

# TEMAS DE **BIOLOGÍA** Y **GEOLOGÍA** DEL NOA

ISSN 1853-6700

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

FICHAS TB&G NOA

*Coral*

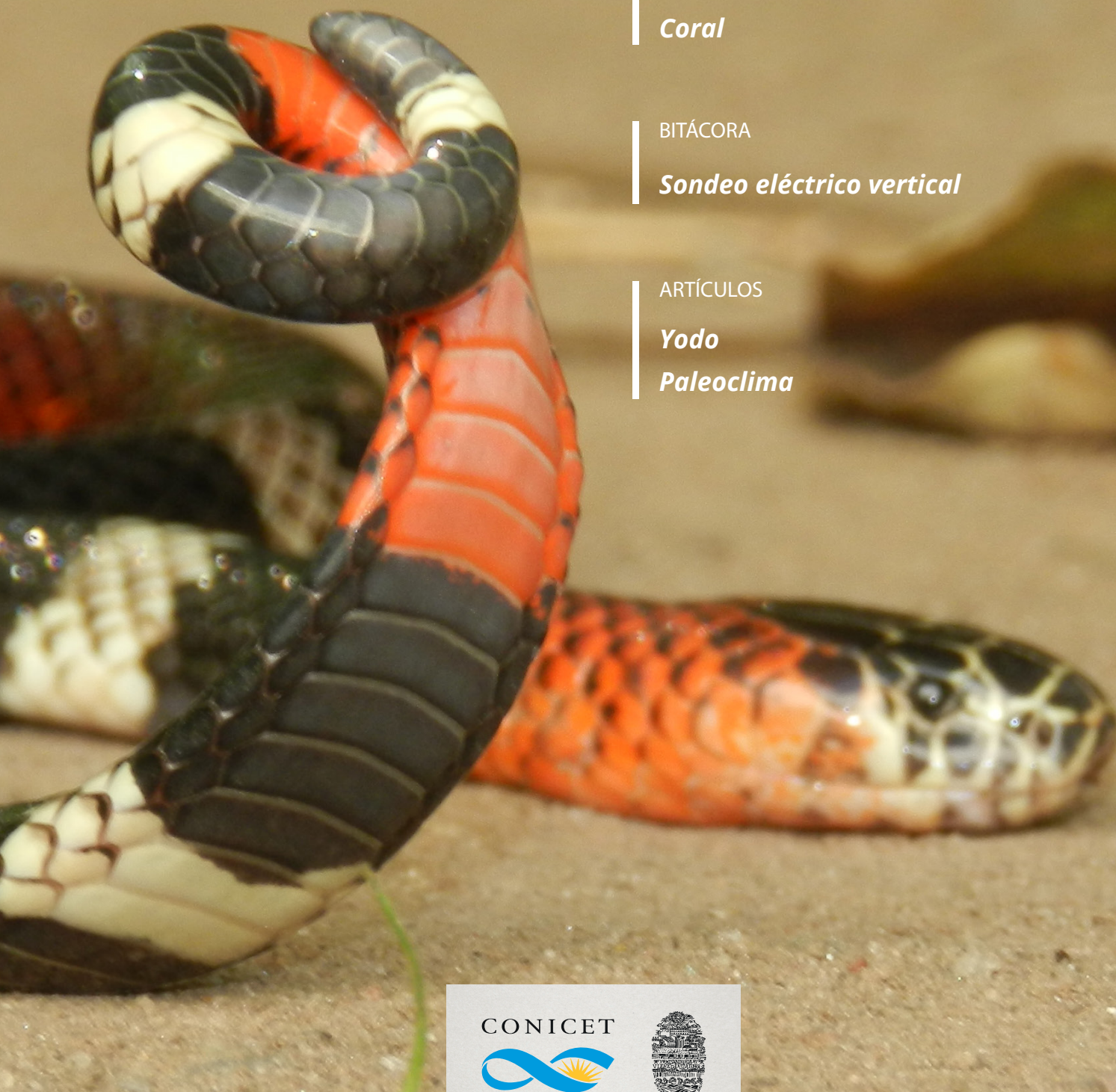
BITÁCORA

*Sondeo eléctrico vertical*

ARTÍCULOS

*Yodo*

*Paleoclima*



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 13, Número 2, Agosto 2023

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

### FICHA DE TB&G NOA

Pág. 3 - Coral  
JC Stazzonelli, MP Cabrera, M Pedraza

### BITÁCORA

Pág. 4 - ¿Qué hay bajo tierra? Cómo saberlo usando electricidad  
S Geuna, A Aramayo, L Alvarado, L Elías

### ARTÍCULOS

Pág. 10 - El Yodo en la naturaleza  
M Fabrezi, JC Cruz

Pág. 16 - Reconstruyendo el clima del pasado  
MA Zárate

Imagen de tapa: Ejemplar adulto de coral (*Micrurus pyrrhocryptus*). JC Stazzonelli

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,

Este número de TemasB&G NOA nos encuentra en el medio de un nuevo debate a nivel país, que debe elegir a quienes nos gobernarán por los próximos cuatro años. Suena fuerte, como ya ha sonado antes muchas veces, la idea de que se requiere un cambio estructural, algo así como barajar y dar de nuevo, destruir para refundar. Desde este Instituto de Ciencias nos gustaría aportar algo de nuestra mirada al debate.

Nuestra mirada es desde la Ciencia, que funciona con reglas que no son las de la política partidaria o la emergencia de la gestión. Un descubrimiento científico es como un ladrillo que forma parte de un enorme edificio. Para tener carácter de científico, cada dato, pequeño o grande, relevante o casi intrascendente, debe pasar por un proceso de validación que incluye protocolos para la obtención, presentación y evaluación por pares. Una vez validado, el pequeño ladrillo, que puede ser una vacuna, un hallazgo de una nueva especie, de una falla geológica que amenaza la estabilidad de una ruta etc., pasa a formar parte del gran edificio que se construye desde siempre, desde que la humanidad observa a su entorno para tratar de comprenderlo.

No hay manera de derrumbar el edificio del conocimiento científico, porque cada nuevo dato se obtiene apoyándose en el conocimiento previo y todas las piezas son importantes. A lo sumo se pueden reacomodar algunas piezas, cuando surge alguna hipótesis que desafía a los paradigmas vigentes. Pero el conocimiento, como construcción colectiva, permanece ahí, a disposición de la comunidad toda. Muchas veces se ha dicho, porque es cierto, que las sociedades que progresan lo hacen de la mano de su inversión en ciencia y en tecnología.

La Nación Argentina también es una construcción colectiva de larga data. Está hecha por pueblos originarios, inmigrantes y el maravilloso producto de su mezcla, el tan mentado "crisol de razas", a lo largo de varios siglos. Nuestros abuelos son de todas las razas y credos. Clericales, ateos, promonárquicos, republicanos, anarquistas. Todos ladrillos del edificio Nación Argentina, unidos por la argamasa de la educación pública, gratuita y obligatoria.

No deben ser tan malas estas construcciones, a juzgar por algunos de sus productos. Favaloro, Milstein, Borges, por elegir sólo tres de trascendencia mundial. Si tuviéramos real conciencia de la potencia de este patrimonio colectivo, no estaríamos pensando tan livianamente en cerrar, eliminar, recortar, casi por principio e indiscriminadamente.

En algún momento de la historia reciente parece haberse perdido la noción del valor de lo que construimos como sociedad, lo que soñaron nuestros abuelos. Así lo evidencian los candidatos a gobernar el país, que se preocupan más por la receta coyuntural que por recuperar el rumbo que marca la historia y que se sostiene sobre nuestra herencia cultural. Parecen convencidos (¡y nos convencen!) de que está todo mal, y que la mejor solución es romper todo y empezar de cero.

Después de la pandemia, quienes formamos parte del sistema científico de nuestro país (CONICET, las universidades y 16 organismos más), iniciamos un proceso de transformación que se manifiesta en dos grandes ejes: el fortalecimiento de nuestras capacidades en materia de equipamiento de alta complejidad (Programas Equipar CIENCIA) y la consolidación de redes de investigación multidisciplinarias para el estudio de la complejidad. La experiencia de la pandemia demostró la importancia de la ciencia e innovación tecnológica para los desafíos que enfrenta la humanidad; sería una lástima perder las estructuras y organizaciones cuando en realidad deberíamos estar mostrando a las nuevas generaciones el camino hacia un futuro prometedor.

Desde nuestro espacio no nos queda más que apelar a la reflexión. Lo hacemos y, de paso, los invitamos también a disfrutar de interesantísimos artículos de nuestro número de agosto que muestran que, como siempre, seguimos construyendo.

Comité Editorial

Temas de Biología y Geología del NOA

Silvana Geuna

Carolina Montero

Soledad Valdecantos

Natalia Zimicz

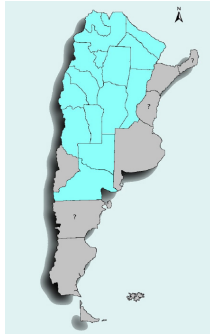
Juan Carlos Stazzonelli<sup>1</sup>, María Paula Cabrera<sup>1</sup> y Micaela Pedraza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Vertebrados, Fundación Miguel Lillo. <sup>2</sup> Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán (UNT), San Miguel de Tucumán.

## Coral (*Micrurus pyrrochryptus*)

Clasificación: Clase Sauropsida; Orden Squamata; Familia Elapidae

Distribución geográfica: Bolivia, Paraguay y Argentina



*Micrurus pyrrochryptus* es una serpiente venenosa, perteneciente a la familia Elapidae, misma familia a la que pertenecen las famosas cobras de Asia y África. Posee cuerpo cilíndrico, que puede superar el metro de longitud e incluso llegar a medir 1,30 metros, aunque normalmente no se observan ejemplares tan grandes. La cabeza es redondeada y la unión de ésta al cuerpo, no presenta un cuello claramente distinguible (motivo por el cual, el criterio de determinar serpientes venenosas en base a la cabeza triangular, o no, debe descartarse). La coloración dorsal de la cabeza es casi completamente negra con los bordes de las escamas blancos y ventralmente es roja, aunque la región anterior puede ser de color claro. El color del cuerpo



Figura 1: Patrón general de coloración de un ejemplar adulto de *Micrurus pyrrochryptus*. Foto: J. C. Stazzonelli

sigue un patrón que se repite, cada segmento rojo está separado por triadas, las cuales están formadas por tres segmentos negros bien diferenciados (con el central notoriamente más largo) separados por dos segmentos blancos (Figura 1). Esta coloración se encuentra en el dorso y vientre, es decir que los colores dan la vuelta al cuerpo (aunque pueden existir ejemplares en los que no se cumpla perfectamente).

Presenta un tipo de dentición proteroglifa (que proviene de *protero* que significa primero o anterior, y de *glifo* que significa diente, en referencia al diente especializado en la inoculación de veneno), con dientes asociados a glándulas de venenos en el maxilar y de posición frontal en la boca (Figura 2). El veneno es muy potente, de tipo neurotóxico, afectando a las funciones nerviosas tanto a nivel pre y post sináptico, es decir que bloquea la liberación de neurotransmisores y también la recepción de estos, presentando como síntoma general parálisis.



