

# Temas de Biología y Geología del Noa

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Reportajes

Sara Mata y el ICSONH

Artículos

El agua de lluvia  
¿Se adapta o resiste?

# Temas de Biología y Geología del Noa

Revista Cuatrimestral de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

## Comité Editorial

### Editora Responsable

Marissa Fabrezi. *ibigeo*. CONICET

### Editores Asociados

Fernando Hongri. *ibigeo*. CONICET - UNSa

Alicia Kirschbaum. *ibigeo*. CONICET - UNSa

Fernando Lobo Gaviola. *ibigeo*. CONICET - UNSa

## Comité Científico

Federico Aguilón. Museo Argentino de Ciencias Naturales

Sebastián Arroyo. Comisión Nacional de Energía Atómica

Sebastián Blantonuevo. CONICET - Museo Argentino de Ciencias Naturales

Analia Boero. Universidad Nacional de Salta

Afonso Brod. Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiás, Brasil

Cristina Camardelli. Instituto de Desarrollo Rural, UNSa

Dario Cardozo. CONICET - Universidad Nacional de Misiones

Hugo Carrizo. Fundación Miguel Lillo

Mónica Díaz. CONICET - Universidad Nacional de Tucumán

Marcelo Fagiano. Universidad Nacional de Río Cuarto

Hugo Fernández. CONICET-Fundación Miguel Lillo y Universidad Nacional de Tucumán

Luis Fernández. CONICET - Fundación Miguel Lillo

David Flores. CONICET - Museo Argentino de Ciencias Naturales

Laura Gambiagi. IANIGLA (CONICET - Mendoza) - CONICET

Fernando J. Gomez. DICTERRA - CONICET, Universidad Nacional de Córdoba

Julian Gomez Augier. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo UNT

Silvia Guzmán. *ibigeo*. CONICET - UNSa

Silvia Japas. CONICET - Universidad de Buenos Aires

Héctor Lacroix. Universidad Nacional de San Luis

Esteban Lavilla. CONICET - Fundación Miguel Lillo

Fernando Lobo. *ibigeo*. CONICET-UNSA

Hugo López. Universidad Nacional de La Plata

Oswaldo Manrí. Secretaría de Minería, Provincia de Tucumán

Nilda Menegatti. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Gladys Morastero de Gonzo. *ibigeo*. CONICET - UNSa

Carolina Montero López. *ibigeo*. CONICET

Pablo Perovic. Administración de Parques Nacionales

Llucenç Planagumà Guàrdia. Parque de la Guerdota, Olot, Catalunya

Verónica Rajal. CONICET y Universidad Nacional de Salta

Diego Saravia. Universidad Nacional de Salta

Agustín Scarferra. *ibigeo*. CONICET - UNSa

Gustavo Scrocchi. CONICET - Fundación Miguel Lillo

Ana Laura Sureda. Administración de Parques Nacionales

Marcos Vaini. *ibigeo* (grupo Vinculado) - CONICET, UNLa

Aldo I. Vassallo. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, CONICET-UNMDP

Ezequiel I. Vera. CONICET - Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"

Florencia Vera Candioti. CONICET - Fundación Miguel Lillo

Natalia von Ellenrieder. Plant Pest Diagnostic Center (California Department of Food & Agriculture), Sacramento, Estados Unidos

Sonia Zent-Kretzschmar. Fundación Miguel Lillo

## Realización

Textos. Comité Editorial. Diseño y Diagramación. Eugenia Dantur

## IBIGEO

INSTITUTO DE BIO Y GEOCIENCIAS DEL NOA

[www.unsa.edu.ar/ibigeo](http://www.unsa.edu.ar/ibigeo)

Fue creado como instituto de la Universidad Nacional de Salta comienzos de 2005 y como Unidad Ejecutora de doble pertenencia CONICET-UNSA en 2009. Tiene su sede en 9 de julio 14, Rosario de Lerma, 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.**

### Foto de tapa

Paleosuelo (suelo fósil) desarrollado en la Formación Maiz Gordo (Grupo Salta) del Paleoceno. La vista corresponde a un afloramiento en la Provincia de Jujuy. La piqueta señala la capa en la que aparece el desarrollo incipiente de suelo durante la sedimentación de la Formación Maiz Gordo.

**Fotografía:** Carolina Montero López.



# Temas de Biología y Geología del Noa

## Contenidos

2 | Editorial

### Reportajes

3 | Sara Mata y el INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES (ICSOH)

### Artículos

5 | ¿Qué se puede ser y hacer? Notas sobre adaptación y plasticidad. *Javier Goldberg*

11 | Claro como el agua. *María Romero Orué y Emílice de las Mercedes López*

20 | Correo de lectores

20 | Novedades

20 | Guía para autores y proceso editorial

# Temas de Biología y Geología del Noa

## Editorial

Tenemos el agrado de comenzar el 2015 con un nuevo volumen de nuestra revista **Temas BGNOA**. El 2015, a propuesta de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), es el año internacional de los Suelos y por esta razón las tapas de los tres números del año estarán destinadas a esta temática tan importante para las Ciencias Ambientales.

El año 2015 nos encuentra a toda máquina trabajando en nuestra sede de Rosario de Lerma y con la permanente preocupación de alcanzar los objetivos colectivos e individuales con algunas propuestas de colaboración con grupos de trabajo de otros centros de investigación del país y de la Unión Europea y continuar con los proyectos en marcha. En el año 2015 se inician seis becas doctorales, tres becas posdoctorales, se incorporan a la Carrera del Investigador tres doctoras y dos técnicos, todo lo cual implica que en se sumaron a nuestro grupo de trabajo nuevas personas, nuevos temas de investigación y nuevas capacidades.

En esta publicación, estamos orgullosos de presentar un reportaje a la Dra. Sara Mata, quien recientemente ha asumido la dirección del flamante Instituto de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades, un instituto de doble pertenencia CONICET y Universidad Nacional de Salta que además se suma al Centro Científico Tecnológico-Salta.

Los dejamos disfrutar de este número de **Temas BGNOA**. Hasta el próximo!

### Comité Editorial de Temas de Biología y Geología del NOA

Marissa Fabrezi  
Fernando Hongn  
Alicia Kirschbaum  
Fernando Lobo

## Reportajes

# Instituto de investigaciones en ciencias sociales y humanidades-ICSOH

El ICSOH es una unidad ejecutora de doble pertenencia—CONICET y Universidad Nacional de Salta— que forma parte del Centro Científico Tecnológico (CCT)-Salta. Las investigaciones desarrolladas desde el ICSOH abordan temáticas diversas en disciplinas como la historia, sociología, arqueología, antropología, letras, ciencias de la comunicación y ciencias de la educación. En este reportaje, entrevistamos a la Dra. Sara Emilia Mata, su actual directora.

### Temas BGNos ¿Cómo surgió la idea de proponer a CONICET una Unidad Ejecutora como el ICSOH?

**SM:** La idea de proponer a CONICET la creación de un Instituto de Investigación de doble dependencia se gestó a partir de la necesidad de consolidar las actividades de investigación y de formación de recursos humanos desarrolladas durante más de dos décadas por el Centro Promocional de las Investigaciones en Historia y Antropología (CEPIHA) y el Instituto de Investigaciones en Sociocrítica Comparada (INSOC), ambos pertenecientes a la Facultad de Humanidades cuyos integrantes compartieron y comparten, desde hace ya tiempo, fructíferas experiencias de investigación que hicieron posible la producción científica y la formación de recursos humanos altamente calificados en el área de Humanidades y Ciencias Sociales. El ingreso a Carrera del Investigador Científico de nuestros becarios y la radicación en el CEPIHA y el INSOC de investigadores CONICET procedentes de otras provincias junto con docentes investigadores de la Universidad Nacional de Salta conformaron una masa crítica suficiente para concretar la creación del ICSOH que pasa a ser el primer Instituto de Investigación en el área de las Humanidades y las Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Salta que integra el sistema científico nacional del prestigio y reconocimiento del CONICET.

### Temas BGNos ¿Cómo se acomoda este nuevo esquema de instituto de investigación en el esquema de la Facultad de Humanidades?

**SM:** Consideramos totalmente natural nuestra inserción en la Facultad de Humanidades que brinda formación de grado en las disciplinas que integran el ICSOH. Prácticamente todos los investigadores CONICET son docentes en dicha Facultad al igual que los docentes investigadores que pertenecen al Instituto, lo cual favorece una fluida relación con los estudiantes brindándoles óptimas posibilidades de vinculación en los proyectos de investigación, incentivando la vocación por la investigación científica y favoreciendo la formación de recursos humanos. Gracias a esta vinculación con la actividad docente desarrollada en la Facultad el ICSOH cuenta actualmente con veintiocho becarios CONICET entre doctorales y posdoctorales además de becarios alumnos del Programa del Consejo Interuniversitario Nacional y de la Facultad de Humanidades lo cual garantiza el crecimiento futuro del Instituto y contribuye a la excelencia académica de la Facultad de Humanidades. No debemos olvidar tampoco que en el ICSOH confluyen dos Institutos de la Facultad por lo cual el desarrollo de nuestras actividades, si bien potenciadas ahora por la pertenencia también al CONICET, son conocidas por los colegas y estudiantes de la Facultad.



**SARA EMILIA MATA**

Doctora en Historia de la Universidad de La Plata.

Investigadora Principal de CONICET y Profesora Titular en Historia Argentina I en la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Salta

Fue designada como Directora del ICSOH el 20 de noviembre de 2014 a partir de un concurso de antecedentes y pruebas realizado por CONICET y ratificado por el Consejo Superior de la UNSa.

Investiga la historia colonial del siglo XVIII y el proceso de Independencia americana.



