

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

ISSN 1853-6700

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

FICHAS TB&G NOA

Caí de las Yungas

NOTA BREVE

Quebrada de las Conchas

ARTÍCULOS

Biogeografía de los killis estacionales

Minería de litio y comunidades

Biomarcadores

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 16, Número 1, Abril 2026

ISSN 1853-6700

Comité Editorial

Silvana Geuna. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Florencia Reckziegel. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Soledad Valdecantos. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Natalia Zimicz. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

EDITORIAL

Pág. 1- Editorial

FICHAS DE TB&G NOA

Pág. 3 - Caí de las Yungas

NOTA BREVE

Pág. 4 - La Quebrada de Las Conchas y su pasado volcánico: del caos a la belleza

MF Quiroga, E Bustos, A Villagrán, E Barrabino, M Arnosio

ARTÍCULOS

Pág. 10 - Biogeografía y evolución de los killis estacionales de Sudamérica

S Portelli, F Alonso, WS Serra Alanís, G Terán, MM Montes, LE Krause Lanés, M Vieira Volcan

Pág. 20 - Minería de litio en Argentina: entre promesas de desarrollo e injusticias

M Escosteguy

Pág. 31 - Biomarcadores: la química que guarda memoria de la vida

G Valenti

Foto de tapa: Lavas almohadilladas de la quebrada de Las Conchas, Salta. MF Quiroga

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

Editorial

Estimados lectores,

El conocimiento científico del territorio es el pilar fundamental sobre el cual se construyen políticas públicas de protección ambiental y desarrollo sostenible. Hemos vuelto a escuchar este concepto con fuerza en los últimos meses, en el marco del debate que precedió a la modificación de la Ley 26.639 de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial, más conocida como “Ley de Glaciares”. Esa ley se aprobó en 2010 luego de una larga discusión técnica en la que jugó un papel importante el CONICET, a través del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), designado responsable de la realización del inventario y monitoreo del estado de los glaciares y del ambiente periglacial en el territorio nacional. La modificación aprobada recientemente a la ley flexibilizó las restricciones a las actividades extractivas, ya que limitó la protección a las áreas con “función hídrica comprobable”. Más allá de esto, que es considerado por muchos como un retroceso en la política de protección de las reservas estratégicas de agua dulce, el (intento de) debate puso nuevamente en el tapete la importancia de contar con un conocimiento científico de base al cual recurrir para establecer políticas que tiendan al bien común. En este caso, se trataba de reconocer a los glaciares y al ambiente periglacial como reservas estratégicas de recursos hídricos, esenciales para el consumo humano, la agricultura y el mantenimiento de ecosistemas. El CONICET, a través del IANIGLA, identifica y monitorea estos recursos utilizando entre otras herramientas la geomorfología y la teledetección.

No pasa desapercibido que la modificación impuesta a la Ley de Glaciares se hace para facilitar la explotación de ciertos recursos mineros situados en zonas periglaciares. Si bien situadas en zonas remotas, en las altas cumbres, esas zonas cumplen una importante función como reservas de agua que aportan a las cuencas hídricas. La preocupación por el agua como recurso esencial está en la carpeta de las comunidades locales. Así lo cuenta desde la antropología social Melisa Escosteguy en su artículo de este número de la revista Temas BGNOA, donde se refiere al delicado entramado de relaciones entre las comunidades, las empresas mineras, en este caso dedicadas a la explotación de litio, y el estado en su pretendido rol de agente de control.

Por otro lado, Sabrina Portelli y colaboradores elaboran un modelo biogeográfico de acuerdo al cual la distribución actual de especies de killis, peces estacionales de la cuenca del Paraná, se ha

diseñado como respuesta a múltiples variables ambientales en una escala de tiempo hasta geológica. Que las comunidades de peces dependan de tantos factores nos recuerda que la preservación de la biodiversidad requiere ineludiblemente conocer lo mejor posible estas variables. Nuevamente entonces, el conocimiento científico es la base sobre la cual diseñar las políticas públicas de protección ambiental.

Hay más en este número: Griselda Valenti continúa con su serie sobre la geoquímica, presentando ahora el uso de los biomarcadores como “cápsulas del tiempo”, para reconstruir ambientes antiguos y la evolución de las cuencas. Entre sus usos, son guía para la exploración de hidrocarburos, y también para rastrear la contaminación ambiental en suelos y aguas.

Mirta Quiroga y colaboradores confeccionaron una nota breve sobre la geología de la Quebrada de Las Conchas, introduciéndonos al pasado volcánico de esta región y reconstruyendo antiguos paisajes de lagos y ríos que interactuaron con el magma erupcionado. Aquí, este conocimiento científico le da valor agregado a los paisajes a través del geoturismo y la educación.

Completamos el número con una ficha preparada por Vanessa Bustamante acerca del Caí de las Yungas, especie vulnerable que habita ecosistemas amenazados, y para cuya conservación son claves las áreas de reserva en Jujuy y Salta.

En síntesis, desde la preservación de reservorios hídricos en ambientes de alta montaña hasta la exploración de recursos estratégicos o la reconstrucción de la historia biológica, la investigación en bio y geociencias proporciona la evidencia necesaria para la toma de decisiones informadas que aseguren un desarrollo sostenible.

Creemos que el número contiene muchas invitaciones a la reflexión, y esperamos que los lectores se sientan atraídos por ellas. ¡Que lo disfruten!

Comité Editorial

Temas de Biología y Geología del NOA

Silvana Geuna

Florencia Reckziegel

Soledad Valdecantos

Natalia Zimicz

Vanessa Bustamante Manrique¹¹ Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa-CONICET); e-mail: v.bustamantemanrique@gmail.com

Caí de las Yungas (*Sapajus cay*)

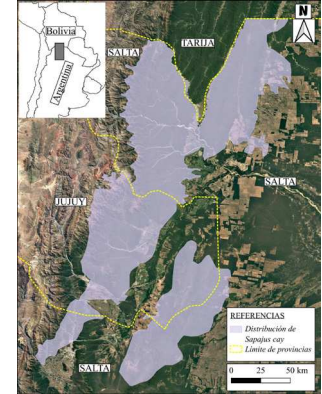
Clasificación: Clase Mammalia; Orden Primates; Familia Cebidae; Subfamilia Cebinae



Figura 1: Juvenil macho *Sapajus cay*, San Francisco, Jujuy
Foto: Carlos Andrés Ramírez.

El mono caí de las Yungas *Sapajus cay* (también conocido como Capuchino de Azara, mono Caí bayo, *hooded capuchin*) posee una longitud corporal de aproximadamente 37 cm y una cola de 43 centímetros. En machos adultos, la altura total (hocico - punta de la cola) alcanza los 0,8 metros. La especie presenta un ligero dimorfismo sexual en el tamaño corporal, pero muy

marcado en el peso: los machos oscilan entre 1,3 y 4,8 kg, mientras que las hembras pesan entre 1,4 y 3,4 kg, rangos que reflejan variaciones según las clases de edad dentro de la categoría de adulto. Presentan penachos o copetes frontales que terminan de desarrollarse con la madurez sexual. El pelaje es marrón con tonalidades variables; las extremidades y la corona son más oscuras, y se distinguen "bandas preauriculares oscuras" (patillas) frente a las orejas. Su cola es gruesa, musculosa y semi- prensil. Es omnívoro oportunista; se alimenta de frutos y semillas (componente mayoritario), néctar y diversas partes de plantas, invertebrados (insectos y arácnidos) y pequeños vertebrados (aves, lagartos, anfibios y roedores). En Argentina, su distribución abarca las provincias de Salta y Jujuy. Habita primordialmente las Yungas y la Selva Pedemontana, con una notable transición hacia el Chaco Húmedo. La especie exhibe una alta plasticidad



conductual y flexibilidad ecológica, permitiéndole ocupar desde bosques de galería y selvas húmedas hasta sabanas y áreas del Pantanal. Biogeográficamente, el río Paraná funciona como una barrera de especiación alopátrica que separa a *S. cay* (margen derecha/oeste) de *S. nigritus* (margen izquierda/este). Estructuran grupos de 12 a 44 individuos bajo una jerarquía liderada por un macho alfa y un núcleo de hembras emparentadas. Las hembras alcanzan la madurez a los 4-5 años y los machos a los 8 años. Tras una gestación de 160-180 días, nace una cría que es transportada por la madre hasta los 6 meses. Su longevidad es de 30 años en libertad y hasta 50 en cautiverio.

Estado de conservación: La especie está categorizada a nivel nacional como Vulnerable (VU). Las amenazas críticas incluyen: Deforestación y fragmentación por agricultura industrial (soja), incendios forestales de alta intensidad, caza para el mercado ilegal de mascotas (mascotismo). Áreas naturales protegidas donde habita en el NOA: Parque Nacional Calilegua (Jujuy), Parque Nacional El Rey (Salta), Parque Nacional Baritú (Salta). Es una de las especies menos estudiadas en Argentina. La mayoría de la información proviene de estudios de otras especies del género *Sapajus* o de otras regiones. Existen vacíos en ecología comportamental, uso del espacio y respuestas a disturbios. Las poblaciones de Jujuy y Salta son clave para la conservación nacional, al representar el límite de distribución de la especie. La escasez de estudios específicos en Argentina limita la comprensión de cómo las poblaciones responden a la fragmentación de las Yungas. Este ecosistema está altamente amenazado, es prioritario investigar el comportamiento, la ecología espacial y la adaptación a disturbios para orientar estrategias de conservación.



Figura 2: Juvenil *Sapajus cay*, San Francisco, Jujuy

La Quebrada de Las Conchas y su pasado volcánico: del caos a la belleza

Mirta Fátima Quiroga¹, Emilce Bustos¹, Agustina Villagrán¹, Emilio Barrabino¹, Marcelo Arnosio¹

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa - CONICET); e-mail: fatima2690@gmail.com

La Quebrada de las Conchas (Figuras 1 y 2), en la provincia de Salta, es famosa mundialmente por sus paisajes rojizos y sus caprichosas formas rocosas. Sin embargo, más allá de su belleza turística, este lugar esconde las huellas de un pasado violento y fascinante que se remonta a unos **77 millones de años**, en pleno período Cretácico. En aquel entonces, la región no era el valle árido que conocemos hoy, sino un escenario de ríos serpenteantes, lagos poco profundos y, sobre todo, una intensa actividad volcánica que hoy los geólogos logramos reconstruir a partir del estudio de las rocas.

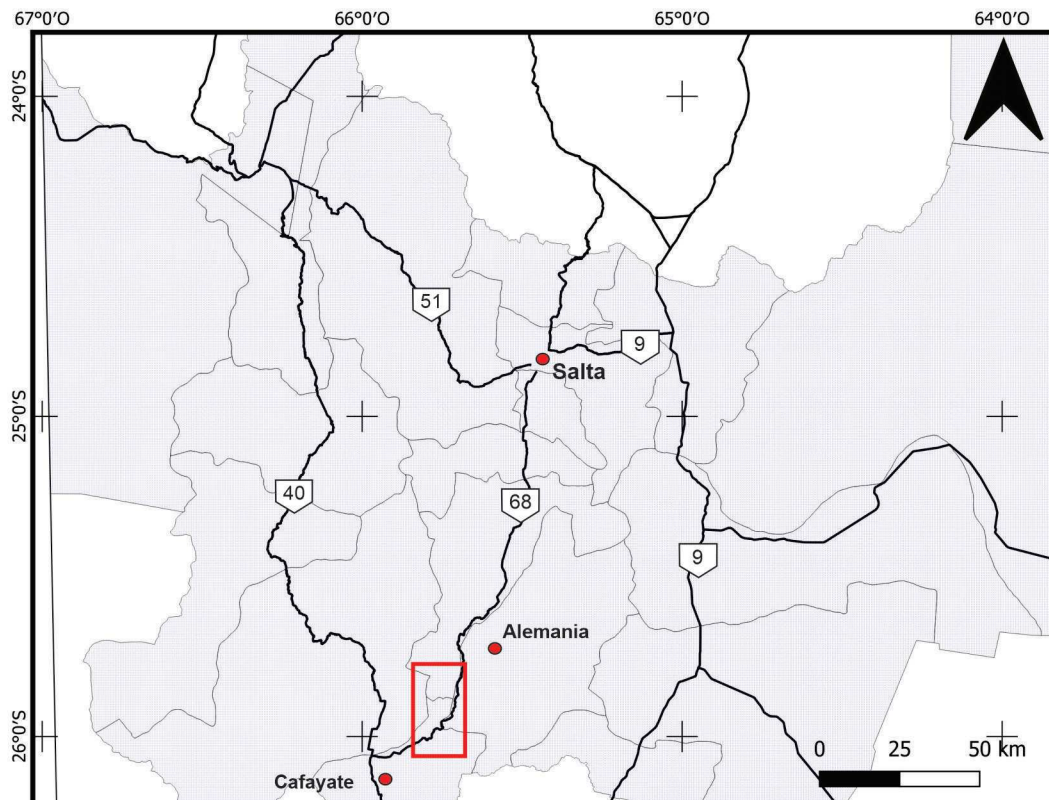


Figura 1. Ubicación del área de estudio (recuadro rojo) entre las localidades de Alemania y Cafayate. Provincia de Salta.