Figura 2: Cráneo de *Micrurus pyrrochryptus*, donde puede observarse el diente más grande especializado para inocular veneno y el hueso maxilar resaltado en rosa. Foto: J. C. Stazzonelli

Es una serpiente de hábitos subterráneos y de actividad crepuscular a nocturna, aunque en ocasiones puede verse en pleno día. Se alimenta de otras serpientes, incluyendo cascabel, yarará y su propia especie, pero también puede ingerir otras presas como lagartijas.

Es ovípara y existen registros de posturas de 14 huevos, los que son puestos en primavera-verano. Si bien puede estar activa casi todo el año (dependiendo de la temperatura y la región, incluso en invierno), sus picos de actividad se presentan durante la primavera y el otoño.

Existe un mito muy difundido, de que al ser una serpiente que presenta poca abertura bucal comparada con otras serpientes, solo puede morder entre dedos o lugares muy puntuales: ESTO ES FALSO. Debido a que es una serpiente tímida y poco agresiva y su coloración hace fácil su identificación, casi no se producen accidentes. De todas maneras, se aconseja evitar la manipulación y de ser necesario, usar elementos de seguridad por el riesgo que representa su veneno.

Como defensa, lo primero que hace es intentar escapar, y si no es posible, realiza un movimiento rápido y curva su cuerpo en figuras circulares o forma de ocho, permaneciendo inmóvil, pegando la cabeza al piso y elevando la cola con la punta enroscada, de esta forma simularía una cabeza, comportamiento que generó la creencia de que pican (muerden) con la cola (Figura 3); si aún se siente en peligro, se moverá bruscamente cambiando la posición del cuerpo, repitiendo el comportamiento. Como último recurso utiliza la mordida.

Distribuida en gran parte de Argentina: Catamarca, Chaco, Córdoba, Formosa, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Mendoza, Río Negro, Salta, San Juan, San Luis, Santa Fe, Santiago del Estero y Tucumán; existen dudas sobre su distribución en Misiones, Entre Ríos y Chubut. Se la puede encontrar en una gran variedad de ambientes, desde desérticos hasta húmedos.

Se debe aclarar, que todo animal de la naturaleza presenta un rol en los ecosistemas y por ello es necesario protegerlos. Los impactos negativos en el ambiente no suelen verse inmediatamente, y muchas veces son irreversibles, trayendo consigo impactos en la producción y salud humana.



Figura 3: Ejemplar adulto mostrando el típico comportamiento defensivo, con la cola elevada y la punta enroscada. Nótese además que la coloración del dorso se continúa en el vientre. Foto: J. C. Stazzonelli.

# ¿Qué hay bajo tierra? Cómo saberlo usando electricidad

Silvana Geuna<sup>1</sup>, Alejandro Aramayo<sup>1</sup>, Luis Alvarado<sup>1</sup>, Leonardo Elías<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa – CONICET). E-mail sgeuna@hotmail.com, alejandro.aramayo@conicet.gov.ar, luisrubenalvarado246@gmail.com, leoelias9008@gmail.com

Recientemente el área de Geología de IBIGEO incorporó un nuevo equipo para la prospección geoelectrica. Se trata de un Resistivímetro digital, modelo GEOMETER MPX-400 de la empresa argentina PONTI Electronics. Este equipo utiliza la electricidad generada por una batería de 12 V, para crear un circuito eléctrico con el terreno y poder medir así la resistencia eléctrica de los sedimentos y rocas por los cuales circula la corriente.

Las principales causas de anomalías en la resistencia eléctrica de los materiales geológicos son la presencia de fluidos, generalmente agua, en especial si ésta contiene sales, y la presencia de elementos metálicos. Por eso este método tiene gran aplicación en la detección de agua subterránea y en la prospección minera. En nuestro caso, intentaremos aplicarlo indirectamente para la detección de discontinuidades geológicas en el subsuelo, considerando que si hay una discontinuidad (falla), ésta puede poner en contacto lateral a unidades que tienen distintos contenidos de fluidos, o incluso la falla misma puede actuar como una zona de mayor acumulación/circulación de fluidos. Estas situaciones deberían reflejarse en anomalías de la resistividad eléctrica medida en la superficie.

Ya hicimos nuestras primeras experiencias. El equipo está compuesto de varias partes a transportar (Figura 1). Lo más importante es la consola que permite, por un lado, regular la corriente suministrada y, por el otro, medir el voltaje generado; pero también se necesita una fuente de energía (batería), cientos de metros de cable, y varios electrodos, que en nuestro caso fueron estacas de cobre de 50 cm de longitud.

La *resistencia* eléctrica es una medida de cuánto se opone un material a que la corriente circule por él. La *resistividad* eléctrica de un material es la resistencia específica, es decir, la resistencia por unidad de volumen



Figura 1. Todos los elementos que componen el resistímetro digital montados en nuestro vehículo utilitario

Los electrodos se hincaron en el terreno para configurar el circuito. No se ubicaron caprichosamente, sino que se respetaron ciertas distancias entre ellos, con las que luego estimamos cuál fue el volumen de roca por el que circuló la corriente, lo que se llama factor geométrico. Por eso el primer paso, una vez establecido el sitio a relevar, consistió en medir con cinta métrica, para luego hincar los electrodos en los lugares marcados, usando una maza para asegurarnos de que el contacto entre el electrodo y el terreno fuera lo más perfecto posible. Ocasionalmente es necesario mejorar el contacto regando el electrodo con agua salada (Figura 2).

Conectamos cada electrodo a la consola a través de un cable; el contacto entre el cable y el electrodo se consigue utilizando una pinza tipo cocodrilo. Para cada medición se usaron cuatro electrodos: dos para inyectar la corriente (electrodos de corriente A y B) y dos para medir el voltaje (electrodos de potencial M y N). Por lo tanto, tuvimos que desplegar cuatro rollos de cable, que se conectaron a cada uno de los electrodos (Figuras 2 y 3).

Una vez desplegado ese tendido, realizamos la medición: se inyectó corriente, se midió el voltaje (la diferencia de potencial generada por la corriente intentando circular) y con eso, más la posición relativa de los electrodos (factor geométrico K) se calculó el valor de resistividad eléctrica aparente  $\rho_a$  para el terreno en ese punto. La medición es muy rápida, apenas un par de segundos. Pero un

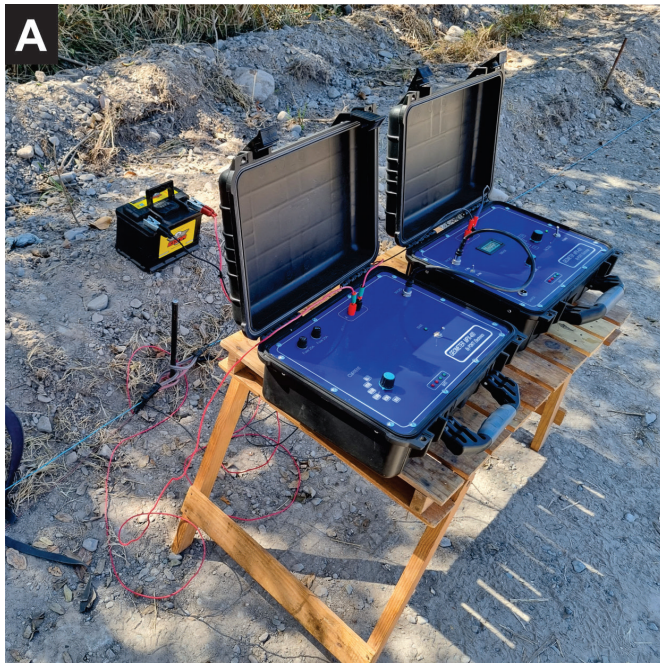


Figura 2. A, la doble consola del resistivímetro digital; a la izquierda, para controlar el suministro de corriente, y a la derecha, para registrar la diferencia de potencial. Las dos consolas están sincronizadas a través de un cable, y se conectan a una batería externa. B, desde el centro del tendido, marcado con una estaca, salen los cables que se conectan a cada uno de los cuatro electrodos. C, los electrodos se dispusieron a distancias variables del centro del tendido, a lo largo de una línea. D, detalle de la conexión entre el electrodo de potencial N y el cable; a la derecha del rollo se observa un cable de otro color (marrón) que va hacia el electrodo de corriente B



