluida para permitir el flujo hacia el agua de los embriones. Los nidos de espuma de *Physalaemus biligonigerus* se caracterizan por ovocitos totalmente blanquecinos. C, cuevas o volcanes de *Leptodactylus bufonius*, el encuentro de la pareja se produce dentro del volcán y la espuma permanece en su interior hasta que se inunda y se liberan los embriones al charco. D. En las puestas de las especies de Microhylidae, los ovocitos se encuentran dispersos en una película transparente suspendida sobre la superficie del charco.

Morfología y diversidad de renacuajos

Un primer paso en nuestros estudios fue identificar en la morfología externa de una larva o renacuajo los rasgos o características que presentan variaciones, o son muy distintivas entre las diferentes especies (Figura 4). Estas diferencias morfológicas entre los renacuajos se acentúan a medida que avanza el desarrollo (Figura 5). Si bien la diferenciación y crecimiento de las extremidades anteriores y posteriores es casi sincrónico, las extremidades anteriores lo hacen en la cámara branquial y el momento en que emergen denota el comienzo de la metamorfosis que comprende una serie de cambios morfológicos y ecológicos ordenados e irreversibles (Figura 6). Esta etapa está disparada y coordinada por las hormonas tiroideas (T4 y T3), secretadas por la glándula tiroidea (Figura 7). Estas hormonas se encuentran en pequeñas cantidades al inicio de la etapa larval y van

incrementando sus niveles a lo largo del desarrollo hasta alcanzar su punto máximo al momento de la metamorfosis (ver [Cruz 2018. Temas BGNOA, vol. 8, nº 1](#)).

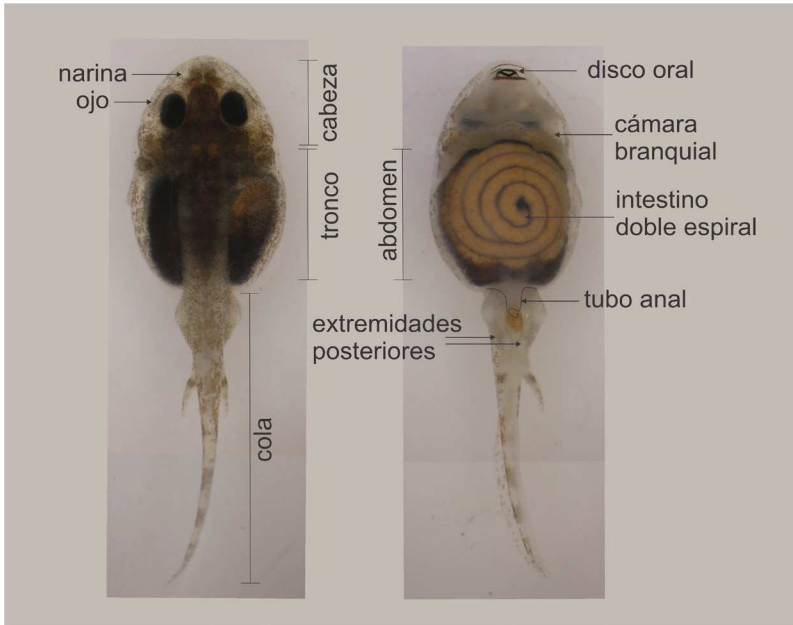
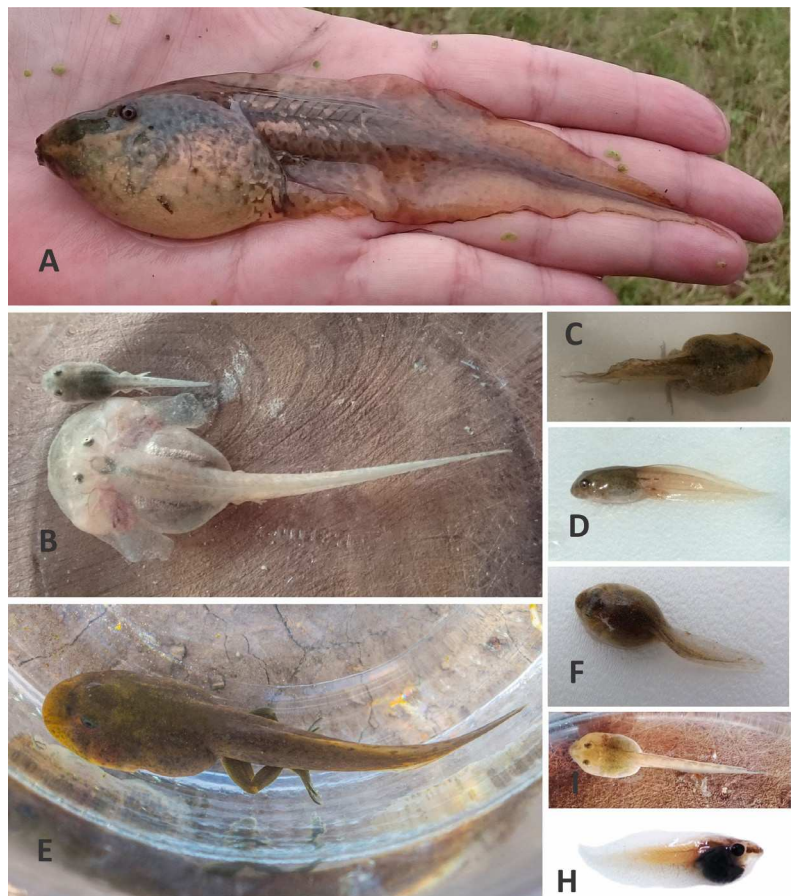


Figura 4. Principales caracteres de un renacuajo en vistas dorsal y ventral. El cuerpo, globoso y corto se diferencia claramente de la cola de longitud variable. La cola es un apéndice muscular que tiene una aleta dorsal y otra ventral. Los ojos pueden tener posición dorsal o lateral, la boca puede ser terminal o ventral y se denomina disco oral. El disco oral es una estructura compleja formada por papilas cutáneas y estructuras queratinizadas para “roer” el alimento de origen vegetal o animal. La cámara branquial contiene las estructuras que filtran las partículas alimenticias que ingresan con el agua. La cámara se abre al exterior a través de un espiráculo o embudo cutáneo que abre del lado izquierdo en la mayoría de los casos o en la línea media ventral. El abdomen está ocupado principalmente por el intestino que es muy largo, enrollado en una doble espiral y se ve por transparencia de la piel del abdomen que se proyecta en un tubo anal por donde descargan las heces del intestino.

Figura 5. Diferencias entre los renacuajos. A. El tamaño del renacuajo de *Pseudis platensis* (Hylidae) constituye un caso excepcional y único, puede medir hasta 22 cm. Se caracteriza por aletas caudales muy altas, la dorsal nace en la cabeza. B. El renacuajo del *Lepidobatrachus* (en la imagen *L. laevis*, Ceratophryidae) presenta un disco oral totalmente modificado, muy amplio con estructuras queratinizadas vestigiales; en lugar de un espiráculo, las cámaras branquiales abren a través de dos aperturas cutáneas; el intestino es muy corto y no llega a enrollarse. El renacuajo es depredador y traga sus presas enteras (crustáceos y otros renacuajos). También es un renacuajo grande, comparado con el renacuajo de *Leptodactylus macrosternum* que aparece en la foto. C. El renacuajo de *Dermatonotus muelleri* (Microhylidae) con sus ojos laterales, una boca muy simple (sin estructuras queratinizadas) porque se alimenta por filtración y un espiráculo que abre ventralmente sobre el abdomen. D. Renacuajos de *Leptodactylus latinasus* (Leptodactylidae) con ojos dorsales, aleta dorsal que nace por detrás del tronco. E. Renacuajo de *Telmatobius pisanoi* (Telmatobiidae), también grandes, de cuerpo alargado, tiene una aleta dorsal que nace sobre la musculatura de la cola. H. Renacuajo de *Chacophrys pierottii* (Ceratophryidae), cuerpo ovoide y ojos dorsales. I. Renacuajo de *Scinax acuminatus* (Hylidae) como en la mayoría de las especies de *Scinax*, los ojos son laterales y las aletas dorsal y lateral son altas, la aleta dorsal nace sobre el tronco.



Los cambios más notables o visibles involucran la locomoción y alimentación: por ejemplo, la pérdida de la cola larval; la coordinación del movimiento de las cuatro extremidades; la desaparición de las estructuras del disco oral y reestructuración de las mandíbulas con la consecuente interrupción de la alimentación; y una deriva de la dieta omnívora a carnívora con un nuevo mecanismo para la captura de presas (lengua). Durante la metamorfosis también existen diferencias entre las especies que influyen en los estadios posteriores como el tiempo de madurez sexual.

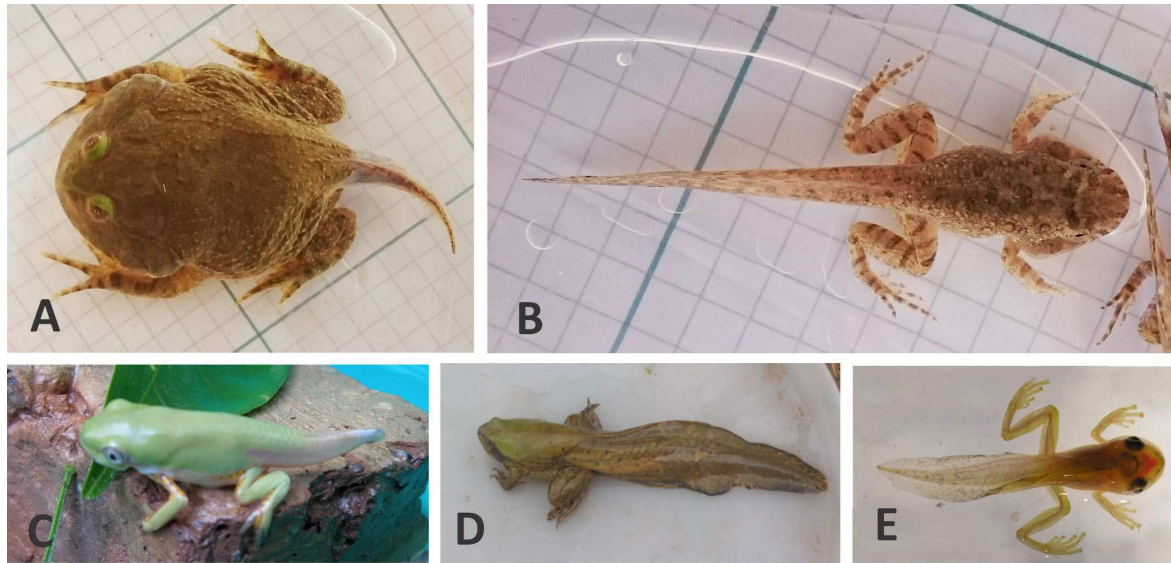


Figura 6. La metamorfosis en distintas especies. A. *Lepidobatrachus laevis* (Ceratophryidae) se observa el exagerado ensanchamiento de la boca. B. *Leptodactylus macrosternum* (Leptodactylidae), se observa el marcado alargamiento de la boca y la cola sin evidencias de acortamiento. C. *Pythecopus azureus* (Hylidae) la cola muestra fuerte acortamiento, reducción de las aletas y de la musculatura y un patrón de coloración característico de la especie. D. *Pseudis platensis* (Hylidae), retiene la cola muy larga y completa (con musculatura y aletas) aún cuando la metamorfosis es muy avanzada. E. *Scinax nasicus*, con acortamiento de la cola pero sin reducción de las aletas.

El estudio de la diversidad de las ranas del NOA nos ha permitido describir aspectos no conocidos de morfología, fisiología y ecología de algunas especies y que constituyen verdaderos aportes al conocimiento de la biodiversidad regional, de la biología de los anuros en general y también para profundizar en la evolución de los procesos del desarrollo.

Los estudios en *Pseudis platensis* (rana paradójica)

Esta rana es común en la ecorregión chaqueña del NOA y NEA. Como la mayoría de las ranas de la familia Hylidae, es capaz de dar grandes saltos, aunque su hábitat preferido son los grandes charcos con vegetación flotante que permanecen todo el verano en zonas inundables (Figura 8). Es una excelente nadadora y se alimenta de insectos que frecuentan la superficie de los charcos (libélulas, zapateros, mariposas) (ver [Fabrezi 2011. Temas BGNOA, vol. 1, nº 2](#)).