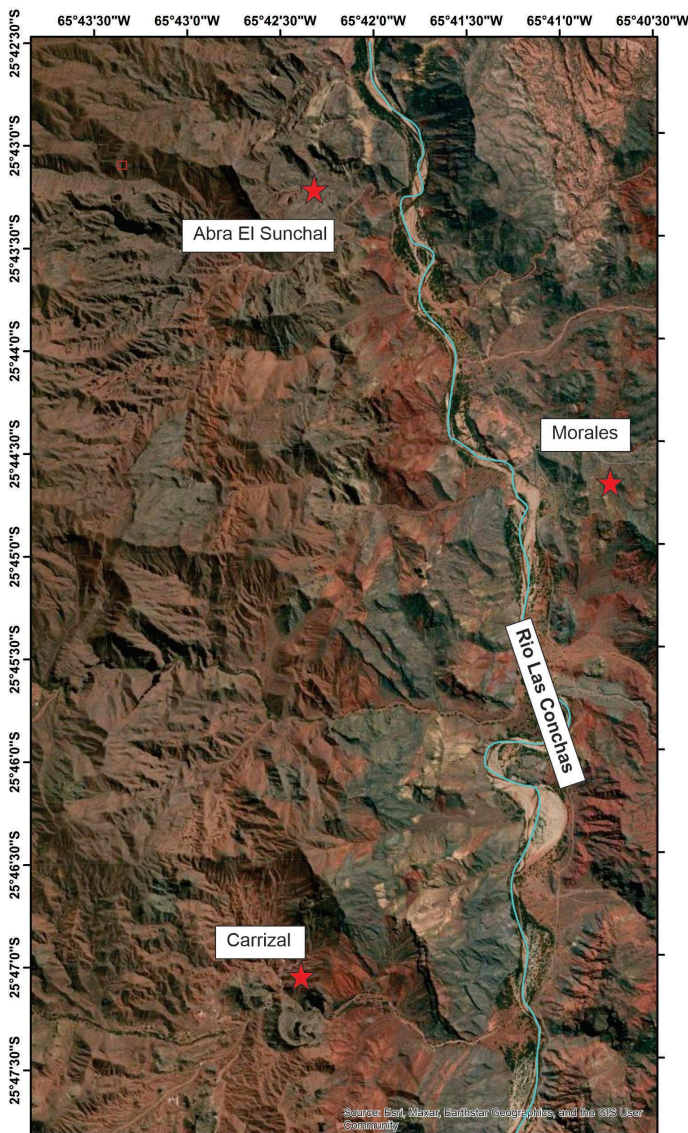


Figura 2. Quebrada de las Conchas (Subcuenca de Alemania): El Carrizal, Morales y Abra El Sunchal son los sitios donde fueron estudiados en detalle los afloramientos de roca volcánica, volcanoclástica y sedimentaria.

Extensión terrestre y un cóctel explosivo

Todo comenzó con un proceso geológico llamado *rift*. Imaginemos que la corteza de la Tierra comenzó a estirarse y agrietarse, debido al hundimiento de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana. Este estiramiento permitió que el magma (roca fundida) del interior del planeta encontrara un camino hacia la superficie en lo que hoy llamamos la subcuenca de Alemania (Figura 2).

Pero el magma no estaba solo. Las investigaciones recientes demuestran que el agua jugó un papel fundamental en la forma en que estos volcanes entraron en erupción. Cuando el magma, a temperaturas altísimas, se encontraba con el agua de los acuíferos subterráneos o de los ríos, se producía un fenómeno llamado **hidromagmatismo** (Figura 3). Es, básicamente, un cóctel explosivo: el agua se transforma instantáneamente en vapor, aumentando su volumen de forma brutal y fragmentando el magma en mil pedazos.

Detective de rocas: Reconstruyendo el paisaje

El desafío de la geología es que el tiempo y los movimientos de la tierra suelen desordenar o borrar las pistas. Sin embargo, la Quebrada de las Conchas tiene una preservación excepcional. Durante varios años se realizaron campañas de trabajo en la zona, principalmente en Abra El Sunchal, Puente Morales y Carrizal (Figura 2). En estas áreas se describieron los afloramientos de roca en detalle y se observaron las relaciones entre cuerpos de rocas. Estos estudios permitieron definir tres tipos de *facies* principales: volcánicas coherentes, volcanoclásticas y sedimentarias.

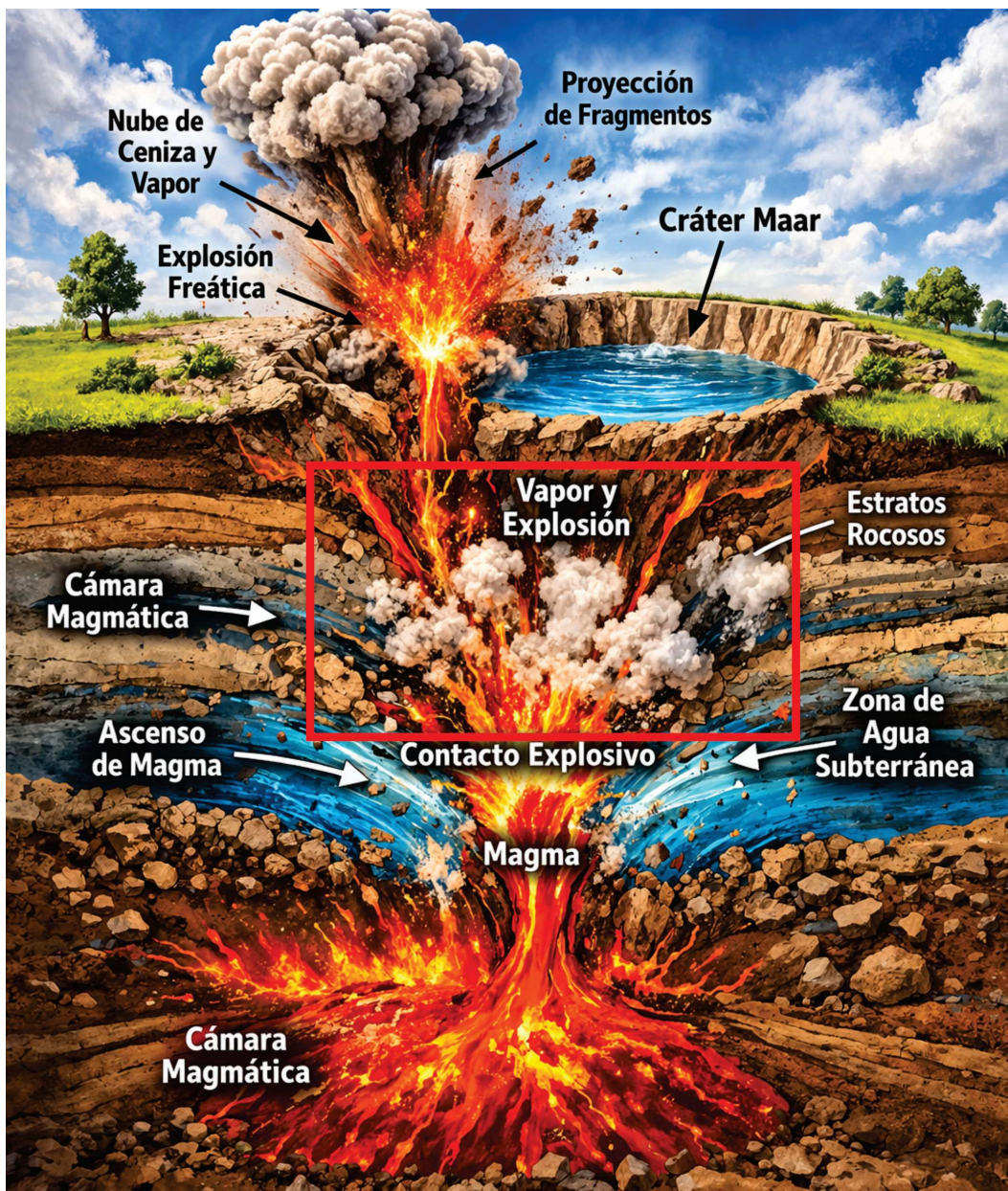


Figura 3. Esquema conceptual de una erupción tipo "Maar-Diatrema" mostrando el encuentro del magma con el agua subterránea y la formación del cráter. El recuadro rojo indica el lugar donde se formaron las rocas de las figuras 4 a y b. Imagen generada con IA.

El término *facies* aplica a un cuerpo de roca con características macroscópicas y microscópicas definidas que son diagnósticas y que en asociación con otras facies permiten interpretar cómo se formó esa unidad de roca. Por ejemplo, en sucesiones antiguas como ésta, un cuerpo de lava se reconoce por contener una facies volcánica coherente (el cuerpo de lava) y una facies volcanoclástica que la rodea (la brecha que acompaña y se forma por el avance del flujo de lava).

Aplicando esta metodología de trabajo, y comparando con otros estudios a lo largo del mundo, pudimos identificar coladas de lavas en manto (tipo pahoehoe), coladas de lavas almohadilladas (*pillow lavas*) y estructuras maar-diatremas (Figura 3). En nuestro estudio, observamos que todas estas unidades volcánicas partían del mismo magma (basanítico) de origen profundo, pero su

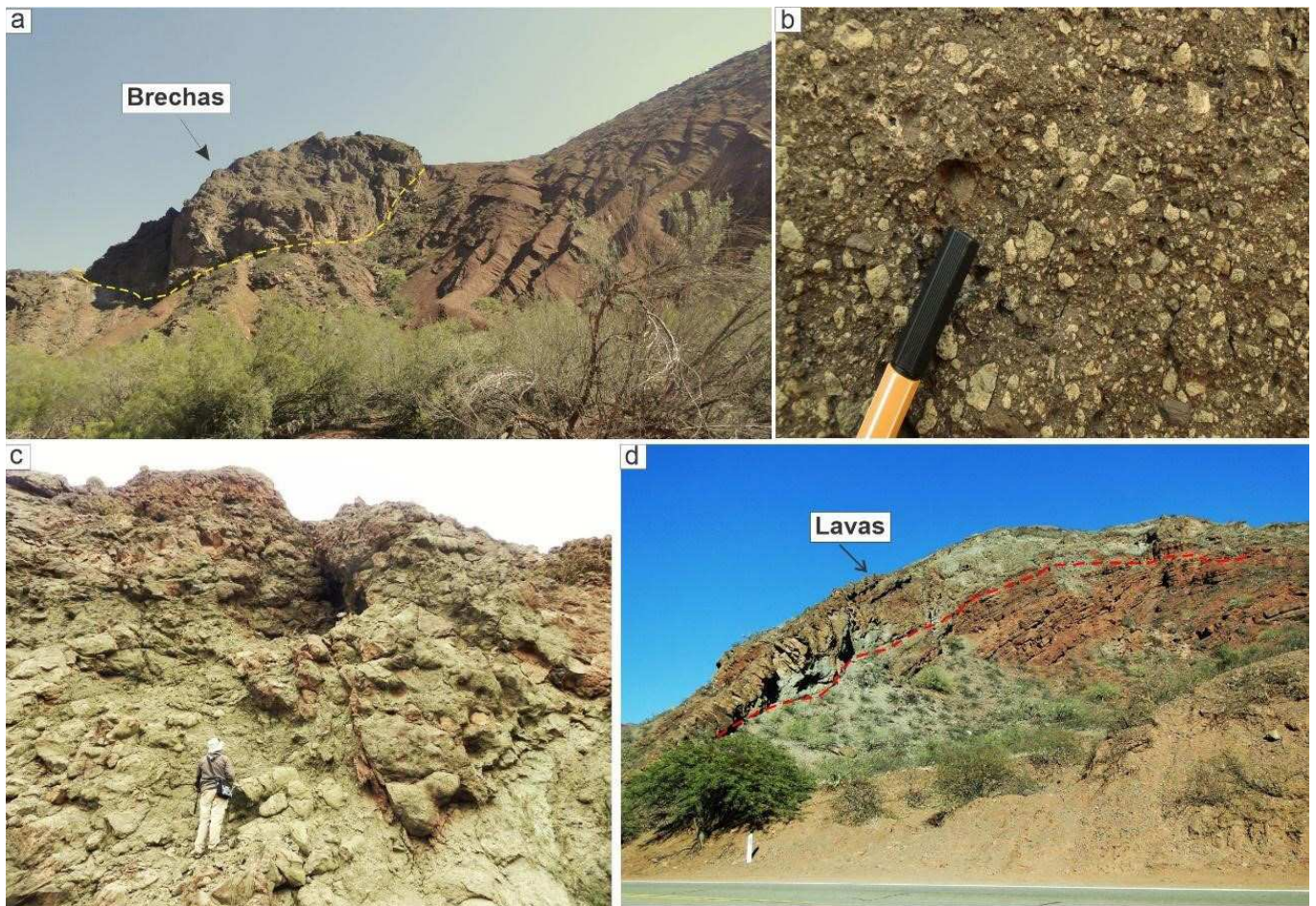


Figura 4. Registros geológicos preservados en la Quebrada de Las Conchas. a) Brechas volcánicas remanentes de una estructura maar-diatrema. Notar la estructura caótica de la brecha (izquierda) en comparación con los bancos planos apilados y subparalelos de la sucesión sedimentaria rojiza (derecha). b) Detalle de la brecha volcánica conformada por fragmentos de roca basanítica (clastos juveniles verdes) dispersos en matriz arenosa. c) Afloramiento de *pillow lavas*. Apilamiento de tubos de lavas en la vertical. d) Coladas de lavas intercaladas en sedimentitas de ríos.

expresión en superficie era distinta. En este sentido, interpretamos que las condiciones hidrológicas (presencia de agua) del ambiente subsuperficial y superficial, presencia de acuíferos, disponibilidad de agua en los ríos y lagos de aquel entonces, fueron factores externos que condicionaron el modo de expresión de estas unidades volcánicas. Es un recordatorio de cómo el entorno moldea incluso los procesos más poderosos de la Tierra.

¿Cómo eran estos antiguos volcanes?

A diferencia de los grandes volcanes con forma de cono que vemos en la Cordillera, estos eran volcanes *monogenéticos* (ver [Guzmán y Montero 2011. Temas B&GNOA, vol. 1, nº1](#)). Esto significa que eran pequeños, de vida corta y que a menudo dejaban como huella grandes cráteres llamados *maars*, rodeados por anillos de ceniza y fragmentos de roca (Figura 3).

En nuestro estudio a lo largo de la Quebrada de las Conchas, identificamos registros geológicos de estos campos monogenéticos:

- **Diatremas:** Son como chimeneas rellenas de una mezcla caótica (brechas) de fragmentos volcánicos y rocas locales que fueron arrancadas por la fuerza de las explosiones (ejemplo en Carrizal, Figura 3 y 4 a, b).