#### **Temas BGNoa** ¿Cuáles son las metas a corto y mediano plazo?

**SM:** Varias son las metas a alcanzar, obviamente primero es necesario concluir con la etapa de normalización del Instituto, para lo cual ya hemos elaborado el Reglamento que se encuentra actualmente a consideración del Directorio del CONICET. Una vez aprobado el Reglamento podremos constituir el Consejo Directivo y debatir sobre la política de investigación a implementar en el ICSOH. Consideramos una meta importante comenzar a consolidar las vinculaciones académicas con otras Unidades Ejecutoras tanto las que integran el Centro Científico Tecnológico Salta como aquellas afines a nuestras disciplinas existentes en la región y el país. También consideramos de interés organizar lo más pronto posible y a través de la Oficina de Vinculación Tecnológica del CONICET la oferta de asesoramiento y transferencia al medio, tarea que hasta el momento hemos realizado desde el CEPIHA y el INSOC de manera ocasional y como resultado de la actividad de extensión de los proyectos de investigación. A mediano plazo consideramos importante establecer áreas prioritarias de investigación atendiendo a las problemáticas sociales y económicas regionales y lograr la incorporación de investigadores y la formación de recursos humanos que cubran áreas de vacancias. En relación con la formación de recursos humanos nos proponemos contribuir a la creación de un Doctorado acreditado para fortalecer los estudios de posgrados de la Universidad Nacional de Salta.

#### **Temas BGNoa** ¿Qué aspecto te gustaría destacar sobre el ICSOH?

**SM:** El aspecto que más me interesa destacar del ICSOH son sus posibilidades futuras para consolidar la investigación en el área de Ciencias Sociales y Humanidades en estrecha relación con los problemas sociales y económicos de la región. Es importante asimismo destacar la tarea de difusión del conocimiento que se realiza a través de la Revista ANDES: Antropología e Historia, que desde hace 25 años publica el CEPIHA y el trabajo realizado por investigadores CONICET e investigadores de la Universidad Nacional de Salta materializado a través de la ejecución de proyectos de investigación y publicaciones conjuntos. Y es precisamente esta integración una característica del ICSOH que deseamos conservar y acrecentar. Por último es destacable la propuesta interdisciplinaria que define nuestras propuestas de investigación y que se expresa en la enunciación de las líneas de investigación del ICSOH.

#### **Temas BGNoa** Esto a título personal ¿qué mensaje te gustaría transmitir a los jóvenes interesados en la investigación científica y en especial en el Gran área de las Ciencias Sociales y Humanidades?

**SM:** Un mensaje muy sencillo y breve. Es preciso que comprendan que la investigación es una tarea que requiere no solo talento sino también vocación y constancia, mucha constancia y esfuerzo. Y tratándose de las Ciencias Sociales y Humanidades requiere asimismo compromiso social. La trayectoria individual no debe ser el fin de la labor del investigador sino que su objetivo debe ser la producción de conocimientos destinados a contribuir al desarrollo de la sociedad en su conjunto.

# Artículos

## ¿Qué se puede ser y hacer? Notas sobre adaptación y plasticidad

Javier Goldberg\*

\* Instituto de Bio y Geociencias (IBIGEO), CCT CONICET-Salta, 9 de Julio 14. 4405. Rosario de Lerma, Salta.

De acuerdo con la escuela de pensamiento científico enmarcada en lo que se ha llamado la Síntesis Evolutiva Moderna, la diversidad dentro de una población surge por azar mediante mutaciones (cambios en el material hereditario- ADN) y/o recombinaciones (interacción e intercambio de información entre secuencias de ADN) sobre las que actúa el ambiente para seleccionar los fenotipos (cualquier característica detectable de un organismo, ya sea estructural, bioquímica, fisiológica, etc.) más aptos. En este contexto, dentro de una población algunos individuos heredan caracteres morfológicos, fisiológicos, etc., que les confieren alguna ventaja frente a sus congéneres. Estos individuos denominados "más aptos" serán seleccionados (valga la redundancia) por "selección natural" y dejarán relativamente más descendencia por lo que dichas características ventajosas se harán cada vez más frecuentes dentro de la población. Así, la nueva condición del carácter que aparece en la población es entendida como una mejora (generalmente con respecto a un funcionamiento particular) y por ende resulta más adaptativa que la preexistente. La acumulación lenta de cambios favorables en la población a lo largo de las generaciones llevará en última instancia al surgimiento de una nueva especie. Dentro de la Síntesis Moderna, el rol del ambiente en la evolución puede ser resumido en la siguiente frase: "el ambiente propone y la selección natural dispone" lo que expresa de alguna manera una relación uni-direccional entre ambiente y adaptación y los organismos son vistos como objetos pasivos que responden a ellos (Fusco y Minelli, 2010). Por ello, los caracteres morfológicos, fisiológicos, etc. son analizados principalmente desde un punto de vista funcional, preguntándose cuál es su utilidad adaptativa para sobrevivir y reproducirse.

El enfoque del rol del desarrollo en la evolución de la forma de los organismos fue excluido de la Síntesis Moderna ya que se asumió (y asume) que la genética de poblaciones puede explicar por sí sola la evolución y entonces la morfología y el desarrollo no juegan roles claves. Sin embargo, una nueva corriente de investigación enmarcada en lo que

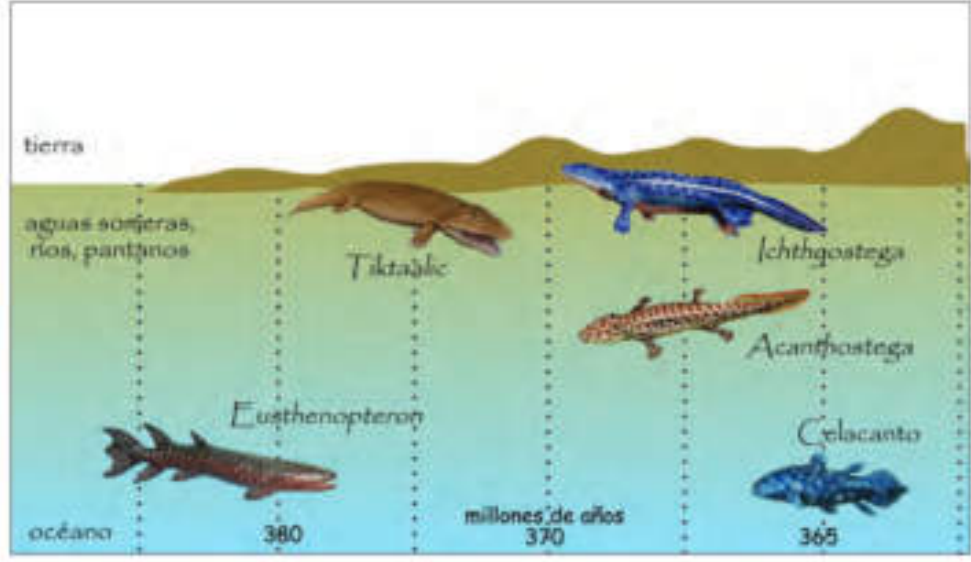
se conoce como Evo-Devo (Evolución del Desarrollo) se ha ido consolidando en los últimos años con el objetivo fundamental de entender el papel de los cambios en los mecanismos del desarrollo en el origen evolutivo de ciertos aspectos del fenotipo. Esta nueva disciplina es muy interesante ya que combina el estudio de la Genética del Desarrollo, la Embriología y el análisis de la variación morfológica. Resulta importante destacar que la Evo-Devo no refuta la Síntesis Moderna sino que la completa en el marco de una teoría evolutiva mucho más comprehensiva (Hall, 2003).

Es común escuchar que la evolución y el surgimiento de nuevas especies representan una escalera desde especies primitivas a especies modernas y evolucionadas, un camino hacia la cima (entendida ésta como una perfección), cuando en realidad el surgimiento de nuevas especies se produce por eventos de ramificación dicotómica a partir de especies ancestrales. Todos conocemos la idea generalizada (y erróneamente redactada) de que el hombre descende del mono y representa el último peldaño de la evolución, idea que quedó manifiesta en una de las usuales ironías del famoso escritor, orador y humorista Mark Twain: *"Si la Torre Eiffel representara la edad del mundo, la capa de pintura en el botón del remache de su cúspide representaría la parte que al hombre le corresponde de tal edad; y cualquiera se daría cuenta que la capa de pintura del remache es la razón por la cual se construyó la Torre"*.

Otro claro ejemplo: se ha generalizado que los anfibios representan un eslabón intermedio, entre los peces (acuáticos) y los amniotas (saurópsidos y mamíferos; terrestres), en los que el desarrollo de cuatro extremidades significó la "conquista" del medio terrestre debido a que ese número de extremidades es el más eficiente para caminar y para sostener el cuerpo, de hecho la palabra comúnmente usada "conquista" da una idea de ganar —generalmente un territorio— por tener mejores habilidades. Pero...

¿la única explicación para la presencia de cuatro extremidades en los tetrápodos viene de su eficiencia para mantener el cuerpo erguido? No, estudios realizados en fósiles, especialmente de tetrápodos del Devónico Tardío como *Acanthostega*, *Ichthyostega* y *Ticthaalik*, demostraron los cambios desde apéndices tipo aletas de los peces hacia las extremidades de los tetrápodos, revelando la existencia de dos eventos claves relacionados con cambios durante el desarrollo: la adquisición de una articulación diferente entre la cintura pectoral y el húmero y el origen de nuevos huesos que conformaron la mano y el pie como una novedad morfológica (estructura que no existía anteriormente en ningún organismo). Así, durante la evolución de las extremidades, la articulación del elemento proximal (húmero) con la cintura adquirió una posición lateral mientras que la articulación distal de ese elemento (que sería el codo) en ángulo recto determinó que la parte inferior de la extremidad se ubicase hacia abajo. Entre los cambios, la muñeca y el tobillo se fueron definiendo