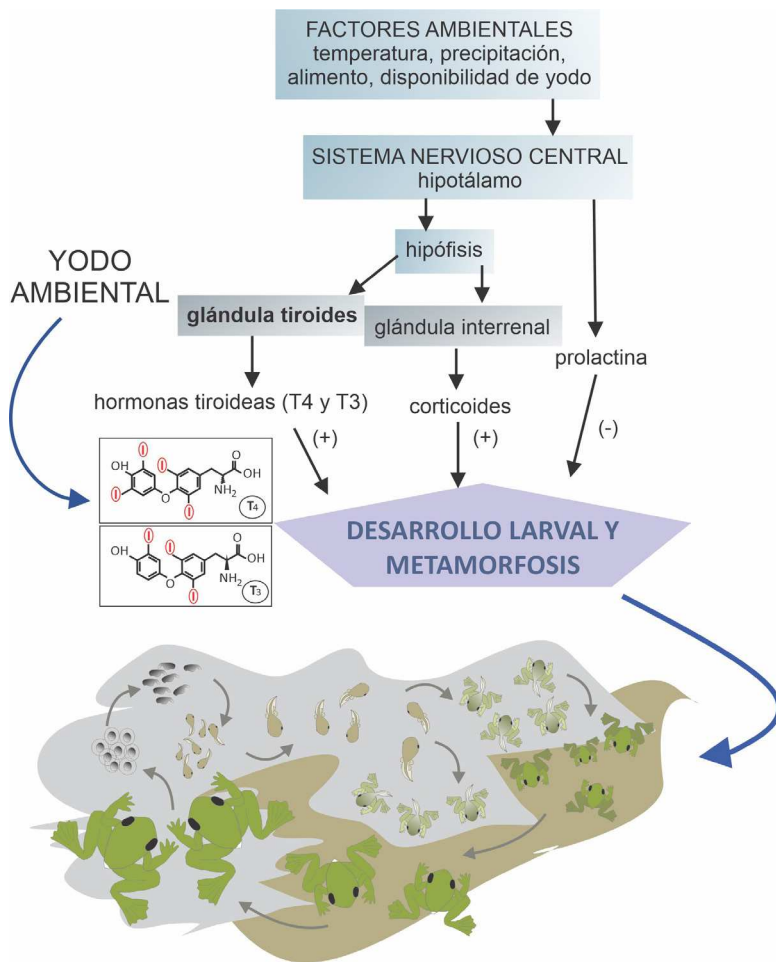


Figura 7. Esquema que representa las interacciones entre las señales ambientales y las respuestas endócrinas (hormonas) que actúan sobre el desarrollo larval y la metamorfosis. Las señales ambientales son captadas por el sistema nervioso central que a través de la hipófisis estimula de manera independiente la glándula tiroidea o la glándula interrenal para secretar hormonas tiroideas (T4 y T3) o glucocorticoides respectivamente. La estimulación de estas glándulas acelera el desarrollo larval y la metamorfosis. Además y en pequeñísimas cantidades, las hormonas tiroideas actúan sobre el desarrollo larval inicial en momentos en los que se están diferenciando las extremidades o las gónadas. Los glucocorticoides actúan acelerando la metamorfosis en condiciones desfavorables (estres). La hormona prolactina presente en estadios larvales, no acelera ni provoca cambios metamórficos.

El ciclo de vida de las ranas paradójicas se inicia en el verano con las lluvias, el desarrollo de los renacuajos ocupa toda la estación lluviosa incluyendo el otoño y en algunos casos se prolonga durante el invierno en charcos que no sufren desecación. En días de lluvia, los machos cantan en el charco para atraer a las hembras. Los huevos son muy pequeños (<1mm) y se encuentran en masas espumosas del tamaño de una ciruela. Inmediatamente después de fecundados, comienza el desarrollo embrionario y al cabo de una semana, los pequeños renacuajos son liberados. La coloración inicial de los renacuajos es de bandas verticales claras y oscuras que va desapareciendo a medida que avanza el desarrollo. Se alimentan de partículas vegetales de tallos, raíces y hojas. El renacuajo crece lentamente y cuando alcanza una longitud total de aproximadamente 10 centímetros, recién aparecen los primordios de las extremidades posteriores (Figura 8). El crecimiento continúa de manera progresiva. Hacia fines del verano y durante el otoño, los renacuajos que sobrevivieron en charcos que no se secaron se esconden entre las raíces de la vegetación flotante. Algunos de esos renacuajos alcanzan la metamorfosis en otoño (Figuras 5 y 6). El tamaño del cuerpo del recién metamorfoseado es casi el tamaño del adulto de la especie ($\geq 45\text{mm}$), (Figura 8).

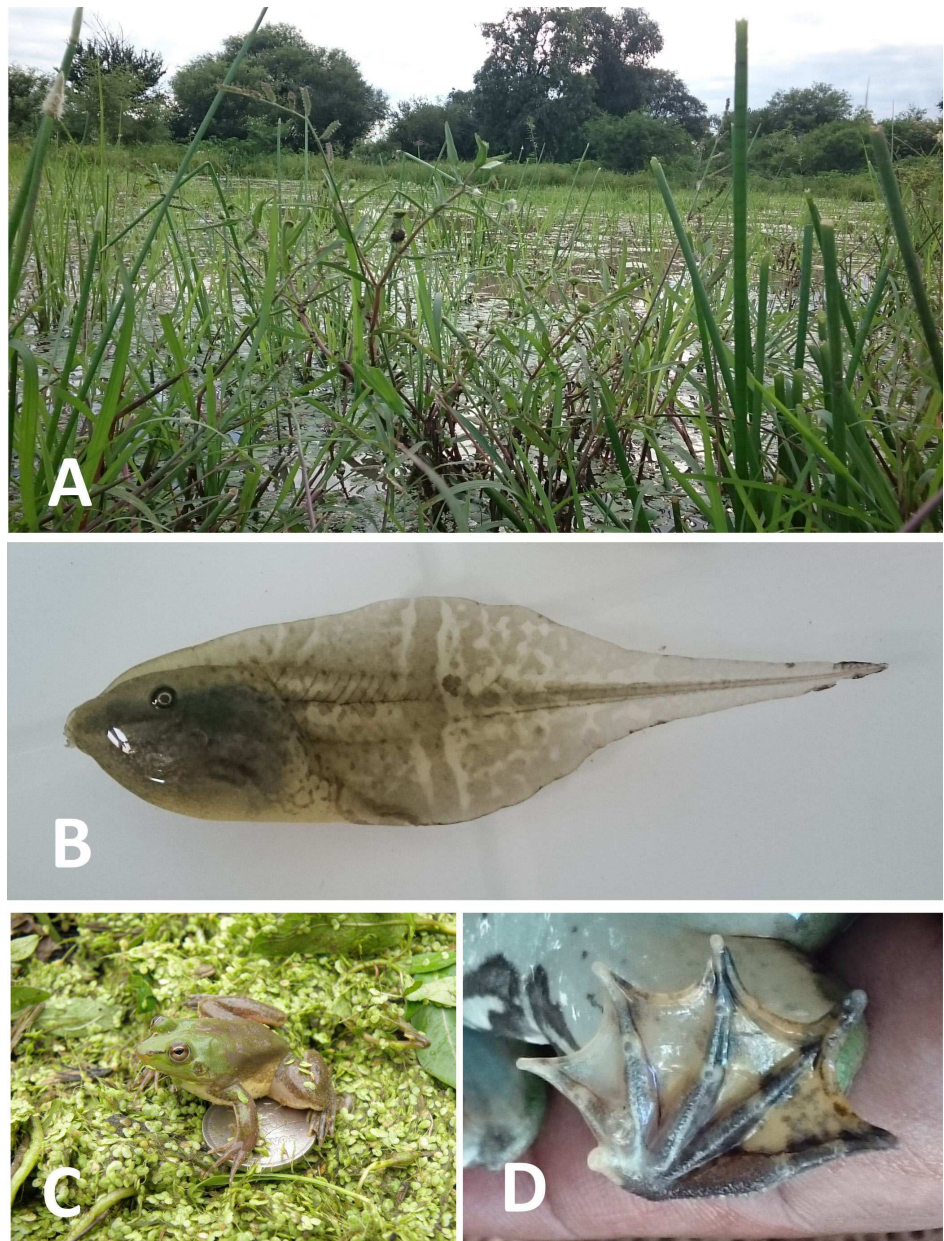


Figura 8. A. Imagen de un charco al final del verano donde predomina la vegetación que brinda refugio a los renacuajos en diferentes estadios del desarrollo de *Pseudis platensis* (Hylidae). B. Un renacuajo temprano que muestra las aletas muy altas y la coloración de bandas longitudinales. C. Un individuo adulto de apenas 38 mm de longitud. D. La palmadura muy desarrollada de las patas de *Pseudis platensis* cumple diversas funciones: aumenta la superficie de flotación en reposo e incrementa la fuerza de propulsión en la natación.

¿Qué estudiamos en estas ranas?

A partir de series de crecimiento larval construimos una tabla de desarrollo caracterizando los estadios para esta especie. Se observó que el crecimiento de la cola es más pronunciado al avanzar el desarrollo. El amplio rango de variaciones del tamaño y de la edad de las larvas al final del verano indica que las parejas se reproducen durante todo el verano.

Describimos las transformaciones y reducciones que ocurren en la metamorfosis muy lentamente (entre 10 y 14 días), diferente de otras especies que habitan en los mismos ambientes en los que la metamorfosis es un proceso muy rápido (dos o tres días).

En individuos recién metamorfoseados encontramos que el sistema timpánico está completamente desarrollado como en el adulto; el aparato lingual está listo para capturar presas y el sistema reproductor está preparado para iniciar la reproducción. Esto implica que los procesos típicos de maduración característicos de los estadios juveniles en la mayoría de los anuros, ocurren durante y no después de la metamorfosis en estas ranas.

A partir de técnicas de esqueletocronología para determinar la edad se encontró que los individuos adultos que se están reproduciendo pueden tener hasta tres años (ver [Quinzio 2013. Temas BGNOA, vol. 3, nº 1](#)).

La presencia de un elemento esquelético intercalar entre las dos últimas falanges, alargado y mineralizado, es evidencia de su parentesco con las ranas arborícolas de la familia Hylidae; pero la extensa palmadura entre los dedos de las patas es un rasgo asociado a una vida acuática (Figura 8). El sistema sensorial de las líneas laterales, típico de peces y de estadios larvales y de adultos acuáticos desaparece en esta especie durante la metamorfosis como en la mayoría de los anuros que tienen hábitat terrestre (ver [Quinzio 2017. Temas BGNOA, vol. 7, nº 1](#)).

Al estudiar las características de la glándula tiroides, encontramos baja actividad secretora antes de la metamorfosis, hecho que explicaría la extensión del período larval, una metamorfosis lenta y un tamaño exagerado del renacuajo. Una posible causa de esta fisiología de la glándula tiroides podría estar relacionada con una dieta rica en carbohidratos que limitaría la disponibilidad de otros precursores orgánicos (grasas y proteínas animales) y minerales (yodo) para la síntesis de hormonas tiroideas.

Los estudios en escuerzos

Las ranas de la familia Ceratophryidae (o escuerzos) se reúnen en tres géneros: *Ceratophrys*, *Lepidobatrachus* y *Chacophrys*. Del total de las 12 especies de la familia, cinco (*Ceratophrys cranwelli*, *Chacophrys pierottii*, *Lepidobatrachus asper*, *L. llanensis* y *L. laevis*) se encuentran en la ecorregión chaqueña, donde sólo en esta región coexisten los tres géneros (ver [Fabrezi 2011. Temas BGNOA, vol. 1, nº 2](#)).

Ceratophrys cranwelli y *Chacophrys pierottii* son terrestres, de piel gruesa, rugosa y colorida, mientras que las especies de *Lepidobatrachus* son conocidas como escuerzos de agua, de cuerpo aplanado, ojos dorsales y piel muy delgada. El renacuajo de *Chacophrys* es omnívoro y los renacuajos de las especies de *Ceratophrys* son carnívoros. Los renacuajos de las especies de *Lepidobatrachus* son

también carnívoros y depredadores que engullen a sus presas enteras (crustáceos, otros renacuajos e insectos).

Son ranas voraces y activas al comienzo del verano con las primeras lluvias cuando se reproducen y alimentan (Figura 9). El canibalismo es un comportamiento característico de los escuerzos. La reproducción ocurre cuando apenas ha comenzado la lluvia y los huevos, grandes ($\geq 4\text{mm}$), son depositados aislados en pequeños charcos (por ejemplo en huellas de ganado). El desarrollo larval es muy rápido y sincrónico. A pesar del canibalismo y de la voracidad de las larvas de *Lepidobatrachus* que implican competencia, la coexistencia simultánea de larvas de varias especies de escuerzos en un mismo charco es frecuente, pero no habitual en la mayoría de las comunidades larvales de anuros. La desecación de los charcos debido a la intensa evapotranspiración es el principal enemigo de las poblaciones de escuerzos (Figura 9).