- **Lavas en almohadilla (*pillow lavas*):** Cerca de la zona de Puente Morales, encontramos rocas que parecen almohadones de piedra. Esta morfología de rocas se forma cuando la lava incandescente entra en contacto con el agua fría e inmediatamente se genera una corteza exterior vítrea que tiene el aspecto de un caparazón de tortuga (poliedros de 6 o 4 lados y roca verde). El empuje dentro de esta corteza de nueva lava incandescente, provoca que se rompa y surja nueva lava que se infla al salir generando este aspecto de lóbulos. Este proceso continuo genera apilamiento de tubos de lavas almohadillados con corteza tipo caparazón de tortuga. Esta forma tan particular solo se produce cuando la lava fluye directamente dentro de un lago como es el ejemplo estudiado en la Quebrada de Las Conchas, pero también puede ocurrir en los fondos oceánicos cuando la lava surge de grietas en la corteza oceánica (Figuras 4 c y 5).

- **Coladas de lavas:** En las etapas finales, cuando el agua ya se había agotado o el magma fluía con más fuerza, las erupciones se volvían más “tranquilas”, formando extensas coladas de lava que avanzaban por el paisaje (Ej, En Abra El Sunchal, Fig. 4 d y 6).

¿Por qué es importante esto?

Comprender estos sistemas volcánicos antiguos no es solo una curiosidad científica. Nos permite entender mejor la evolución del **rift** desarrollado en el Noroeste Argentino, un evento clave en la historia geológica de Sudamérica.

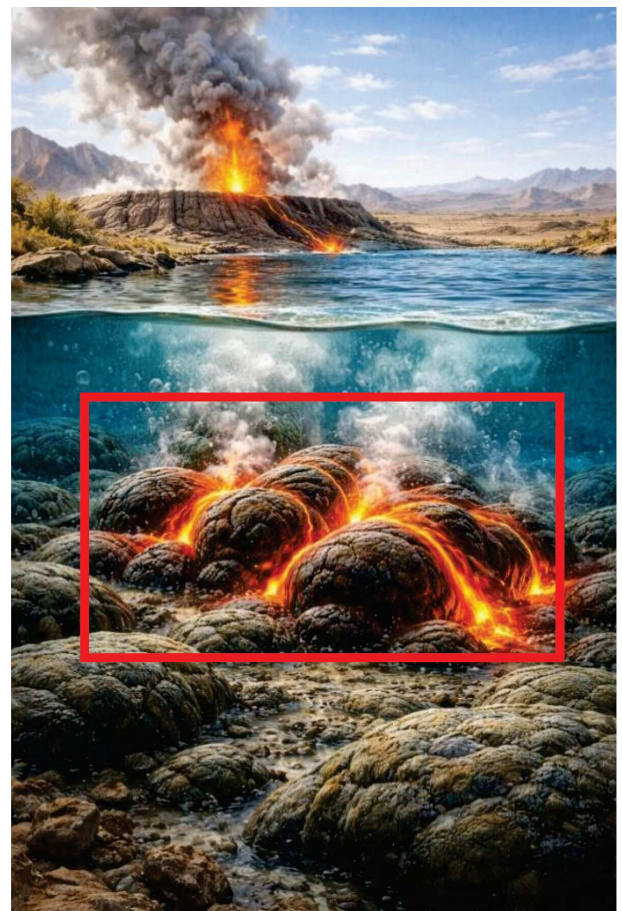


Figura 5. Formación de lavas en almohadilla (*pillow lavas*). El recuadro rojo muestra el apilamiento de tubos de lava y morfología de la figura 4 c. Imagen generada con IA.

Además, nos ayuda a interpretar cómo la actividad volcánica puede alterar el curso de los ríos y cambiar los ecosistemas (Figura 6), algo que sigue ocurriendo hoy en otras partes del mundo.

La próxima vez que recorra la Quebrada de las Conchas, lo invitamos a mirar más allá del rojo y verde de los cerros y a imaginar ese mundo de explosiones de vapor, lagos antiguos y lava avanzando entre los ríos (Figura 6). Es una historia escrita en rocas que apenas estamos terminando de leer.



Figura 6. Reconstrucción del paisaje del Cretácico: ríos meandrosos, coladas de lavas y *maars*. El recuadro rojo indica el emplazamiento de coladas de lavas en sedimentos de ríos como en la figura 4 d. Imagen generada con IA.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y CITADA

GUZMÁN S, C MONTERO. 2011. Los volcanes de la Puna Austral. [Temas de Biología y Geología del NOA, 11\(1\): 32-39.](#)

MARQUILLAS RA, C DEL PAPA, IF SABINO. 2005. Sedimentary aspects and paleoenvironmental evolution of a rift basin: Salta Group (Cretaceous–Paleogene), northwestern Argentina. *International Journal of Earth Sciences*, 94: 94-113.

QUIROGA MF, M ARNOSIO, E BUSTOS, N SALADO PAZ, R BECCHIO, A VILLAGRÁN, O ARENAS. 2026. Reconstructing volcanic architecture through eruptive style and spatial analysis: Cretaceous rift volcanism in the Alemania subbasin, Salta, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 174: 105981.

VIRAMONTE JG, SM KAY, R BECCHIO, M ESCAYOLA, I NOVITSKI. 1999. Cretaceous rift-related magmatism in central-western South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 12: 109-121.

Biogeografía y evolución de los killis estacionales de Sudamérica

Sabrina Portelli¹, Felipe Alonso^{1,2}, Wilson Sebastián Serra Alanís^{2,3}, Guillermo Terán^{2,4}, Martín Miguel Montes^{2,5}, Luis Esteban Krause Lanés⁶, Matheus Vieira Volcan⁶

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

²Killifish Foundation, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

³Sección Ictiología, Dpto. de Zoología, Museo Nacional de Historia Natural, Montevideo, Uruguay. serraalbicho@gmail.com

⁴Unidad Ejecutora Lillo (UEL, CONICET-Fundación Miguel Lillo). San Miguel de Tucumán, Argentina. guilloteran@gmail.com

⁵Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (CEPAVE, UNLP - CONICET), La Plata, Argentina.

⁶martinmiguelmontes@gmail.com

⁶Instituto Pro-Pampa (IPPampa), Laboratorio de Ictiología. Pampiana Consultoría Ambiental, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil. lelanes@gmail.com; matheusvolcan@hotmail.com

Este trabajo de divulgación se basa en el estudio científico de Portelli et al. (2026) que reconstruye la historia evolutiva de uno de los grupos de peces más singulares de Sudamérica: los killis estacionales del Grupo de Géneros *Austrolebias* (GGA). La investigación fue realizada por un equipo de científicos de la Fundación Killifish, el CONICET y diversas universidades públicas de Argentina, junto a colegas de Brasil y Uruguay (Museo Nacional de Historia Natural, MNHN). El estudio muestra cómo cambios geológicos, climáticos y ambientales ocurridos durante millones de años moldearon la diversidad actual de estos pequeños peces que habitan charcas temporarias de la cuenca del Plata.

Muchas veces nos preguntamos cómo fue la historia de la vida en la Tierra y por qué existe tanta diversidad a nuestro alrededor. ¿Por qué algunas especies viven solo en ciertos lugares? ¿Qué relación hay entre el paisaje, el clima y la forma de vida de los organismos? Estas preguntas no son nuevas. Hace más de 150 años, Charles Darwin ya se sorprendía al observar cómo los seres vivos cambiaban de un lugar a otro en Sudamérica. Sus observaciones sobre la distribución de plantas y animales fueron clave para comprender que la vida no es estática, sino que evoluciona en estrecha relación con el ambiente. A partir de los grandes viajes de exploración y del trabajo comparativo de campo, los investigadores comenzaron a preguntarse por qué las especies no están distribuidas al azar en el planeta, sino que forman patrones regionales bien definidos. En este contexto, científicos como Alexander von Humboldt demostraron que la vegetación se relaciona con el clima y la altitud, mientras que Alfred Russel Wallace evidenció que la fauna se organiza en regiones separadas por barreras geográficas e históricas. Estas ideas cobraron pleno sentido con la teoría de la evolución

de Darwin y Wallace, que permitió interpretar la distribución de los seres vivos como resultado de la historia evolutiva, la dispersión y el aislamiento. Así, la biogeografía se consolidó como una disciplina fundamental de la biología, que busca reconstruir la historia compartida entre la Tierra y los seres vivos. A través de ella podemos entender por qué ciertas especies habitan determinados lugares y cómo desarrollaron adaptaciones que les permiten sobrevivir en ambientes muy distintos.

Los peces killis estacionales del llamado Grupo de Géneros *Austrolebias* (GGA), que incluye a los géneros *Austrolebias*, *Argolebias*, *Amatolebias*, *Matilebias*, *Gymnolebias*, *Acantholebias*, *Megalebias*, *Titanolebias*, *Acrolebias*, *Cypholebias* y *Garcialebias*, constituyen un ejemplo extraordinario de la relación entre geografía y vida. Estos pequeños peces habitan charcas temporarias del sur de Sudamérica, que aparecen con las lluvias y desaparecen durante la estación seca. Allí desarrollaron un ciclo de vida tan sorprendente como eficaz: crecen rápidamente, se reproducen en pocas semanas y dejan huevos enterrados en el suelo, capaces de resistir meses sin agua hasta que el charco vuelve a llenarse. La historia de este grupo de peces no es solo la historia de un pez, sino también la historia de ríos que cambiaron su curso, cambios en el clima y paisajes que se transformaron a lo largo del tiempo.

El Grupo de Géneros de *Austrolebias* (GGA) reúne hoy a más de 50 especies distribuidas en la gran cuenca del Plata y regiones vecinas. Estas especies se agrupan en distintos géneros, cada uno con especies con características y distribuciones particulares. (Figura 1).

Pero... ¿cómo es posible reconstruir una historia tan compleja?

Para hacerlo, se realizó un estudio que combinó tres piezas clave:

- árboles evolutivos que muestran el parentesco entre las especies (Figura 2),
- dataciones temporales basadas en evidencia fósil que permiten ubicar los eventos de divergencia en esos árboles en el tiempo, y
- evidencia geológica que revela cómo cambió el paisaje sudamericano a lo largo de millones de años.

Grupo de Géneros de *Austrolebias* (GGA): es un grupo de géneros de peces estacionales sudamericanos que están estrechamente emparentados entre sí. No es una categoría taxonómica formal (como familia), sino un agrupamiento práctico usado para referirse a este conjunto de géneros relacionados.

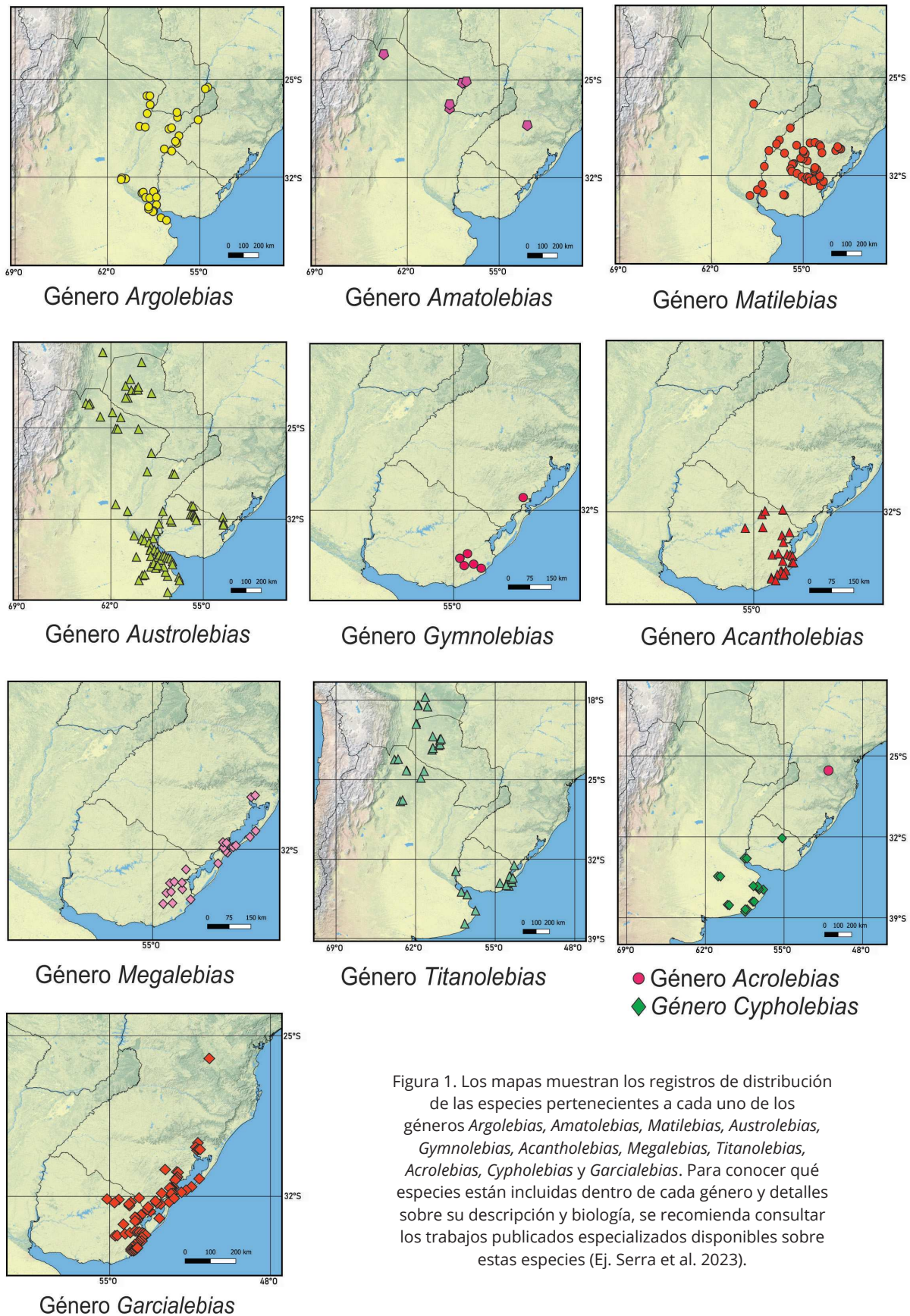


Figura 1. Los mapas muestran los registros de distribución de las especies pertenecientes a cada uno de los géneros *Argolebias*, *Amatolebias*, *Matilebias*, *Austrolebias*, *Gymnolebias*, *Acantholebias*, *Megalebias*, *Titanolebias*, *Acrolebias*, *Cypholebias* y *Garcialebias*. Para conocer qué especies están incluidas dentro de cada género y detalles sobre su descripción y biología, se recomienda consultar los trabajos publicados especializados disponibles sobre estas especies (Ej. Serra et al. 2023).