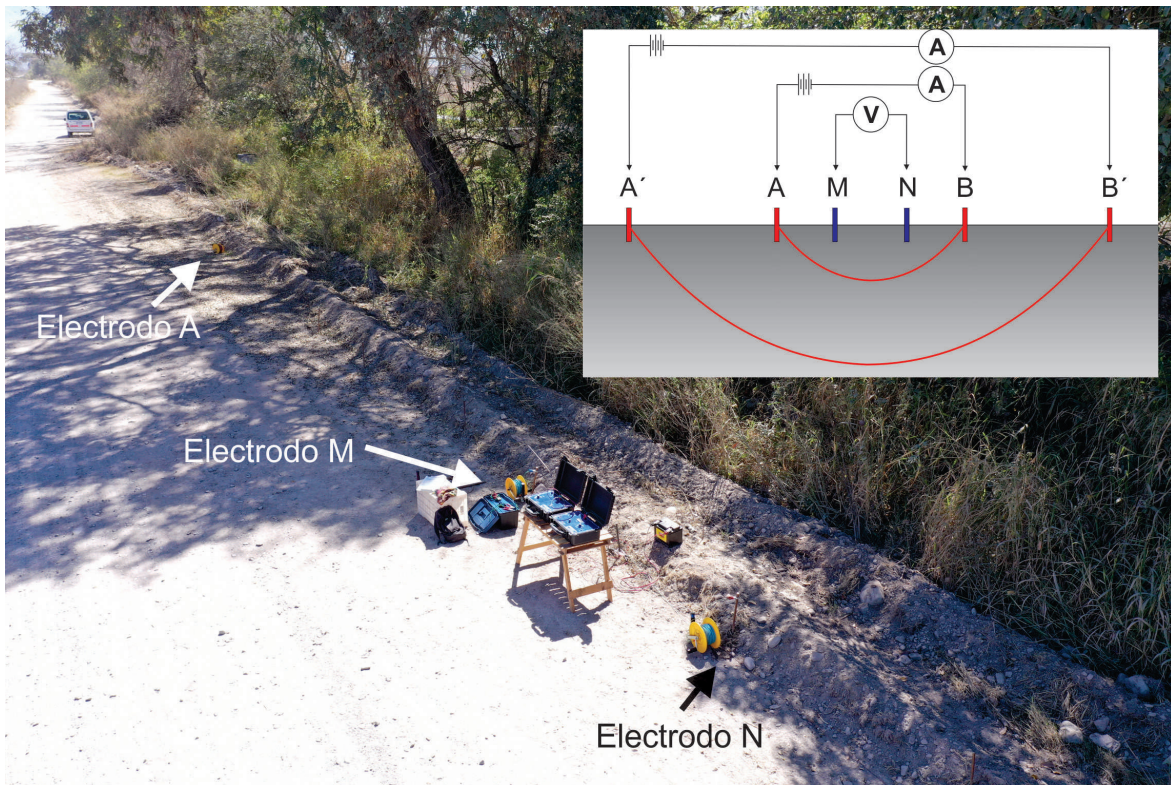
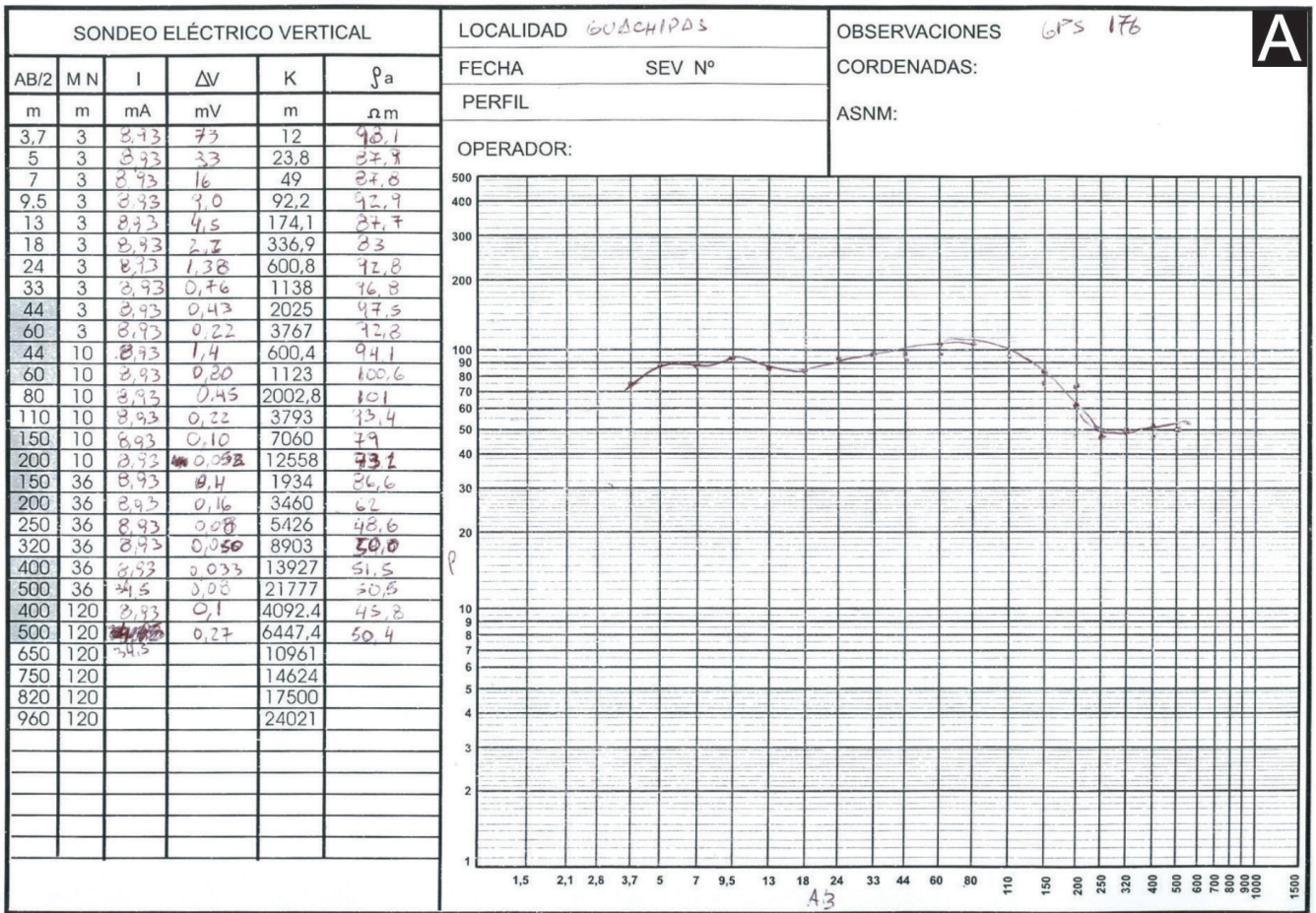


Figura 3. Vista general del tendido. El resistímetro situado en el centro; a ambos lados de éste y a una corta distancia, los electrodos de potencial, M y N. En el extremo izquierdo se observa el electrodo de corriente A; el electrodo B se sitúa en el extremo derecho, fuera del cuadro de la foto. Arriba a la derecha, el esquema de la medición en que se ilustra la toma de dos datos: uno usando A-B (conectados a un amperímetro **A** que mide la corriente) y M-N (conectados a un voltímetro **V** que mide la diferencia de potencial); esta combinación de electrodos registra un valor de resistividad más superficial; la segunda combinación usa A'-B' y M-N, y registra la resistividad de niveles más profundos, porque A' y B' están más separados

único valor no es suficiente: se debe verificar los cambios en la resistividad al modificar la posición/ubicación de los electrodos. En esta primera experiencia, quisimos evaluar cómo cambiaba  $\rho_a$  a medida que ampliábamos la separación entre los electrodos de corriente (A y B). Cuanto mayor es la separación, más profundo penetra la corriente, por eso la variación de  $\rho_a$  versus distancia  $AB/2$  se puede considerar un indicio de cómo cambia la resistividad eléctrica del terreno con la profundidad. Fuimos monitoreando ese cambio con el gráfico de la figura 4 (A). Esta técnica de relevamiento se llama *sondeo eléctrico vertical* (SEV). Con la potencia de este equipo y con 1000 metros de separación entre A y B, se estima que pudimos llegar hasta unos 200 metros de profundidad. Para mover cables, electrodos y alternar conectores trabajamos entre 2 y 4 personas. Uno de nosotros operó la consola, coordinando el movimiento de todos los demás a través de *handies*, y llevó el registro de los resultados.

Al regreso del campo, realizamos un modelo geológico para explicar la curva de  $\rho_a$  obtenida del SEV. Esto es, generar "unidades geoelectricas" en forma de capas con distintos valores de resistividad,



Resistividad aparente  $\rho_a$  ( $\Omega m$ )  
Resistividad  $\rho$  ( $\Omega m$ )

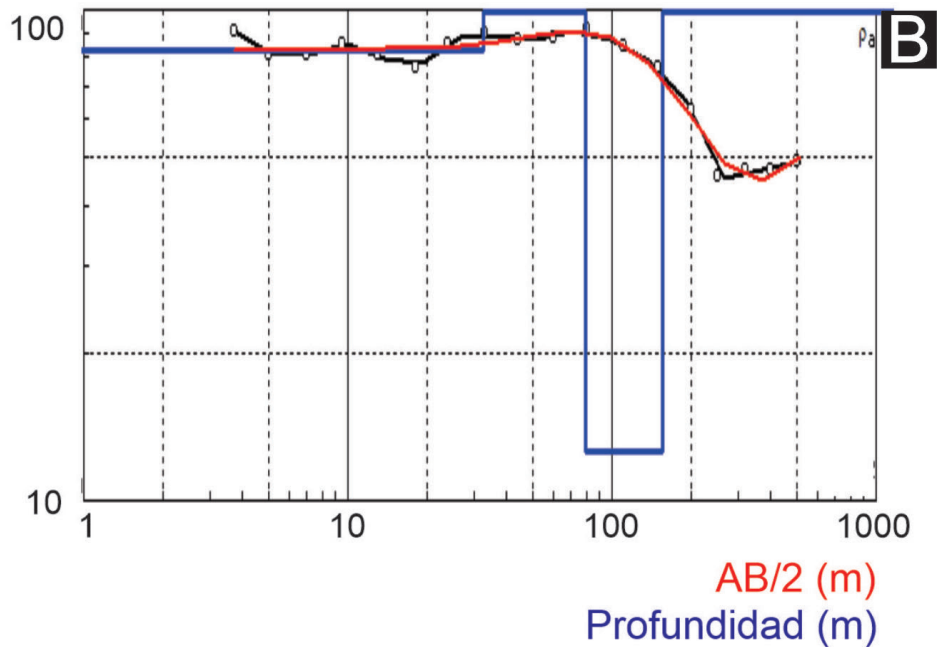


Figura 4. Resultado de un sondeo eléctrico vertical y su análisis. A, planilla de campo, con el registro de distancias, valores de intensidad de corriente, diferencia de potencial, y cálculo de factor geométrico K y resistividad aparente. B, la misma curva ilustrada en A (gráfico logarítmico de resistividad aparente versus distancia entre electrodos Ay B), procesada con software Ipi2win, y a la que se le superpuso el modelo geológico; los tramos verticales de la línea azul marcan la profundidad a la que se encontrarían las superficies en las que cambia la resistividad eléctrica

acomodando los espesores y resistividades de las capas de manera que produzcan una curva de  $\rho_a$  similar a la de la planilla. En la figura 4 (B), la línea azul es el modelo de capas geoelectricas, y la curva roja es la resistividad calculada a partir de ese modelo de capas. Se buscó ajustar lo mejor posible esa curva roja, con la curva de la planilla de campo, que es la línea negra con puntos. En el modelo final se ve que el terreno por debajo de nuestro SEV se caracterizó por una resistividad eléctrica de entre 80 y 100  $\Omega\text{m}$ , y se destaca una capa situada entre los 80 y 150 metros de profundidad, y que tiene una resistividad menor, del orden de 15  $\Omega\text{m}$ . Interpretamos que esa menor resistividad podría indicar la presencia de agua, o de una capa más arcillosa, o ambas cosas.

Ya que buscamos discontinuidades, nuestro trabajo de campo consistirá en hacer varios SEV, a ambos lados de cada discontinuidad supuesta. Si obtenemos modelos geológicos diferentes a uno y otro lado, eso será evidencia a favor de la existencia de una discontinuidad.

El método requiere de un trabajo intenso y bien coordinado. Puede ser cansador, pero es una manera muy ingeniosa de poder inferir algunas características del subsuelo sin necesidad de realizar perforaciones, que serían muchísimo más dificultosas y costosas.

# El Yodo en la naturaleza

Marissa Fabrezi y Julio C. Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEIO, UNSa – CONICET). e-mail: mfabrezi@gmail.com; juliocruz13@gmail.com

El yodo (del griego *iodes* = violeta, su color en estado gaseoso) es un elemento químico ubicado en la columna de los halógenos de la tabla periódica (Figura 1). Lleva el número atómico 53 y se identifica con la letra I. En nuestro idioma, yodo o iodo se refieren al mismo elemento.