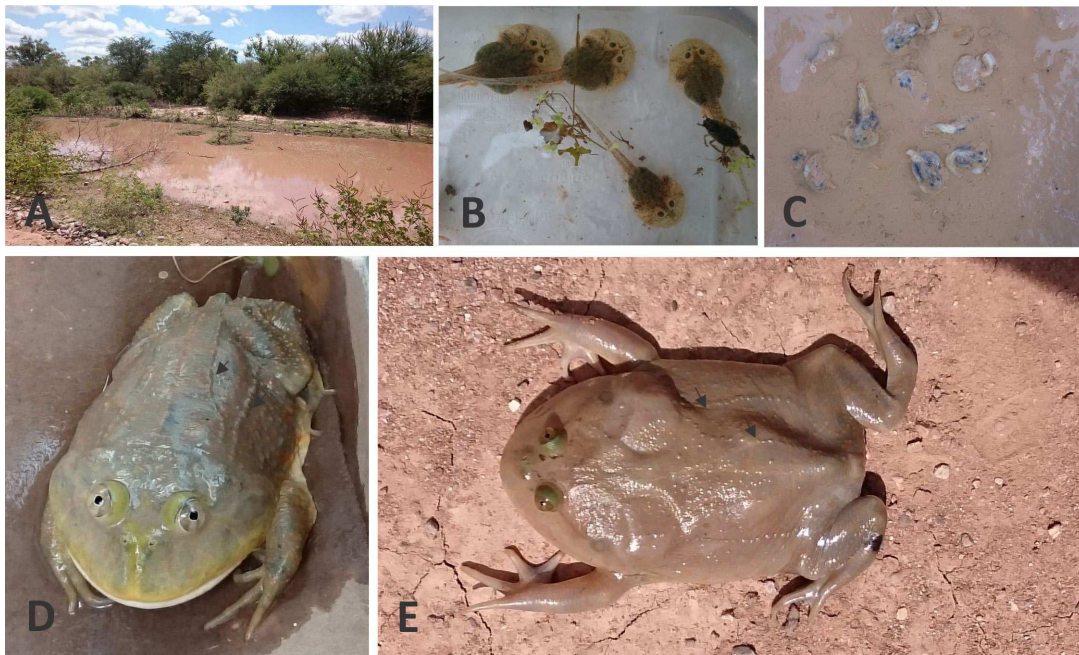


Figura 9. A. Imagen de un charco formado con las primeras lluvias de verano donde coinciden la explosiva reproducción de los escuerzos y de varios crustáceos que constituyen el alimento de las larvas de ceratófridos. La productividad primaria de estos charcos es mínima al estar recién formados. B. Larvas de *Lepidobatrachus laevis* con abdómenes llenos de presas. C. La intensa evaporación del verano acelera la desecación de los charcos y constituye la principal amenaza que enfrentan las larvas de los escuerzos. D. Un espécimen juvenil de *L. laevis* con su coloración de manchas verde-amarillento difusas en las mandíbulas. E. Un espécimen adulto de *L. laevis* que destaca por su piel floja. En D y E las flechas señalan los órganos sensoriales de la línea lateral que en la mayoría de los anuros se pierden durante la metamorfosis.

¿Qué estudiamos en estas ranas?

Construimos series de desarrollo larval caracterizando los estadios en cada caso y la variación en tamaño. En *Chacophrys pierottii* pudimos identificar dos morfotipos larvales, uno grande y otro

pequeño: el morfotipo pequeño ocurre en condiciones de estrés donde existe un inminente riesgo de desecación, mientras que el morfotipo grande se presenta cuando el charco mantiene una columna de agua importante de al menos 20 cm durante dos semanas (Figura 10). Aunque la dieta de *Chacophrys* es omnívora, el morfotipo grande presenta contenidos intestinales en los que predominan los crustáceos (es decir una dieta de proteínas animales). El desarrollo completo en *Chacophrys pierottii* y las especies de *Lepidobatrachus* tiene lugar en 15 días mientras que el desarrollo de *Ceratophrys cranwelli* sucede en 21 días.

La presencia de osificaciones como escudos dorsales y la queratinización de uñas y espolones ocurre en estadios larvales de *Lepidobatrachus* y después de la metamorfosis en *Ceratophrys cranwelli*. La ocurrencia de estos rasgos es muy singular en las especies del género *Lepidobatrachus* ya que han sido relacionados a hábitos terrestres aunque permanecen casi todo el tiempo de alimentación y reproducción en el charco.

En *Lepidobatrachus* la desaparición del sistema de la línea lateral (típico de los estadios larvales) no se produce durante la metamorfosis sino mucho después o incluso no ocurre en *L. laevis* y sugiere una retención de una condición larval asociada a la vida acuática (Figura 9) (ver [Quinzio 2017. Temas BGNOA, vol. 7, nº 1](#)).

A partir de técnicas de esqueletocronología (método de estimación de la edad sobre la base de cortes histológicos transversales de huesos largos en los que se cuentan anillos de crecimiento rápido y anillos de crecimiento lento, según los depósitos de calcio) se encontró que individuos de

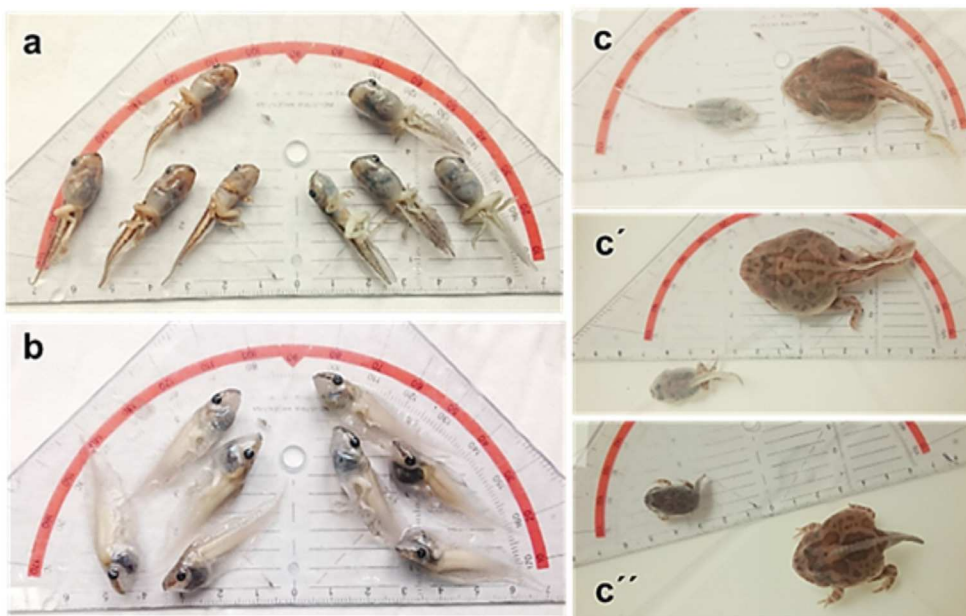


Figura 10. La variación intra-específica en la velocidad del crecimiento en algunas especies es prácticamente imperceptible (a. *Trachycephalus typhonius* y b. *Scinax acuminatus*) sin embargo, en *Chacophrys pierottii* (c, c', c'') las diferencias de tamaño entre larvas de distintos años en una misma localidad son muy llamativas. En años en los que el riesgo de desecación es muy alto, los renacuajos son pequeños y metamorfosean con un tamaño corporal aproximado de 20 mm; mientras que en los años en los que el charco mantiene una columna de agua por al menos dos semanas, los renacuajos crecen rápidamente y alcanzan un tamaño corporal de 40 mm o más al metamorfosear.

Ceratophrys pueden alcanzar 14 años, mientras que en *Lepidobatrachus* y *Chacophrys* se registran edades de hasta 7 y 6 años respectivamente (ver [Quinzio 2013. Temas BGNOA, vol. 3, n° 1](#)).

En larvas de *Lepidobatrachus*, el intestino es corto y hay un estómago con glándulas digestivas similar al adulto y especializado en una dieta rica en proteínas animales. La alimentación no se interrumpe durante la metamorfosis y no hay una transformación del sistema digestivo, una característica única entre los anuros con desarrollo larval (Figura 11). Los contenidos del tracto digestivo en *Lepidobatrachus* revelan que la dieta está formada por crustáceos, insectos y larvas de anuros de diferentes especies.

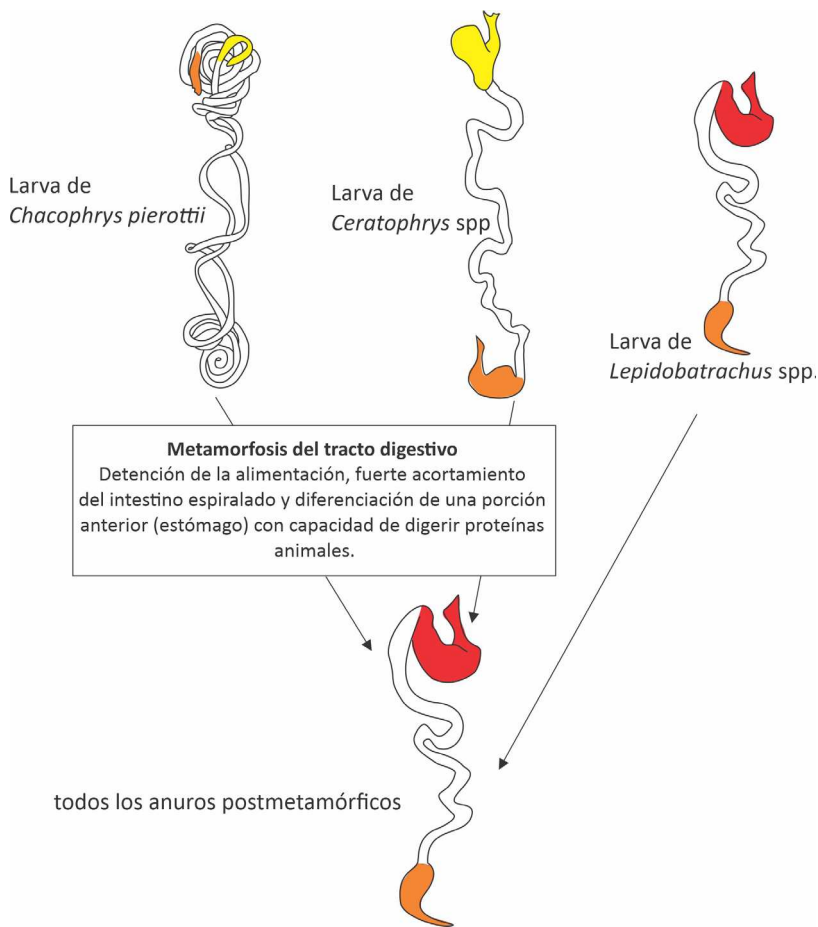


Figura 11. Las transformaciones del tubo digestivo durante la metamorfosis ocurren en todos los anuros con desarrollo larval, excepto en las especies de *Lepidobatrachus*. En la mayoría de las especies, como en *Chacophrys pierottii*, la porción anterior del tubo digestivo (en amarillo) representa la región en la cual se diferenciarán glándulas secretoras de ácido clorhídrico y pepsinógenos durante la metamorfosis y que dará origen al estómago del postmetamórfico (en rojo) para la digestión de proteínas de origen animal. Además, el intestino es muy largo y se enrolla en una doble espiral. En *Ceratophrys spp.*, esta zona anterior del tubo digestivo es dilatada y sirve como un saco para almacenar alimento, pero no presenta glándulas diferenciadas y el intestino es más corto. Diferente, en larvas de *Lepidobatrachus spp.* existe un estómago con glándulas diferenciadas y el intestino es tan corto como en la mayoría de los anuros postmetamórficos. Es decir que los cambios metamórficos del tracto digestivo no se manifiestan como en todos los renacuajos. En los esquemas la porción terminal del tracto digestivo recto se colorea en naranja.

Al estudiar las glándulas tiroideas de los escuezos, encontramos que son pequeñas y presentan lóbulos supernumerarios dispersos en *Lepidobatrachus* y *Chacophrys*, diferente a la mayoría de los anuros en los que solo hay dos lóbulos, y no existe evidencia de una fase de secreción intensa de hormonas tiroideas en la metamorfosis en *Lepidobatrachus*.

La monofilia de los ceratófridos está bien respaldada por datos morfológicos y moleculares. La existencia de dos morfotipos larvales (el pequeño y el grande) asociados a las condiciones de estrés (deseccación del charco) en *Chacophrys pierottii* ha sido también descrita en ranas del desierto norteamericano y es un primer paso hacia la carnivoría estricta que se observa en las larvas de *Lepidobatrachus*. En ambientes semiáridos con marcada estacionalidad y ciertas señales

ecológicas como la disponibilidad y calidad del alimento, la desecación de los charcos (Figura 9) y la competencia pueden haber influenciado la evolución de las larvas en las especies de *Lepidobatrachus*, con un tracto digestivo único que no sufre metamorfosis. Las características ecomorfológicas de las larvas y de las formas postmetamórficas algunas asociadas a hábitos terrestres (escudos óseos) y otras a hábitos acuáticos (retención del sistema de la línea lateral y palmaduras en las extremidades posteriores, piel floja y delgada) invitan a imaginar que los charcos temporarios son el microambiente donde cumplen su ciclo de vida completo y quizás donde evolucionaron estas ranas.