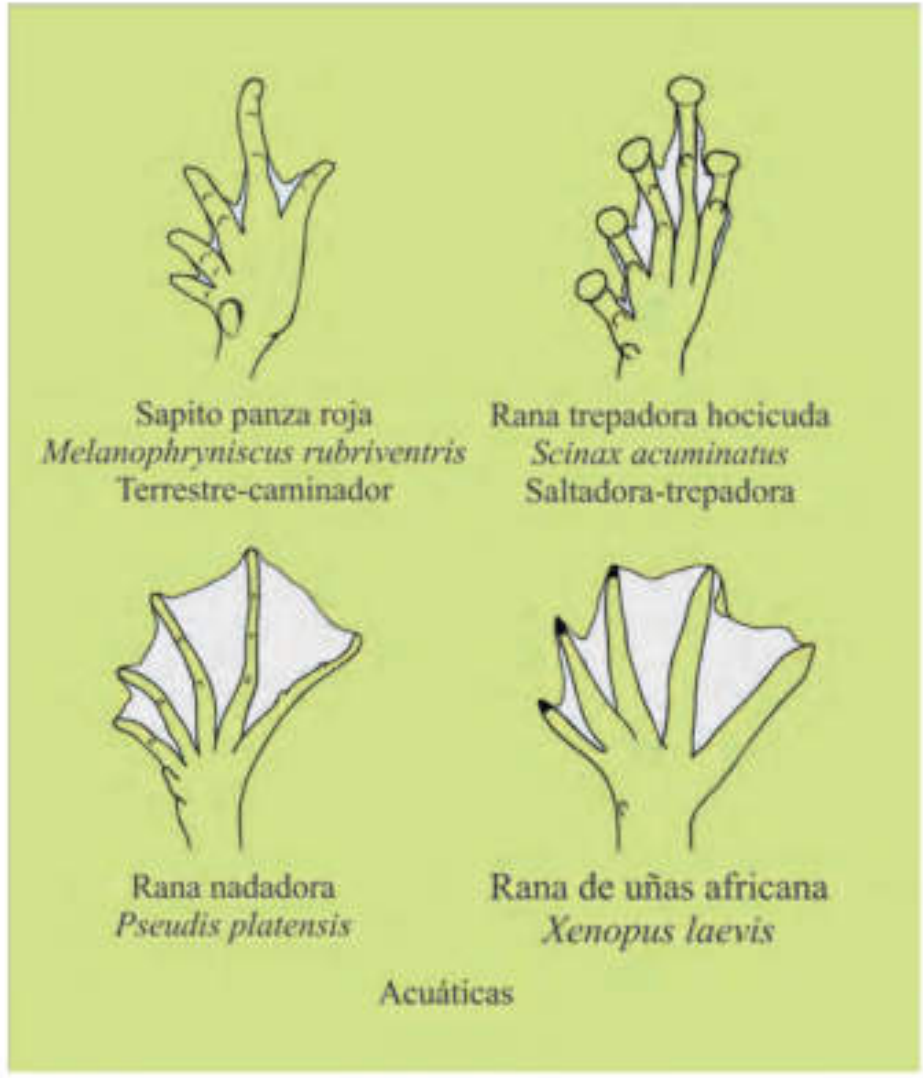
más claramente, y comenzaron a actuar como una bisagra, y los nuevos huesos en manos y pies les permitieron extenderse ampliamente y cumplir su papel como una superficie de soporte de peso. Así, a diferencia de lo que se pensó durante mucho tiempo los dedos evolucionaron en el agua como un evento no relacionado con la necesidad de la locomoción terrestre (Fig. 1). De hecho ya se ha comprobado que los dedos evolucionaron a partir de cambios en el mecanismo de regulación génica que actúa durante el desarrollo de las aletas de los peces (Woltering et al., 2014). ¿Y por qué cuatro extremidades? la presencia de cuatro extremidades en tetrápodos es el resultado de que éstas evolucionaron de cuatro aletas de peces. Es decir, de un patrón de desarrollo preexistente que se modificó. Esto no quiere decir que manos y pies no sean útiles en el ambiente terrestre, sino simplemente que su uso en dicho ambiente es una consecuencia secundaria, no la causa primaria por la cual se han mantenido presentes en todos los tetrápodos.



**Figura 1.** Evolución de las extremidades pares durante el Devónico tardío. Figura modificada tomando fotos de [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (*Acanthostega*, *Eusthenopteron*, *Ichthyostega*), [www.paleopedia.com](http://www.paleopedia.com) (*Ticthaalik*) y Peter Forey-Museo de Historia Natural de Londres (*Celacanto*).

Entre los tetrápodos, las patas palmeadas representan una excelente herramienta para la natación y de hecho su diseño ha sido copiado por el hombre para hacer más eficiente el buceo, por ejemplo. Entre los anuros, hay una gran variación en cuanto al grado de desarrollo de estas membranas interdigitales en las extremidades posteriores (Fig. 2). Sin embargo, contrario a lo que se esperaría si asociáramos directamente la forma con la función, la presencia de tejido interdigital no





**Figura 2.** Vista ventral de las patas de cuatro especies de anuros. La presencia de tejido interdigital es común aún en aquellas especies que nos son acuáticas.

siempre se relaciona con especies acuáticas: sucede que todas las especies acuáticas poseen tejido interdigital pero no todas las que poseen tejido interdigital son acuáticas. Así, es importante separar adaptación (en este caso cualquiera diría que es una adaptación al medio acuático) de las características ancestrales del grupo al cual una especie pertenece. Por ejemplo, las extremidades de la rana africana de uñas (*Xenopus laevis*) y la rana paradójica (*Pseudis paradoxa*) acuáticas —dos especies filogenéticamente distantes, una basal y una más derivada, respectivamente, y especializadas para la locomoción acuática— exhiben similitudes morfológicas que son resultado de cambios durante los estados tempranos del desarrollo de las extremidades en comparación con el resto de los anuros (Goldberg y Fabrezi, 2008). Esta variación, de tipo temporal, se evidencia en morfologías de las extremidades posteriores muy parecidas [isometría (misma longitud) de los dedos] que resultan en un similar modo de locomoción. Por lo tanto, algunas partes del cuerpo pueden ser modificadas, no por acción directa de la selección natural o través de la “búsqueda” de una respuesta eficiente para un ambiente dado sino por cambios durante el desarrollo.

Un ejemplo clásico que nos puede aclarar el panorama...

Un cuento muy famoso es el de caperucita roja. La historia cuenta que cuando la niña llega a casa de su abuela la confunde con el lobo y le interroga sobre su desproporcionada fisonomía, a lo cual el lobo le responde que su mayor tamaño de ojos, orejas y boca aumentan sus habilidades. Estas respuestas nos sirven para ejemplificar una visión bastante común entre biólogos y no biólogos donde se explica el porqué de una morfología tal en base a una función determinada. Pero... por otro lado, podemos encontrar otra respuesta posible, más interna al organismo en cuestión. Podemos argüir que estas estructuras (ojos, orejas y boca grandes) han crecido de esa manera durante el desarrollo. Previamente comenté que se está estudiando cómo los cambios durante el desarrollo son las vías por las cuales los organismos evolucionan. La alometría, es decir el crecimiento diferencial de las partes de un organismo, es la evidencia más frecuente del cambio en el programa del desarrollo. Bajo este contexto diferente, ojos, orejas y boca grandes no son grandes PARA ver, oír y comer mejor sino que son el resultado de cambios durante el desarrollo (comparando en este caso al lobo con otras especies) que traen aparejado luego un funcionamiento determinado, quizás aumentando la eficiencia... o quizás sin una consecuencia funcional.

Así como con cualquier característica de un organismo, la manera en la que un individuo responde a los factores ambientales también está sujeta a un cambio evolutivo. La plasticidad fenotípica es la capacidad de un organismo con un genotipo dado (es el conjunto de genes que contiene un organismo) de cambiar su fenotipo en respuesta a cambios en el ambiente. En este sentido, el cambio puede ser en forma, en la tasa de crecimiento (e.g., alcanzar mayor o menor tamaño), en comportamiento (e.g., cambiar la dieta), físico (e.g., cambio de color), etc.

Un personaje famoso del mundo de los comics es el *Hombre Plástico* quien tiene el poder de estirar y amoldar su cuerpo a cualquier forma que quiera para poder cumplir su función de superhéroe, esto es responder a los requerimientos del medio que lo rodea para poder salir airoso y exitoso en su misión. Este "super-poder", la plasticidad, es a su vez heredado por su hijo *Offspring* quien se convierte también en un superhéroe (Fig. 3). En la naturaleza, no hay especies superhéroes sino que la plasticidad fenotípica es una propiedad que poseen algunas especies y refiere a un rasgo en particular no a todo el organismo. Dicho ajuste al ambiente no siempre responde a la selección natural ya que no necesariamente tiene una base

heredable. Se hereda la posibilidad de respuestas alternativas pero no la respuesta en sí misma.

Aunque está ya aceptado y demostrado que la plasticidad fenotípica es una propiedad del desarrollo que le permite al organismo hacer frente a la impredecibilidad y/o heterogeneidad del ambiente, su rol como adaptación per se está en debate ya que aún cuando puede aumentar la supervivencia bajo ciertas condiciones esto no implica que la plasticidad pueda llevar hacia el desarrollo de estructuras novedosas (sin una existencia previa) y/o promover la diversidad de especies (West-Eberhard 2003).

Una predicción general en estudios de anuros que crían y crecen en charcos temporarios de duración impredecible es que sería ventajoso poseer una tasa de desarrollo plástica que se corresponda con las variaciones en el nivel de agua. Se ha demostrado que larvas de numerosas especies que se crían en charcos efímeros han acelerado la metamorfosis en respuesta a la desecación del hábitat exhibiendo lo que se ha denominado plasticidad fenotípica en el tiempo de desarrollo



**Figura 3.** El *Hombre Plástico* y su hijo *Offspring* comparten la posibilidad de modificar su cuerpo según las condiciones. Imagen reproducida de [www.comicvine.com](http://www.comicvine.com).

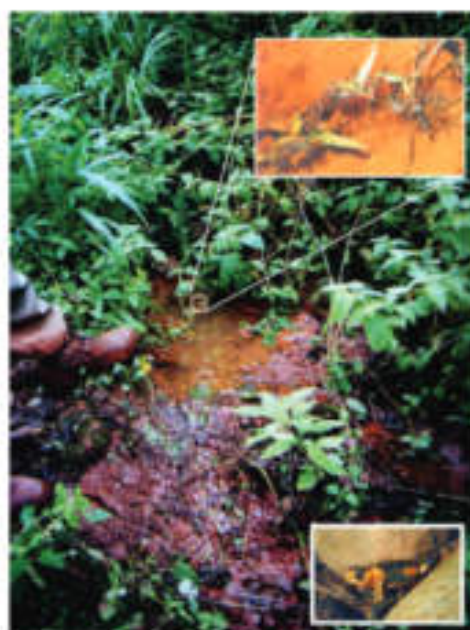
**Figura 4.** Renacuajos de la rana trepadora andina *Hypsiboas riojanus* de 100 días de edad provenientes de las temporadas en donde el desarrollo fue rápido (A) y lento (B). Nótese las diferencias en tamaño y en desarrollo a través del desarrollo de las extremidades.

mientras que en estudios experimentales con especies que crían en charcos permanentes no se ha observado dicha plasticidad en respuesta a la disminución del nivel de agua (Denver, 1997). En general, la aceleración en el tiempo de duración del periodo larval trae aparejada una disminución en el tamaño alcanzado en la metamorfosis por lo que el cambio es sólo el resultado de un menor crecimiento (Denver, 1997). Se podrá argüir si esto repercute o no en la sobrevivencia de los juveniles y/o en su capacidad de reproducirse pero no hay evidencia hasta el momento que indique que haya una selección hacia especímenes más grandes o más chicos, es sólo una cuestión de las condiciones del ambiente en un determinado momento. En la ranita trepadora andina (*Hypsiboas riojanus*), las condiciones diferentes de una temporada a la siguiente repercuten principalmente en el tiempo de duración del periodo larval y en la tasa de desarrollo. Así, por ejemplo, los renacuajos de 100 días de edad en una temporada donde el desarrollo fue rápido (alrededor de 125 días) se encontraban al inicio de la metamorfosis con una longitud corporal promedio de 18 mm mientras que los del mismo sitio pero de una temporada más lenta (235 días) se encontraban a los 100 días en estadios iniciales del desarrollo con una longitud corporal promedio de 13 mm (Fig. 4). Sin embargo, el tamaño de los especímenes metamórficos no varía considerablemente entre ambas estaciones por lo que la especie, dentro de las posibilidades que su programa de desarrollo le permite, se acomoda a las condiciones ambientales y la variación observada durante la etapa larval no parece tener incidencias en la vida adulta.