En ese cruce entre evolución, geografía y clima se reconstruye la historia de cómo fueron cambiando las áreas donde viven las distintas especies a lo largo de millones de años, en un grupo tan particular como los peces estacionales del Grupo de Géneros *Austrolebias*.

Los árboles evolutivos con fechas estimadas y los modelos permiten “probar” distintos escenarios sobre qué factores —como antiguas incursiones del mar, movimientos de la corteza terrestre o cambios climáticos— influyeron en la diversificación del grupo. Para entender los resultados sin perder el hilo, primero se presentan las herramientas y las ideas clave. Luego se recorre, paso a paso, la historia evolutiva y geográfica de estos peces.

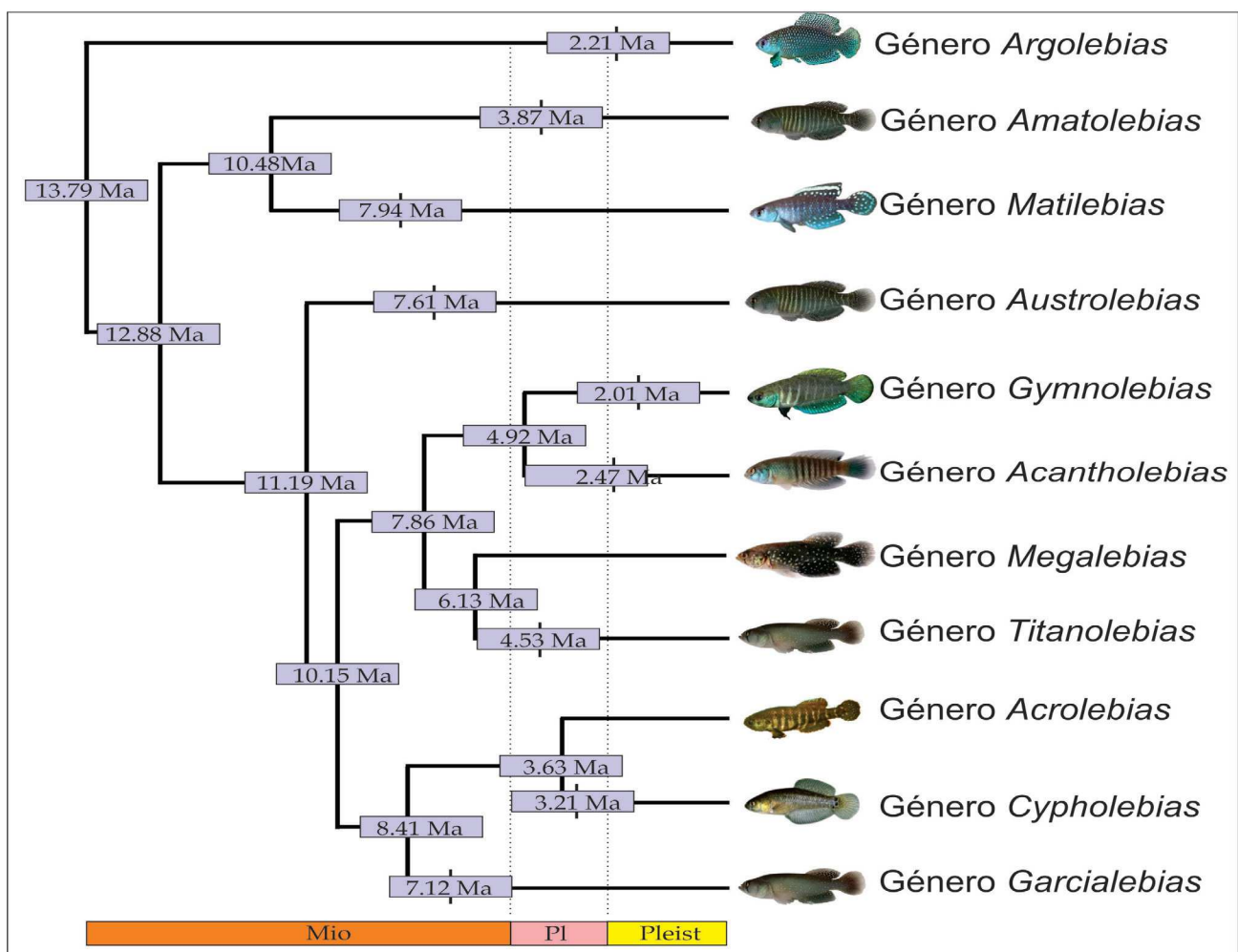


Figura 2. Árbol filogenético calibrado del Grupo de Géneros de *Austrolebias* (GGA). El diagrama muestra las relaciones entre los distintos géneros de peces anuales. Un árbol filogenético es una representación gráfica que ilustra cómo diferentes grupos de organismos están emparentados entre sí a partir de ancestros comunes. Cada rama representa una línea evolutiva y cada nodo indica un punto donde una población ancestral se dividió dando origen a nuevos grupos, géneros o especies. En este caso se trata de un árbol filogenético calibrado en el tiempo, lo que significa que además de mostrar las relaciones de parentesco también estima cuándo ocurrieron las divergencias evolutivas. Por ello, en cada nodo se indica la edad aproximada en millones de años (Ma) en la que comenzó la diversificación de los distintos géneros y las líneas de las ramas indican a partir de qué año comenzaron a diversificar las especies de cada género. En la figura, las abreviaturas Mio, Pl y Pleist corresponden a los períodos Mioceno, Plioceno y Pleistoceno, respectivamente.

Filogenia calibrada: es un árbol evolutivo (representado como árboles o cladogramas) que muestra hipótesis de parentesco entre especies. Es decir, qué especie está emparentada con qué otra especie y en qué orden se separaron sus linajes. Se construye comparando secuencias de ADN y, cuando está calibrado en el tiempo, permite estimar cuándo ocurrieron esas separaciones y relacionarlas con eventos del pasado.

Comienzo de la historia

Para reconstruir el origen y la expansión de estos peces se utilizan modelos de evolución de áreas: herramientas probabilísticas que permiten reconstruir cómo cambiaron las áreas de distribución de las especies a lo largo del tiempo. Estos modelos permiten evaluar procesos como la dispersión entre regiones, la fragmentación por la aparición de barreras (vicarianza) y la expansión o contracción de los rangos de distribución, y comparar distintos escenarios históricos alternativos (Figura 3).

En este estudio se evaluaron distintos escenarios, entre ellos:

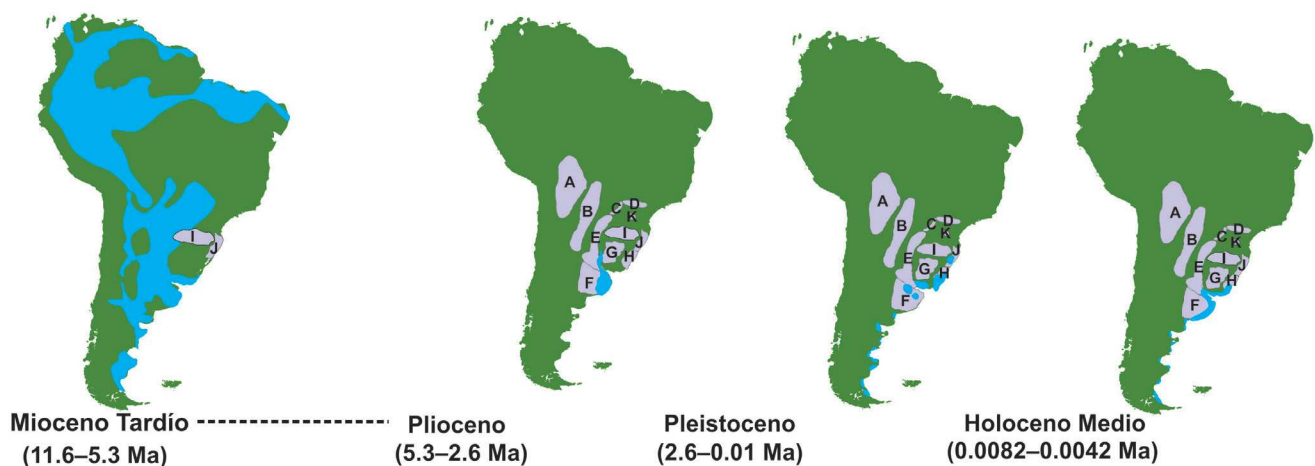


Figura 3. Áreas de distribución de las especies asociadas a transgresiones marinas de Sudamérica. Se ilustra una reconstrucción hipotética de cómo pudieron haber cambiado las áreas biogeográficas de distribución de las especies ancestrales de peces anuales a lo largo del tiempo geológico. Los mapas muestran diferentes momentos desde el Mioceno tardío, pasando por el Plioceno y el Pleistoceno, hasta el Holoceno medio. Las áreas marcadas con letras representan regiones ancestrales donde se habrían distribuido las poblaciones de estos peces (A: Región chaqueña occidental, B: Región chaqueña oriental, C: Cuenca media del Paraná, D: Cuenca baja del Iguazú, E: Bajo Uruguay, F: Región pampeana austral, G: Cuenca del río Negro, H: Laguna Merin, I: Negro-Ibicuí, J: Lagoa dos Patos, K: Alto Uruguay). Durante algunos períodos del pasado, el nivel del mar fue más alto que el actual y produjo transgresiones marinas (representadas en color celeste), es decir, avances del mar sobre zonas continentales. Estos eventos inundaron grandes áreas de las planicies del sur de Sudamérica, fragmentando o modificando los ambientes de agua dulce.

1) Avance y retroceso del mar durante el Mioceno tardío (11,6-5,3 Ma)

La historia de GGA comienza hace unos 11,6 millones de años, durante el Mioceno tardío. En ese período, el nivel del mar había elevado, inundando zonas bajas del continente en repetidos pulsos conocidos como intrusiones marinas. Una de las más importantes fue el Mar Paranense, que inundó vastas regiones de la planicie Chaco-pampeana (Figura 3).

Mientras extensas áreas quedaron bajo el agua marina, algunos sectores permanecieron emergidos, como partes de la actual Laguna Merín y la Lagoa dos Patos, en Uruguay y el sur de Brasil. Estos ambientes habrían funcionado como refugios de agua dulce, actuando como verdaderos "islotas continentales" donde las GGA pudieron sobrevivir, persistir y comenzar a diversificarse. Esta interpretación se basa en evidencia geológica sobre las intrusiones marinas y en la persistencia de áreas emergidas que luego en nuestra reconstrucción biogeográfica se identifican como un área ancestral de GGA. Un punto clave es que este avance del mar aisló poblaciones que antes podían estar conectadas, dando lugar a un proceso clave de la evolución conocido como vicarianza, lo que con el tiempo puede dar origen a nuevas especies.

2) El retroceso del mar durante el Plioceno (5,3-2,6 Ma) y Pleistoceno (2,6-0,01 Ma): fragmentación y aislamiento

Posteriormente, cuando el mar comenzó a retirarse hacia el este, algunas de estas áreas quedaron nuevamente conectadas por ambientes de agua dulce, permitiendo la dispersión de los linajes resultantes. Sin embargo, este proceso también generó nuevas configuraciones espaciales y

La **vicarianza** es el proceso en el cual una población ancestral, se divide en dos subpoblaciones como consecuencia de la formación de una barrera geográfica. Las dos poblaciones evolucionan por separado, debido a que posiblemente estén sometidas a condiciones ambientales diferentes, dando como resultado dos especies diferentes.

La **dispersión** se explica cuándo:

- Los factores climáticos y geográficos fueron favorables, los organismos expandieron su área de distribución geográfica de acuerdo con sus capacidades de dispersión o vagilidad.
- Los organismos han ocupado todo el espacio geográfico o ecológico disponible, su distribución se estabilizó. Este período permitió el aislamiento espacial de las poblaciones en distintos sectores del área.

ecológicas, promoviendo tanto la reconexión como el aislamiento de poblaciones, lo que contribuyó a la diversificación del grupo.

3) El Holoceno medio: mares fugaces y paisajes cambiantes

Durante el Holoceno medio, el mar volvió a avanzar en varias ocasiones, asociado a los periodos interglaciares, cuando el deshielo de los casquetes polares elevó el nivel de los océanos. Una de las transgresiones más recientes fue el llamado Mar Querandí, ocurrido hace entre 7500 y 4000 años atrás.

Este mar ingresó por el estuario del Río de la Plata y avanzó río arriba por el Paraná hasta la actual provincia de Entre Ríos. Al retirarse, dejó un paisaje heterogéneo: sedimentos salinos que modificaron la química del agua en bañados y zonas bajas. Estos cambios habrían actuado como un filtro ecológico negativo para grupos sensibles a la salinidad, como en las especies de GGA, restringiendo su presencia a los pocos ambientes de agua dulce que quedaron aislados y favoreciendo su diferenciación en esos refugios.

4) La tierra también se mueve: ríos que cambian de rumbo

Pero no todo en esta historia depende del mar. A lo largo de millones de años, la tectónica —los movimientos y deformaciones de la corteza terrestre impulsados por su dinámica interna— elevó terrenos, reactivó fallas y modificó el trazado de muchos ríos. Por eso, los cursos de agua no siempre fueron como los vemos hoy: algunos cambiaron de dirección, se unieron con otros o quedaron separados por cambios del relieve. Cuando cuencas que antes estaban aisladas se conectaban, los peces y otros organismos acuáticos podían pasar de un sistema a otro y colonizar nuevos ambientes; cuando esas conexiones se interrumpían, las poblaciones quedaban aisladas y seguían su propia trayectoria evolutiva. En síntesis, los cambios en el “camino” de los ríos a veces actuaron como puentes biológicos y otras veces como barreras.

Un caso emblemático es el del río Iguazú. La formación de las Cataratas del Iguazú, hace unos 2 millones de años (Pleistoceno), actuó como una barrera infranqueable que reforzó el aislamiento de ciertas poblaciones. Como resultado, especies como *Argolebias adrianae* de la cuenca del Iguazú y *Argolebias guarani* que habita muy cerca en Misiones pero en la cuenca del Paraná, quedaron aisladas entre sí en sus respectivas áreas (Figura 4).