Los estudios en ranas de los arbustales

Al comparar cohortes de una especie, la existencia de variación que distingue renacuajos grandes y pequeños (Figura 10), patrones de coloración, la altura de las aletas o la duración de los períodos larvales se denomina plasticidad fenotípica y se refiere a la amplitud de la capacidad intrínseca de variación en el desarrollo (ver [Goldberg 2015. Temas BGNOA, vol. 5, n° 1](#)). Experimentalmente se ha demostrado que variando la densidad de renacuajos, la columna de agua, la iluminación, la temperatura o la dieta se manifiesta esta plasticidad del desarrollo. Sin embargo, en poblaciones naturales, la plasticidad está determinada por una combinación de esos factores que al no compensarse se manifiestan como diferencias en el fenotipo.

La ranita hocicuda *Scinax fuscovarius*, de la familia Hylidae, es común en entornos urbanos, suburbanos y abiertos del NOA con una amplia distribución geográfica. Las distintas poblaciones de esta ranita están sometidas a diferentes condiciones climáticas dependiendo de donde habiten. Esta variación ambiental se ve reflejada en el tamaño de los adultos lo cual nos llevó a estudiar también si esta variación se observaba en caracteres o rasgos de los renacuajos. Los estudios se centraron en el crecimiento larval y rasgos externos de los renacuajos en poblaciones naturales de esta especie.

¿Qué estudiamos en estas ranas?

Las poblaciones (valle de Lerma y Chaco salteño) mostraron diferencias en la estacionalidad reproductiva, la duración del período larval y las tasas de crecimiento (Figura 12). Además se describieron variaciones morfológicas y morfométricas entre los renacuajos.

Se reconocieron dos morfos larvales bien diferenciados: uno relacionado con condiciones ambientales estables, producto de un único evento reproductivo hacia el final del verano (la duración de los charcos está garantizada) y otro, relacionado a eventos de reproducción continuos durante toda la temporada de lluvias y en condiciones más impredecibles (desecación de charcos).

La plasticidad fenotípica de esta especie, tanto en aspectos de su biología reproductiva, de la biología larval, de rasgos morfológicos y morfométricos de larvas y postmetamórficos en las distintas poblaciones, podrían ser una explicación de su amplia distribución geográfica y de su presencia frecuente en ambientes antropizados.

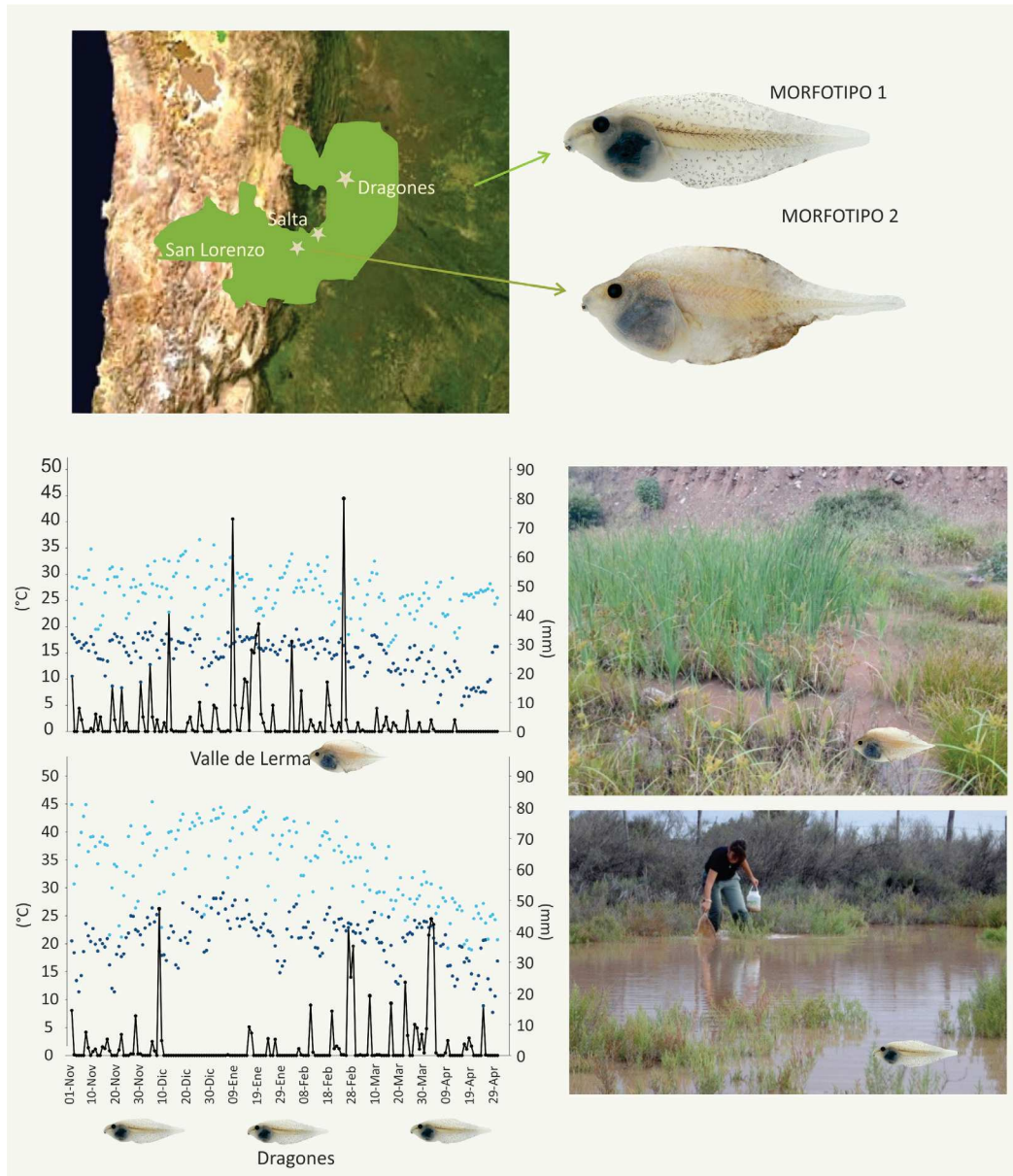


Figura 12. Dentro del gran área de distribución de *Scinax fuscovarius* estudiamos tres poblaciones de la provincia de Salta, comparamos su desarrollo larval y describimos dos morfotipos diferentes, cuya variación más notable se observa en la altura de las aletas caudales. En la parte inferior de la figura, a la izquierda, se muestran los gráficos de temperaturas máximas (círculos celestes) y mínimas (círculos azules) y precipitaciones diarias (línea negra) durante los seis meses comprendidos entre noviembre hasta el final de la estación lluviosa en abril para las dos poblaciones del Valle de Lerma y la del norte de la provincia (Dragones). Las diferencias en estas dos variables (temperatura y precipitación) definen las características de los humedales donde se reproduce la especie como se observa en las imágenes de la derecha. El análisis de las variables meteorológicas y las características de los humedales fueron considerados en nuestro análisis de la variación de la morfología larval. Encontramos además que las poblaciones del norte de la provincia de Salta se reproducen prácticamente a lo largo de toda la estación húmeda mientras que en las del Valle de Lerma solo reportamos un evento reproductivo hacia el final del verano.

Los estudios en la rana andina

El estudio de las ranas arborícolas se extendió también al análisis de la variación intraespecífica en el ciclo de vida de la Rana Andina (*Boana riojana*), una especie de la familia Hylidae con amplia distribución en las cordilleras que bordean la Puna en Bolivia y el norte de Argentina. Vive en valles de ríos fríos y rocosos, desde bosques montanos hasta pastizales y sus poblaciones presentan una considerable variación morfológica y de coloración. Sin embargo, el aspecto más interesante de *B. riojana* reside en la variación intraespecífica en el período de vida larval, una característica que generalmente se asume como poco variable en otras especies.

El estudio se planteó a partir de datos de colección que mostraban diferencias morfológicas en larvas, se propuso comparar en campo series de desarrollo larval (cohortes) de un mismo sitio en años consecutivos y se encontró una variación extrema en la duración total del periodo larval. Mientras que una cohorte tardó solo 125 días (invierno-primavera) en completar su metamorfosis, la otra (otoño-invierno-primavera) se extendió hasta 234 días, siendo su periodo larval casi el doble de largo (Figura 13).

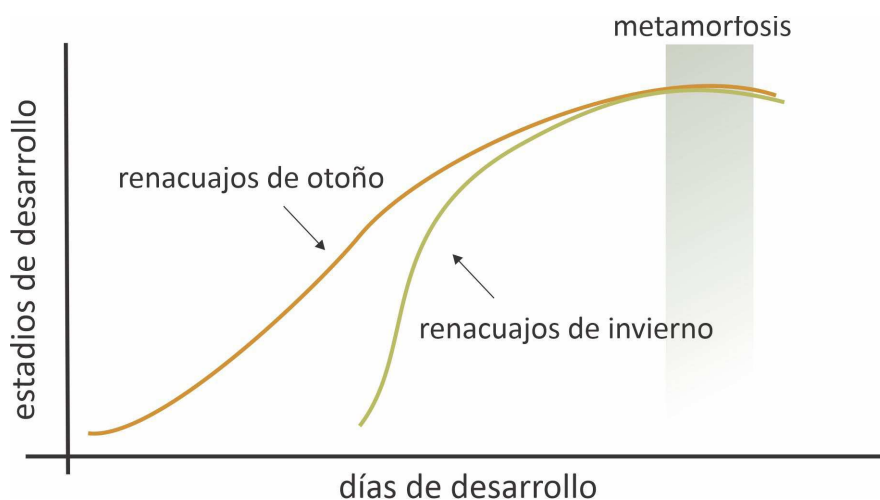


Figura 13. La variación intraespecífica en la rana andina (*Boana riojana*) implica plasticidad en el tiempo del período larval que puede variar entre las cohortes.

¿Qué nos mostraron estas ranas?

La gran diferencia en los tiempos de desarrollo dependió principalmente de cuándo ocurrió el evento de reproducción y se concentró en la primera mitad del desarrollo larval. La metamorfosis concluyó aproximadamente en la misma época en ambas cohortes, a finales de la primavera y los especímenes de ambas series alcanzaron el mismo tamaño corporal al finalizar la metamorfosis.

Aparentemente, la tasa de desarrollo larval se volvió más "canalizada" (menos variable) una vez que la glándula tiroidea se activó al avanzar el desarrollo y aproximarse a la metamorfosis, periodos que fueron cronológicamente más similares entre las series. La diferenciación y cambios en

caracteres estructurales de la piel, el esqueleto y los testículos ocurrió siempre en estadios larvales determinados independientemente de si se trataba de renacuajos con más días de desarrollo. Diferente a lo que se observó en la diferenciación ovárica, que dependió de los días de desarrollo. Un hallazgo adicional en la cohorte de desarrollo más largo, fue la presencia de dos morfotipos larvales bien diferenciados.

Nuevos avances en el estudio de ranas acuáticas *Telmatobius*

En los últimos tiempos, investigamos la biología de las ranas acuáticas de la especie *Telmatobius pisanoi* (ver [Cruz y Fabrezi 2025. Temas BGNOA, vol. aniversario](#)). Son ranas microendémicas que habitan arroyos permanentes de montaña por encima de los 3000 m s.n.m. en regiones de pequeños valles intermontanos. En la mayoría de los casos sus larvas hacen ocupación de los cuerpos de agua junto con la rana andina *Boana riojana*. Los renacuajos alcanzan un gran tamaño corporal (entre 8 y 10 cm) y tardan varios meses en alcanzar la metamorfosis (Figura 4), con una dinámica larval más bien parecida a la rana andina que habita en los mismos cursos de agua en estos ambientes de altura.

¿Qué observamos en estas ranas?

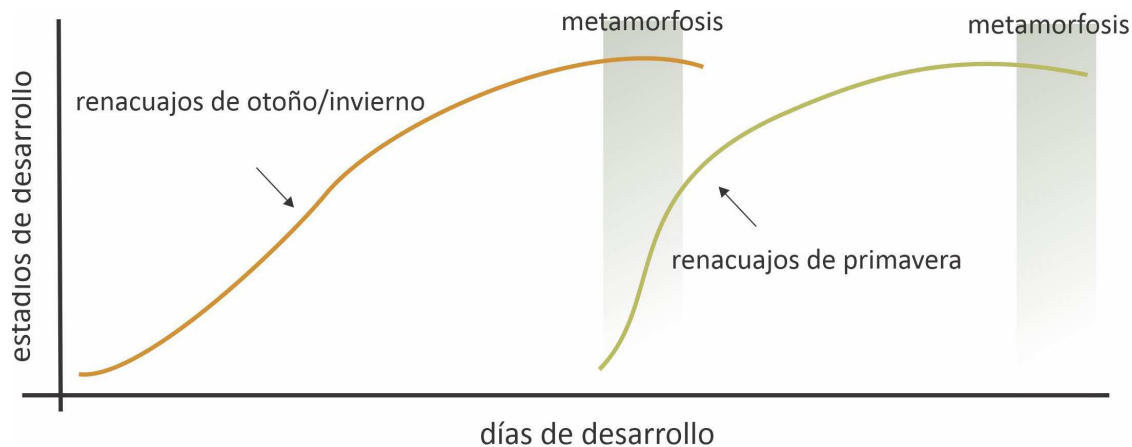
Los adultos tienen una gran dependencia del agua, debido a las condiciones "hostiles" y la gran amplitud térmica fuera de ella. Sin embargo, se alimentan de invertebrados en superficie o fuera del agua durante horarios nocturnos o de mucha humedad (Figura 1).