El sapito tacurú (*Dermatonotus muelleri*) es un anuro cuyos renacuajos se desarrollan en charcos temporarios de agua turbia. Se ha observado que aquellos renacuajos que habitan charcos bajo sombra exhiben una coloración más oscura que aquellos que viven en charcos cuyas aguas se ven más claras por la acción directa del sol. Esta variación podría explicarse como un método para pasar desapercibidos ante un posible predador. Dado que este patrón aparece todos los años en diferentes sitios es de esperar que estas coloraciones no sean hereditarias sino una respuesta temporal (en esa temporada) al medio y por lo tanto no resulte de la selección natural. La descendencia de dos renacuajos negros no necesariamente serán negros pero sí tendrán la capacidad plástica de adecuarse al medio. Si fuesen hereditarias habría que esperar que los adultos sean aptos para elegir el charco que posea las mejores características de turbidez y sombra que mejor le convengan a su progenie para poder sobrevivir.



Pero... ¿qué pasa si no hay plasticidad? El sapito de panza roja (*Melanophryniscus rubriventris*) es un anuro que se reproduce en charcos pequeños y efímeros de las selvas de montaña del noroeste de Argentina en áreas con fuertes pendientes y suelos muy permeables (Vaira, 2000). En un ambiente tan dinámico, donde las características físicas de los charcos pueden cambiar drásticamente a lo largo de la temporada reproductiva, un charco que era óptimo para reproducirse al inicio de la temporada puede cambiar esta condición de manera muy difícil de predecir (Fig. 5). En este caso, se podría pensar que resulta ventajoso para la especie acelerar o desacelerar su desarrollo a fin de sobrevivir y alcanzar tamaños óptimos para la vida adulta. Sin embargo, esto no ocurre en esta especie y varias oviposuras y renacuajos en desarrollo aparecen muertos a causa de la desecación (Goldberg, 2003). ¿Esto quiere decir que la especie no está adaptada a este sitio? De ninguna manera, ya que la especie vive allí. Lo que sí sucede es que algunas especies pueden flexibilizar su desarrollo mientras que en otras las posibilidades de variar están muy limitadas.



**Figura 5.** Sitio de cría del sapito panza roja en un ambiente impredecible de Yungas. Los charcos donde la especie deposita sus huevos son de pequeño tamaño y están directamente sujetos a las precipitaciones para mantener un hidropereodo tal que pueda asegurar la finalización del desarrollo larval y la metamorfosis en esta especie.



**Figura 6.** Silueta del prototipo de un humano mutante con branquias externas. Las branquias son fundamentales para la respiración bajo el agua mientras que las "patas de rana" son un componente adicional para la propulsión.

y debería esparcirse en las generaciones posteriores. Sin embargo, la presencia de branquias en seres humanos es inviable ya que, incluso si fuera posible su desarrollo, no sería posible extraer suficiente oxígeno para mantener su metabolismo o deberían ser muy grandes y residir fuera del cuerpo (Fig. 6). Esto último no representaría ninguna ventaja ya que serían muy sensibles a acciones externas. Por otro lado la presencia de membranas interdigitales en humanos (sindactilia) ocurre raramente y generalmente sólo entre dos dedos. De todas maneras, para actuar realmente como un órgano propulsor su tamaño también debería estar acorde con el tamaño del cuerpo humano. De aquí se desprende que el rango de variación no es infinito sino que hay límites (restricciones) dentro de los cuales la variación puede ocurrir. Esos límites se relacionan con lo que el desarrollo tiene grabado en su historia.

## Literatura citada

Denver, R. 1997. Proximate mechanisms of phenotypic plasticity in amphibian metamorphosis. *American Zoologist* 37: 172-184.

Fusco, G. y Minelli, A. 2010. Phenotypic plasticity in development and evolution: facts and concepts. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London* 365: 547-556.

Goldberg, 2003. Elección del sitio de oviposición y desarrollo larval de *Melanophryniscus rubriventris* (Anura: Bufonidae) en un ambiente impredecible. Tesis. Escuela de Biología. Universidad Nacional de Córdoba.

Goldberg, J. y Fabrezi, M. 2008. Development and variation of the anuran webbed feet. *Zoological Journal of the Linnean Society* 152: 39-58.

Hall, B. K. 2003. Evo-Devo: evolutionary developmental mechanisms. *International Journal of Developmental Biology* 47: 491-495.

Vaira, M. 2000. Los *Melanophryniscus* del grupo *rubriventris* (Anura, Bufonidae): Taxonomía, biología e interacciones con los Anfibios de Yungas de Argentina. Tesis doctoral. Fac. de Cs. Nat. UNT.

West-Eberhard M. J. 2003. *Developmental plasticity and evolution*. New York, NY: Oxford University Press.

Wolfering, J.M.; Noordermeer, D.; Leleu, M. y Duboulet, D. 2014. Conservation and Divergence of Regulatory Strategies at Hox Loci and the Origin of Tetrapod Digits. *PLoS Biology* 12: e1001773.

Resulta importante, entonces, diferenciar plasticidad fenotípica de resistencia y esta última de adaptación. Volviendo a los anuros, hay especies que resisten por ejemplo cierto nivel de toxicidad en su ambiente (por ejemplo algún agroquímico) o son capaces de metamorfosearse en charcos con muy bajo nivel agua y sobrevivir (a veces con algunos costos como por ejemplo alcanzar un tamaño menor al esperado en condiciones normales) y son capaces de dejar descendencia. Sin embargo, ello no significa que los organismos poseen respuestas alternativas de acuerdo con las condiciones del sitio donde habitan y que su descendencia irá siendo cada vez más pequeña (ya que de ese modo sobreviven) sino simplemente que pueden resistir algunas condiciones que no son las óptimas.

Ahora bien, todo esto nos hace preguntarnos si el cambio evolutivo puede darse en cualquier dirección, esto es si toda población tiende a adaptarse a los cambios ambientales, por ejemplo con el cambio climático, de manera contundente y directa. En una película hollywoodense (no de las más exitosas), *Waterworld*, se mostraba un futuro sombrío para la humanidad donde todo el planeta quedaba completamente inundado a causa del derretimiento de los casquetes polares (en realidad, si nos ponemos a pensar esto no parece muy lejano). El protagonista (Kevin Costner) era un mutante provisto de branquias y membranas entre los dedos que le permitían respirar bajo el agua y nadar más rápido que otros humanos. El imaginario popular diría que si nuestro planeta se inunda, una mutación de este tipo parecería totalmente adaptativa

# Claro como el agua...de lluvia

Maria Romero Orué<sup>1</sup> y Emilce de las Mercedes López<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Bio y Geociencias del NOA - CONICET.

Las precipitaciones atmosféricas constituyen un eslabón fundamental del ciclo del agua. Se podría decir que el agua de lluvia marca el inicio del ciclo hidrológico y la aporta a los ríos y al agua subterránea influyendo así en todos los ecosistemas.

A su vez, constituyen el mecanismo más efectivo de remoción (eliminación o limpieza) de contaminantes de la atmósfera. Por lo tanto, el conocimiento de la composición química de las precipitaciones es de vital importancia para determinar la contaminación ambiental que se produce y altera la atmósfera, como también el aporte químico a los sistemas de agua superficial y subterránea.

En la última década, se ha desarrollado un interés creciente en el estudio de la composición química de las precipitaciones atmosféricas, asociado al desarrollo urbano e industrial que origina un aumento de las emisiones gaseosas con el consecuente deterioro de la calidad del ambiente que se manifiesta por ejemplo, en la formación de lluvias ácidas.

Otro efecto asociado a la contaminación atmosférica es la presencia de metales pesados en las lluvias. Los metales son constituyentes típicos de la corteza terrestre pero su presencia en la atmósfera se ha incrementado en las últimas décadas. Estudios muy importantes se basan en la medición de la concentración de elementos tóxicos en agua de lluvia, tales como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), plomo (Pb), cinc (Zn); los cuales a su vez pueden depositarse en aguas superficiales y suelos afectando a los sistemas biológicos debido a su elevada toxicidad.

Es importante tener en cuenta, también, que en muchas regiones del mundo, especialmente en aquellas con problemas de provisión de agua potable, la cosecha de agua de lluvia para consumo humano resulta de vital importancia.

## Breve introducción

## LAS PRECIPITACIONES ATMOSFÉRICAS Y SUS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las precipitaciones atmosféricas se dividen en **húmedas** (lluvia, nieve, granizo, rocío, etc.) y **secas** (partículas suspendidas). Como su nombre lo indica, tienen como destino final su precipitación o deposición en la superficie terrestre, con lo cual, su contenido químico altera la composición de suelos, ríos, lagos y acuíferos. Los estudios referidos a precipitaciones atmosféricas afirman que las precipitaciones húmedas constituyen el mecanismo más efectivo de remoción (eliminación o lavado) de contaminantes gaseosos y partículas presentes en la atmósfera (Herrera-Murillo y Rodríguez-Román, 2009).