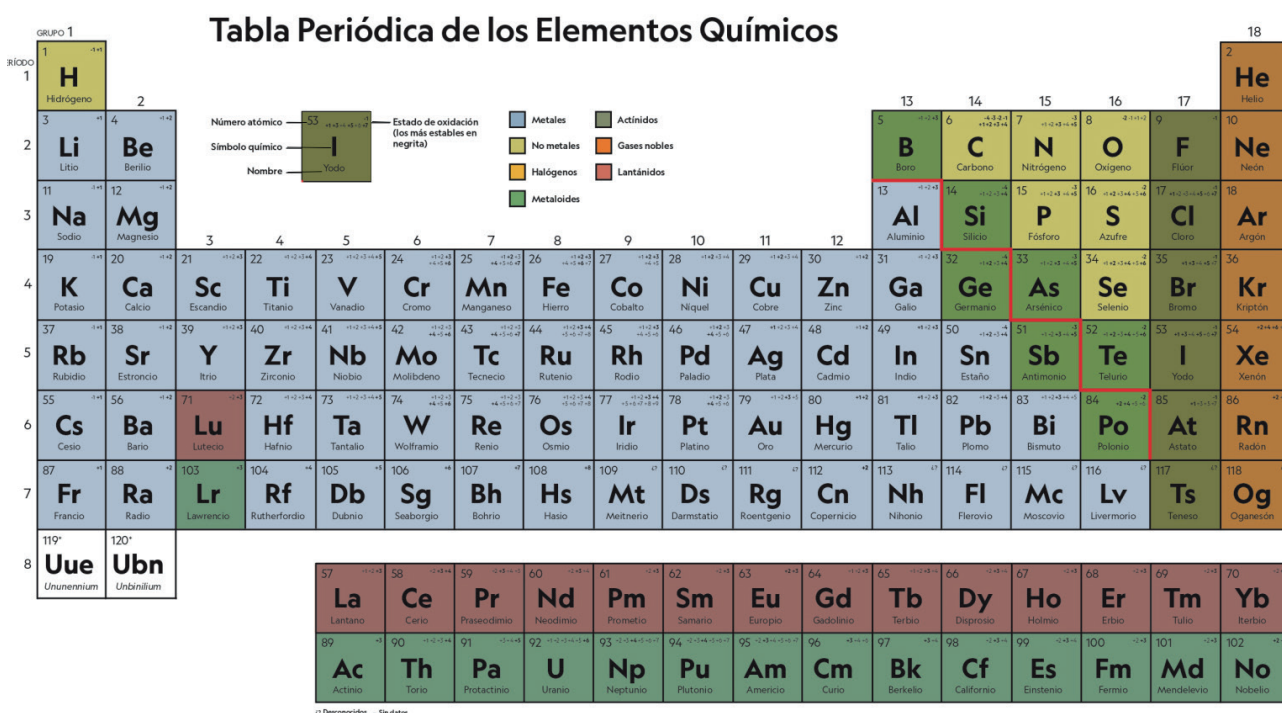


Figura 1. La Tabla Periódica organiza los elementos químicos según su número atómico (número de protones), la configuración de los electrones y las propiedades químicas. El yodo se representa en la columna 17, incluido dentro de los elementos halógenos. El yodo como elemento químico no siempre se comporta igual ya que existen 37 isótopos de yodo que tienen diferente número de protones y por lo tanto se asemejan a otros elementos. Esta particularidad es de importancia para la medicina. Los usos del yodo en salud serán abordados en un próximo artículo.

Su distribución en la naturaleza es bastante heterogénea. Es abundante en los océanos, de donde proviene gran parte del yodo continental. Dada su volatilidad, la temperatura, los vientos y las precipitaciones contribuyen a movilizar el yodo hacia los continentes (Figura 2).

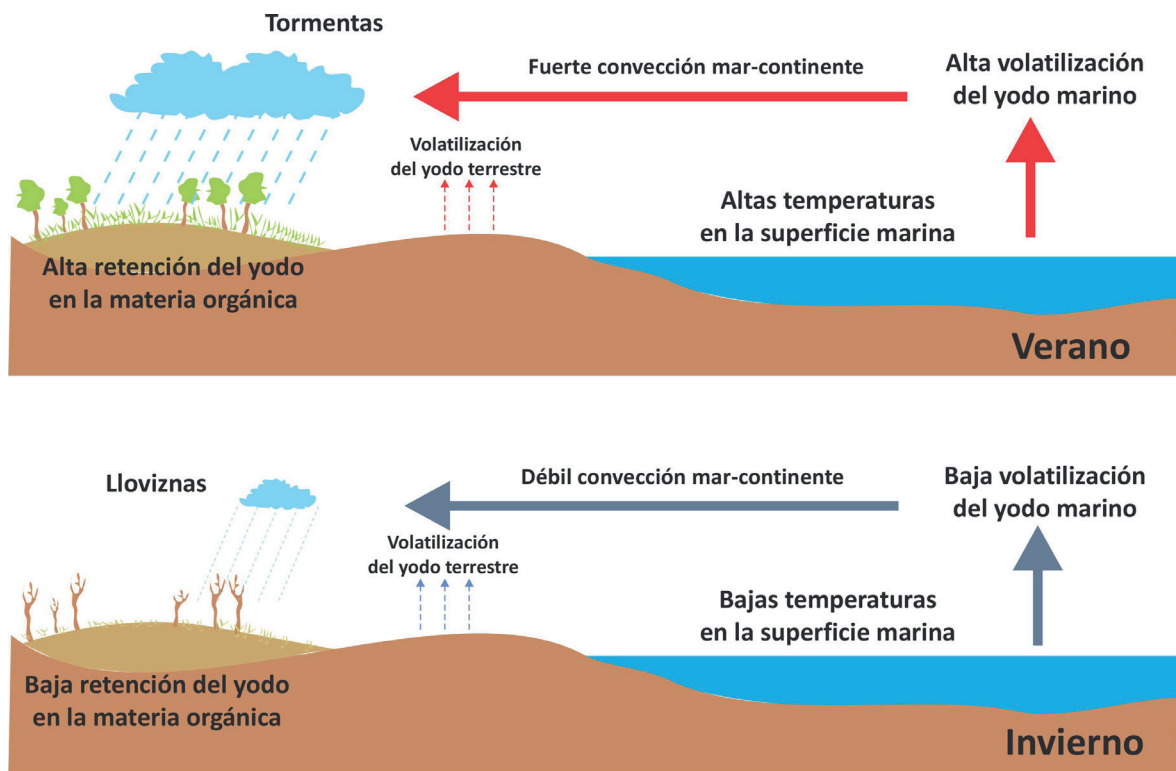


Figura 2. Los esquemas representan la emisión y transporte del yodo marino y su retención en continente según la estación (verano e invierno) y el tipo de sustrato. En los períodos cálidos el yodo marino es liberado en mayor abundancia a la atmósfera y transportado hacia el continente por los vientos. Las lluvias precipitan el yodo atmosférico hacia el suelo y el mismo es preservado en mayor medida con el carbono orgánico. En la estación fría, es menor la cantidad de yodo que llega al continente y en parte se pierde lo depositado en los suelos. La biodisponibilidad de yodo como nutriente para las plantas también disminuye.

Por su comportamiento cíclico y estacional, el yodo va quedando atrapado en los suelos y sedimentos (Figura 3). De manera que su presencia y biodisponibilidad dependerá del tipo de suelo, del clima y las actividades antropogénicas.

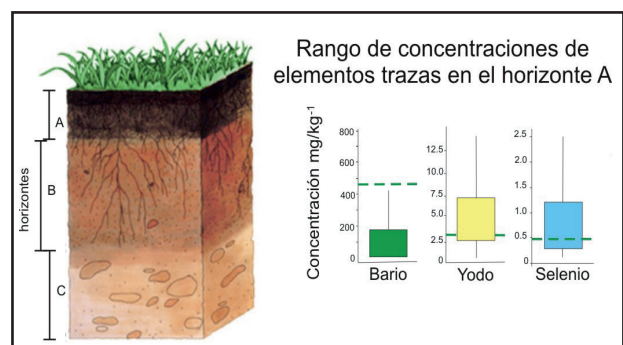


Figura 3: Estudios químicos realizados con Espectrometría de Masas (una técnica analítica de gran precisión) permiten identificar en suelos elementos traza como yodo (I) y selenio (Se), que son micronutrientes esenciales para numerosos procesos biológicos. Además de una caracterización morfológica y física de las propiedades del suelo, los análisis químicos permiten reconocer suelos donde el yodo se encuentra biodisponible por su asociación con el selenio. El selenio es un elemento que se une a determinadas proteínas necesarias como antioxidantes en procesos celulares o a otras encargadas de activar o inactivar a las hormonas tiroideas, por lo cual también está relacionado con el hipotiroidismo. En los gráficos, las líneas verdes representan los valores promedios mundiales de estos elementos. El caso que presentamos es de suelos del Amazonas, donde mediante la misma metodología se determinaron las concentraciones de bario (Ba), un metal que puede tener efectos tóxicos.

El yodo, junto con otros elementos considerados traza (elementos que se encuentran en muy bajas concentraciones en una roca o mineral), es fundamental para numerosos procesos

biológicos. Algunos organismos marinos tienen altas concentraciones de yodo en sus biomoléculas, especialmente proteínas. En los vertebrados es esencial para la síntesis de las hormonas tiroideas, por parte de la glándula tiroides, que actúan sobre la transcripción genética con efectos en el desarrollo, el crecimiento y en el metabolismo general (ver [Cruz, 2018. Temas BGNOA, vol. 8, n° 1](#)). El papel de estas hormonas en la biología de los organismos ha sido clave en procesos evolutivos. Un ejemplo es la evolución de la carnivoría en ranas (Figura 4), donde la cantidad de yodo proveniente de una dieta rica en proteínas animales, mayor que en una dieta rica en hidratos de carbono y grasas, tiene marcadas consecuencias en el desarrollo.

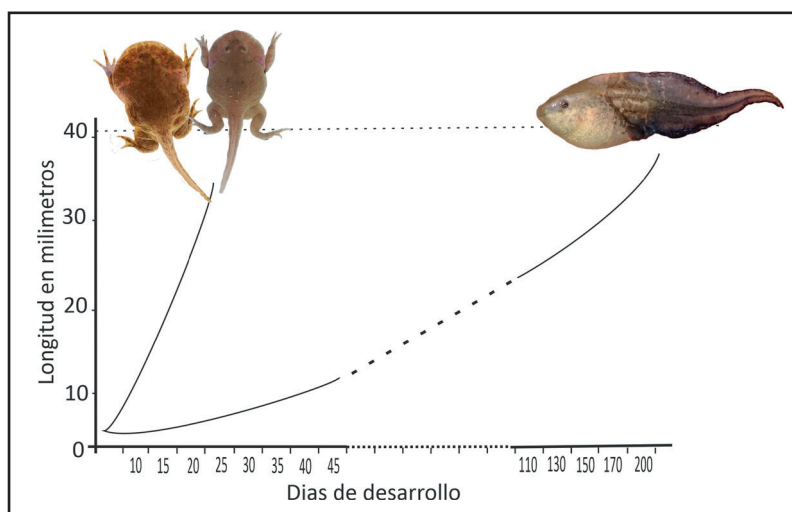


Figura 4: Durante el desarrollo de las ranas del chaco semiárido, la velocidad en que alcanzan la metamorfosis los renacuajos de las especies con dietas carnívoras (a la izquierda) es mucho mayor que en especies con dietas herbívoras (a la derecha). Las especies carnívoras, obtienen yodo o precursores de hormonas tiroideas de sus presas (crustáceos y otros renacuajos por ejemplo). El rol de las hormonas tiroideas en el desarrollo y la metamorfosis de los anfibios ha sido un gran tema de las investigaciones de la biología animal del siglo XX, con experimentos que fueron fundamentales para entender cómo es el mecanismo de señalización de las hormonas.