Los principales eventos de reproducción se dan cuando empiezan a elevar las temperaturas (primavera) y al final de la temporada de lluvias e inicio del otoño (Figura 14). Los renacuajos que inician el periodo larval al final de la temporada de lluvia atraviesan todo el invierno como tales y alcanzan la metamorfosis en primavera, mientras que los de primavera alcanzan la metamorfosis antes del otoño.

A pesar de que las poblaciones de estas ranas están restringidas a pequeños ambientes aislados, los renacuajos exhiben escasa variación mientras que los adultos presentan diferencias entre las poblaciones (tamaño, coloración).

El estudio de las etapas larvales en ranas que habitan arroyos permanentes de altura nos mostró que el periodo larval implica un gran crecimiento, pero un desarrollo relativamente lento. Las bajas temperaturas del agua sobre todo en invierno, donde los ríos incluso se congelan, estarían enlenteciendo el desarrollo en el invierno para que la metamorfosis ocurra en mejores condiciones.

Figura 14. *Telmatobius pisanoi* tiene dos principales eventos de reproducción al año, en primavera y en otoño. Las larvas nacidas en otoño alcanzan la metamorfosis al finalizar la primavera. Las larvas nacidas en primavera metamorfosean al comenzar el otoño.



Integrando conocimientos de la ecología larval, las respuestas del desarrollo y los mecanismos hormonales en la evolución de los anuros

Al estudiar el desarrollo larval de las diferentes especies de ranas del NOA, identificamos ciertas generalidades que comparten la mayoría de las especies. Estas generalidades son:

El tamaño de los renacuajos exhibe una relación directa entre el crecimiento y la duración del desarrollo del período larval (especies con larvas más grandes tienen más días de desarrollo) con excepciones (Figura 15). El tamaño larval tiene que ver con el microhábitat, las especies con larvas pequeñas se encuentran en la periferia de los charcos o acequias, generalmente entre la vegetación; mientras que las especies con larvas más grandes son activas nadadoras en charcos extensos con determinada profundidad, arroyos o ríos de montaña y se alimentan en la columna de agua a diferentes alturas.

La cola es un componente importante para definir el tamaño de una larva. En especies con larvas pequeñas, la cola suele tener una longitud igual o menor que el cuerpo; mientras que en larvas grandes o gigantes la cola tiene una longitud mayor que el cuerpo. En el caso de *Pseudis platensis*, la cola supera más de dos veces la longitud del cuerpo.

Varias especies presentes en el NOA, exhiben una marcada plasticidad que implica variaciones en tasas de desarrollo y crecimiento que pueden tener diferentes causas: la desecación de los charcos, la calidad y cantidad de alimento y la amplitud térmica, etc.

El tamaño del cuerpo en una larva en la metamorfosis no es indicador del tamaño del adulto ya que las tasas de crecimiento antes y después de la metamorfosis parecen ser independientes y esto dependerá de diferentes factores (calidad y cantidad de alimento, condiciones climáticas, longevidad,

etc.). En el NOA las especies varían entre las que viven entre 2 y 3 años a especies mucho más longevas con 11 y hasta 14 años.

Estas generalidades surgieron cuando comparamos el desarrollo larval de diferentes especies, pero también cuando existe variación dentro de una misma especie. La variación intraespecífica, ya sea por el tamaño en la metamorfosis o por la duración del período larval, fueron aspectos que nos llevaron a explorar experimentalmente su relación con señales endocrinas. Comenzamos esta exploración con las hormonas tiroideas porque son las que actúan en ínfimas cantidades al comenzar el desarrollo larval y en una descarga importante para desencadenar la metamorfosis.

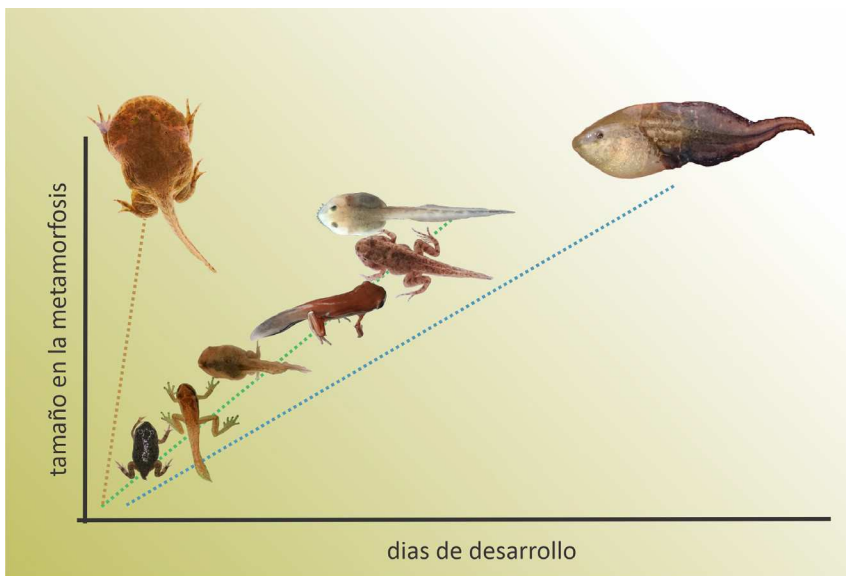


Figura 15. La variación entre especies en el tamaño del cuerpo al comenzar la metamorfosis es importante porque es el tamaño a partir del cual comienza el crecimiento postmetamórfico. En la mayoría de las especies (línea punteada verde) el crecimiento del cuerpo de la larva, independientemente de cuanto crezca la cola, tiene una relación directa con los días de desarrollo. Sin embargo, hay especies que alcanzan un gran tamaño al metamorfosear porque crecen aceleradamente como los escuerzos de agua (línea punteada marrón), o especies que crecen muy lentamente por mucho tiempo (*Pseudis platensis*, *Telmatobius pisanoi*) (línea punteada azul).

La inhibición de la función de la glándula tiroideas en larvas de diferentes especies provocó un aumento del tamaño de sus larvas, mientras que el suplemento de hormona tiroidea aceleró el desarrollo larval.

La respuesta a estos experimentos varió con las especies, a pesar de dosis semejantes: dos especies (*Dermatonotus muelleri* y *Leptodactylus macrosternum*) que habitan en la región chaqueña fueron más sensibles a la administración de suplemento de hormona que una especie que habita en los valles (*Pleurodema borellii*). Además, la intensidad de la respuesta fue mucho más pronunciada en *Dermatonotus muelleri* que en *Leptodactylus macrosternum* demostrando que las especies tienen diferencias en la sensibilidad y también en intensidad en las respuestas. La mayoría de las especies de anuros del NOA exhiben una variación en sus etapas larvales en las que la altitud, el clima y las condiciones particulares de cada humedal (cantidad y calidad de alimento, competencia y depredación, etc.) disparan señales endocrinas que influyen sobre las características específicas

de cada especie definiendo desarrollos más o menos variables o plásticos (Figura 16). A partir de diferentes estudios, de campo y laboratorio, pudimos entender el desarrollo de *Pseudis platensis* como un caso especial de la evolución de anuros en el que una débil actividad de la glándula tiroidea resulta en un desarrollo lento.

Diferente en los escuerzos, la calidad del alimento muy rico en grasas, proteínas y precursores de hormonas tiroideas (por ejemplo los crustáceos) actúa tempranamente sobre los tejidos sensibles para acelerar el crecimiento y el desarrollo y, en el caso de *Lepidobatrachus*, producir la desorganización de esos cambios de manera tal que la metamorfosis ocurre de una manera diferente. La carnivoría, la fisiología de la glándula tiroidea y las tasas de desarrollo aceleradas son aspectos integrados de la evolución de estas ranas que ha sido posible en humedales temporarios de la ecorregión chaqueña de una manera única.

Destacamos la diversidad de las comunidades larvales de los charcos temporarios del verano, los cuales constituyen simultáneamente reservorios para que otros organismos también inicien o cumplan sus ciclos de vida. A pesar de su corta existencia, estos charcos no sólo son fundamentales para la supervivencia de las especies, sino también participan en redes tróficas dentro del mismo humedal como en sus entornos.

Finalmente, también resaltamos que el estudio de la variación intra e interespecífica del período larval resume las interacciones entre el ambiente y las hormonas en la evolución de los ciclos de vida.

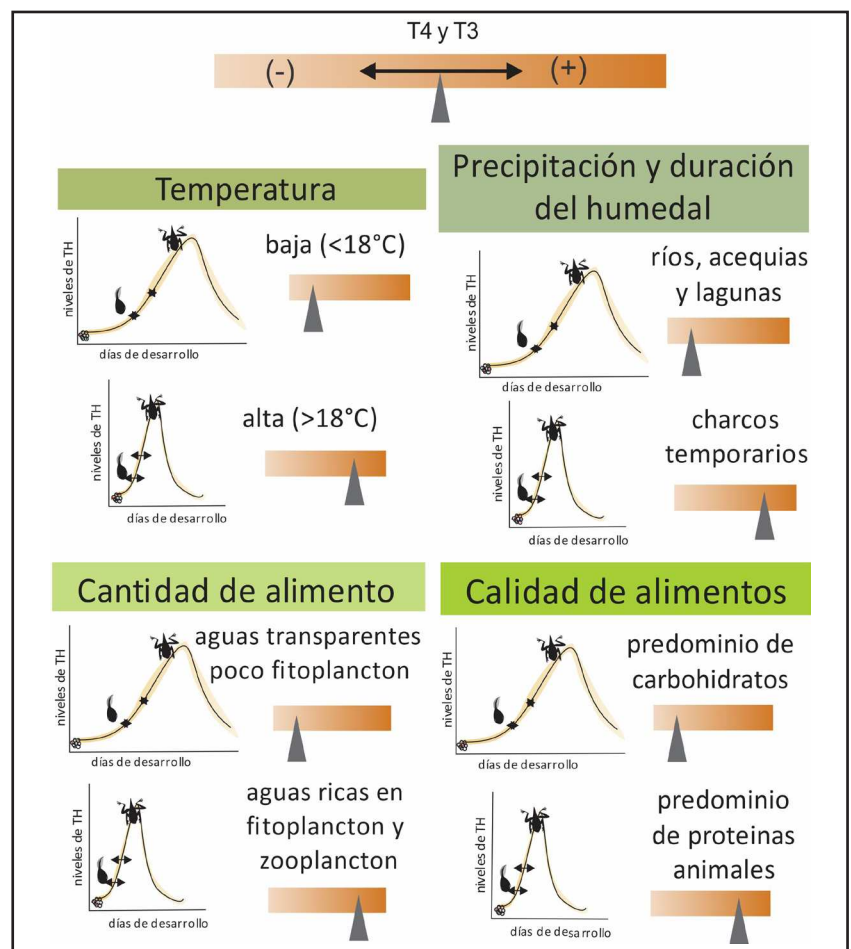


Figura 16. Modelo a partir del cual podemos entender la interacción entre las hormonas tiroideas y el desarrollo de las distintas especies de anuros del NOA. Los niveles de hormonas tiroideas se extrapolan a partir de observaciones de la histomorfología de la glándula tiroidea.

Las colecciones científicas como base de la investigación

Los distintos resultados obtenidos durante todos los años de investigaciones de los sapos y ranas de nuestra región que se sintetizaron en este artículo implicaron la consulta de numerosas publicaciones, trabajos de campo para registrar observaciones y la colecta de especímenes de referencia. También implicó procesar parte de ese material con diferentes técnicas para su examen macroscópico y microscópico; llevar adelante experimentos y elaborar estos resultados para desarrollar las interpretaciones.

El material examinado en nuestras investigaciones no es descartado sino que se encuentra depositado, catalogado y organizado en colecciones del IBIGEO como un producto más de la labor científica que desarrollamos, aún desde antes de la creación de IBIGEO y como un compromiso con las instituciones de ciencia (ver [Goldberg y Quinzio 2011. Temas BGNOA, vol.1, n°1](#)).

Entre los objetivos de su creación, el Instituto de Bio y Geociencias del NOA se propuso la generación y organización de colecciones científicas. La colección de anfibios, cuenta con algo más de 2800 lotes de larvas y ejemplares adultos en su mayor parte de la provincia de Salta aunque también cuenta con registros de otras localidades. Además, se conservan colecciones de esqueletos, preparados histológicos y tejidos para análisis moleculares.