La composición química de las precipitaciones húmedas varía a **escala regional** en zonas costeras y continentales. Las precipitaciones cercanas a la costa tienen altos contenidos de cloruros, sodio y potasio ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) por influencia de la evaporación de grandes cuerpos de agua salina (mares y océanos). Hacia el interior de los continentes la composición está dominada, en general, por los iones bicarbonato, sulfato y calcio ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ ) (Custodio y Lamas, 1996).

A su vez existen variaciones en su composición a **escala local**, influenciadas principalmente por la actividad del hombre (el crecimiento urbano, industrial y la actividad agrícola-ganadera) y las características geológicas locales. Los suelos y rocas aportan partículas finas (polvo atmosférico), provenientes de la erosión, que por acción del viento son arrastradas y suspendidas en la atmósfera. Estas partículas son luego removidas y disueltas por acción del agua. Esta interacción polvo-precipitación juega un rol muy importante en la remoción de partículas e incorporación de sales a las lluvias (De Mello et al. 2004). Un claro ejemplo de una contribución local, de carácter natural, y en relación a la interacción polvo-precipitación, son los estudios químicos realizados en precipitaciones del norte de Jordania (Al-Momani, 2003) en donde se registra una elevada concentración de aluminio en las lluvias, que se atribuye a la fuerte incursión, en la zona, del polvo proveniente del desierto del Sahara.

En las Figuras 1 y 2 se puede observar una breve descripción del ciclo hidrológico y los factores que generan la variación química de las precipitaciones a escala regional y local. El principal origen de las precipitaciones se asocia a la evaporación de los océanos. En esta etapa las sales que contiene el agua de lluvia provienen de la evaporación del agua salina. Como se mencionó anteriormente, la composición química de las precipitaciones atmosféricas varía de clorurada a bicarbonatada desde la costa hacia el interior del territorio, sin embargo, debe tenerse en cuenta que en todo su trayecto (del océano al continente) las masas de aire sufren diversas modificaciones locales, principalmente

relacionadas a los periodos de precipitación-evaporación local, a la presencia de alteradores antrópicos (ciudades, fábricas, cultivos, etc.) y a las características químicas de suelos y rocas.

Por lo tanto, la escala de estudio para caracterizar la composición de las lluvias o el material particulado es local, ya que las mismas varían de un área a otra debido a procesos antrópicos y naturales propias de cada una de ellas. El estudio de la química del agua de lluvia es, entonces, una importante herramienta para estimar el grado de contaminación existente en un área determinada.

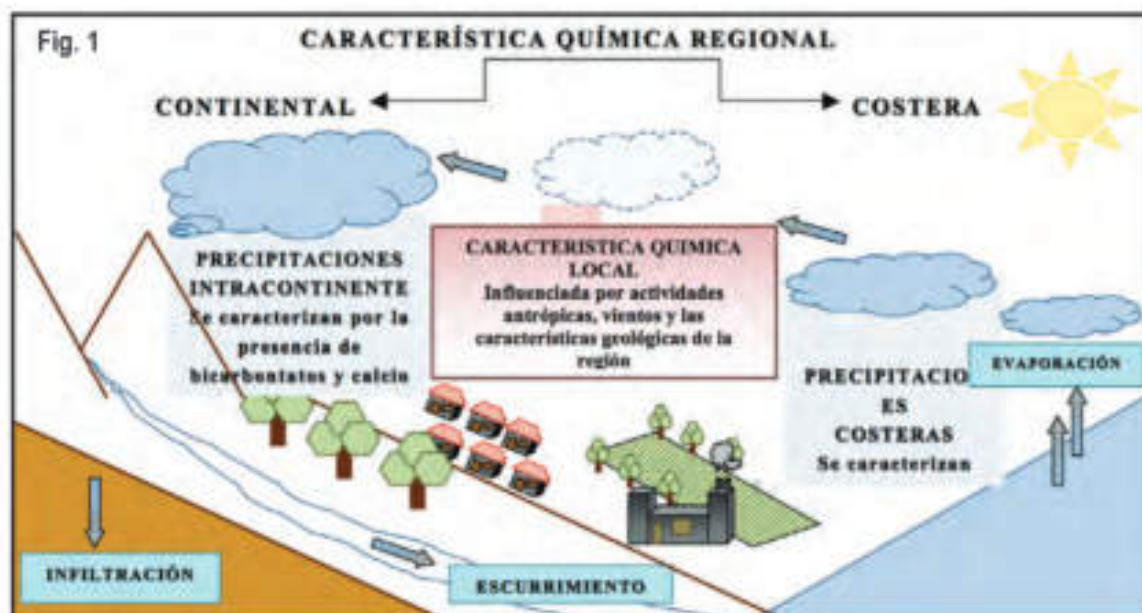
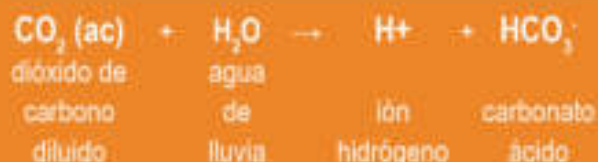


Figura 1. Ciclo hidrológico simplificado y fuentes de aporte a la atmósfera. Figura 2. Características químicas regionales y locales de las lluvias.

## ¿QUÉ ES LA LLUVIA ÁCIDA?

La acidez de las aguas naturales, como de otros materiales y sustancias, se mide utilizando una escala llamada pH (ver Figura 3).

El agua de lluvia, por su naturaleza, es ligeramente ácida debido a que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (un gas que existe en la atmósfera en muy baja concentración) se disuelve en el agua formando un ácido débil (ver **Fórmula**), dando a la mezcla formada un pH de aproximadamente 5,6. Este valor es usualmente aceptado como normal para las aguas de lluvia en diferentes regiones del planeta, generalmente remotas o pristinas (Charlson y Rodhe, 1982).

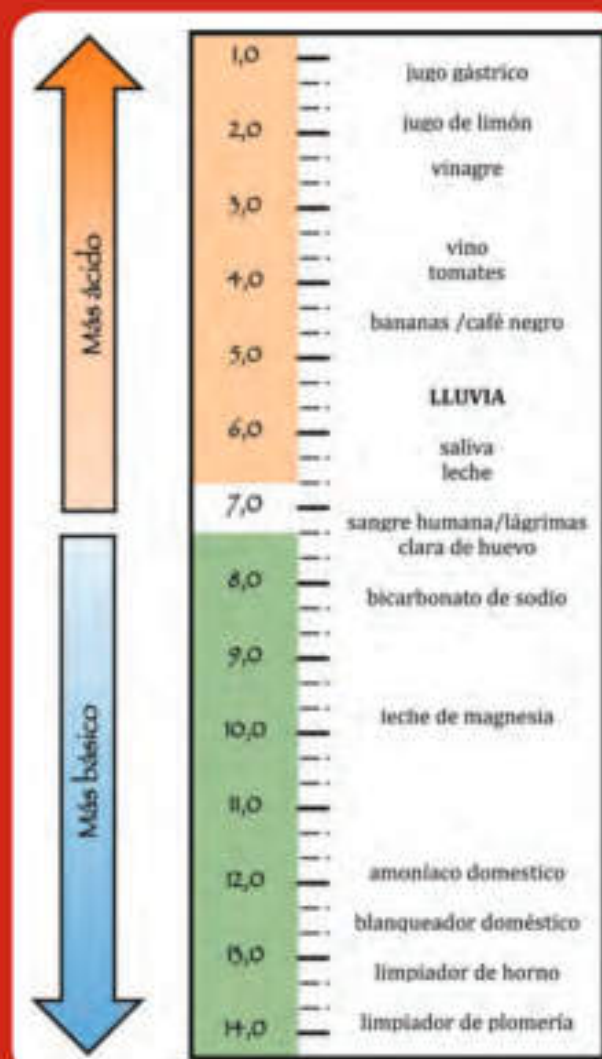


Para explicar la acidez natural del agua de lluvia, también se debe tener en cuenta que la atmósfera contiene más gases y partículas ácidas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que básicas ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ), por lo cual no resulta extraño que las precipitaciones atmosféricas sean naturalmente de carácter ácido (Galloway, 2001).

### QUE ES LA ESCALA DEL PH?

Se define como el logaritmo de la recíproca de la actividad del ion hidrógeno (medida en moles por litro). La escala de pH mide que tan ácida o básica es una sustancia y varía de 0 a 14. El agua pura tiene un valor de pH de 7,0, que se define como un valor neutro, es decir, ni ácido ni básico. Si el pH es inferior a 7 es ácido y si es superior a 7 es básico. Cada valor entero de pH por debajo de 7 es diez veces más ácido que el valor siguiente más alto. Por ejemplo, un pH de 4 es diez veces más ácido que un pH de 5 y 100 veces (10 veces 10) más ácido que un pH de 6. Lo mismo sucede con los valores de pH por encima de 7. Cuando se mezclan sustancias químicas con agua, la mezcla puede hacerse ácida o básica, el pH en cualquier solución acuosa depende de la relativa proporción de ácidos y bases presentes. El vinagre y el jugo de limón son sustancias ácidas, mientras que los detergentes para lavar ropa y el amoníaco son básicos.

Figura 3. Valores de pH (Fuente: Brown et al 2004)



Es por ello que, en general, se acepta como valor de pH natural (representativo de una lluvia **no contaminada**) el valor de 5,6. Cuando este valor desciende, las lluvias se consideran ácidas y el proceso se asume originado por la actividad humana. Todas las emisiones gaseosas incorporadas a la atmósfera hacen que las características químicas y el pH de la lluvia se vean modificados.

La lluvia ácida se origina con la emisión de gases ácidos (o sus precursores) a la atmósfera, como por ejemplo, a través de la producción de energía por combustión o quema de combustibles fósiles. Por otro lado, las zonas donde las características geoquímicas de las rocas circundantes tienden a ser básicas (por ejemplo por la presencia de carbonatos), se generan partículas de polvo que, en contacto con las gotas de lluvia, se disuelven para formar bases que producen un aumento del pH de las aguas (lluvias básicas).