En algunas áreas continentales, el déficit de yodo o la escasa disponibilidad de yodo en el agua, en los suelos y en los alimentos origina enfermedades endémicas (es decir restringidas a determinadas regiones). Esta escasa disponibilidad del yodo provoca un agrandamiento anómalo o hipertrofia de la glándula tiroides. Este agrandamiento ocurre cuando la glándula trabaja en exceso para poder suplir las necesidades del organismo. Una glándula tiroides hipertrofiada se denomina bocio (Figura 5) y refleja la enfermedad conocida como hipotiroidismo.

Figura 5: Escena de la preparación de la chicha en las montañas del NOA. El artista plasma la presencia de bocio en la población. Esta pintura, data de 1962, se encuentra en exposición en el Museo de Bellas Artes de Salta. Su autor fue Alejandro Ache un artista libanés radicado en Salta desde el siglo XIX.



En determinadas regiones del mundo y en nuestro país el hipotiroidismo es una enfermedad endémica que afecta no solamente a la población humana sino también al ganado y fauna silvestre. Hay dos aspectos del hipotiroidismo que preocupan:

a) el hipotiroidismo adquirido: que puede darse por una dieta desequilibrada, por la acción de medicamentos, o tóxicos o como respuesta hormonal en alguna etapa de la vida;

b) el hipotiroidismo congénito: se manifiesta durante el desarrollo larval en peces y anfibios o embrionario en reptiles, aves y mamíferos y afecta los procesos de formación de órganos y tejidos (Figura 6). En el hipotiroidismo congénito la baja incorporación de yodo para la síntesis de hormonas tiroideas tiene serias implicancias en el desarrollo, especialmente del sistema nervioso y musculoesquelético que no logran una diferenciación completa o presentan defectos, afectando de esta manera la supervivencia del organismo.

Figura 6: Durante el desarrollo de las ranas, cambios en la función endócrina de la glándula tiroidea (disrupción endócrina) pueden provocar malformaciones congénitas que se evidencian en las articulaciones con el consecuente desplazamiento o dislocación de los segmentos de las extremidades. Este tipo de alteración en las articulaciones también se evidencia en casos de hipotiroidismo en los mamíferos. Compare en las vistas ventrales de los renacuajos, la posición de las partes de las extremidades en la foto de la izquierda, normal y la de la derecha, malformada.



En el siglo pasado la prevalencia del hipotiroidismo congénito en áreas endémicas de nuestro país fue una gran preocupación, hasta que en 1967 se implementó por ley (17.259) el uso de la sal yodada para el consumo cotidiano. Sumado a esto mediante cirugía se extirparon los bocios prominentes para corregir el hipotiroidismo. No obstante, la ingesta de yodo se debe asegurar por medio del consumo de alimentos (Figura 7) que dispongan de este elemento (mariscos y peces de mar, huevos, leche y quesos, cereales y cítricos), o evitar el consumo frecuente e intensivo de alimentos con características de bociógenos (coles, coliflor, brócoli, soja).

Hasta la década del '50, Salta no fue la excepción en materia de hipotiroidismo congénito, razón por la cual en 1956 se creó un centro especializado en endocrinología que es referente en las investigaciones y tratamientos del bocio. Si bien el actual Hospital Dr. Arturo Oñativia



Figura 7: La dieta es fundamental para prevenir el hipotiroidismo. La incorporación de la sal yodada es un componente esencial en la alimentación porque garantiza la ingesta diaria de yodo. Sin embargo, el consumo de proteínas animales como los frutos de mar, son otra manera de asegurar la incorporación del yodo que nuestro organismo necesita.

lleva el nombre de quien fuera un promotor de la prevención del hipotiroidismo, mucha gente todavía lo identifica en su versión original como Instituto del Bocio (Figura 8).



Figura 8: Vista de la entrada principal del Hospital Oñativia, ubicado en la ciudad de Salta en calle Paz Chaín 30. El Hospital Oñativia es un centro de referencia en Endocrinología.

Actualmente, las nuevas metodologías analíticas para estudiar elementos traza en suelos, aguas, alimentos, sangre y orina permiten realizar la reconstrucción espacial y temporal de la presencia del yodo en diferentes ambientes. Esto es particularmente importante en el NOA, donde existen variaciones geológicas, climáticas y ecorregionales (ver [Fabrezi et al., 2022. Temas BGNOA, vol. 12, nº 2](#)) que hacen necesaria la zonificación de las concentraciones de yodo natural. Esto permitirá identificar áreas con déficit de yodo, evaluar la vulnerabilidad de las poblaciones, todo lo cual representa una herramienta que profundiza y precisa la causalidad de enfermedades endémicas y es el insumo base para planificar acciones en políticas de salud pública.



*En 2023, profesionales del Departamento de Sanidad Animal del INTA, la Unidad de Medicina Translacional del Hospital Oñativia y del IBIGEO nos propusimos iniciar una línea de investigación multidisciplinaria para estudiar la presencia del yodo en las ecorregiones del NOA, las condiciones de biodisponibilidad en la fauna silvestre, su relación con el hipotiroidismo congénito en la ganadería (vacuna y caprina), en alimentos derivados (leche, quesos, carnes) y la incidencia de la variación espacial y temporal de las concentraciones de yodo en la salud de las poblaciones urbanas y rurales de la provincia de Salta. Ojalá, los lectores de Temas pronto tengan novedades de los estudios que estamos encarando.*

.....

#### 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.](#)  
<https://www.endoweb.net/index.php/es/endo-global-endoweb/786-el-arte-en-la-endocrinologia>

# Reconstruyendo el clima del pasado

Marcelo A. Zárate<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP), CONICET-UNLPam, Avenida Uruguay 151, Santa Rosa, La Pampa.  
E-mail: marcelozarate55@yahoo.com.ar

En los últimos años y con tendencia creciente, los estragos e impactos causados por incendios devastadores, inundaciones sin precedentes, sequías extremas sumadas a olas de calor abrasadoras como la del verano 2023, se han convertido en noticias frecuentes. Noticias que ocupan la primera plana de los diarios con titulares apocalípticos (e.g. “escenarios dantescos”, “una impresionante ola de calor extremo sofoca a EE UU, Europa y Asia”). Suelen estar prolíficamente ilustrados con videos, fotos y testimonios de testigos y gente afectada. Nos preguntamos si son usuales, ¿por qué ocurren? ¿cómo se explican? ¿son acontecimientos sin precedentes? ¿somos nosotros con nuestras actividades quienes generamos estos cambios? La mayoría de la comunidad científica acuerda en que son la consecuencia del Cambio Climático, la gran problemática contemporánea que enfrenta la humanidad, pero ¿qué es el Cambio Climático? El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) lo define como el resultado de variaciones estadísticamente significativas de las condiciones climáticas medias o de la variabilidad que presentan durante un período prolongado, generalmente durante decenios o más tiempo (IPCC, 2013). Los escenarios planteados para las próximas décadas no son promisorios, por el contrario, apuntan a incrementos de la temperatura, el denominado calentamiento global, cuyas consecuencias pueden catalogarse como devastadoras, tanto para la biodiversidad como para la sociedad en general.

Si el Cambio Climático analiza el comportamiento de los parámetros meteorológicos (por ejemplo temperatura, lluvias) en varios decenios, vale la pena explorar cómo ha sido el clima en escalas temporales más amplias; en épocas inclusive anteriores a la aparición de nuestra especie, el *Homo sapiens*. Por lo tanto, este artículo intenta reseñar lo que sabemos del pasado climático, el paleoclima, a qué fuentes de información acudimos para inferirlo, las escalas temporales empleadas, los factores involucrados. La finalidad es brindar un marco de referencia para comprender y poner en contexto el problema del Cambio Climático.

## El sistema climático y el paleoclima

Según la Organización Meteorológica Mundial el clima es el promedio de las condiciones meteorológicas (por ejemplo, humedad, temperatura, precipitaciones, viento) a lo largo de un intervalo determinado; se proponen dos lapsos (1951-1980 o 1961-1990). Definido el clima, el paleoclima hace referencia a las condiciones climáticas existentes previas a los períodos con registros instrumentales, es decir, a la instalación de estaciones meteorológicas, las más antiguas datan de mediados a fines del siglo XIX (Bradley, 2015). Los estudios realizados han revelado la complejidad de la historia climática, producto de la interacción entre el volumen de hielo (criósfera), los organismos (biósfera), la atmósfera, los océanos (oceanósfera) y la corteza del planeta (la litósfera). En consecuencia, el clima es un sistema (el sistema climático), integrado por cinco subsistemas (criósfera, biósfera, atmósfera, oceanósfera, litósfera). Quiere decir que cualquier modificación en alguno de ellos, tales como cambios en la composición de la atmósfera, reducción de la cubierta de hielo, modificaciones en las corrientes oceánicas, transformaciones de la biota y de las áreas emergidas, genera una respuesta en los restantes.

## Las fuentes de información paleoclimática

Para analizar el paleoclima recurrimos a determinadas fuentes de información que brindan los ambientes, así como ciertas actividades humanas. De esta manera apelamos al estudio de paisajes, depósitos sedimentarios y restos de organismos, así como a textos, pinturas, documentos. Las características que exhiben cada uno de ellos son un reflejo de las condiciones existentes cuando se formaron esos paisajes, se acumularon los depósitos, vivieron los organismos, se escribieron textos o pintaron ciertas obras. Es decir, son indicadores indirectos de las condiciones climáticas, se las denomina registros *proxy* (*proxy records*) término ampliamente empleado en la literatura científica argentina.

Con fines prácticos y para reseñar sucintamente su importancia, agrupamos las fuentes de información paleoclimática en tres categorías principales (ver recuadro). En las geológicas comenzamos con las formas del paisaje, es decir con las características particulares del relieve de ciertas áreas; fueron las primeras que se emplearon. Una de las más ilustrativas son las formas generadas por glaciares, valles con perfil transversal en U, enormes cubetas, hoy día ocupadas por cuerpos lacustres como el lago Buenos Aires, el Nahuel Huapi, por ejemplo; unas especies de anfiteatros en las cabeceras de ríos andinos (circos glaciales), picos muy agudos en forma de aguja (Monte Olivia en Ushuaia). Son relieves típicos de los Andes Patagónicos, la cordillera Darwin de

Fuentes de información paleoclimática		
Geológicas	Biológicas	Antrópicas
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Formas del paisaje (geofomas)</li> <li>-Depósitos expuestos en barrancas, acantilados, canteras, perforaciones</li> <li>-Testigos de fondo marino</li> <li>-Testigos de fondos de lagos y lagunas</li> <li>-Testigos de hielo</li> <li>-Espeleotemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Restos de invertebrados: moluscos, crustáceos, foraminíferos</li> <li>-Restos de vertebrados</li> <li>-Granos de polen, espículas, fitolitos</li> <li>-Algas: diatomeas</li> <li>-Anillos de árboles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Obras pictóricas</li> <li>-Textos literarios</li> <li>-Informes, actas de cabildos, instituciones</li> </ul>

Tierra del Fuego, así como los sectores de alta montaña de los Andes (Figura 1). Asociados con estos rasgos erosivos encontramos los depósitos acumulados por los glaciares, denominados morenas que consisten en elevaciones formadas por material sedimentario de diferente tamaño. Son comunes, por ejemplo, en las zonas urbanas de Ushuaia y Bariloche. Todas estas formas de paisaje señalan la existencia de glaciares en el pasado y, por lo tanto, condiciones climáticas mucho más frías que las actuales.