Así, la distribución actual de los GGA no es el resultado de un único evento, sino de una compleja combinación de procesos que actuaron a distintas escalas de tiempo:

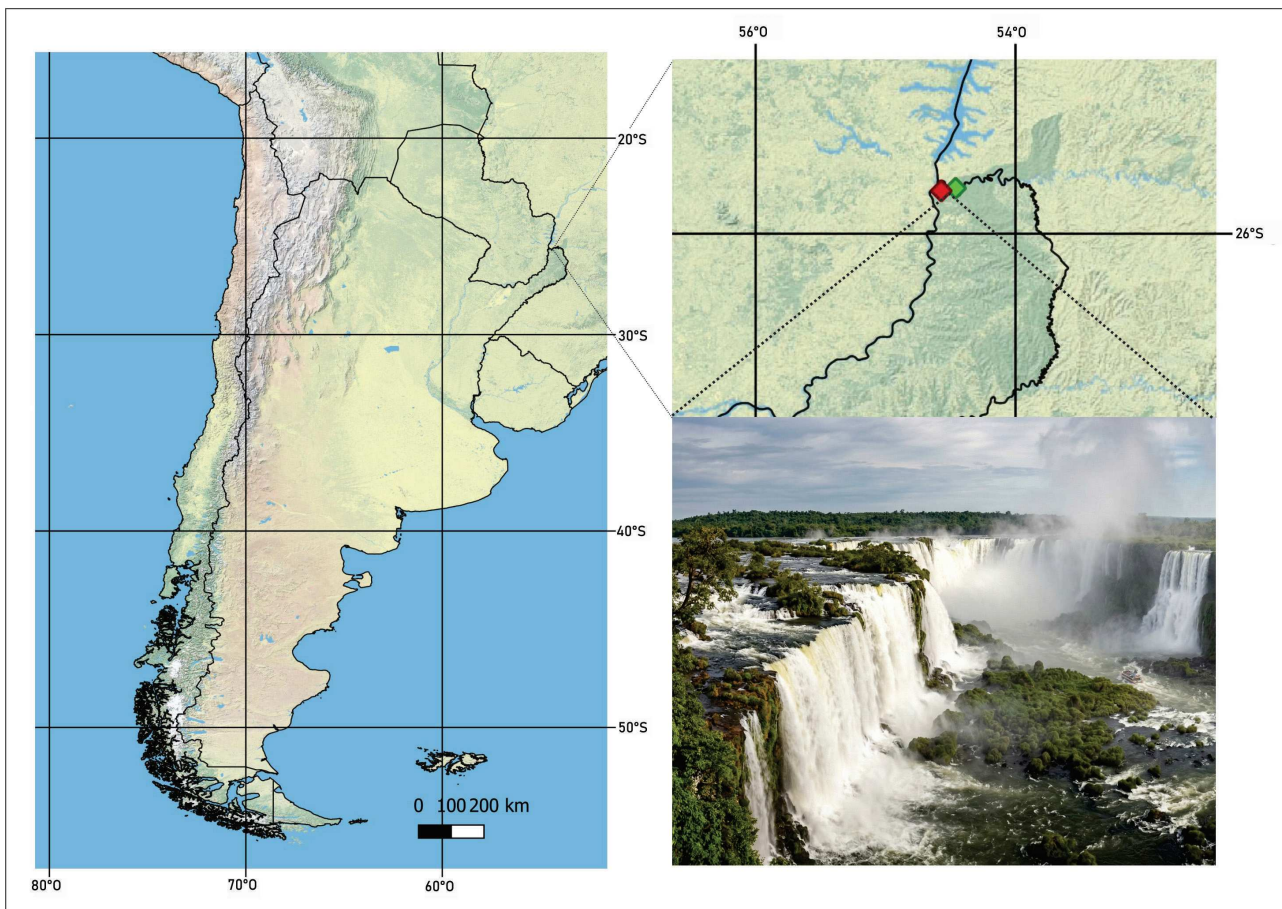


Figura 4. Ejemplo de aislamiento geográfico entre especies cercanas. El rombo rojo indica la distribución de *Argolebias adrianae*, mientras que el rombo verde señala la presencia de *Argolebias guarani*. Aunque ambas especies se encuentran geográficamente próximas, la presencia de las Cataratas del Iguazú constituye una barrera natural dentro del sistema fluvial que limita la conectividad entre poblaciones. Este patrón ilustra cómo el aislamiento geográfico puede favorecer la diferenciación entre especies cercanas.

- los avances y retrocesos del mar,
- los movimientos tectónicos que remodelaron el paisaje,
- los cambios en el clima y en los regímenes de lluvias, y
- la propia biología de estos peces.

CURIOSIDAD

Muchas veces existe el interés de saber cómo fue la Tierra hace millones de años. Para verlo, paleontólogos desarrollaron un mapa interactivo que permite observar la evolución de la Tierra a lo largo de las eras geológicas. Este mapa permite observar la ubicación de cualquier ciudad que se desea en un rango de 600 millones de años a la actualidad.

Para viajar al pasado haz click en el siguiente link:

<https://dinosaurpictures.org/ancient-earth#600>

La diversificación del Grupo de Generos de *Austrolebias* refleja una dinámica histórica de conexiones y aislamientos repetidos en paisajes de humedales temporarios. Ningún proceso único explica todo el patrón. La evidencia apunta a múltiples factores actuando en conjunto. La interacción secuencial de intrusiones marinas, tectónica, reorganización de drenajes y fluctuaciones climáticas generó la mezcla de dispersión, variancia y especiación local (formación de nuevas especies dentro de una misma región geográfica) observada.

Este grupo único de peces no solo permite reconstruir la historia geológica y ambiental de Sudamérica, sino que también actúa como un indicador sensible de los cambios en sus ecosistemas. En la actualidad, diversos estudios científicos señalan que muchas de sus especies están siendo afectadas por la pérdida y degradación de hábitats, la transformación de humedales por actividades humanas y los efectos del cambio climático, procesos que están reduciendo y fragmentando sus ambientes y podrían comprometer su persistencia a largo plazo.

Proteger a los GGA implica conservar mucho más que pequeños peces de charcas temporarias: significa preservar un archivo viviente de millones de años de historia, donde la evolución, el clima y la geografía quedaron escritos en forma de biodiversidad.

Nos esforzamos para que se comprenda que proteger nuestra biodiversidad requiere una inversión sostenida en conocimiento. Creemos necesario remarcarlo especialmente en un contexto muy difícil para la ciencia argentina, en que la falta de financiamiento puede causar la discontinuidad de líneas de investigación como ésta.

.....
PARA SEGUIR EXPLORANDO
.....

Quienes quieran conocer más sobre la diversidad, evolución y conservación de estos peces pueden consultar los siguientes artículos de divulgación:

ALONSO F, P CALVIÑO, W SERRA, I GARCÍA. 2020. Peces bajo tierra. Peces estacionales que pueden pasar la mayor parte de su vida enterrados, joyas de nuestra naturaleza. [Temas de Biología y Geología del NOA, 10 \(1\): 5-26.](#)

CALVIÑO P, WS SERRA, I GARCÍA, G TERÁN, JA BARNECHE, MM MONTES, F ALONSO. 2023. Una nueva especie de pez killi de ambientes acuáticos temporarios del noreste de Argentina que impacta por sus iridiscencias turquesas: *Argolebias guarani*. Documentos de Divulgación del Museo Nacional de Historia Natural, 14: 1-6. <https://www.mna.gub.uy/innovaportal/file/3419/1/14.final-espanol.pdf>.

SERRA WS, G TERÁN, P CALVIÑO, JA BARNECHE, MM MONTES, I GARCÍA, F ALONSO. 2023. Descubriendo los secretos de los killis sudamericanos: nuevos géneros y su evolución. Documentos de Divulgación del Museo Nacional de Historia Natural, 13: 1-6. <https://www.mna.gub.uy/innovaportal/file/3419/1/13.final-espanol.pdf>.

BIBLIOGRAFÍA

ACEÑOLAZA FG. 2000. La Formación Paraná (Mioceno medio): estratigrafía, distribución regional y unidades equivalentes. En: Aceñolaza FG, R Herbst (eds.), El Neógeno de Argentina. Correlación Geológica, 14: 9-27.

ALONSO F, P CALVIÑO, G TERÁN, I GARCÍA. 2020. ¡Un pez único en peligro de extinción! BioMas, 5: 56-59.

ALONSO F, GE TERÁN, WS SERRA ALANÍS, P CALVIÑO, MM MONTES, ID GARCÍA, JA BARNECHE, A ALMIRÓN, L CIOTEK, P GIORGIS, J CASCIOTTA. 2023. From the mud to the tree: phylogeny of *Austrolebias* killifishes, new generic structure and description of a new species (Cyprinodontiformes: Rivulidae). Zoological Journal of the Linnean Society, 20: 1–30. <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlad032>.

MAGNUSSEN SAFFER M. 2005. Transgresiones y Regresiones Marinas en la Región Pampeana. Boletín Paleontológico, 3 (11): 32-35.

PORTELLI S, WS SERRA ALANÍS, LE KRAUSE LANÉS MM MONTES, GE TERÁN, MV VOLCAN, F ALONSO. 2026. Historical biogeography of the diverse Neotropical seasonal killifishes of the *Austrolebias* Genus Group: Potential environmental drivers of diversification. Zoologischer Anzeiger, 321: 345-358. <https://doi.org/10.1016/j.jcz.2026.02.006>.

Minería de litio en Argentina: entre promesas de desarrollo e injusticias

Melisa Escosteguy¹

¹Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSa - CONICET); e-mail: meliescosteguy@gmail.com

Minería de litio y transición energética

Frente a la urgencia por mitigar los efectos del cambio climático, se ha comenzado a desarrollar una transición que busca reemplazar fuentes de energía fósiles por otras más sustentables. A nivel global y nacional se han intensificado políticas orientadas a reducir las emisiones de carbono y a la producción de tecnologías “verdes”. Si bien la transición energética es clave para alcanzar los objetivos climáticos, estas tecnologías verdes dependen de la extracción de ciertos elementos como el litio, el cobalto y el níquel. La extracción de estos elementos puede generar injusticias y profundizar procesos de acaparamiento de tierras, desposesión y daño ambiental (Kramarz et al. 2021).

Utilizado en la fabricación de baterías para vehículos eléctricos y para acumular energía proveniente de fuentes renovables como solar o eólica, el litio se ha convertido en un elemento crítico. En el año 2025, el 88% de la producción mundial de litio fue destinada a la fabricación de baterías (USGS 2026) y se espera que para 2040 la demanda mundial de litio triplique los niveles actuales (ILiA 2025). Alrededor del 50% de las reservas de litio del mundo se localizan en Argentina, Bolivia y Chile, en un espacio que se ha denominado “triángulo del litio”.

Argentina es actualmente el quinto productor mundial de litio y existen más de 60 proyectos en distintas etapas de operación (ver Figura 1). En el país, el litio es extraído de salmuera en los salares altoandinos de la región de la Puna (ver [de la Hoz et al. 2013. Temas B&GNOA, vol. 13, n°3](#); [López Steinmetz et al. 2018. Temas B&GNOA, vol. 18, n°3](#)) y suele ser presentado por los gobiernos nacional y provinciales como un motor para el desarrollo local y el crecimiento económico. Sin embargo, estos discursos son cuestionados por las comunidades indígenas y pastoriles que habitan en las cercanías de los proyectos mineros. Los proyectos mineros se superponen con tierras de pastoreo, cursos de agua y caminos comunitarios, es decir, con territorialidades que poseen trayectorias

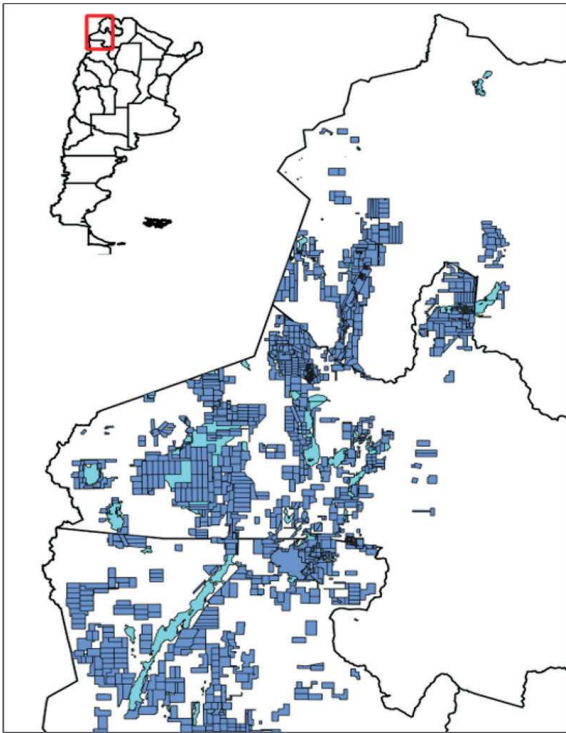


Figura 1. Concesiones mineras para proyectos de litio (azul) y salares (celeste) en las provincias de Salta, Jujuy y Catamarca. Fuente: Escosteguy et al. (2025).

históricas y significaciones culturales propias. En muchos casos, las comunidades afectadas reclaman que las actividades mineras no han mejorado su calidad de vida y las preocupaciones ambientales han aumentado en los últimos años.

Basado en mi investigación doctoral, este artículo explora qué experimentan las comunidades que conviven con la minería de litio, cómo operan las relaciones de poder en estos territorios y qué formas de acción o estrategias comunitarias emergen en respuesta al avance de los proyectos de litio en la región. Al hacer esto, el artículo pone en tensión visiones reduccionistas sobre la minería de litio e invita a comprender la complejidad de las relaciones entre comunidades afectadas e industrias extractivas.