## EL ORIGEN DE LA LLUVIA ÁCIDA

Las **precipitaciones ácidas** ocurren por la presencia de iones ácidos fuertes en la atmósfera. Los tres componentes ácidos más importantes son ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ácido nítrico ( $HNO_3$ ) y ácido clorhídrico (HCl). La presencia de estos ácidos se debe principalmente a actividades antrópicas, como ser la producción de energía a través de la quema de combustibles fósiles, en el funcionamiento de vehículos automotores, industrias, comercios y servicios. Estas fuentes generan la emisión de gases precursores a la atmósfera. Los precursores inmediatos son los óxidos de azufre ( $SO_x$ ) y de nitrógeno ( $NO_x$ ) que, al interactuar en la atmósfera con la radiación solar, la humedad y el agua de lluvia, se convierten en especies ácidas de sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) y nitratos ( $NO_3^-$ ) durante su transporte. Estas especies, debido a su facilidad para reaccionar, se convierten rápidamente en ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y ácido nítrico ( $HNO_3$ ) (Galloway, 2001; García-Guadalupe *et al.* 2006).

El  $SO_x$  atmosférico, por su parte, existe de manera natural y es emitido desde la superficie de los océanos, sedimentos costeros y erupciones volcánicas. Su origen antrópico se asocia a los combustibles fósiles (carbón y petróleo), fertilizantes y procesos industriales (como la producción primaria de metales) (Chang, 1993). El transporte vehicular también contribuye en una proporción significativa a las emisiones totales de  $NO_x$ .

Otra sustancia que también propicia la formación de acidez en la atmósfera es el ácido clorhídrico (HCl), el cual se emite mediante la combustión de minerales, incineradores de residuos industriales, desechos, basura, entre otros (García-Guadalupe, *et al.* 2006).

Por lo tanto, las lluvias ácidas se relacionan directamente con el desarrollo urbano e industrial de grandes ciudades que propician el aumento de las sustancias contaminantes a la atmósfera. Este proceso ha dado lugar a que, de a poco, la naturaleza vaya perdiendo la capacidad asimiladora y regeneradora, dando lugar a un grave problema ambiental: aceleración en la desintegración o erosión de las rocas, lixiviación de los suelos y un cambio en la tasa de crecimiento de las plantas (Winckler, 1976).

Las lluvias que tienen valores de pH por encima de 5,6 se atribuyen, en la mayoría de los casos, a la presencia de carbonatos o bicarbonatos cálcicos y/o magnésicos en los suelos y rocas, que generan partículas suspendidas en la atmósfera. Éstas pueden ser de carácter neutro (pH = 7) a básico (pH > 7).

El amoníaco ( $NH_3$ ) es el componente alcalino más importante en la atmósfera. Una parte sustancial de la acidez generada en la atmósfera por la oxidación de los óxidos de azufre y nitrógeno ( $SO_x$  y  $NO_x$ ) es neutralizada por el amoníaco. Las emisiones de amoníaco a la atmósfera ocurren por procesos naturales, biológicos y antrópicos. A escala regional (o global) los océanos son la fuente de aporte dominante (Al-Momani *et al.* 1995). Pero a escala local, dominan los aportes biológicos y antrópicos, principalmente la generación de una gran cantidad de excreta animal y el uso intensivo de fertilizantes y en menor medida por incendios forestales y áreas con cultivos (Asman *et al.* 1998).

## EL AGUA DE LLUVIA COMO RECURSO HÍDRICO PARA EL SER HUMANO

El agua es vital para los seres humanos y su fuente más importante es la que precipita de la atmósfera. Si bien hemos descrito la presencia de ciertas sustancias en el agua de lluvia, como sulfatos, nitratos, bicarbonatos, metales pesados, etc., la cantidad en la que éstos se presentan, tanto en la atmósfera como en el agua de lluvia, es siempre ínfima en comparación con la cantidad que se encuentran



en otros sistemas y/o tipos de agua. En los histogramas agrupados en la **Figura 4** se muestran los valores límites que proponen organismos nacionales (Ley 24585 y el Código Alimentario Argentino, CAA) para definir las aguas aptas para consumo humano. Estos parámetros nos servirán para hacer comparaciones con la composición química del agua de lluvia. Los datos de precipitaciones que se utilizan en la comparación son los valores medios recogidos tanto en la localidad de Vaqueros como en la ciudad de Salta, entre los años 2009 y 2012.

Como se puede observar, los valores de todos los elementos en el agua de lluvia se encuentran muy por debajo de los máximos permitidos en la legislación vigente. El agua de lluvia es de muy buena calidad ya que, en la mayoría de los casos, no presenta concentraciones elevadas en elementos nocivos, como pueden ser, los metales pesados y aniones como sulfato, nitrato, nitrito, etc. Su pureza en general se ve afectada por la presencia, en la atmósfera, de gases y partículas con elementos contaminantes. A su vez, el agua de lluvia posee bajas concentraciones en elementos que, lejos de ser perjudiciales, son imprescindibles para la salud humana, como los cationes calcio, potasio, magnesio. Se asume que, un indicativo de que su presencia no es dañina para la salud es que, en las tablas de valores límite no se presentan, es decir, no hay valores máximos perjudiciales.

La conductividad eléctrica (CE) es una variable que depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo. Resulta del movimiento de partículas cargadas eléctricamente y como respuesta a las fuerzas que actúan en estas partículas debido a un campo eléctrico aplicado. En el agua y materiales iónicos o fluidos puede generarse el movimiento de una red de iones cargados. Este proceso produce corriente eléctrica y se denomina conducción iónica.

La CE es realmente una medida de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente. En el agua, esta capacidad se relaciona directamente con la presencia de sales en solución. Por ello, la medida de CE se utiliza indirectamente para determinar la concentración de sales en solución. A mayor conductividad eléctrica, mayor es la presencia de sales en el medio líquido.

El agua destilada es un agua químicamente pura, que se obtiene mediante el proceso de destilación del agua natural en el que se extrae todo material disuelto (iones, minerales, etc.), obteniendo así un agua en su formato químico más puro (hidrógeno más oxígeno).

La conductividad en el agua de lluvia es extremadamente baja y su valor muy cercano a la conductividad del agua desionizada (o destilada) en equilibrio con el  $\text{CO}_2$  atmosférico ( $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Galloway *et al.* 1982). Comparando la conductividad eléctrica y la presencia de sales en el agua de lluvia, se podría decir que ésta presenta características químicas similares a un agua destilada o desionizada, más que a cualquier otro tipo de agua. El agua de lluvia, así como el agua destilada, no presentan prácticamente sales o elementos en solución, con lo cual los valores de conductividad eléctrica (CE) son muy bajos.

La cosecha de agua de lluvia para consumo humano se realiza en diversos lugares, en especial en aquellos lugares donde el abastecimiento de agua a través de acuíferos o ríos presenta problemas de cantidad o calidad (Bazán Nickisch, 2008). En Argentina, esta realidad se presenta en las zonas áridas o semiáridas, como es el Chaco Seco (que abarca parte de las provincias de Salta, Formosa, Chaco, Santiago del Estero).

En estos lugares la práctica de recolección del agua de lluvia es ancestral y se viene realizando a través de estructuras de mampostería (aljibes, calicantos, etc.). Actualmente organismos como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) realizan la recolección de agua mediante la captación a través de los techos, conduciéndola por medio de canaletas y bajadas hasta un depósito, recomendando la utilización de filtros de arena antes de que el agua ingrese a la zona de almacenamiento para que los tratamientos posteriores sean eficientes. Estos tratamientos posteriores (como ser: hervir el agua, colocarle unas gotas de lavandina, etc.) tienen el objetivo de eliminar la contaminación bacteriológica para que el agua sea apta para consumo humano.

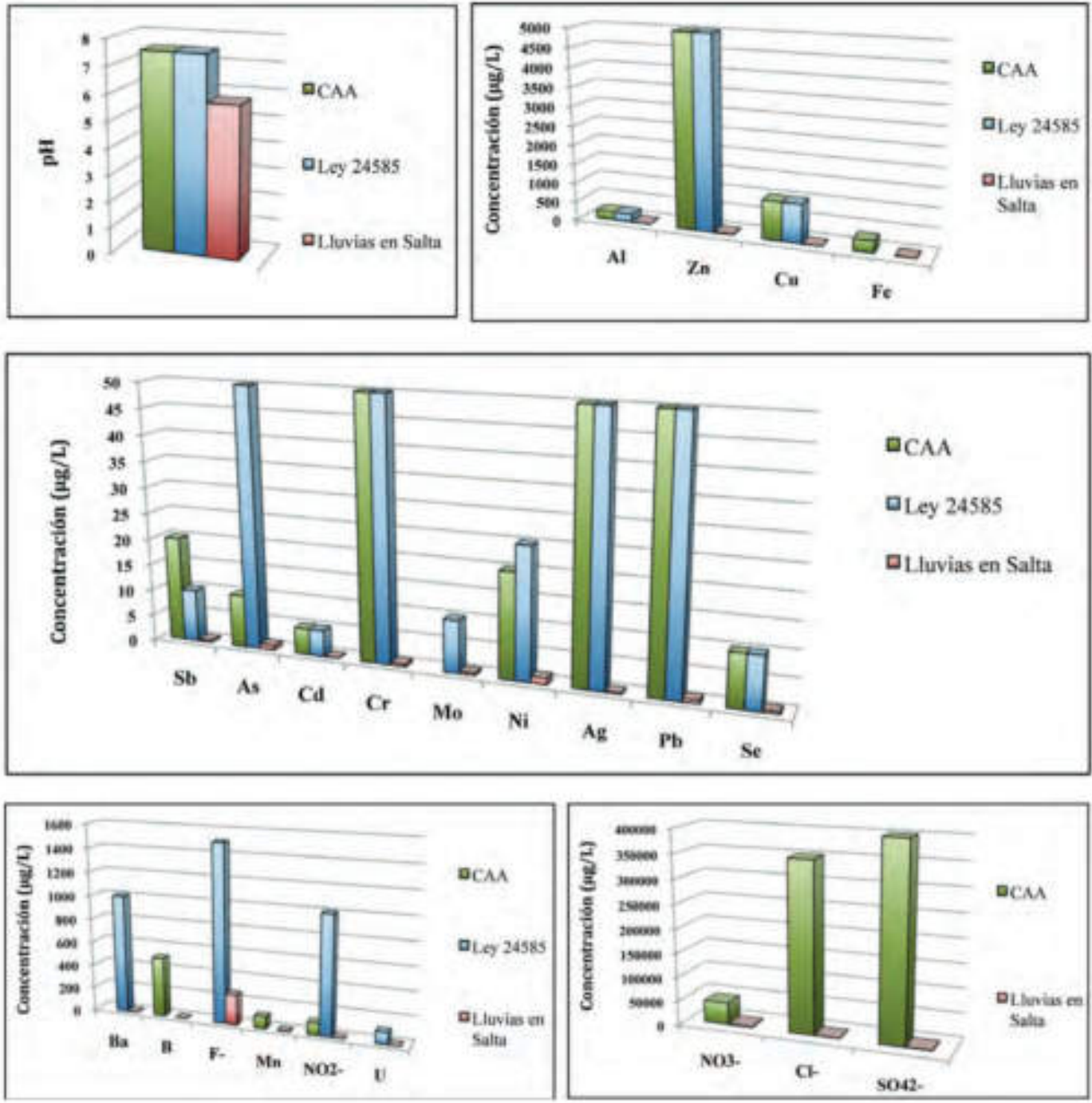


Figura 4. Comparación del agua de lluvia de Salta (ciudad Capital y municipio de Vaqueros) con valores guía propuestos por el Código Alimentario Argentino(CAA) y la Ley 24585 (de Protección Ambiental para la actividad minera – Anexo IV – Fuentes de agua para bebida humana)