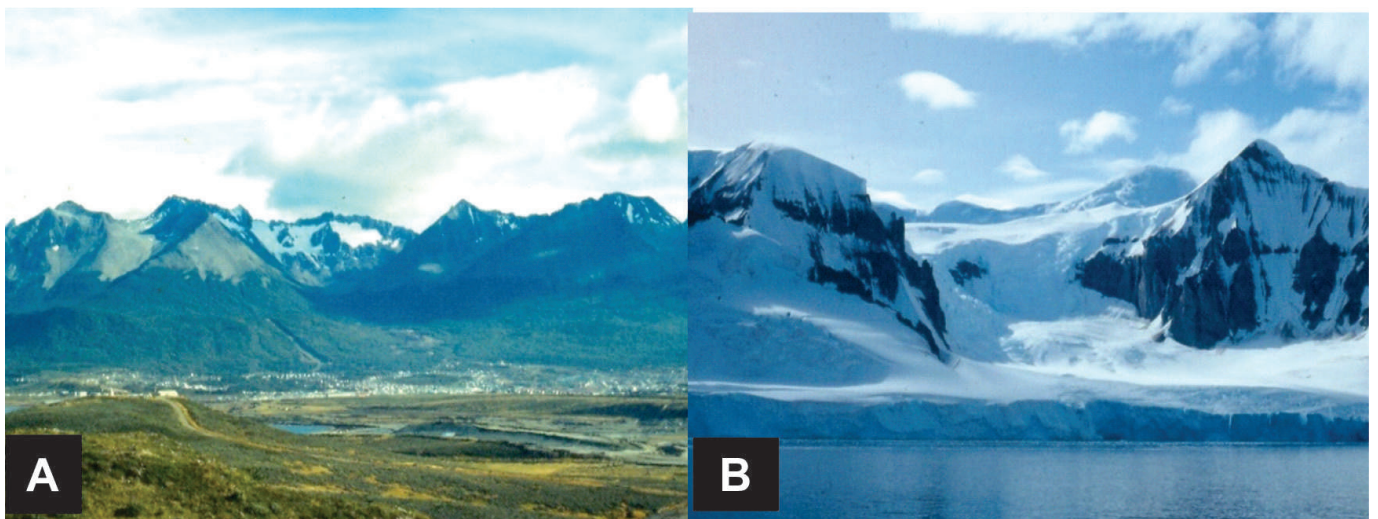


Figura 1. Formas del paisaje. A, Ushuaia, formas generadas por la actividad glacial durante la última glaciación. B, Península Antártica, glaciar en valle, es el aspecto general que tuvo Ushuaia hace unos 20.000 años.

Los campos de médanos, frecuentes en la región pampeana central, así como en el piedemonte andino de Mendoza y San Juan, los bolsones de Catamarca, entre otros lugares, también aportan información que permite inferir las condiciones en las que se formaron (Figura 2). El estudio de las formas y la composición de las arenas de estos campos de dunas indican intervalos en el pasado caracterizados por la acción dominante de vientos de determinadas direcciones que respondían a las condiciones climáticas imperantes.

Otra fuente a la que acudimos son las barrancas de los cursos de agua o los acantilados marinos, por caso, que exponen los sedimentos que los forman. Muchas veces acudimos también a exposiciones artificiales, las canteras, ya que en sus paredes los depósitos están visibles (Figura 2). Aportan evidencias para interpretar los procesos involucrados en su acumulación y por ende condiciones del pasado. Además de los mencionados, los depósitos acumulados en los fondos marinos, así como los de lagos y lagunas, son excelentes archivos naturales de registros proxy. Estos ambientes son estudiados a través de la ejecución de perforaciones que atraviesan los fondos marinos y lacustres obteniendo columnas cilíndricas de los sedimentos acumulados, llamadas testigos (Figura 3).

En las últimas décadas se incorporaron otras fuentes de información paleoclimática. Por ejemplo, los testigos de hielo (Figura 3), extraídos de los mantos de hielo de Antártida, de Groenlandia, así como de glaciares andinos y del Tíbet, entre otros lugares. También los espeleotemas (estalactitas-estalagmitas), formados en cuevas por la acumulación de carbonato de calcio.

Tanto los registros sedimentarios expuestos en barrancas como en los de fondos marinos y lacustres, así como en los testigos de hielo y los espeleotemas presentan características determinadas

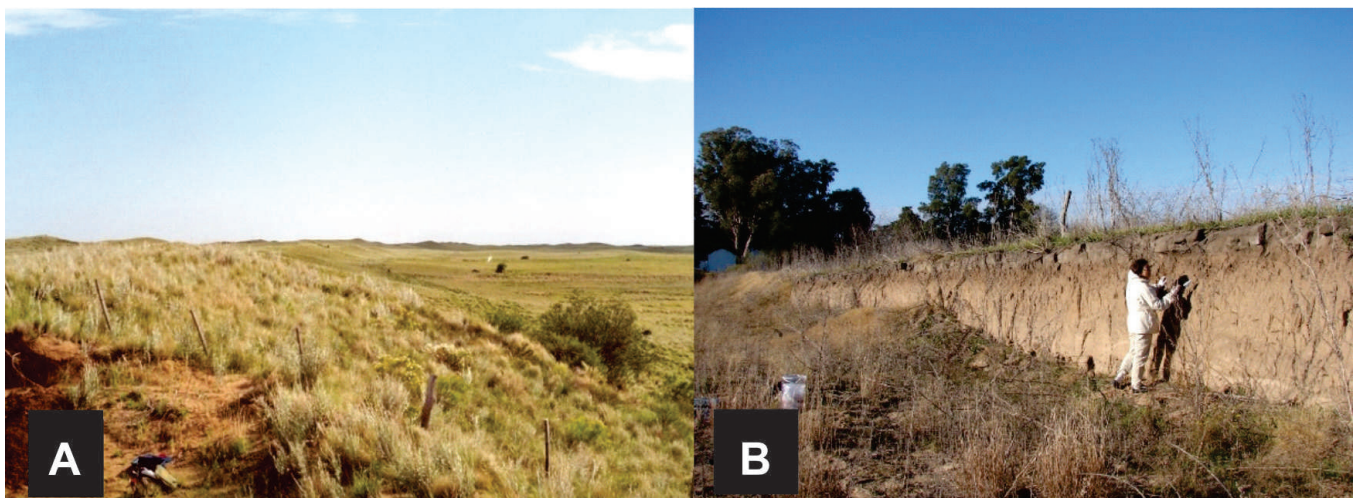


Figura 2. Los sedimentos y las formas de paisaje. A, médanos en el oeste de la provincia de La Pampa. B, corte en una cantera que expone el perfil de suelo y sedimento. En la foto, Dra. María Isabel González

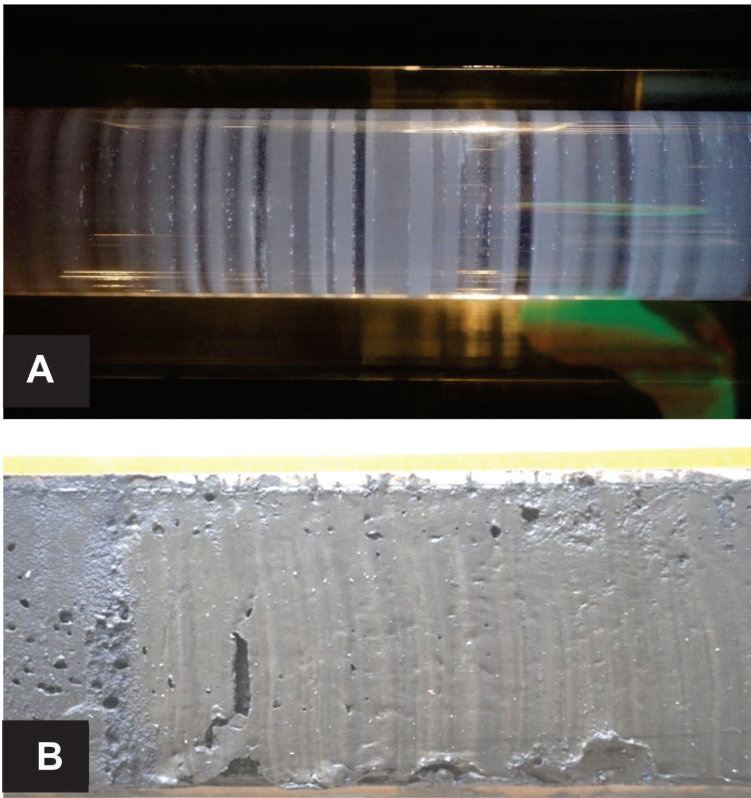


Figura 3. Hielo y sedimentos como fuentes de información. A, testigo de hielo con bandas anuales (en promedio 1,5 cm de espesor) integradas por una capa oscura con más impurezas debido a la fusión de la nieve (verano) y una clara, más limpia y con mayor acumulación de nieve (invierno), B, testigo de fondo lacustre (aproximadamente unos 35 cm de longitud) con capas sedimentarias laminadas que señalan variaciones de las condiciones ambientales y climáticas durante la acumulación de los depósitos

de color, tamaño de partícula composición química, entre otras, que varían secuencialmente, lo cual permite inferir cómo fueron los cambios de las condiciones climáticas a medida que se formaban.

Las fuentes de información biológica incluyen todos aquellos restos de organismos preservados en los depósitos en general, tanto de fondos marinos y lacustres como en barrancas, acantilados o canteras. Algunos de los más comúnmente analizados en Argentina, son los palinomorfos (granos de polen, cutículas, esporas, fitolitos) que aportan datos sobre la vegetación del pasado (Figura 4); las diatomeas (algas), los caracoles terrestres y marinos (moluscos), y los foraminíferos, diminutos organismos unicelulares cuya conchilla está formada por carbonato de calcio (Figura 4). Todos estos organismos viven en determinadas condiciones de salinidad, temperatura, profundidad del cuerpo de agua, de manera que la presencia de ellos en los depósitos hace posible inferir las condiciones generales durante las que existieron. A todos éstos, debemos sumar los restos fósiles de vertebrados, especialmente mamíferos, frecuentes en los depósitos continentales de Argentina.