Investigar en comunidades afectadas

Mi investigación doctoral se basó en trabajos de campo etnográficos realizados entre los años 2019 y 2023 en comunidades afectadas por la minería de litio en los departamentos de Susques, en la provincia de Jujuy, y de Antofagasta de la Sierra, en Catamarca. Los casos de estudio fueron seleccionados debido a que al momento de comenzar el trabajo de campo eran los únicos departamentos con proyectos mineros de litio en producción. Además, en ambos casos habitan comunidades indígenas y pastoriles y existen tensiones entre las empresas mineras, las comunidades

El término **comunidades afectadas** en minería se refiere a los grupos de personas que viven en el área de influencia de un proyecto minero y que experimentan cambios directos o indirectos en el territorio que habitan y en sus modos de vida debido a la actividad minera. El término es utilizado por organismos internacionales como la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y estándares internacionales de buenas prácticas mineras como la *Initiative for Responsible Mining Assurance* (IRMA), el *European Financial Reporting Advisory Group* (EFRAG), y el *International Council on Mining and Metals* (ICMM). Existe un consenso entre estos organismos y estándares internacionales y en la literatura sobre el tema de que las comunidades afectadas constituyen grupos a los cuáles se les debe prestar especial atención para garantizar políticas estatales y corporativas que reduzcan al mínimo posible el impacto negativo en estas comunidades.

afectadas y los Estados provinciales. Algunas de las comunidades afectadas consideradas en el trabajo de campo pueden verse en la Figura 2. Los trabajos de campo fueron orientados por los enfoques de la ecología política y la justicia energética.



Figura 2. Algunas comunidades afectadas incluidas en el trabajo de campo. a) Villa de Antofagasta de la Sierra, departamento de Antofagasta de la Sierra. b) Antofalla, Departamento de Susques. c) Vega Huaichar, Comunidad Atacameños del Altiplano, Departamento de Antofagasta de la Sierra. d) Huancar, Departamento de Susques. e) Vista de la ciudad de Susques, Departamento de Susques.

La **ecología política** es un enfoque interdisciplinario que se focaliza en el estudio de las relaciones y luchas de poder que condicionan el acceso a y el uso de los recursos naturales. En el estudio de los sistemas energéticos, la ecología política ha abordado las relaciones de poder y las injusticias estructurales que se encuentran en la base de la transición energética.

El marco de la **justicia energética** se pregunta quiénes se benefician y quiénes sufren los costos de las transiciones energéticas. Este marco permite hacer evaluaciones normativas y empíricas y cuestionar la desigualdad en el sector energético para avanzar hacia formas más éticas y democráticas de transición energética.

Entre las preocupaciones centrales de la ecología política y la justicia energética se encuentra el interés en (a) los estudios situados, (b) el acceso conflictivo a los recursos naturales y las diferencias de poder, (c) la creación de “ganadores y perdedores”, (d) los distintos discursos que compiten en torno a la extracción de un recurso, (e) las visiones del mundo que son consideradas como legítimas, y (f) los efectos actuales del colonialismo en los procesos extractivos.

Durante los trabajos de campo realicé entrevistas, mantuve conversaciones informales con miembros de las comunidades y participé en eventos públicos, como fiestas patronales y audiencias públicas sobre proyectos mineros. Los datos empíricos fueron complementados con fuentes secundarias y todo el material fue analizado utilizando MAXQDA Analytics Pro, un software para el análisis de datos cualitativos. Este análisis me permitió identificar aquellos procesos, eventos o situaciones vinculados a la minería de litio que las comunidades afectadas consideran injustos o desleales, y las estrategias desplegadas para vincularse con la minería de litio.

Realizar trabajo de campo en comunidades afectadas implicó para mí construir lazos de confianza a lo largo del tiempo, priorizar sentidos locales de justicia y visibilizar las perspectivas y reclamos de quienes conviven cotidianamente con la extracción de litio. Siguiendo la postura de la ecología política y la justicia energética, asumí que la presencia de un investigador en el campo nunca es neutral y que las relaciones de poder que atraviesan el contexto de investigación requieren una reflexión permanente sobre mi rol en el campo. Es por ello que en este artículo incorporo las visiones de las comunidades afectadas a través de fragmentos de entrevistas y relatos etnográficos, asegurándome de que sus visiones y perspectivas sean protagonistas.

El discurso del desarrollo y su contracara local

En un documento publicado por el gobierno de Jujuy, titulado “Derribando mitos sobre el agua y el litio”, el litio es propuesto como una salvación: un elemento que permitirá a países como Argentina salir de grandes crisis económicas y que va a salvar al planeta de la degradación ambiental (Gobierno de Jujuy 2023). Al igual que los gobiernos provinciales, las empresas mineras suelen presentar al litio dentro de discursos de desarrollo y oportunidad. Sin embargo, en las comunidades que conviven con la minería de litio este discurso se enfrenta a una realidad distinta.

En diciembre de 2021 visité Olaroz Chico, la comunidad más cercana a los proyectos mineros del departamento de Susques (Figura 3). Ahí conocí a Juana¹, una vecina que años atrás había montado un pequeño emprendimiento gracias a un programa de capacitación y financiamiento impulsado por una empresa minera de la zona. Su idea original era aprovechar la llegada de las empresas mineras para capacitarse, tener un emprendimiento que le permitiera subsistir en su comunidad y enviar a sus hijos a estudiar a la ciudad. Las expectativas de Juana con respecto a los beneficios que traería la empresa fueron mermando con el tiempo. Cuando la visité, llevaba cuatro meses sin cobrar por los servicios que seguía prestando. La empresa justificaba la falta de pago con problemas

¹ Todos los nombres utilizados en este artículo son ficticios para mantener el anonimato de los interlocutores.



Figura 3. Vista del Salar de Olaroz (atrás) desde la comunidad de Olaroz Chico.

administrativos menores que nadie se encargaba de resolver. Además, había intentado gestionar con la empresa la conexión de gas natural a la escuela del pueblo, dado que el gasoducto que abastece a la planta pasa justo por enfrente de la comunidad, pero la respuesta fue que eso era obligación del Estado. Si bien, efectivamente, garantizar el acceso a servicios es una tarea que corresponde al Estado, al igual que Juana, muchos de mis interlocutores se mostraron muy expectantes en que las empresas mineras pudieran contribuir a mejorar el acceso a servicios en la zona. Un habitante de Susques expresó esto con la frase *"el gobierno se olvidó de nosotros, quizás por la falta de recursos"* y argumentó que desde la comunidad de Susques intentan obtener beneficios de la minería de litio, entre ellos, mejoras en las condiciones de la calidad de vida y el acceso a servicios.

En línea con los reclamos de Juana, las quejas y demandas más frecuentes que recogí en ambos casos de estudio estaban vinculadas a las condiciones de trabajo precarias y la discriminación laboral. Esto se debe a que los miembros de las comunidades afectadas suelen emplearse en tareas temporales y no calificadas o en la prestación de servicios. Además, he recogido muchos reclamos vinculados al acceso deficiente a derechos y servicios básicos como electricidad, gas natural, salud y educación. Por ejemplo, en el caso del departamento de Antofagasta de la Sierra, al momento de realizar el trabajo de campo, las comunidades de Antofalla y Los Nacimientos sólo tenían luz eléctrica entre las 18 y las 23 horas a partir de un generador diésel.

En ambos casos de estudio, las comunidades afectadas perciben que su participación en la toma de decisiones sobre los proyectos mineros es limitada o nula. En el departamento de Susques, los procesos de consulta fueron cuestionados desde el inicio: muchas comunidades denunciaron que no recibieron información comprensible, que los plazos para revisar y responder a los Informes de Impacto Ambiental eran demasiado cortos, y que las reuniones para tomar decisiones sobre los proyectos se realizaban en la capital provincial sin financiamiento estatal para garantizar la participación local. Como me dijo Mónica, una habitante de Susques, *"las reuniones avanzan, aun si no está la gente, los plazos suelen apurar"*.

En Antofagasta de la Sierra, la situación fue distinta ya que la provincia organizó proyectos de consulta y audiencia pública en los que las comunidades podían participar (ver Figura 4). Esta participación, sin embargo, se limitaba a realizar algunas preguntas y escuchar acerca de los Informes de Impacto Ambiental sin la posibilidad de intervenir demasiado durante la audiencia ni de decidir sobre la aprobación o rechazo del proyecto. A medida que avanzaban los procesos de consulta, la gente fue perdiendo la expectativa de ser escuchada, *"¿para qué vamos a ir si no hay oídos?"*, me dijo una mujer de la villa de Antofagasta de la Sierra antes de una de las audiencias públicas. En ambos territorios, la falta de participación real en la toma de decisiones no es percibida únicamente como un problema procedimental, sino como una forma de no reconocimiento. Muchos de mis

Figura 4. Proceso de consulta y audiencia pública llevado adelante en la comunidad de Ciénaga Redonda, en el Departamento de Antofagasta de la Sierra.



interlocutores tenían la sensación de que no eran considerados sujetos capaces de decidir sobre el futuro de sus propios territorios.

A estos reclamos se sumaron las quejas por la distribución desigual de regalías, el aumento de los impactos ambientales, el acceso limitado a la información ambiental, la corrupción por parte de autoridades municipales y disrupción de los modos de vida locales (Escosteguy et al. 2024). Un reclamo especialmente significativo tiene que ver con los impactos ambientales sobre el agua, reclamos que se repiten en Argentina en torno a la extracción de otros elementos como oro y plata (ver [Kirschbaum y Murray 2011. Temas B&GNOA, vol. 1, nº1](#)). En la Puna, el agua es un recurso limitado y a la vez importantísimo para las comunidades pastoriles que crían ganado para la subsistencia. La tecnología evaporítica de extracción de litio requiere grandes volúmenes de salmuera y agua dulce (Díaz Paz et al. 2025), y sus efectos sobre el balance hídrico de los salares generan grandes preocupaciones. Juana me contó que *"nadie sabe cómo puede quedar el salar"*, una preocupación que se repite en ambos casos con frases locales como *"el salar se está secando"* o *"antes había arbustos y ahora no hay nada"*. Frente a estas quejas, las empresas y los gobiernos suelen responder con estudios, muchos de ellos muy rigurosos, pero las comunidades afectadas aún no tienen acceso a esa información de manera comprensible, lo cual genera desconfianza. Un habitante de Susques muy crítico de la minería de litio me dijo que él suele recordarles a las empresas que deben *"hablar respecto a mi lengua, no venir con palabras técnicas porque yo no entiendo"*.

Aún mencionando las quejas y demandas que referí más arriba, algunos de mis interlocutores consideraban que con la llegada de las empresas hubo algunas mejoras. Por ejemplo, comentaron que se construyó una escuela secundaria en el departamento de Antofagasta de la Sierra, que mejoró la conectividad a internet en algunas comunidades, y que las empresas mineras aportan fondos para algunos emprendimientos y eventos locales. Sin embargo, estas mejoras son percibidas como insuficientes frente a las ganancias que obtienen las empresas mineras. *"Yo no tengo estudios, pero me doy cuenta de que sacan mucho dinero y acá dejan sobras"*, me dijo una vecina de Antofagasta de la Sierra.

Estrategias locales para lidiar con la minería de litio

Frente a este panorama de quejas y reclamos, que muchos caracterizan como injusticias, las comunidades afectadas no reaccionan de una única manera. Gobiernos provinciales y empresas mineras suelen pensar su relación con las comunidades a partir de categorías binarias que definen

a la gente de la zona como “pro-minera” o “anti-minera”. Esta simplificación tiene consecuencias políticas concretas ya que oscurece la complejidad de las posiciones comunitarias y dificulta el diálogo.

Lo que mi investigación revela es que las comunidades afectadas están involucradas en procesos micropolíticos situados, dinámicos, a veces contradictorios, para intentar hacer frente a las injusticias mencionadas más arriba. Estos procesos incluyen negociaciones individuales y colectivas con empresas y gobiernos, reclamos en medios de comunicación, alianzas con organizaciones nacionales e internacionales, cortes de ruta y demandas legales.

Un ejemplo de estos procesos micropolíticos pude verlo en la fiesta patronal de Susques de 2023. La fiesta se desarrolla a lo largo de una semana y participan todas las instituciones de Susques y de las comunidades cercanas. Durante los días previos al evento principal –la procesión en honor a la Virgen de Belén– las comunidades participan en juegos y eventos tradicionales (un ejemplo de esto puede verse en la Figura 5). Como me dijo un habitante de la zona, la fiesta “*es el tiempo para los niños de aprender sobre su cultura*” y reforzar lazos familiares e identitarios. Pero es también un espacio de negociación. Las comunidades invitan a las empresas mineras, las hacen partícipes y sponsors del festejo y, en ese mismo acto, mantienen abiertos canales para la discusión.



Figura 5. Desfile de ropas típicas. Susques, enero de 2023.

Estos procesos los comprendí mejor conversando con un habitante de Susques cuando le consulté si consideraba que las contribuciones de las empresas mineras a las comunidades estaban desplazando la figura del Estado. Me respondió que el gobierno y la comisión municipal pueden dar respuesta a algunas cuestiones precisas, *"pero si tenés que resolver algo y es macro, [le pedís a] la mina"*, argumentando que desde las comunidades afectadas no consideran que el Estado provincial pueda resolver sus demandas más estructurales.

De forma similar, en el departamento de Antofagasta de la Sierra, los procesos de consulta pública implementados desde 2021 se convirtieron en espacios micropolíticos centrales para las comunidades afectadas. Si bien estos procesos fueron pensados por el gobierno provincial y las empresas mineras para discutir los Informes de Impacto Ambiental de proyectos específicos, las comunidades los resignificaron y los utilizaron como la única oportunidad disponible para dialogar con autoridades y empresas, presentar quejas y negociar mejoras en sus condiciones de vida. En esos eventos se demandaron electricidad, atención médica, infraestructura escolar y acceso a internet, y en algunos casos los reclamos derivaron en acuerdos concretos. Al mismo tiempo, las audiencias públicas también fueron escenario de tensiones internas: mientras algunas personas pedían más y mejores empleos en la minería, otras insistían en que la actividad debería también sostener y financiar la ganadería, argumentando que *"la minería no va a ser para siempre"*.