Como se verá más adelante, el agua recolectada de esta forma dista mucho de ser representativa de las condiciones atmosféricas. El agua se recoge en los techos, donde también se deposita polvo atmosférico y otras sustancias perturbadoras (hojas, ceniza, etc.), se transporta por canaletas y luego se recoge en tanques de almacenamiento, previo filtrado con arena. Durante este viaje el agua está en contacto con muchos materiales (el techo, la canaleta y el filtro de arena) que le aportan sustancias químicas ajenas a la atmósfera y que modifican su composición.

## ¿CÓMO SON LAS LLUVIAS EN LA CIUDAD DE SALTA?

Para responder a este interrogante se tomaron muestras en dos sitios: ciudad de Salta y municipio de Vaqueros (**Figura 5**), con lo cual se considera que los muestreos realizados sirven para caracterizar la composición química del agua de lluvia de la parte norte del Valle de Lerma. En el Valle de Lerma y alrededores las precipitaciones se producen entre los meses de setiembre-octubre a marzo-abril, los valores de precipitación media anual en Vaqueros y Salta son de 686 mm (Bianchi y Yañez, 1992<sup>1</sup>) y 684.7 mm (Servicio Meteorológico Nacional<sup>2</sup>) respectivamente.

En los muestreos se tuvo la precaución que la muestra sea representativa de las condiciones atmosféricas del lugar, es decir, en el caso de presentar alteraciones, que éstas sean producto de procesos atmosféricos y no de alteraciones de superficie. Por lo tanto, en ninguno de los dos sitios había elementos que pudieran perturbar el transporte del agua de lluvia

hasta su llegada al colector (casas, cableado eléctrico, árboles, etc.) y a su vez, la misma no escurrió por ningún material que pudiera contaminarla, más allá del material plástico que se utilizó para su colección. Los materiales utilizados se mantuvieron limpios hasta el momento en el que se producía el evento meteorológico. Para su limpieza se utilizó ácido clorhídrico (diluido al 10%) y agua destilada o desionizada. Estas precauciones se tomaron para poder obtener muestras de agua representativas de las precipitaciones atmosféricas húmedas de la región. La lluvia así recolectada tiene las características químicas de un agua destilada.

<sup>1</sup> Estación Mojotero (Bianchi y Yañez, 1992)

<sup>2</sup> Precipitación media anual calculada a partir de los datos meteorológicos desde 1980 a 2012.



■ **Figura 5.** Mapa de ubicación de los muestreos

Los valores de pH del sector analizado se consideran normales. En la **Figura 6(a)** se muestra un histograma de frecuencia de los datos, realizado para mostrar que más del 60% de las muestras analizadas presenta un valor comprendido entre el pH 5,5 y 6,0, con una media de 5,75. **Por lo tanto la ciudad de Salta no presenta lluvia ácida.**

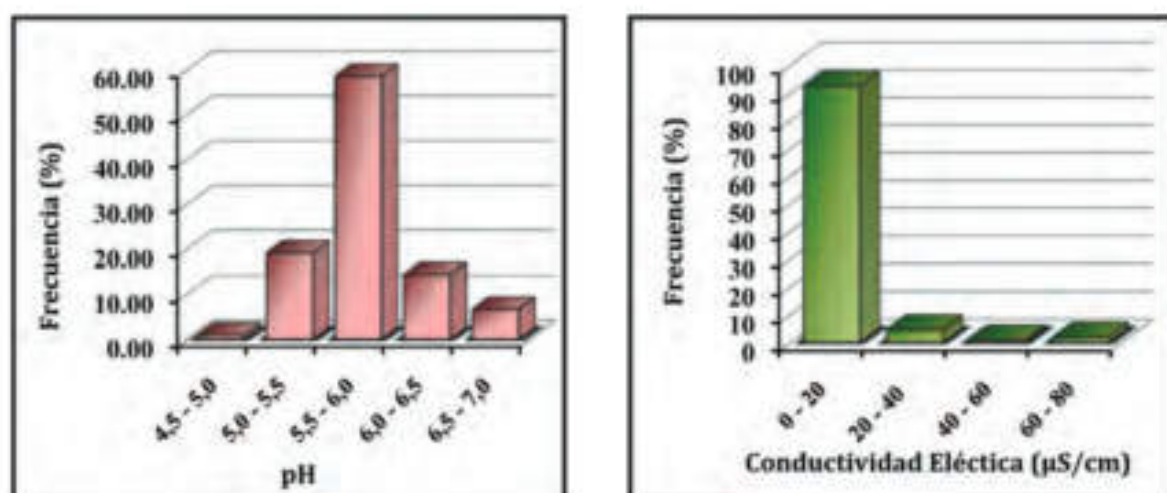


Figura 5. (a) Histograma de frecuencia para los datos de pH y (b) conductividad eléctrica en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (CE) en aguas de lluvia del norte del Valle de Lerma, Salta

En la Figura 6 (b) se muestran los valores de conductividad de las lluvias de la ciudad de Salta. La conductividad eléctrica tiene un promedio de aproximadamente  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ , con valores mínimos de  $2,7 - 3,1 \mu\text{S}/\text{cm}$  y máximos de  $66,5 - 67,4 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Como se puede observar, el 90% de las muestras analizadas presentan valores de conductividad  $< 20 \mu\text{S}/\text{cm}$ , lo cual indica que estas aguas tienen un bajo contenido de sales o iones.

## EN RESUMEN

- ▣ Las precipitaciones de la zona norte del Valle de Lerma, Salta, **no son de carácter ácido**. Todavía no se ven afectadas por ningún evento de contaminación antrópica. Esto puede deberse a que la zona no está altamente industrializada y a su vez, no presenta un tamaño de urbe comparable a ciudades como Buenos Aires o Distrito Federal en México, que sí presentan esta problemática.
- ▣ Como se dijo anteriormente, la presencia de sales en solución se mide indirectamente con la medida de conductividad eléctrica. Las reglamentaciones como la Ley 24585 o el Código Alimentario Argentino recomiendan que las aguas para consumo no excedan los  $2000$  o  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$  de conductancia respectivamente. Las aguas de lluvia analizadas en la Ciudad de Salta promedian los  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Esto indica, por un lado, que el agua de lluvia es un conductor eléctrico muy pobre y, por el otro, que es totalmente apta para su consumo.
- ▣ Las comparaciones del agua de lluvia con los niveles guía propuestos para definir el agua apta para consumo humano permitieron inferir que el agua de lluvia es un buen recurso hídrico en lugares donde el abastecimiento de agua potable es insuficiente o no respeta los límites establecidos para su consumo. Debe tenerse en cuenta que la forma en que se tomaron las muestras que se utilizaron para la comparación es muy diferente al método con el cual se cosecha el agua de lluvia para consumo. Estas últimas cuentan con una mejora adicional por el agregado de una carga mineral mínima pero benéfica para el organismo humano proveniente de la disolución de partículas sólidas durante su recolección y filtración.
- ▣ El agua de lluvia en su estado atmosférico más puro, como se dijo antes, presenta las características químicas del agua destilada: pH ácido, baja conductividad eléctrica y muy baja presencia de sales en solución. Este artículo no pretende aseverar que el consumo de agua destilada es perjudicial para la salud, sino marcar las diferencias químicas que existen en el agua de lluvia según su forma de recolección.
- ▣ Los datos obtenidos en este trabajo pueden ser utilizados como una línea de base que permita futuros monitoreos, ya que resulta evidente que el aporte antropogénico urbano e industrial de la región crece de manera ininterrumpida.