El grupo de las fuentes de información vinculadas con actividades humanas, también aporta información valiosa, especialmente para el último milenio. Así, se ha recurrido a archivos históricos, las actas de los cabildos, por ejemplo, que han brindado datos interesantes sobre cosechas,

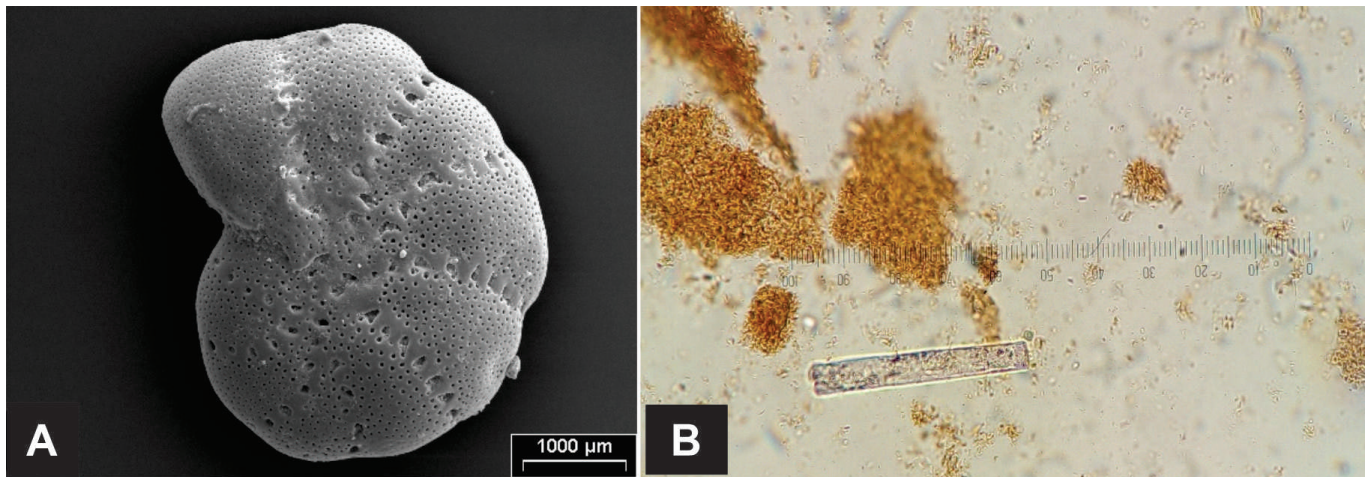


Figura 4. Los archivos biológicos. A, Foraminífero, la barra es 1 mm (1000 micrones), foto Gabriela Cusminsky. B, Célula silíceica (fitolito), de una gramínea, longitud 25 micrones, Antofagasta de la Sierra, Catamarca. Foto Laura Benvenuto

inundaciones, sequías (Prieto et al., 2018); obras pictóricas, son muy conocidas las de Brueghel que testimonian los fríos inviernos de los Países Bajos durante el siglo XVI.

### Los archivos paleoclimáticos de alta resolución

Las reconstrucciones paleoclimáticas tienen distinto grado de detalle según el registro empleado. En este sentido, la calidad de ellos, medida en términos de la resolución temporal que proporcionan, varía desde milenios a información anual. Los registros más completos son los que no han sido afectados por procesos naturales que puedan haber removido (erosionado) una parte del mismo. En términos comparativos, los ambientes de fondo marino son mucho más estables y tienen mayor potencial relativo de preservación de los depósitos, están mucho menos afectados por la acción erosiva, mayor, por cierto, en los ambientes continentales. En estos últimos, los fondos de lagos y en menor medida de lagunas y salares, recrean condiciones similares a la de los fondos marinos, presentan mayor potencial de preservación relativo. La diferencia entre los registros de fondos marinos y de lagos por ejemplo estriba en que los primeros tienen mayor profundidad temporal, son registros que han permitido inferir las condiciones paleoclimáticas de hasta millones de años, mientras que los lacustres, son registros cronológicos más cortos.

Los depósitos eólicos finos (loess) expuestos en barrancas y acantilados también han sido objeto de numerosos estudios. En el pasado existieron lapsos de clima más frío y mayor aridez general en las que importantes volúmenes de loess se acumularon, entre otros lugares, en la llanura chaco-pampeana, así como en los valles andinos orientales de Tucumán y Catamarca. El estudio de la

composición y tamaño de partícula del loess indica de dónde procedían, así como la intensidad de los vientos que los acumularon. Intercalados en los depósitos de loess aparecen niveles de suelos enterrados (paleosuelos); en términos generales, señalan intervalos de estabilidad general de las superficies topográficas (mucho menos acumulación de loess y mínima remoción -erosión-) que corresponden a lapsos de condiciones climáticas de mayor temperatura y humedad efectiva. Un ejemplo relevante son las sucesiones eólicas de loess-paleosuelos de Tafí del Valle en Tucumán, estudiadas al comienzo por el geólogo J.M. Sayago (Zinck y Sayago, 1999); estudios posteriores permitieron reconstruir la historia climática y ambiental de la región que se extendería hasta un millón de años aproximadamente (Schellenberger et al., 2006).

Los testigos de hielo son archivos de alta resolución que permiten obtener una cronología anual; han sido clave en la reconstrucción paleoclimática de las últimas decenas de miles de años. Las capas sucesivas de hielo brindan información sobre la composición de la atmósfera y del agua en el pasado lo cual está directamente vinculado con las condiciones climáticas. Por ejemplo, las burbujas de aire atrapadas en las capas de hielo preservan la composición de la atmósfera (por ejemplo el contenido de metano, y  $\text{CO}_2$ , entre otros gases), del momento en que se produjo la nevada que luego se transformó en hielo; también la composición química de las capas de hielo es un *proxy* de la condición climática general pues varía en función de la temperatura y el volumen de los mantos de hielo existentes en su momento.

El estudio de los anillos de árboles (dendrocronología) es otra fuente de información de alta resolución; brinda una cronología anual y, a través de las propiedades del anillo tales como espesor, densidad, composición química se pueden inferir las condiciones climáticas del año en que se formó; son muy importantes en la historia paleoclimática de los últimos miles de años (por ejemplo Villalba, 1994). Por último, los espeleotemas, también registros de alta resolución, han aportado información paleoclimática de las últimas centenas de miles de años y en particular de los últimos 9 milenios. Las variaciones de la composición química (por ejemplo, las relaciones de isótopos de Oxígeno) de las bandas de carbonato de calcio que los forman son el *proxy* para inferir las condiciones climáticas.

### Glaciaciones e interglaciaciones

Los registros de fondo marino han provisto la información clave de la historia climática de los últimos 2,6 millones de años. En el calendario de la Tierra este lapso es el periodo Cuaternario durante el cual ha tenido lugar una parte sustancial de la evolución del género *Homo*. Los depósitos incluyen tanto partículas sedimentarias como restos de organismos. Entre éstos, son comunes los



foraminíferos; la composición química del carbonato de calcio que compone la conchilla de estos organismos (la relación existente entre los isótopos de oxígeno del carbonato,  $O^{18}$  y  $O^{16}$ ) es un *proxy* de la que tenía el agua de mar de la cual precipitó el carbonato en su momento. Los resultados obtenidos señalaron la existencia de una variación cíclica de la composición química (la relación isotópica de Oxígeno). Luego de muchos estudios, se estableció que, a través del tiempo, la variación de esa relación dependía en un ~30 % de la temperatura y ~70% del volumen de hielo continental (Bradley, 2015). De esta manera, se pudo inferir que la temperatura del planeta y concomitantemente la extensión de las masas de hielo, cambiaron a intervalos regulares a lo largo del Cuaternario (Figura 5).

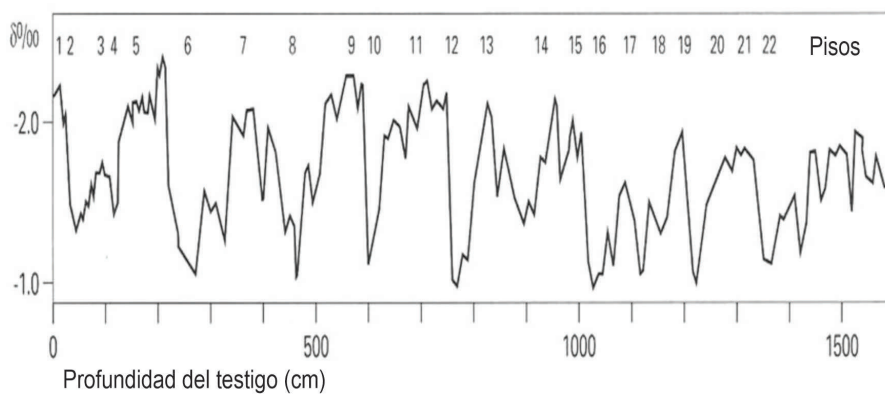


Figura 5. Los ciclos de glaciación de los últimos 1,2 millones de años aproximadamente, inferidos a partir de las relaciones de isótopos de oxígeno (abscisa) del carbonato de las conchillas de foraminíferos de fondo marino. Los pisos impares señalan intervalos de mayor temperatura. Los pisos pares, los momentos de máximo enfriamiento. En la ordenada, profundidad en el testigo marino. Las variaciones cíclicas en la composición isotópica del oxígeno contenido en las conchillas de los foraminíferos de distintas edades, permiten inferir los cambios de temperatura y del volumen de hielo a través del tiempo. Modificado de Lowe y Walker (1997)

Uno de los puntos más interesantes revelado por los estudios es que esas variaciones presentan patrones cíclicos con frecuencias determinadas. Coinciden con las variaciones de parámetros orbitales: la excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del sol, la inclinación del eje de la Tierra y el movimiento en forma de trompo que tiene nuestro planeta sobre su eje. Los parámetros orbitales varían a intervalos constantes, cíclicos que involucran decenas de miles de años. Los estudios se prolongaron durante muchos años hasta ajustar los resultados y llegar a proponer el modelo climático de cambios cíclicos actualmente vigente. Los cambios orbitales son los forzantes externos del clima a los que alude el IPCC (2013); no sólo implican la variación de la cantidad de radiación que llega, sino también cómo se distribuye en la superficie del planeta.

En síntesis, las fuentes de información señalan entonces que, durante el Cuaternario, la Tierra ha experimentado periodos fríos durante los cuales se incrementó la extensión y volumen de los glaciares y mantos de hielo, es decir periodos de glaciación, interrumpidos por intervalos más cortos de temperaturas más altas, los interglaciales. Sin embargo, debemos señalar que las glaciaciones no han sido exclusivas del Cuaternario. La historia de nuestro planeta tuvo otros periodos muy fríos.

Hacia fines del Paleozoico (~260 a 370 millones de años) se desarrolló una extensa y prolongada glaciación, la glaciación del Gondwana, un antiguo supercontinente del que América del Sur formaba parte junto con África, la India, Antártida y Australia. También existen evidencias de otras grandes glaciaciones en tiempos geológicos mucho más remotos.