La aceptación y la oposición a la minería de litio no son, entonces, posiciones estáticas. Son procesos que se reformulan continuamente dependiendo de las nociones locales de justicia, el ejercicio de poder y los procesos micropolíticos en los que se involucra la comunidad. Elena, de la comunidad Atacameños del Altiplano, lo expresó con claridad en un proceso de consulta: *"No somos antimineros, defendemos la tierra (...) Nosotros dijimos que queremos que la minería dé trabajo. Si nosotros no nos hubiéramos parado, muchos de los antofagasteños no hubieran podido trabajar"*. La oposición que emerge en este contexto no es necesariamente a la minería de litio en sí misma, sino a la forma injusta en la que algunos miembros de comunidades afectadas consideran que se lleva a cabo.

La dinámica micropolítica es producto de múltiples factores operando a diversas escalas. Depende de los recursos de poder con los que cuentan las comunidades (por ejemplo, sus vínculos con organizaciones internacionales, su capacidad de movilización) y de subjetividades que no son homogéneas y que surgen de procesos históricos, económicos, culturales, sociales y políticos específicos. Esto explica, en parte, por qué comunidades que conviven con el mismo proyecto minero pueden tener posiciones distintas, y por qué una misma persona puede aceptar u oponerse a un proyecto minero dependiendo de las circunstancias.

Algunas consideraciones finales

En líneas generales, la investigación sugiere que la minería de litio produce o refuerza injusticias a nivel local, que estas injusticias están moldeadas por la marginalización histórica de los territorios en los que tiene lugar la extracción y que, para hacerle frente a dichas injusticias, las comunidades se involucran en procesos micropolíticos que buscan acabar con la marginalización. Estos resultados cuestionan los discursos que vinculan a la minería de litio con una transición energética justa y con futuros más sustentables y muestra que las comunidades toman con mucha cautela las promesas de desarrollo para sus territorios.

La transición energética global, que habilita la electromovilidad para algunos, condena a otros a la extracción de materias primas de bajo valor agregado, en territorios históricamente postergados. Sin embargo, las comunidades no se oponen de manera lineal a la transición energética o a la minería de litio, sino que buscan opciones que les permitan mejorar sus condiciones de vida mientras navegan entre promesas de desarrollo e injusticias.

En términos prácticos, los resultados de esta investigación pueden informar políticas públicas y prácticas corporativas orientadas a mejorar la vida de quienes se encuentran en primera línea de la transición energética. La consideración de los sentidos locales de justicia y de los procesos micropolíticos puede aportar, además, a la construcción de indicadores para evaluar buenas prácticas en el sector minero y para pensar de forma situada el desarrollo local. Avanzar desde un escenario que muchos caracterizan como injusto a uno de desarrollo local implicará que el Estado, en sus niveles nacional y provincial, ejerza un rol activo en la regulación ambiental y social promoviendo una minería controlada (ver [Kirschbaum y Murray 2011. Temas B&GNOA, vol. 1, n°1](#)) y trabajando en orientar parte de los beneficios de la minería de litio hacia las comunidades que cargan con los costos de la extracción.

Pensar la aceptación y la oposición como procesos dinámicos también tiene implicancias políticas concretas. Las comunidades afectadas podrían beneficiarse de que sus posicionamientos frente a la minería de litio no sean considerados estáticos, sino contextuales y siempre abiertos a reformularse. Este enfoque habilita un diálogo más honesto, más complejo y, en última instancia, más justo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), el Fondo Nacional Suizo para la Ciencia (SNF) y la Red Suiza para los Estudios Internacionales (SNIS). Agradezco especialmente a la gente de Susques y Antofagasta de la Sierra, que me abrieron las puertas de sus casas y compartieron su tiempo y su confianza.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

DE LA HOZ M, VR MARTÍNEZ, JL VEDIA. 2013. El litio: desde los salares de la Puna a nuestros celulares. [Temas de Biología y Geología del NOA, 3\(3\): 58-67.](#)

DÍAZ PAZ WF, L SEGHEZZO, AGS BARBOZA, M ESCOSTEGUY, P VARIAS-ALVARADO, E KRUSE, M HUFTY, MA IRIBARNEGARAY. 2025. The water footprint of lithium extraction technologies: Insights from environmental impact reports in Argentina's salt flats. *Heliyon*, 11(4). <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42523>

ESCOSTEGUY M, C ORTEGA INSAURRALDE, WF DÍAZ PAZ, A CLAVIJO, C BRANNSTROM, MA IRIBARNEGARAY, M HUFTY, L SEGHEZZO. 2024. The political ecology of justice outcomes of lithium mining: the case of Salar del Hombre Muerto, Argentina. *The Extractive Industries and Society*, 101477. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101477>

ESCOSTEGUY M, L CUELLAR, C ORTEGA INSAURRALDE, D Z PEDRA, L SEGHEZZO. 2025. Caught in the energy transition: Can Argentina balance the global demand for lithium and community livelihoods in mining areas? *Land Matrix publications*. https://landmatrix.org/media/documents/Land_Matrix_DN6_Argentina_Lithium_mining_Aug_2025.pdf

GOBIERNO DE JUJUY. 2023. Derribando mitos sobre el agua y el litio. https://jujuy.gob.ar/home/files/litio_agua.pdf

ILIA (INTERNATIONAL LITHIUM ASSOCIATION). 2025. Lithium: The element shaping our future. <https://lithium.org/wp-content/uploads/2025/05/ILiA-and-Project-Blue-Lithium-The-element-shaping-our-future.pdf>

KIRSCHBAUM A, J MURRAY. 2011. Minería y aguas ácidas: contaminación y prevención. [Temas de Biología y Geología del NOA, 1\(1\): 40-51.](#)

KRAMARZ T, S PARK, C JOHNSON. 2021. Governing the dark side of renewable energy: A typology of global displacements. *Energy Research & Social Science*, 74, 101902. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101902>

LÓPEZ STEINMETZ RL, P CAFFE, C SARCHI, MG FRANCO, OE CONSTANTINI. 2010. Litio en salares: una fórmula muy andina. [Temas de Biología y Geología del NOA, 8\(3\): 36-44.](#)

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. 2026. Mineral commodity summaries 2026 (March 2026). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/mcs2026>

Biomarcadores: la química que guarda memoria de la vida

Griselda Valenti¹

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

En la nota breve de la edición anterior (véase [Valenti 2025. Temas B&GNOA, vol. 15](#)) vimos que la geoquímica es la ciencia que explora cómo los elementos y compuestos químicos se transforman y circulan en la Tierra. Fue como asomarnos a la “gran cocina del planeta” y observar cómo los ingredientes (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, entre muchos otros más) se mezclaban y reaccionaban para dar forma a los minerales, los organismos, el agua y la atmósfera.

Pero dentro de esa inmensa cocina química hay un ingrediente especial: la vida. Los organismos, desde bacterias hasta plantas y animales, también dejan su huella en la química terrestre. Y esas huellas, además de ser visibles como fósiles o restos orgánicos, muchas veces se esconden en moléculas que sobreviven al paso del tiempo. A esas moléculas las llamamos **biomarcadores**.

La geoquímica orgánica estudia cómo esa materia de origen orgánico (seres vivos) se transforma en el subsuelo y da origen a los combustibles fósiles (conocidos como hidrocarburos). En ese proceso, los biomarcadores son protagonistas: son moléculas que sobrevivieron millones de años y que funcionan como huellas químicas capaces de revelar el origen, la historia y la calidad de los hidrocarburos (Figura 1). Podemos pensarlos como brújulas que guían, por ejemplo, la exploración hacia nuevas fuentes de energía.

Hidrocarburo es el término químico general que engloba a los compuestos formados, en su mayoría, por átomos de carbono e hidrógeno. Estos átomos pueden formar largas cadenas o anillos libres o fusionados entre sí, teniendo distintas propiedades físicas y químicas según su estructura. Los hidrocarburos son la familia química base que compone el petróleo (o crudo), pero también pueden existir en estado gaseoso (gas natural) o sólido (betún), todos ellos actúan como fuente de energía no renovable.

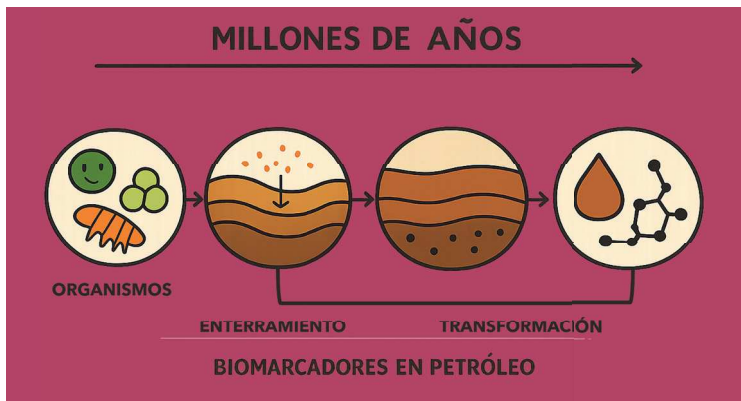


Figura 1. Línea de tiempo ilustrativa del viaje de un biomarcador, desde su origen biológico hasta su detección en el petróleo. Imagen generada por inteligencia artificial (Copilot).

Existen distintas huellas para distintas historias

Los biomarcadores no son todos iguales. Dependiendo del contexto, pueden hablarnos de distintas cosas:

Los *biomarcadores médicos* son los más conocidos. Las moléculas como la glucosa, el colesterol o ciertas proteínas en la sangre son un claro ejemplo. Estos biomarcadores, funcionan como “semáforos” que alertan sobre enfermedades o riesgos a la salud de las personas.

Cuando hablamos de *biomarcadores ambientales* nos referimos a compuestos que reflejan la calidad del aire, del agua o del suelo. Por ejemplo, la presencia de metales pesados en peces por exposición a un río contaminado por afluentes de industrias, el exceso de nitratos en agua por fertilizantes que se refleja en la calidad de la biota que crece allí, entre muchos otros. En este caso, actúan como detectives forenses capaces de detectar los contaminantes presentes y las fuentes de dónde provienen en base a su química.

Los *biomarcadores geológicos* son los más fascinantes para quienes miran hacia el pasado de la Tierra. Se trata de moléculas orgánicas que quedaron atrapadas en rocas y sedimentos, y que permiten reconstruir cómo era la vida y el ambiente hace millones de años atrás.

Así como un detective analiza distintas pistas en una escena del crimen, los científicos estudiamos diferentes biomarcadores para entender qué ocurrió en un organismo, un ecosistema o incluso en la Tierra primitiva. En la industria del petróleo¹, los biomarcadores geológicos son los más estratégicos porque nos cuentan la historia de la materia orgánica que dio origen a los hidrocarburos, y, aunque muchas veces no conservan su forma original, podemos descifrar de qué molécula derivan.

¹ La industria del petróleo abarca los procesos globales de exploración, extracción, refinación, transporte y comercialización de hidrocarburos, siendo un pilar fundamental para la economía mundial y energética.

Para hacer más clara esta idea, les voy a mencionar el caso del colesterol haciendo foco en su estructura química (Figura 2). Cuando un organismo muere y queda enterrado, a cierta profundidad comienzan a actuar sobre él la temperatura y la presión (etapa conocida como diagénesis) modificando la estructura química inicial. El colesterol libera el grupo funcional oxhidrilo (-OH) y completa uno de los anillos aromáticos (anillos de carbono con dobles enlaces C=C, pasan a formar enlaces simples C-C por adición de un hidrógeno), cambiando su estructura química y convirtiéndose en otro compuesto conocido como colestano. A simple vista parecen el mismo compuesto, pero si hacemos foco en su estructura química notaremos los cambios. Si sigue aumentando la presión y la temperatura, lo que ocurrirá es que poco a poco se van a ir liberando los hidrógenos de los anillos aromáticos compensando las cargas con dobles enlaces C=C (se generan anillos aromáticos). Y en una etapa más avanzada, perderán las cadenas de carbonos anexadas a los anillos (perderán esos "brazos" que salen de las estructuras cíclicas), adquiriendo formas aún más simples. Estos compuestos serán los esteranos. Ahora bien, si en el laboratorio encontramos la presencia de esteranos en un petróleo,

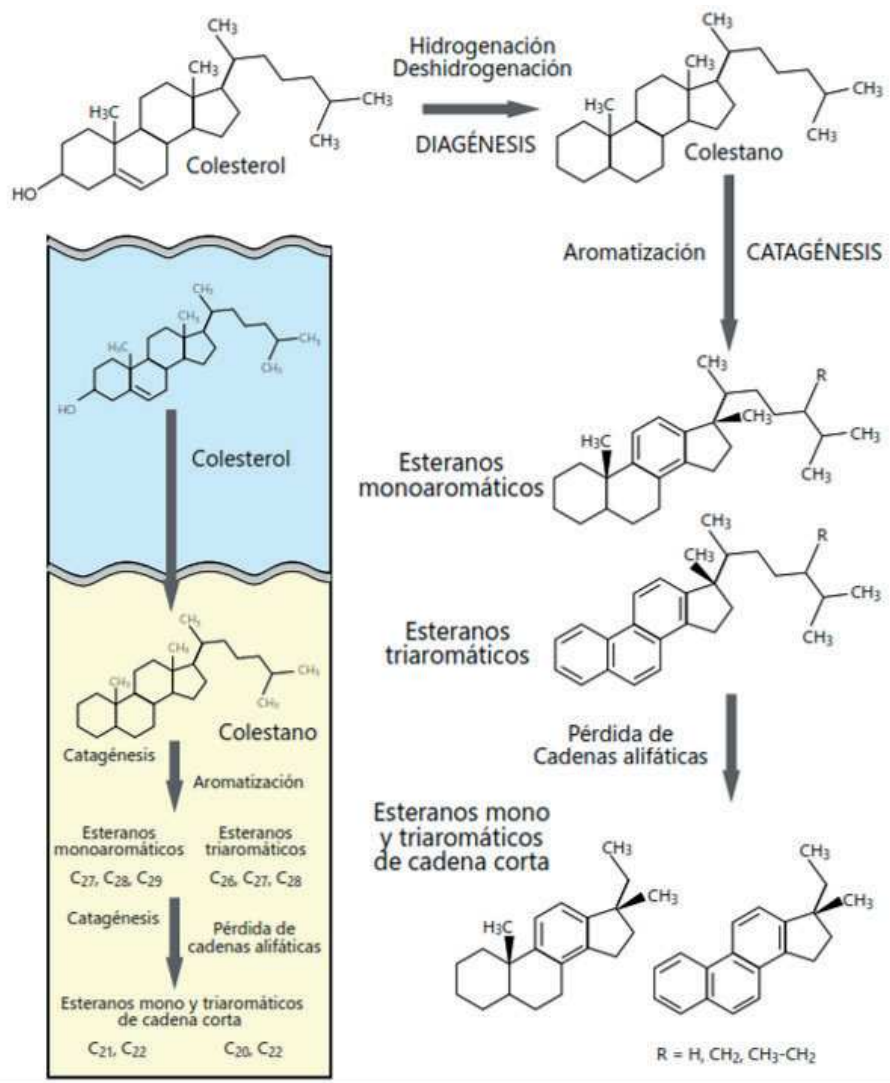


Figura 2. Relación entre un precursor biológico (colesterol) y los cambios en su estructura hasta la formación de biomarcadores específicos. Tomada de López (2013, 2025).

no estamos identificando la presencia de colesterol, pero sí sabemos que a través del tiempo y de los cambios en las condiciones físicas, el colesterol da como producto final un esterano. Es por esto que, el esterano es un biomarcador cuyo compuesto precursor es el colesterol, presente en muchos organismos eucariotas, y nos hablan de los organismos vivos que le dieron origen a ese petróleo. Es así que, a partir de la presencia de un biomarcador, podemos reconstruir la historia de un petróleo.