REFERENCIAS Y LITERATURA RECOMENDADA

CRUZ JC. 2018. Metamorfosis: cambio de forma durante el desarrollo. [Temas de Biología y Geología del NOA, 8 \(1\): 13-17.](#)

CRUZ JC, M FABREZI. 2025. Acuáticas y enigmáticas: ranas *Tematobius* en la Cordillera Oriental de Salta, Argentina. [Temas de Biología y Geología del NOA, 2025, vol aniversario.](#)

FABREZI M, S QUINZIO, A MANZANO, V ABDALA. 2013. Las ranas mono en Argentina. [Temas de Biología y Geología del NOA, 3 \(2\): 41-48.](#)

FABREZI M, C CAMARDELLI, F HONGN, A ARAMAYO, JC CRUZ, C MONTERO LÓPEZ, G CÓRDOBA, A GUEVARA. 2022. Provincias geológicas, provincias fitogeográficas y ecorregiones del NOA. [Temas de Biología y Geología del NOA, 12 \(2\): 4-19.](#)

- FABREZI M, JC CRUZ. 2023. El Yodo en la naturaleza. [Temas de Biología y Geología del NOA, 13 \(2\): 10-15.](#)
- FABREZI M, R MONTERO, JC CRUZ. 2023. Humedales. [Temas de Biología y Geología del NOA, 13 \(3\): 15-22.](#)
- GOLDBERG J, F VERA CANDIOTI. 2019. Quisiera ser grande (sin metamorfosear en el intento). [Temas de Biología y Geología del NOA, 9 \(2\): 55-63.](#)
- GOLDBERG J. 2015. ¿Qué se puede ser y hacer? Notas sobre adaptación y plasticidad. [Temas de Biología y Geología del NOA, 5 \(1\): 5-10.](#)
- GOLDBERG J. 2020. Tengo una rana en mi baño: historia natural de la rana hocicuda común *Scinax fuscovarius*. [Temas de Biología y Geología del NOA, 10 \(2\): 29-34.](#)
- GOLDBERG J, S QUINZIO. 2011. Los Museos de Ciencias Naturales al descubierto: un espacio para conservar, investigar y educar. [Temas de Biología y Geología del NOA, 1 \(1\): 13-20.](#)
- HOORN C, FP WESSELINGH, H TER STEEGE, ... A ANTONELLI. 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science*, 330 (6006): 927-931.
- PORTIK DM, JW STREICHER, JJ WIENS. 2023. Frog phylogeny: A time-calibrated, species-level tree based on hundreds of loci and 5,242 species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 188, 107907.
- QUINZIO S. 2013. Estimación de edad en sapos y ranas. [Temas de Biología y Geología del NOA, 3 \(1\): 9-13.](#)
- QUINZIO S. 2017. La mecanorrecepción en larvas de anuros. [Temas de Biología y Geología del NOA, 7 \(1\): 2-3.](#)

La revolución cuántica en marcha

Henry Estrada¹

¹ Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa - CONICET), Argentina; e-mail: henryestrada@gmail.com

En los últimos años, la física cuántica se volvió un tema recurrente en medios y redes, muchas veces presentado de manera fragmentaria, exagerada o directamente tergiversada. La computación cuántica, en particular, atraviesa el mismo fenómeno: se la describe como una tecnología capaz de resolverlo todo, o como una amenaza inmediata para la seguridad digital, cuando en realidad su desarrollo es aún incipiente y lleno de desafíos. Las encuestas de percepción pública de la ciencia muestran que la ciudadanía confía en la investigación científica, pero reconoce comprender poco sobre áreas complejas como la física y la computación cuántica. El propio título de este artículo, “La revolución cuántica en marcha”, reafirma esta perspectiva: se trata de una revolución, sí, pero aún en movimiento, en construcción, lejos de haber alcanzado su meta definitiva. Este texto busca despejar mitos, ordenar la información real y ofrecer un panorama somero pero riguroso sobre qué sabemos, qué podemos esperar y cuál es la verdadera magnitud de esta transformación tecnológica.

En este contexto de expectativas y confusión, el Premio Nobel de Física 2025 reconoció avances decisivos en el campo de la computación cuántica. Así se marca un hito que permite diferenciar lo que ya es realidad de lo que aún está en construcción.

Para comprender la magnitud de este logro, conviene recordar que la física cuántica describe un mundo submicroscópico donde las reglas del sentido común se desvanecen. El reto es trasladar esos fenómenos invisibles —electrones, fotones— a máquinas visibles y controlables. Igual que un avión no imita el aleteo de un pájaro, una computadora cuántica se construye en un entorno ultracontrolado que permite que lo cuántico se despliegue como tecnología.

Para lograrlo se requiere un aislamiento extremo, con dos condiciones fundamentales: temperaturas cercanas al cero absoluto y ausencia de vibraciones. El frío extremo no es un capricho: allí los materiales se vuelven superconductores, es decir, la electricidad circula sin resistencia ni pérdidas, condición indispensable para que los qubits - bits cuánticos que pueden ocupar múltiples estados, más allá del 0 y el 1 clásicos- mantengan su delicado estado de superposición, un principio que se desarrollará más adelante. El silencio frente a vibraciones cumple otra función: evita que

cualquier sacudida externa rompa ese equilibrio, como si un equilibrista caminara sobre una cuerda floja, sin poder desviarse ni un milímetro.

Mientras que un bit clásico solo puede estar en 0 o en 1, un qubit puede ocupar infinitas combinaciones intermedias gracias al principio de superposición. Así como una brújula puede orientarse en cualquier dirección sobre la superficie de la Tierra, un qubit puede adoptar cualquier estado dentro de esa continuidad. Esa variedad de configuraciones es lo que multiplica su potencia de cálculo.

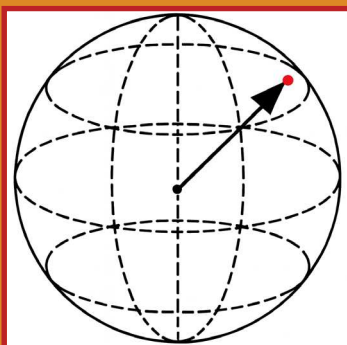
Esa continuidad, que abre un espacio de posibilidades, es también extremadamente frágil: basta una perturbación mínima —un poco de calor, una vibración del entorno— para que esa superposición se derrumbe. Por eso la criogenia y el aislamiento vibracional no son simples detalles técnicos, sino la piedra angular que permite que lo microscópico se replique en lo macroscópico y se convierta en tecnología.

Una vez entendido ese salto conceptual, podemos explorar los principios que sostienen la fuerza de la computación cuántica. En lugar de verlos como piezas aisladas, conviene pensarlos como un conjunto articulado: superposición, entrelazamiento, interferencia, túnel cuántico y medición.

Los cinco pilares de la computación cuántica

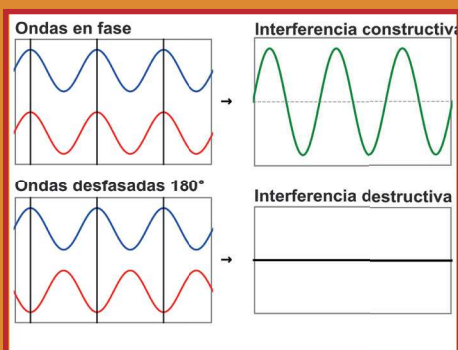
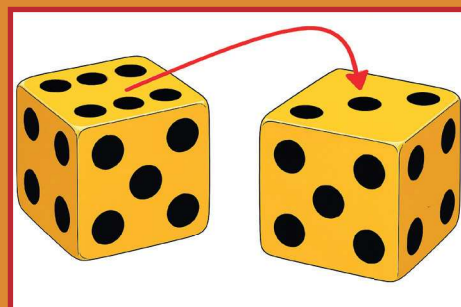
Cinco principios sostienen la fuerza de la computación cuántica. Son como piezas de una coreografía extraña para la lógica clásica, pero que al moverse en conjunto despliegan un poder de procesamiento imposible para las máquinas tradicionales.

Estos cinco principios no solo definen la lógica cuántica: cada uno aporta una herramienta única al procesamiento. A continuación, se presentan con sus imágenes representativas y una explicación condensada.



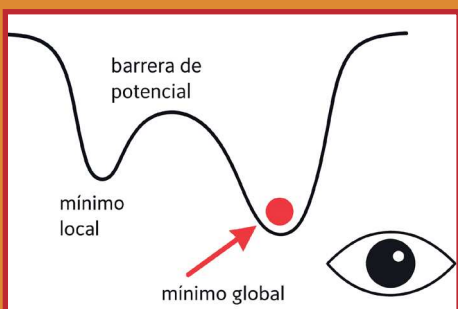
Superposición: Así como un caleidoscopio que, al girarlo, despliega infinitas combinaciones, un qubit puede ocupar cualquier estado dentro de esa continuidad, no se limita al 0 o al 1 clásico. La figura muestra una esfera con una flecha roja (vector) que apunta en una dirección específica: es la esfera de Bloch, una herramienta visual que representa todos los estados posibles de un qubit. Cada punto en la superficie simboliza una configuración cuántica distinta, que solo se concreta al medir.

Entrelazamiento: Como dos bailarines que ejecutan pasos distintos pero perfectamente coordinados. Dos qubits pueden quedar correlacionados de manera que el estado de uno depende del otro, incluso separados físicamente. No es copia ni imitación: es coherencia compartida, y solo se entiende al observar el sistema completo. La figura muestra dos dados amarillos conectados por una flecha roja que une sus caras superiores, elegidas por su relación de mitad (6 y 3). Representa cómo dos qubits entrelazados mantienen una conexión profunda y coherente: aunque cada dado parece independiente, su comportamiento está sincronizado como si compartieran una coreografía invisible.



Interferencia: Como unos auriculares con cancelación de ruido que eliminan lo indeseado y refuerzan lo útil. En computación cuántica, las probabilidades se interfieren: las amplitudes se refuerzan o se cancelan. Los algoritmos aprovechan este efecto para amplificar las soluciones correctas y suprimir las incorrectas. La figura muestra dos conjuntos de ondas: unas en fase que se refuerzan en una interferencia constructiva, y otras desfasadas 180° que se anulan en una interferencia destructiva. Esta visualización ilustra cómo los algoritmos cuánticos manipulan probabilidades para potenciar los resultados deseados.

Túnel cuántico: Como un explorador que atraviesa la montaña para hallar el valle más profundo. Un qubit puede atravesar barreras de potencial —regiones donde la energía requerida supera la disponible— sin escalarlas, lo que le permite escapar de mínimos locales y explorar configuraciones más estables. Este fenómeno es clave en qubits superconductores y en técnicas de optimización como el recocido cuántico. La figura muestra una partícula que atraviesa una barrera de potencial desde un mínimo local hacia un mínimo global. Esta imagen representa cómo el qubit puede “tunelar” a través de obstáculos energéticos, accediendo a estados más óptimos sin seguir el camino clásico.



Medición: Como un bolillero de lotería familiar que gira con muchas bolillas dentro. Mientras está en movimiento, todas las opciones están presentes; pero al detenerse, una bolilla cae al canal y se convierte en el resultado. Observar un qubit provoca lo mismo: el colapso de su superposición en un valor clásico (0 o 1). La medición destruye la coherencia y fija un resultado, por lo que decidir cuándo medir es crucial en el diseño de algoritmos cuánticos. La figura muestra una barrera de potencial atravesada por la partícula, que alcanzó el mínimo global, y el ícono de ojo representa la medición que provoca el colapso de la superposición cuántica en un estado clásico definido.

La coreografía cuántica: sinergia en acción

Hasta aquí vimos cada principio por separado. Pero la computación cuántica no se sostiene en piezas aisladas: su verdadero poder aparece cuando los cinco pilares se combinan. Para entenderlo mejor, conviene pensarlos no como conceptos rígidos, sino como parte de una danza.

Imaginá un escenario: cinco bailarines sobre un escenario oscuro. Cada uno tiene un rol distinto, pero la magia ocurre solo cuando se mueven juntos. Así funciona la computación cuántica: los pilares no son pasos en fila, sino una coreografía imposible para la lógica clásica.

- *Superposición abre el baile:* los qubits se despliegan como un caleidoscopio de posibilidades, creando un espacio de soluciones que ningún sistema clásico puede imaginar.
- *El túnel cuántico les da libertad:* atraviesan barreras invisibles y mantienen abierta la exploración, evitando quedar atrapados en mínimos locales.
- *Entrelazamiento conecta a los bailarines:* cada movimiento se refleja en el otro, aunque estén lejos, como si compartieran un mismo pulso.
- *Interferencia marca el ritmo:* refuerza los pasos correctos y silencia los errados, como una música que guía la coreografía hacia la armonía.
- *Medición es el cierre:* la danza se detiene y el escenario se ilumina con un único resultado, elegido entre todos los posibles finales.