### ¿Cuándo comenzó el último enfriamiento de la Tierra?

Para comprender las condiciones climáticas del Cuaternario con alternancia de glaciaciones e interglaciaciones debemos retroceder hasta hace unos 65 millones de años, hacia finales del período Cretácico, caracterizado por una temperatura media alta, unos 23°C. Es a su término cuando el planeta comienza lenta y progresivamente a enfriarse, proceso que se conoce como el enfriamiento postcretácico. A partir de entonces, a lo largo de esos 65 millones de años, la disminución de la actividad volcánica, el desplazamiento de las placas continentales hacia posiciones cada vez más cercanas a los polos generaron importantes cambios en la circulación oceánica, así como la formación de cadenas de montañas e incluso la tasa de alteración química de los minerales. En conjunto, estas modificaciones entre otras, influyeron en la composición atmosférica (entre otras consecuencias, menos CO<sub>2</sub> por ejemplo) y variaciones en la distribución de la radiación solar en la superficie según la posición que adquirirían las masas continentales. Es decir, la condición climática cuaternaria tiene sus raíces en un proceso complejo y de larga data de millones de años.

### Ciclos de glaciación y niveles del mar

Durante los últimos 800.000 años, el planeta ha experimentado 8 grandes ciclos de glaciación, es decir cada 100.000 años; con anterioridad hasta los 2,6 millones de años, se repitieron cada 40.000 años aproximadamente. El último ciclo de glaciación tuvo su máximo desarrollo hace unos 20.000 años. Para entonces, todo el territorio de Canadá y el norte de Estados Unidos, estaban cubiertos por un manto de hielo de unos 13 millones de km<sup>2</sup> con una extensión similar al manto de hielo antártico actual. Algo similar sucedió en el norte de Europa; los paisajes actuales de Alemania y los países nórdicos, por ejemplo, son de origen glacial. En América del Sur, los Andes Patagónicos estuvieron cubiertos por una calota de hielo, mientras que en los Andes centrales se desarrollaron glaciares que modelaron los valles fluviales en las cuencas superiores de los cursos de agua. Es decir que la criósfera, uno de los subsistemas del sistema climático, presentaba mucho mayor desarrollo que en la actualidad.

Es interesante plantearse de dónde procedía el agua almacenada en esas grandes masas de hielo. La fuente fueron las cuencas marinas, era agua del mar evaporada y precipitada como nieve

en las áreas emergidas, para después convertirse en hielo. Como consecuencia, el nivel del mar descendió unos 120 metros durante el máximo de la última glaciación, es decir cuando los mantos de hielo y glaciares tuvieron su máxima extensión. Por lo tanto, la plataforma continental argentina estaba expuesta, era un área emergida. Para entonces, a la latitud de Mar del Plata, la línea de costa estaba unos 150 km hacia el este. En Puerto Madryn, por ejemplo, a unos 300 km de la actual. La Patagonia extra andina, era muchísimo más amplia. Una geografía muy diferente a la actual, hace apenas 20.000 años. También los sistemas fluviales eran diferentes, los ríos con cabeceras en la cordillera englazada tenían mucho mayor envergadura. Sus caudales estaban muy incrementados dado que eran alimentados por el agua de deshielo de los glaciares de sus cabeceras o de la calota de hielo en los cursos patagónicos (Colorado, Negro, Deseado, Chubut, Santa Cruz entre otros).

Después de esa máxima extensión, comenzaron a cambiar las condiciones climáticas en pocos miles de años. La temperatura se incrementó iniciándose un proceso generalizado de deglaciación con el retroceso de los mantos de hielo y de los glaciares de valles andinos. El proceso no fue lineal, sino que hubo intervalos breves de enfriamiento hasta que a los 11.700 años antes de la actualidad comenzó un periodo generalizado de temperaturas más altas, más similares a las del presente. Para entonces, los glaciares andinos ya se encontraban en las posiciones que exhiben hoy o bien habían desaparecido completamente. Este periodo de condiciones más benignas en el que vivimos es un interglacial durante el cual ha tenido lugar nuestra historia más reciente. Si es un interglacial significa que, el planeta volverá a enfriarse y englazarse en algunos miles de años. En el pasado, encontramos un intervalo similar al actual, otro interglacial, hace unos 100 mil años, que precedió a la última gran glaciación. Y si aún vamos más atrás en el tiempo, hubo otros, en líneas generales de características más o menos similares.

#### Cambios climáticos durante la última glaciación (100.000 años)

Durante la última glaciación, a partir de registros de alta resolución cronológica (testigos de hielo y fondo marino) se infieren otras oscilaciones climáticas de pocos miles de años con enfriamientos e incrementos de la temperatura, a veces de varios grados en cortos lapsos; se trata de modificaciones importantes de la temperatura en escalas de 2 a 3 mil años, es decir son ciclos climáticos de menor duración. Se los ha explicado como producto de factores internos del sistema. Lo más relevante es que el comportamiento general del clima de la última glaciación, como de las previas, se caracterizó por descensos de la temperatura seguido de bruscos incrementos, a estos últimos siguieron nuevos intervalos de disminución progresiva de la temperatura nuevamente interrumpidos por aumentos rápidos de la misma. Es un patrón recurrente que, analizado a lo largo de decenas de miles de

años, señala una tendencia general hacia temperaturas más bajas que llegaron a su mínimo hace aproximadamente 20.000 años.

### El interglacial actual (Holoceno)

Los últimos 12 mil años aproximadamente han sido de condiciones mucho más benignas, menos inhóspitas y rigurosas que las de la glaciación, el mejoramiento ha generado amplios espacios habitables para nuestra sociedad. Pensemos en los casos mencionados de Canadá, la península escandinava y el norte de Estados Unidos, cubierto de hielo hasta hace tan solo algo más de una decena de miles de años. Lo mismo con los Andes patagónicos, los lagos de Bariloche, Esquel, Buenos Aires, el canal de Beagle estuvieron ocupados por enormes glaciares hasta hace pocos miles de años. Hoy en día están poblados por bosques y ocupados por nuestras ciudades y pueblos. Sin embargo, también ha habido fluctuaciones climáticas en este interglacial, no ha tenido un clima estático, ni mucho menos estable, hubo fluctuaciones climáticas con temperaturas que variaron desde décimas de grado hasta  $\sim 1-2^{\circ}\text{C}$ , según las estimaciones, y variaciones de las precipitaciones con intervalos de sequía importantes. En la Puna catamarqueña, grupos interdisciplinarios de geólogos y arqueólogos han interpretado cambios hidrológicos significativos durante los últimos miles de años; infieren un intervalo seco entre  $\sim 6.700$  y  $3.000$  años antes del presente (Grana et al., 2016). Por otro lado, en los valles subandinos, a partir del estudio de granos de polen se han interpretado cambios en la vegetación, que se vincularían con el régimen de lluvia y las modificaciones introducidas por las poblaciones humanas entre los  $9.000$  y aproximadamente los  $2.350$  años antes del presente (Lupo et al., 2015).

Para las reconstrucciones de detalle se ha apelado a registros de muy alta resolución como los anillos de árboles y los espeleotemas. Todos estos registros han permitido inferir la existencia de un lapso conocido como Óptimo Medieval entre los  $900$  a  $1.300$  años de nuestra era, caracterizado por un leve incremento de la temperatura y mayores precipitaciones en Europa. Es en ese periodo en el que se desarrollan las exploraciones de los vikingos y la ocupación de Groenlandia e Islandia. En la región central de Argentina, el correlato fue condiciones aparentemente más secas que las actuales. Este periodo fue seguido por otro intervalo con un descenso de la temperatura promedio de algunas décimas de grado que se extendió hasta mediados del siglo XIX aproximadamente. Se lo conoce como la Pequeña Edad de Hielo, caracterizada por inviernos rigurosos y un muy moderado avance de los glaciares de montaña en diversas partes del mundo, incluidos los Andes. Estas condiciones se han vinculado, entre otros factores, a ciclos solares.

Desde mediados del siglo XIX, comenzó una tendencia a un aumento progresivo de la temperatura promedio, que coincide con la etapa de organización general de la Argentina, el proceso inmigratorio y la fundación de pueblos y ciudades en las planicies del centro del país y de la Patagonia. Es ya el lapso que tiene registros instrumentales del clima.

### Corolario

Hemos hecho una reseña muy apretada de algunos de los aspectos más trascendentes de la historia climática; al respecto, el volumen de estudios disponibles es enorme. Nos queda la certeza de que los cambios, las fluctuaciones y las modificaciones del clima han sido una constante en la historia de la Tierra. El clima nunca ha sido estático, por el contrario, es extremadamente dinámico y lábil, responde a modificaciones de índole diversa, a veces respuestas inmediatas o a más largo plazo, en distintas escalas temporales. Ciclos orbitales, ciclos solares, erupciones volcánicas, cambios en las corrientes oceánicas, en la circulación atmosférica por citar algunas de las causas, son invocadas para explicar la historia climática y de esta manera, brindar un marco de referencia amplio para la problemática del Cambio Climático.

---

### AGRADECIMIENTOS

---

El autor agradece los comentarios y sugerencias del cuerpo editorial que han mejorado el artículo. También, mi reconocimiento a las Dras. Gabriela Cusminsky y María Laura Benvenuto por las fotografías proporcionadas.

---

### REFERENCIAS

---

BRADLEY R. 2015. Paleoclimatology, reconstructing climates of the Quaternary. Academic Press, 3ra edición. 696 pp.

GRANA LP, P TCHILINGUIRIAN, C DE OLIVERA, C LAPRIDA, NI MAIDANA. 2016. Paleohydrological Changes in Highland Desert Rivers and Human Occupation, 7000-3000 Cal. Yr B.P., South-Central Andes, Argentina. *Geoarchaeology: An International Journal*, 31: 412-433

GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). 2013. Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: TF Stocker, D Qin, GK Plattner, M Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex, PM Midgley (eds.), Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: 185-203. Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press.

LOWE JJ, MJC WALKER. 1997. *Reconstructing Quaternary Environments*, Longman, 446 pp.

LUPO LC, JJ KULEMEYER, AC SÁNCHEZ, E PEREIRA, RG CORTÉS. 2015. Los archivos paleoambientales en el Borde Oriental de la Puna y sus respuestas a los cambios naturales y antrópicos durante el Holoceno. Noroeste argentino. *Estudios sociales del NOA*, 16: 39-68

PRIETO MR, F ROJAS, L CASTILLO. 2018. La climatología histórica en Latinoamérica. Desafíos y perspectivas. *Bulletin de l'Institut Française de Études Andines*, 47(2): 141-167

SHELLENBERGER A, H VEIT. 2006. Pedostratigraphic and pedological and geochemical characterization of Las Carreras loess-paleosols sequence, Valle de Tafí, NW Argentina. *Quaternary Science Reviews*, 25: 811-831

VILLALBA R. 1994. Tree ring and glacial evidence for the Medieval Epoch and the Little Ice Age in southern South America. *Quaternary Research*, 34: 346-360

ZINCK JA, JM SAYAGO. 1999. Loess-paleosol sequence of La Mesada in Tucumán province, northwest Argentina, characterization and paleoenvironmental interpretation. *Journal of South American Earth Sciences*, 12: 293-310. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(99\)00019-X](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(99)00019-X)

# TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

**Volumen 13, Número 2, Agosto 2023**

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