Existen muchos biomarcadores de aplicación en hidrocarburos, y cada uno de ellos nos brinda una información clave según el objetivo de búsqueda (Tabla 1). Esta información la podemos descifrar a partir de la ausencia o presencia de estos biomarcadores en los crudos. Para ver algunos ejemplos ir al Cuadro 1.

Tabla 1: Resumen de las utilidades de los biomarcadores aplicados a petróleos.

OBJETIVO	BIOMARCADORES CLAVE	¿QUÉ REVELAN?
Origen de la materia orgánica	Esteranos (algas), Hopanos (bacterias), Triterpanos (plantas terrestres)	Tipo de organismos (algas, bacterias, plantas) que originaron el crudo*
Ambiente de depositación	Relación Pristano/Fitano, Hopanos, Gammacerano	Condiciones del entorno donde se acumuló la materia orgánica (marino, lacustre, continental)
Condiciones de preservación	Hopanos resistentes, relación Hopano/Esterano	Nivel de oxígeno y degradación durante el enterramiento
Madurez térmica	Utiliza relaciones moleculares entre biomarcadores	Grado de transformación por temperatura y presión (ventana de generación)
Correlación crudo-roca madre**	Firma química compartida en biomarcadores	Comparación molecular para rastrear el origen del petróleo

*crudo: en la industria se utilizan los términos crudo y petróleo como sinónimos (mezcla compleja de hidrocarburos y otras sustancias del subsuelo)

**roca madre: se refiere a la roca en la que se depositó la materia orgánica y dió origen al petróleo

¿Cómo se leen las huellas químicas?

Descubrir biomarcadores en rocas no es tan simple como abrirlas y mirar qué hay dentro. Se necesitan técnicas de laboratorio muy precisas que permiten “desarmar” la química de los sedimentos y revelar las moléculas escondidas (Figura 3).

El primer paso en el laboratorio es extraer la materia orgánica de la roca o del crudo usando solventes especiales.

Después, las moléculas se separan según su tamaño y propiedades mediante un proceso llamado cromatografía gaseosa (CG). En la cromatografía gaseosa se volatiliza la muestra, luego se

Cuadro 1. Algunos ejemplos clave de biomarcadores en petróleos

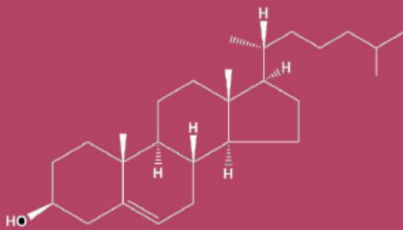
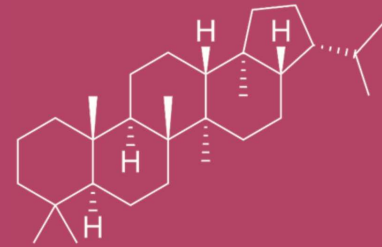
• Los biomarcadores **Pristano (P)** y **Fitano (F)**, son hidrocarburos de cadenas largas, claves para identificar petróleos, por lo que suelen ser de referencia a nivel mundial. Derivan de la cadena lateral de la clorofila. Se utiliza la relación entre ambos (P/F) como indicador de los niveles de oxígeno (O₂) durante la sedimentación:

$P/F > 1$ → Ambiente más oxigenado

$P/F < 1$ → Ambiente sin o con poco oxígeno

Son como “huellas digitales” que revelan si el ambiente era más aireado o más compacto.

• Los **Hopanos** son hidrocarburos que se caracterizan por tener una estructura química de cinco anillos de carbono fusionados. En términos simples, son moléculas derivadas de bacterias (organismos procariotas), por lo que estos biomarcadores indican la presencia de vida microscópica muy antigua.



• Los **Esteranos** son hidrocarburos con una estructura química formada por cuatro anillos de carbono fusionados. Estos biomarcadores derivan de los esteroides (como por ejemplo, el colesterol), lípidos presentes en algas y animales. Permiten reconstruir la evolución de organismos eucariotas, según el compuesto encontrado, y su ambiente de deposición (si era terrestre, marino o lacustre).

la hace pasar por un tubo pequeño por medio de una corriente gaseosa, y a la salida se detectan los compuestos presentes, los cuales se ordenan como lo hacen los corredores de una maratón según su velocidad. Es decir, el más rápido sale primero y el más lento a lo último.

Finalmente, se identifica y cuantifica cada molécula en el espectrómetro de masas (MS por su sigla en inglés, *Mass Spectrometry*) por su “huella digital” química, es decir su relación masa/carga, constituyendo una técnica muy precisa a la hora de reconocer sustancias. Es por esto que este equipo permite saber exactamente de qué compuesto se trata, como si leyéramos el código de barras único de cada molécula.

El resultado final es una huella dactilar química (conocida como *fingerprint*, por su nombre en inglés) que revela qué biomarcadores están presentes y en qué cantidad. A partir de leer esta huella y ver qué biomarcadores se encontraron, podemos reconstruir la historia de ese petróleo: descifrar el origen de la materia orgánica, el ambiente en que vivió y cómo se preservó a lo largo del tiempo.

Aplicaciones estratégicas en la industria

Dentro de la industria del petróleo los biomarcadores se analizan con distintos fines:

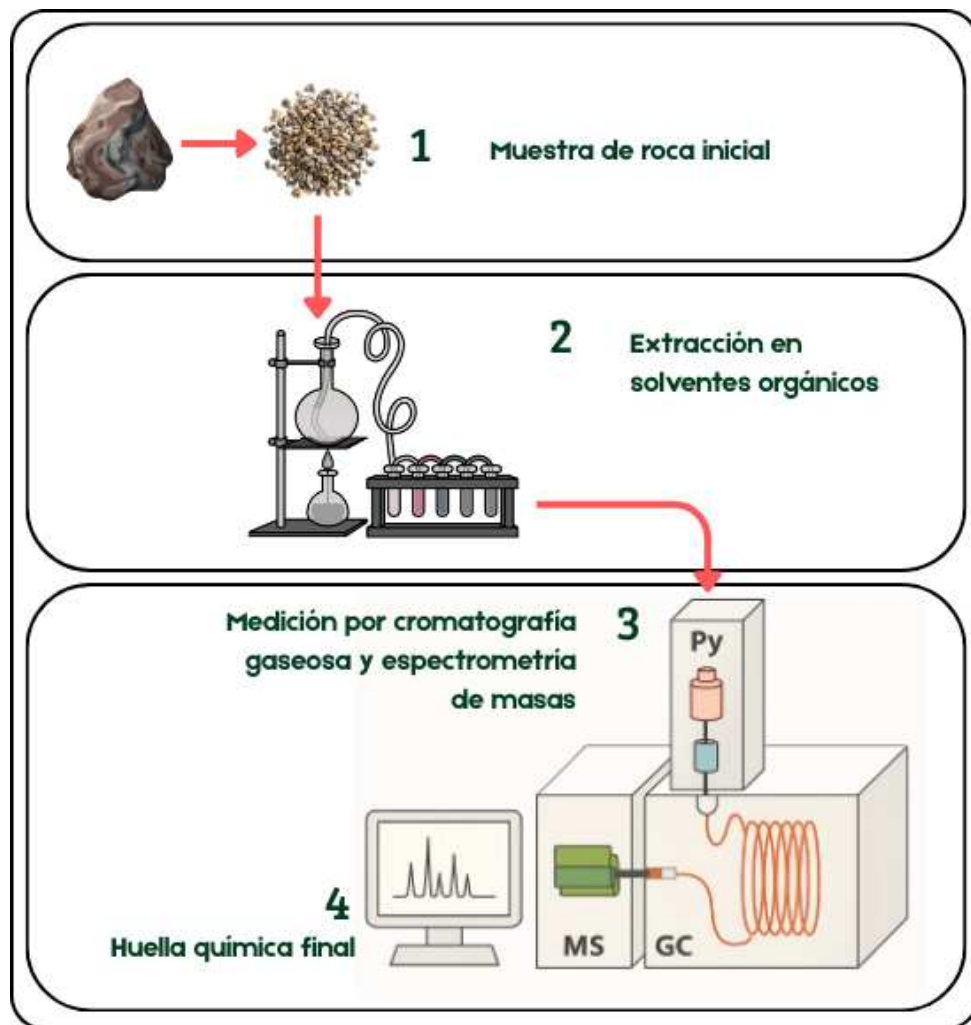


Figura 3. Secuencia esquemática de análisis en laboratorio: (1) muestra inicial: trozo de roca y su disgregación física (molienda), (2) extracción de la materia orgánica con solventes, (3) introducción en el cromatógrafo gaseoso (GC) y su detección en el espectrómetro de masas (MS), (4) huella química obtenida como resultado (*fingerprint*).

En la exploración de petróleo, los biomarcadores son como pistas en un mapa del tesoro. Cada molécula encontrada, usada como vimos antes y en el Cuadro 1, ayuda a decidir dónde perforar, evitando hacerlo a ciegas y ahorrando millones de dólares en inversión.

En la producción, los biomarcadores funcionan como termómetros de calidad: permiten distinguir crudos livianos de pesados y anticipar cómo se comportarán en la etapa de refinación.

Son compuestos claves a la hora de definir políticas de inversión y producción, ya que aportan información confiable sobre el potencial y las características del recurso.

Más allá del petróleo

Los biomarcadores son aliados silenciosos en múltiples escenarios científicos. Como detectives químicos, rastrean huellas invisibles que revelan procesos pasados y presentes, desde un río contaminado hasta la posibilidad de vida en otros planetas.

Su utilidad se extiende mucho más allá de la industria energética:

- **Impacto ambiental:** permiten rastrear derrames de hidrocarburos, identificar procesos de degradación y evaluar la salud de ecosistemas acuáticos y terrestres.
- **Astrobiología:** en la búsqueda de vida extraterrestre, los biomarcadores ofrecen pistas sobre si alguna vez existieron organismos en otros planetas como Marte, basándose en moléculas similares a las que encontramos en la Tierra.
- **Arqueología molecular:** ayudan a reconstruir dietas, ambientes y prácticas antiguas a partir de restos orgánicos conservados en cerámicas, suelos o huesos.
- **Cambio climático:** el análisis de sedimentos ricos en biomarcadores permite entender cómo variaron los ecosistemas, las temperaturas y los ciclos biológicos a lo largo del tiempo.
- **Energías alternativas:** en biocombustibles, los biomarcadores permiten evaluar el origen de la materia prima y su calidad, contribuyendo a un desarrollo energético más sostenible.
- **Medicina personalizada:** más allá de los biomarcadores clásicos (glucosa, colesterol), hoy se usan para diseñar tratamientos a medida, por ejemplo, en oncología, donde ciertas moléculas indican qué terapia será más efectiva.
- **Forense ambiental y criminalística:** análisis de biomarcadores en suelos, aguas o incluso tejidos humanos para rastrear contaminantes, drogas o venenos, aportando pruebas en investigaciones judiciales.
- **Agricultura y suelos:** biomarcadores que permiten evaluar la fertilidad, la presencia de microorganismos beneficiosos o el impacto de pesticidas, ayudando a un manejo más sostenible.
- **Microbiomas:** estudio de biomarcadores en comunidades microbianas (intestino humano, océanos, suelos) para entender su rol en la salud, la productividad agrícola o el equilibrio ecológico.
- **Tecnología alimentaria:** detección de biomarcadores en alimentos para verificar autenticidad (ej. aceites de oliva, vinos) o identificar procesos de deterioro y garantizar calidad.

En todos estos casos, los biomarcadores actúan como cápsulas del tiempo químicas. Nos permiten leer entre líneas y conectar con historias invisibles que siguen presentes en moléculas minúsculas.

Así, cada biomarcador es una palabra escrita en un lenguaje químico. Y al descifrarlo, no solo

entendemos el pasado, también abrimos nuevas puertas y en distintas direcciones que nos permiten reinterpretar su importancia y ver nuevas perspectivas hacia el futuro.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y CITADA

LÓPEZ L. 2013, 2025. Biomarcadores. Aplicaciones en la geoquímica del petróleo. Universidad Central de Venezuela, Ediciones de la Biblioteca (1ª ed. 2013). Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (2ª ed. 2025).

MADRID M. 2016. Geoquímica del Petróleo: Biomarcadores y Clasificación. <https://portaldelpetroleo.com/>

TOMÁS G J, AJ ACUÑA. 2020. Geoquímica orgánica de biomarcadores en petróleos de las Cuencas del Golfo de San Jorge y Austral. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Secretaría de Ciencia y Tecnología; Informes Científicos y Técnicos: 53-65.

VALENTI G. 2025. Introducción a la Geoquímica: explorando la química de la Tierra. [Temas de Biología y Geología del NOA, 15: 18-22.](#)

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 16, Número 1, Abril 2026

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