## Literatura citada

- Al-Momani I.F., Ataman O.Y., Anwar M.A., Tuncel S., Köse C., Tuncel G., 1995. Chemical composition of precipitation near an industrial area at Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment* 29, 1131-1143.
- Al-Momani, I.F., 2003. Trace elements in atmospheric precipitation at Northern Jordan measured by ICP-MS: acidity and possible sources. *Atmospheric Environment* 37, 4507 - 4515.
- Asman W.A.H., Sutton M.A. and Schjörriing J.K.; 1998. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *New Phytologist*. 139 (1): 27 - 48.
- Basán Nickisch M. H.; 2008. Abastecimiento con agua de lluvia para consumo humano en ambientes rurales. INTA-EEA Santiago del Estero. <http://inta.gob.ar/documentos/abastecimiento-con-agua-de-lluvia-para-consumo-humano-en-ambientes-rurales/>
- Bianchi A.R. y Yañez C.E., 1992. Las precipitaciones en el Noroeste Argentino. INTA EEA Salta.
- Brown T. L., LeMay H. E., Bursten B. E., Burdge J. R., 2004. Química: ciencia central. Novena Edición. Editorial Pearson educación, 1046 p., México
- Custodio E. y Llamas M.R., 1996. Hidrología Subterránea. Tomo I. Segunda Edición. Editorial Omega, 1157 p., España.
- Chang R., 1993. Química. Cuarta edición. Primera edición en español. Editorial Mc Graw Hill, 1064 p., México.
- Charlson R.J. and Rodhe H., 1982. Factors controlling the acidity of natural rainwater. *Nature* 295, 683 - 685.
- De Mello W.Z. y De Almeida M.D.; 2004. Rainwater chemistry at the summit and southern flank of the Itatiaia massif, Southeastern Brazil. *Environmental Pollution*, 129(1): 63-68.
- Galloway J.N., Likens G.E., Keene W.C., Miller J.M., 1982. The composition of precipitation in remote areas of the world. *Journal of Geophysical Research* 87 (11): 8771 - 8786.
- Galloway J.N., 2001. Acidification of the world: natural and anthropogenic. *Water, Air and Soil Pollution* 130:17-24.
- García-Guadalupe M.E., Ramírez S. H.U., Meulenert P. A. R., García C. F. O., Alcalá J. G., Arellano C. J., Espinosa M. M. L. y De la Torre O. V., 2006. Influencia de los contaminantes SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> en la formación de lluvia ácida en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *E-Gnosis (on line)* Vol. 4, Art. 7.
- Herrera-Murrillo J. y Rodríguez-Román S.; 2009. Determinación de la concentración de aniones en muestras de precipitación total colectadas en San José, Costa Rica. Primera parte. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 25 (2): 65 - 72.
- Tejerina Díaz F.G. y Basan Nickisch M., 2013. Informe Técnico: Tecnología apropiada de filtrado del agua de lluvia destinada para el consumo humano. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). <http://inta.gob.ar/documentos/informe-tecnico-de-nuevo-sistema-de-filtrado-de-agua-para-aljibes/>
- Basan Nickisch M., Tejerina Díaz F.G., Jordan P.M., Vera H.D., Tosolini R.A., Sanz P.H., Sanchez L.E., 2014. Informe Técnico: Tratamientos del agua de lluvia validados para consumo humano. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). <http://inta.gob.ar/documentos/el-agua-de-lluvia-si-debe-ser-tratada-1/>
- Kaya G. and Tuncel G., 1997. Trace element and major ion composition of wet and dry deposition in Ankara, Turkey. *Atmospheric Environment* 31 (23), 3985 - 3998.
- Salve P.R., Maurya A., Wate S.R., Devotta S., 2008. Chemical Composition of Major Ions in Rainwater. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80: 242-246.
- Sánchez L., Morales J., Velásquez H., Portillo D., Cano Y., Montilla B., Iriarte N., Mesa J., 2009. Composición iónica y niveles de acidez de las lluvias en Maracaibo, Venezuela, entre 1989 y 2001. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 25 (3) 169-179.
- Winkler E. M., 1976. Natural dust and acid rain. *Water, air and soil pollution* 6: 295 - 302.

## Correo de Lectores



La Sección Correo de Lectores de Temas de Biología y Geología del Noa es un espacio que nos permitirá interactuar con nuestra comunidad de lectores. Invitamos a enviar críticas y comentarios sobre los temas publicados en la revista y también a sugerir otros de interés. Por razones de claridad o espacio, las cartas deberán tener una extensión máxima de 300 palabras; deberán incluir nombre, dirección y teléfono del remitente. Las cartas para esta sección pueden enviarse por e-mail a [ibigeotemas@gmail.com](mailto:ibigeotemas@gmail.com) indicando como asunto: correodelectores.

## Novedades

**XVII Jornadas de Historia Regional Comparada. Siglos XVI a mediados del XIX**

**Organizan CEPIHA-ICSOH, miembro de la Red PIHSER.**

**4, 5 y 6 de Junio, Cabildo Histórico, salta Capital.**

## Guía para autores y Proceso editorial

Entre los objetivos principales del IBIGEO, la promoción y difusión del conocimiento científico es una de las tareas que emprende a través de la Revista Temas de Biología y Geología del Noa. Por esta razón, la activa participación con contribuciones de docentes e investigadores de diferentes centros académicos del país es importante para lograr una ciencia al alcance de todos.

Temas de Biología y Geología del Noa publicará las siguientes categorías de contribuciones:

**ARTÍCULOS:** Consistirán en trabajos que expliquen un tema directa o indirectamente relativo a las Ciencias Naturales y los resultados de las investigaciones sobre el mismo; o introduzcan a los lectores sobre la puesta en funcionamiento de equipamientos y tecnologías novedosas y sus potenciales usos y aplicaciones en laboratorios del país y en especial de nuestra región Noa; o revisen aspectos poco conocidos de la historia del conocimiento. Tendrán una extensión máxima de 5000 palabras.

**NOTAS:** Incluirán informes sobre avances científicos o tecnológicos; o algún aspecto del conocimiento o sus aplicaciones con impacto social, o bien la presentación de cambios o innovaciones que puedan ser de interés en la enseñanza de determinados temas científicos. Tendrán una extensión máxima de 2500 palabras.

## Guía para autores y Proceso editorial

**PUNTOS DE VISTA:** Comprende los fundamentos de una idea o argumentación a partir de una síntesis del estado actual del conocimiento de un tema en el que pueden existir distintas posiciones conceptuales. Tendrán una extensión máxima de 2500 palabras.

Todos los artículos deben tener un título corto y concreto, los nombres de los autores y su lugar de trabajo, por orden de participación en la contribución y un texto que debe ser claro, con un planteo sobre el tema que se aborda y su importancia, con extensiones máximas como se mencionó anteriormente.

Las contribuciones deben ser redactadas considerando que sus destinatarios no son especialistas y para ello se debe evitar el uso de términos técnicos y cuando esto sea imposible definir con precisión pero de manera sencilla, el significado de los mismos. También se debe evitar el empleo de palabras extranjeras cuando existen equivalentes en castellano, o neologismos y/o expresiones de moda. En caso del uso de fórmulas matemáticas, químicas, físicas o gráficos estadísticos, proporcionar en lo posible las explicaciones complementarias que sean necesarias. Utilizar el sistema internacional de unidades. Incluir citas bibliográficas que sean relevantes al tema analizado, preferentemente obras que sean accesibles, evitando solo trabajos del autor, informes técnicos o artículos en revistas especializadas y en lo posible, acotarlas a un máximo de diez referencias.

El manuscrito consistirá de un archivo incluyendo el texto, en formato Word o RTF.

Las ilustraciones constituyen un aspecto fundamental en el artículo de divulgación científica. Los gráficos, dibujos, fotografías y láminas deben ser muy claros y elocuentes para complementar y resaltar los contenidos desarrollados. Utilizar en lo posible, ilustraciones originales, indicando siempre la autoría de la misma. No se recomienda incluir en los trabajos imágenes descargadas de Internet, pero cuando ello fuera inevitable asegúrese que su reproducción está permitida y que tenga una buena resolución. El autor de un artículo deberá solicitar la autorización correspondiente en caso de incluir ilustraciones que sean reproducciones de imágenes libros y/o revistas. Las ilustraciones deberán ser preparadas en formato digital, en forma de archivos .jpg, con una definición mínima de 300dpi (puntos por pulgada) para un tamaño de 20 x 30cm. Las ilustraciones deben llevar su correspondiente explicación como leyenda y se incluirán en un archivo separado del texto en formato Word o RTF. Se recomienda a los autores que organicen sus manuscritos teniendo en cuenta que las figuras no deberán representar más del 70% del artículo.

Los manuscritos pueden enviarse por e-mail a [ibigeotemas@gmail.com](mailto:ibigeotemas@gmail.com) indicando como asunto: contribuciones. En el cuerpo del mensaje incluir un detalle de los archivos que componen el envío y los datos de contacto del autor. Para archivos de más de 8MB consultar por e-mail a [ibigeotemas@gmail.com](mailto:ibigeotemas@gmail.com) indicando como asunto: archivopesado.

## Guía para autores y Proceso editorial

El Comité Editorial será el responsable de garantizar la calidad de los artículos que integrarán cada volumen de la revista. Para dar curso a un manuscrito deberá determinar su pertinencia y si éste está en una etapa incipiente de elaboración, intermedia o es una obra madura. Esto constituirá un primer paso en la evaluación. Cuando el Comité Editorial apruebe una primera versión, se continuará con la revisión a cargo de expertos en el tema y dentro de lo posible, con experiencia en divulgación científica. De esta manera, se garantizará que tanto los contenidos como la calidad en general puedan ser enriquecidos a través de sus comentarios y sugerencias.

Durante los dos primeros años de vida de la publicación se evitará convocar como revisores a miembros del Ibigeo ya que ellos serán los responsables de generar la mayoría de las contribuciones. El Comité Editorial dispondrá de una nómina de especialistas por disciplinas y temas que hayan aceptado actuar como Comité Científico con el compromiso de hacerlo en tiempos razonables según la extensión de las obras. Los revisores tendrán la posibilidad de arbitrar sin identificarse ante los autores si bien se promoverán las revisiones con identificación. Con respecto al proceso de revisión, el Comité Editorial podrá solicitar una segunda instancia de revisión si las opiniones son muy dispares. En cada revisión, los evaluadores podrán recomendar la aprobación tal como fue enviado el manuscrito, cambios menores, cambios mayores (sujetos a una segunda revisión) o el rechazo. Sobre esta recomendación el Comité Editorial tendrá la decisión final. En cualquiera de los casos, el Comité Editorial debe fundamentar su opinión. Los autores podrán aceptar o rechazar las críticas y sugerencias exponiendo sus razones y los editores deberán asumir o no el hecho de aprobar una obra sin las correcciones sugeridas por los revisores.

Una vez que la obra ha sido aceptada para su publicación, el Comité Editorial iniciará el proceso de diseño y diagramación de los artículos, selección de copetes, frases destacadas, ubicación de cuadros e ilustraciones para lo cual se solicitará la aceptación final del autor.

El Comité Editorial seleccionará sobre la base de las contribuciones aceptadas, aquellas que serán incluidas en cada número, tratando de ofrecer un conjunto armónico de temas en distintas áreas del conocimiento y/o reunir en un solo número una serie de artículos en un tema especial, por lo tanto la publicación de los trabajos no necesariamente seguirá el orden de su aceptación.

Toda la información relacionada con la publicación de **Temas de Biología y Geología del NOA** (Objetivos, Comité Editorial, Normas de autor, Índice de Contenidos) será difundida a través del portal del Ibigeo: [www.unsa.edu.ar/ibigeo/](http://www.unsa.edu.ar/ibigeo/) Cada número de **Temas de Biología y Geología del NOA** podrá ser descargado como un archivo de extensión .pdf ya sea con una resolución baja para ver en pantalla o con alta resolución para imprimir o bien los artículos estarán disponibles individualmente.