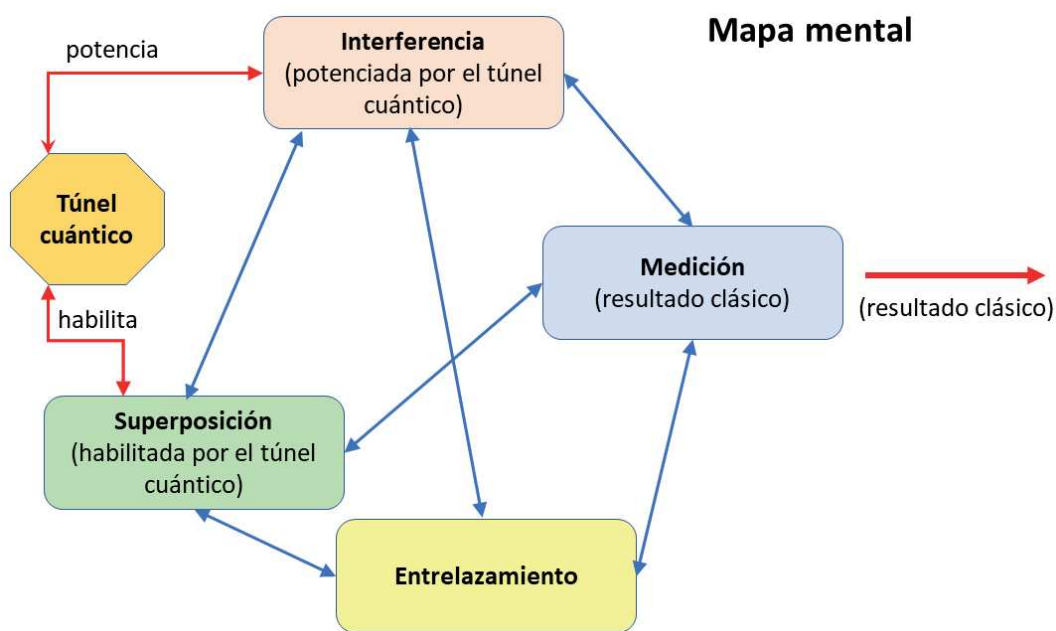


Figura 1. La medición rompe el ciclo cuántico y entrega un único resultado clásico.

Del laboratorio a la nube (y más allá)

Las computadoras cuánticas que se desarrollan en laboratorio son prototipos con muy pocos qubits. Sirven para demostrar principios básicos y validar teorías, pero todavía están lejos de resolver problemas prácticos a gran escala. Hoy, esos mismos prototipos se ponen a disposición de investigadores y empresas mediante la nube.

Los grandes actores tecnológicos —IBM, Google, Microsoft y Amazon— ofrecen acceso remoto a procesadores cuánticos, no para vender hardware, sino para permitir experimentación, validación de algoritmos y preparación para un futuro donde estos sistemas sean más potentes y estables.

En ese panorama, D-Wave, empresa canadiense pionera en computación cuántica, eligió concentrarse en el recocido cuántico, una técnica orientada a problemas de optimización. Gracias a esta especialización, construyó máquinas con más de 4.000 qubits, más estables en optimización

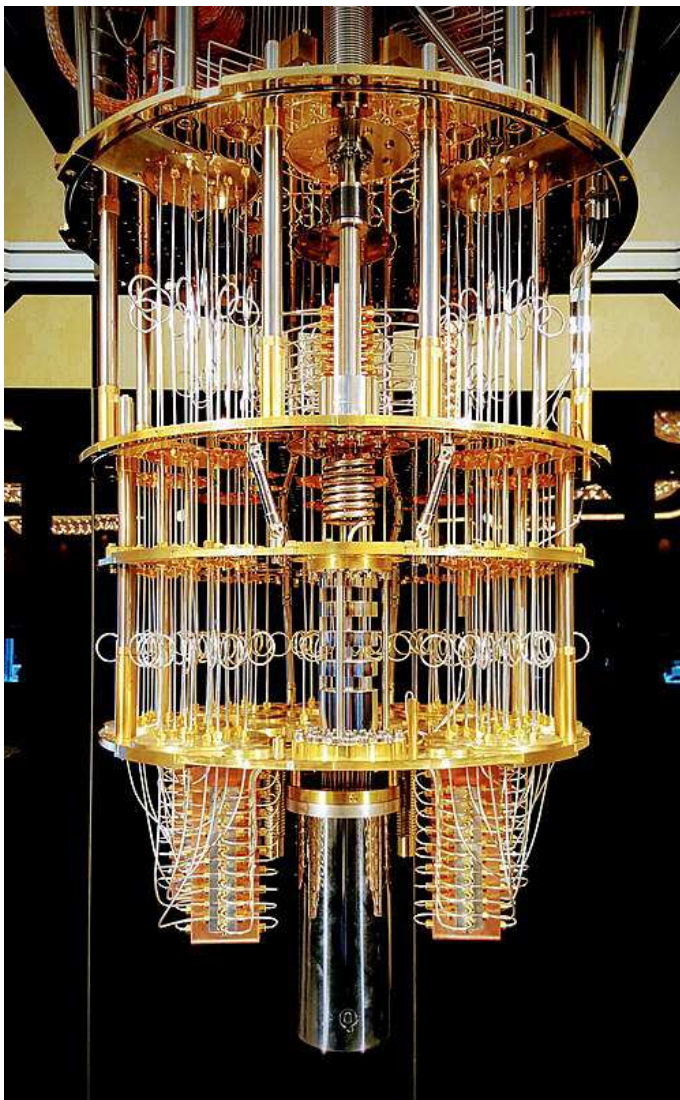


Figura 2. Presentación del sistema cuántico IBM Q en el CES (Consumers Electronics Show) 2019 de Las Vegas: un hito en la transición de la computación cuántica desde los laboratorios hacia el ámbito público y comercial.

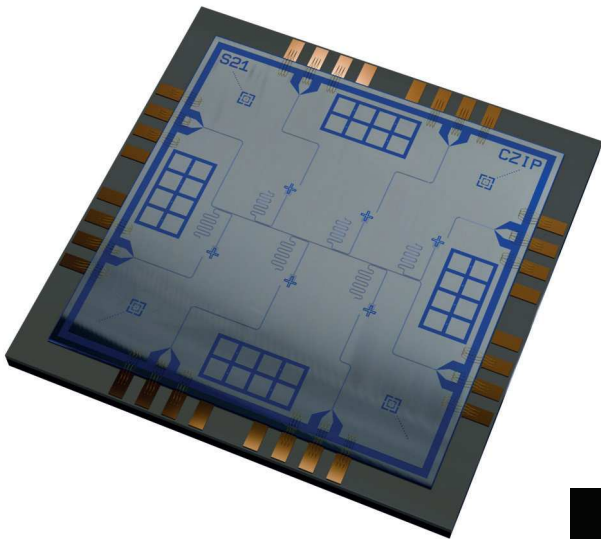
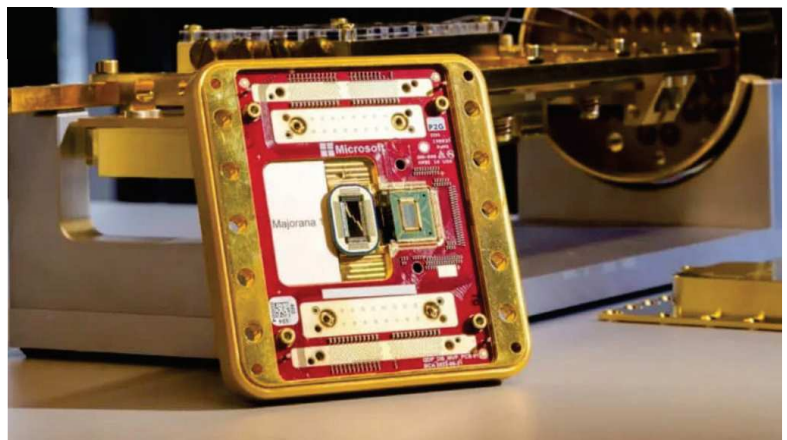


Figura 3. Vista del procesador cuántico superconductor de 6 qubits, diseñado para demostrar operaciones cuánticas reales sin simulaciones, perteneciente al programa IBM Quantum Experience.

Figura 4. Majorana 1, el chip cuántico de Microsoft basado en qubits topológicos, representa un salto hacia la computación cuántica escalable y resistente a errores.



pero no universales, y ofrece acceso en la nube mediante su plataforma Leap. Instituciones como NASA han probado sus sistemas en proyectos con miles de variables difíciles para algoritmos clásicos. En la metáfora musical, D-Wave sería el tambor: un golpe preciso y contundente que marca el ritmo.

IBM, en cambio, avanza en la construcción de computadoras cuánticas más versátiles. Sus procesadores, aunque con menos qubits, están pensados para abordar distintos tipos de problemas y simulaciones complejas. Con acceso en la nube a través de IBM Quantum, investigadores y empresas experimentan con circuitos que requieren mayor coherencia y control. En esa misma orquesta, IBM sería el piano: capaz de sostener múltiples notas y melodías complejas al mismo tiempo. Cada instrumento cumple su función, pero no son comparables en alcance.

Los ingenieros de lo imposible

El Nobel de Física 2025 fue otorgado a John Clarke (Reino Unido), Michel H. Devoret (Francia) y John M. Martinis (Estados Unidos) "por el descubrimiento del túnel mecánico cuántico macroscópico y la cuantización de energía en un circuito eléctrico".

Sus contribuciones marcaron hitos fundamentales:

- Confirmaron experimentalmente fenómenos cuánticos como el túnel y la cuantización de energía, que hoy son la base de los circuitos superconductores.
- Mostraron la fragilidad cuántica de los sistemas, impulsando la búsqueda de qubits más estables y resistentes.
- Abrieron el camino hacia arquitecturas avanzadas, como los qubits lógicos y propuestas basadas en partículas con configuraciones poco comunes de la materia (*exóticas*), como las de Majorana, que se comportan como su propia antipartícula, orientadas a reducir errores y ampliar la escala de los procesadores.

Avances en Argentina

En el Centro Atómico Bariloche (Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA), un equipo liderado por Leandro Tosi desarrolla un procesador cuántico experimental basado en qubits tipo fluxonium, un diseño superconductor pensado para ser más estable y duradero que otros qubits. Esta arquitectura ofrece mayor tiempo de coherencia —los estados se mantienen estables por más tiempo—, operaciones más rápidas y potencial de escalar a muchos qubits. El trabajo se realiza en condiciones extremas: los circuitos se enfrían a 0,025 Kelvin, casi el cero absoluto, para preservar la delicadeza de los estados cuánticos.

Estos avances representan un paso estratégico para el país: aportan autonomía tecnológica al investigar hardware propio y fortalecen la formación de talento al involucrar a estudiantes y jóvenes investigadores en proyectos de frontera, es decir, investigaciones que exploran los límites del conocimiento y abren nuevas posibilidades tecnológicas. Al mismo tiempo, iniciativas como *QuantumJam 2025*, el ciclo argentino-francés en Buenos Aires, y el interés de empresas locales en aplicaciones para finanzas, logística y farmacéutica muestran cómo la investigación cuántica empieza a irradiar hacia la comunidad y el sector productivo.

Aplicaciones futuras de la computación cuántica

Cuando los obstáculos actuales de estabilidad y escalabilidad sean superados, las computadoras cuánticas podrán transformar múltiples áreas:

- *Criptografía y seguridad*: algoritmos como Shor pondrán en riesgo el cifrado clásico, impulsando nuevas técnicas poscuánticas.

- *Descubrimiento de fármacos y materiales:* simulaciones moleculares precisas permitirán diseñar medicamentos personalizados y materiales innovadores.
- *Optimización a gran escala:* cadenas de suministro, planificación energética y sistemas financieros podrán resolverse en tiempos mucho menores.
- *Inteligencia artificial acelerada:* entrenamiento más rápido y eficiente de modelos complejos, con aplicaciones en visión, lenguaje y predicciones científicas.
- *Ciencia fundamental:* la motivación original de la computación cuántica fue simular sistemas físicos imposibles de modelar con computadoras clásicas. Alcanzar esa meta permitirá comprender fenómenos como la superconductividad, el comportamiento de moléculas complejas y la dinámica de partículas exóticas.

Reflexión final

La computación cuántica aún depende de prototipos frágiles, pero el **Nobel de Física 2025** —otorgado a John Clarke, Michel H. Devoret y John M. Martinis— confirmó que sus principios fundamentales son sólidos y reconocidos al más alto nivel.

Hoy es posible experimentar con algoritmos cuánticos en la nube y, en Argentina, avanzar con proyectos propios como el procesador fluxonium de la **CNEA**. Estos desarrollos muestran que, aunque los recursos sean limitados, el país puede insertarse en la frontera del conocimiento.

La fragilidad cuántica describe tanto a los qubits como a nuestro sistema científico y tecnológico: delicado, pero con enorme potencial si se lo sostiene y conecta con redes internacionales. La coreografía cuántica mundial ya comenzó y Argentina demuestra que puede aportar su propio ritmo a este futuro compartido.

REFERENCIAS

Bibliografía académica

ARUTE F *et al.* 2019. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature*, 574: 505–510. <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1666-5>.

EUROPEAN QUANTUM INDUSTRY CONSORTIUM (QuIC). 2025. Strategic Report on the State of Quantum Computing. Brussels: QuIC.

LATORRE JI. 2017. Cuántica: tu futuro en juego. Barcelona: Ariel.

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DE LA NACIÓN ARGENTINA. 2021. 5ta Encuesta Nacional de Percepción Pública de la Ciencia. Buenos Aires: MINCyT. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/5ta_encuesta_version_digital_0.pdf

PRESKILL J. 2018. Quantum Computing in the NISQ era and beyond. Quantum, 2: 79. <https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79>.

Bibliografía divulgativa

VELASCO VALENCIA LE. 2025. Todo el mundo habla de IA, pero la computación cuántica promete un salto tecnológico aún mayor. El País. <https://elpais.com/proyecto-tendencias/2025-03-21/todo-el-mundo-habla-de-ia-pero-la-computacion-cuantica-promete-un-salto-tecnologico-aun-mayor.html>

INFOBAE. 2025. Computación cuántica: la carrera entre IBM, Google y Microsoft se intensifica. Infobae. <https://www.infobae.com/tecno/2025/09/12/computacion-cuantica-la-carrera-entre-ibm-google-y-microsoft-se-intensifica/>

Recursos multimedia

ACÍN A. 2016. La segunda revolución cuántica | TEDxBarcelona [Video]. YouTube. <https://youtu.be/9kHAKwCRhtY>

ALONSO CANTOR AM. 2025. QUBO y recocido cuántico: cómo D-Wave y Fujitsu resuelven problemas imposibles [Video]. YouTube. <https://youtu.be/3vrNPtPQdgc>



Leonardo Iván Elías

Geólogo

Facultad de Ciencias Naturales

Universidad Nacional de Salta

Realizó su Doctorado en Ciencias Geológicas en cotutela entre la Universidad Nacional de Córdoba y la Universidad de Potsdam

Dirección: Dra. Carolina Montero López (IBIGEO, UNSa-CONICET, Argentina) - Dr. Manfred R. Strecker (Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, Alemania)

Codirección: Dr. Victor H. García (Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, Alemania)

Evolución tectónica plio-cuaternaria de la Cordillera Oriental entre los 25° y 25°35' S. Caracterización neotectónica de estructuras potencialmente sismogénicas en el sector sur del valle de Lerma

La comprensión detallada de la deformación tectónica cuaternaria y su relación con la amenaza sísmica representa un desafío fundamental en el noroeste argentino. Esta tesis aborda esta problemática centrándose en el sector austral del valle de Lerma, una cuenca intermontana densamente poblada ubicada en el antepaís fragmentado de la Cordillera Oriental de Argentina. El objetivo principal es elucidar la estratigrafía plio-cuaternaria (Formaciones Piquete, Calvimonte, Tajamar y La Viña) y la geología estructural de este valle para desarrollar una propuesta de la evolución neotectónica del área y evaluar el potencial sismogénico de las estructuras identificadas. La importancia de esta región radica en su deformación de piel gruesa no uniforme, la presencia de fallas potencialmente activas y una población numerosa, factores que subrayan la necesidad de refinar la evaluación del peligro sísmico local.

Para alcanzar este objetivo, se implementó una metodología multidisciplinaria que incluyó el mapeo geológico de detalle del sector sur del valle de Lerma, entre los 25° y 25°30' S: la identificación de las unidades plioceno-cuaternarias y las estructuras que las afectan, su caracterización estratigráfica detallada, el análisis geomorfológico para cuantificar la influencia tectónica en el modelado del paisaje, la aplicación de métodos geofísicos para investigar la estructura en el subsuelo, y el análisis estructural para determinar la cinemática y geometría de las fallas. Los resultados obtenidos comprenden una nueva propuesta estratigráfica para el relleno cuaternario del valle, la identificación y caracterización de fallas con evidencias de actividad reciente, y la estimación del potencial sismogénico de las estructuras neotectónicas.

Específicamente, se determinaron nuevas edades de ~235 ka para el tope de la Formación Calvimonte y ~10–48 ka en la Formación Tajamar; y a partir de los análisis geomorfológicos-morfotectónicos se caracterizaron estructuras activas como la escarpa en la bajada aluvial de la sierra del Cebilar (E1) con desplazamientos de entre 2 y 7 m. La interpretación de tomografías sísmicas de refracción y de resistividad eléctrica permitió inferir la geometría de la falla responsable de la escarpa. La interpretación de siete líneas sísmicas de reflexión permitió identificar fallas inversas de gran escala, la geometría en profundidad de pliegues mapeados y estratos de crecimiento en unidades mioceno-pleistocenas. Las evidencias de campo revelan fallas inversas y normales y pliegues activos que deforman depósitos de hasta ~200 ka de antigüedad, con tasas de desplazamientos verticales estimadas cercanas a 1–2 mm/a en algunos sectores. Además, la presencia de estructuras de deformación en sedimento blando (*SSDS*, por sus siglas en inglés) en las secuencias lacustres de la Formación Tajamar indica episodios sísmicos durante el Pleistoceno tardío. Estas evidencias demuestran que la deformación ha estado distribuida en el valle de Lerma de forma episódica.

La integración de los nuevos resultados permite proponer un modelo conceptual de la evolución tectónica plio-cuaternaria del sector sur del valle de Lerma, estableciendo tasas de movimiento y el potencial sismogénico de las estructuras más relevantes. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas para la comprensión de la deformación en cuencas intermontanas de la Cordillera Oriental, influenciada por la tectónica de piel gruesa y anisotropías preexistentes. Además, contribuyen directamente a mejorar las estimaciones de peligrosidad sísmica para la región, proporcionando información crucial sobre las características espaciales y temporales de la deformación en este segmento de los Andes Centrales.



Depósitos cuaternarios con evidencias de deformación neotectónica, sur del valle de Lerma, Cordillera Oriental, Salta



Esteban Santiago Berteá

Geólogo

Facultad de Ciencias Naturales

Universidad Nacional de Salta

Realizó su Doctorado en Ciencias Geológicas en la escuela de postgrado de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta

Dirección: Dr. Walter Báez (IBIGEO, UNSa-CONICET, Argentina)

Codirección: Dr. Marcelo Arnosio (IBIGEO, UNSa-CONICET, Argentina)

Volcanismo cuaternario de composición riolítica en el extremo sur de la Sierra de Calalaste, Puna Austral: Dinámica de ascenso y emplazamiento de magmas riolíticos

Las erupciones riolíticas han despertado gran interés en la volcanología debido a su potencial explosivo y su impacto en la sociedad. Sin embargo, su dinámica eruptiva sigue siendo poco comprendida, en parte debido a la escasez de erupciones observadas directamente. En este contexto, los domos y *coulées* representan una manifestación del volcanismo efusivo riolítico, reflejando condiciones de alta viscosidad y baja tasa de emisión. Su formación y evolución están controladas por procesos como la desgasificación y las propiedades reológicas del magma, y pueden desarrollarse en diversos entornos geológicos. Estas formas volcánicas pueden representar fases efusivas dentro de la evolución de estructuras volcánicas poligenéticas. También pueden formar parte de erupciones que construyen edificios volcánicos monogenéticos espacialmente aislados o integrarse en campos volcánicos. Sin embargo, casos particulares de domos y *coulées* riolíticos no asociados a volcanes poligenéticos pueden desarrollar historias eruptivas complejas, incluyendo múltiples eventos efusivos, explosivos y/o efusivos/explosivos, a veces separados por periodos de reposo de miles de años.

A pesar de los avances en su estudio, su presencia en algunas regiones sigue siendo poco explorada, como en la Puna Austral (Andes Centrales).

Uno de los aspectos del volcanismo Neógeno-Cuaternario de la Puna Austral menos estudiado hasta el momento corresponde a la ocurrencia de domos y *coulées* riolíticos aparentemente no asociados a ningún centro volcánico poligenético mayor (e.g. los volcanes Cueros de Purulla y Chascón). En este trabajo se presenta una nueva cartografía y estratigrafía detallada de los volcanes Cueros de Purulla (VCDP) y Chascón (VCH), junto con información sobre la morfometría, texturas, petrografía, geoquímica, reología, dinámicas de ascenso-emplazamiento, higrotermobarometría y geocronología de los magmas de ambos volcanes. Los resultados obtenidos permiten definir al VCDP y VCH como complejos de domos y *coulées*, respectivamente, emplazados de manera efusiva en el extremo sur de la Puna Austral, Catamarca, sin actividad explosiva asociada. Nuevas dataciones absolutas obtenidas para ambos volcanes, que registran edades eruptivas entre los 100 ka y los 30 ka, permiten caracterizarlos como centros monogenéticos de comportamiento policíclico. Ambos volcanes presentan productos riolíticos con una pasta rica en microlitos (más abundantes en VCDP que en VCH) y con escasos fenocristales, presentes únicamente en el VCH. La evolución del volcán VCDP se dividió en tres fases: i) fase efusiva pre-colapso (~ 97,6 ka), ii) fase de colapso, representada por un depósito de avalancha de detritos y iii) fase efusiva post-colapso (~ 83,1 ka). Por otro lado, la evolución del volcán VCH consta de cuatro fases efusivas, dos de gran volumen y dos de menor volumen, con edades eruptivas estimadas que van desde los 62,8 ka a los 32,7 ka. Desde el punto de vista morfológico, el VCDP se caracteriza por la dominancia de domos, mientras que en el VCH prevalecen los *coulées*. Estas diferencias responden a variaciones en la viscosidad efectiva, atribuida principalmente al grado de participación de la fase de cristales en el fluido, siendo ambos valores mayores en el VCDP que en el VCH. Petrologicamente, los magmas de ambos volcanes exhiben una fuerte afinidad geoquímica y similitudes en los valores de sus parámetros intensivos (T, P y H₂O) con los de la fase eruptiva Campo de la Piedra Pómez del Complejo Volcánico Cerro Blanco, lo que sugiere un posible origen común, respaldado por su proximidad espacial y los datos geocronológicos en las edades de cristalización U-Th en circones.

Por último, se considera que los resultados aportados en esta tesis doctoral contribuyen al entendimiento del comportamiento eruptivo de los magmas riolíticos de la región. Esto permitirá mejorar el análisis del peligro volcánico y proporcionar información relevante para futuros estudios sobre el riesgo asociado.



Vista hacia el este del volcán Chascón (izquierda) y vista hacia el oeste del volcán Cueros de Purulla (derecha)
Puna Austral, Catamarca, Argentina



Emilio José Marcelo Criado Sutti

Lic. en Física

Facultad de Ciencias Exactas

Universidad Nacional de Salta

Realizó su Doctorado mixto en Riesgos Naturales y Estudios Geológicos de campo entre la Universidad Nacional de Tucumán y la Universidad de Potsdam

Dirección: Dra. Carolina Montero López (IBIGEO, UNSa-CONICET, Argentina) - Dr. Frank Krüger (Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, Alemania)

Sismicidad del valle de Lerma (Noroeste Argentino) y fenómenos de amplificación impulsados por campos de ondas

Esta tesis aborda la actividad sismotectónica y la estructura de la corteza del Valle de Lerma, en los Andes Centrales, mediante un enfoque multidisciplinario que integra el análisis de la microsismicidad, la obtención de imágenes estructurales y el modelado de la propagación de ondas. En primer lugar, se realiza un estudio detallado de la microsismicidad que incluye la localización precisa de eventos, la estimación de magnitudes, el análisis de mecanismos focales y la inversión del tensor de tensiones. Estos resultados permiten refinar la interpretación de las zonas tectónicamente activas y mejorar los modelos existentes al vincular la deformación sísmica con el comportamiento dinámico de estructuras en la corteza media e inferior.

En segundo lugar, la caracterización de discontinuidades corticales se fortalece mediante la combinación del análisis de funciones del receptor con tomografía de ruido ambiental derivada de correlación cruzada. Esta integración permite obtener modelos de velocidad locales en cada estación

sísmica, los cuales se utilizan para delinear con mayor resolución la variabilidad espacial de límites estructurales clave tanto en latitud como en longitud.

Finalmente, se desarrolla un marco teórico novedoso para describir la propagación de ondas cilíndricas elásticas en un semicilindro embebido en un semiespacio con propiedades físicas contrastantes. La solución analítica, derivada mediante una expansión en series de Fourier de un potencial delta, ofrece una expresión en forma cerrada para los coeficientes de Fourier y aporta nuevas perspectivas sobre la dinámica del frente de onda en medios geológicos complejos.

En conjunto, los resultados obtenidos proporcionan una visión más integral de los procesos sismotectónicos y de la heterogeneidad estructural de los Andes Centrales.



Elementos de una de las estaciones sísmicas instalada en el valle de Lerma. La red se compuso de 12 estaciones que funcionaron entre agosto de 2017 y setiembre de 2018. Izquierda: vista del sismómetro enterrado; derecha: panel solar que recarga una batería la cual alimenta de energía al sismómetro

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 15, edición especial aniversario, 2025

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina
Tel: 54 (0) 387 4931755
ibigeotemas@gmail.com