

# Claro como el agua...de lluvia

María Romero Orué\* y Emilce de las Mercedes López\*

\* 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 períodos 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.

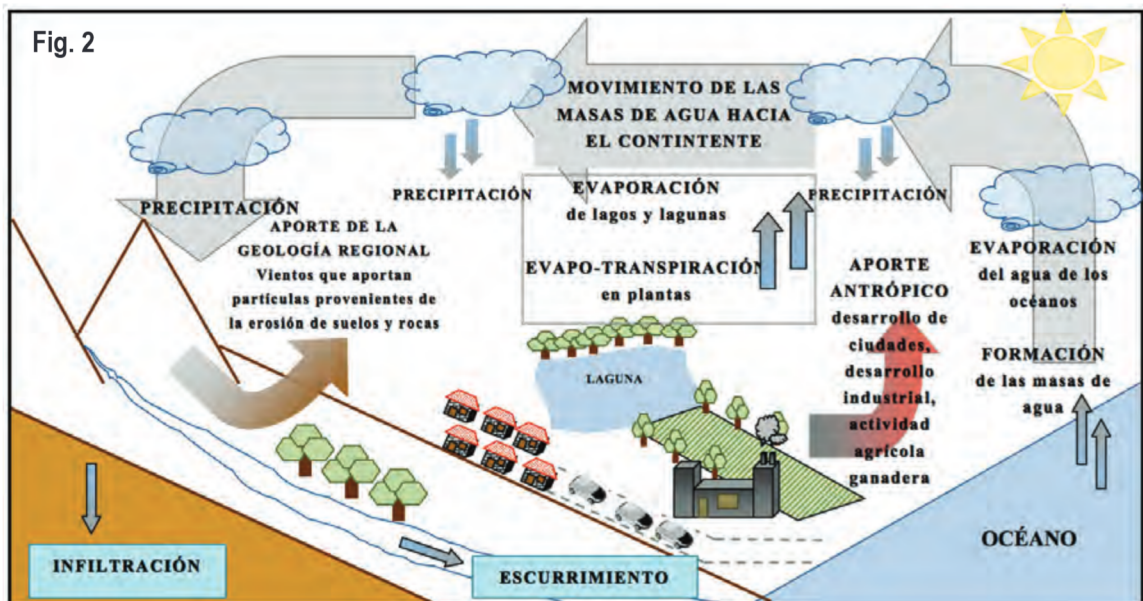
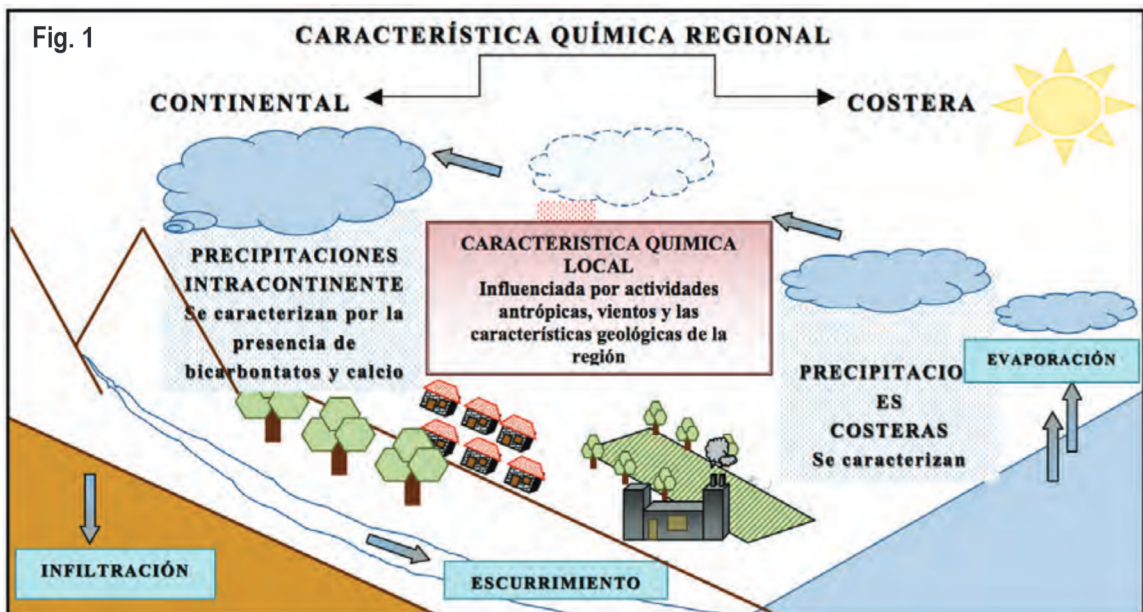
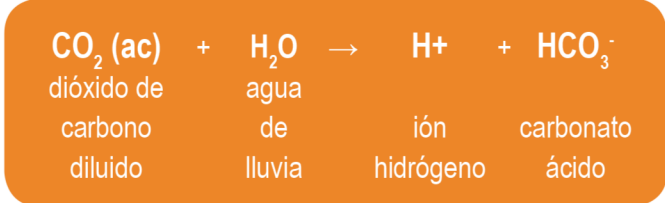


Figura 1. Ciclo hidrológico simplificado y fuentes de aporte a la atmósfera. Figura 2. Características químicas regionales y locales de las lluvias.

## ¿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 (CO<sub>2</sub>) (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 prístinas (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 (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) que básicas (NH<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>), 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.

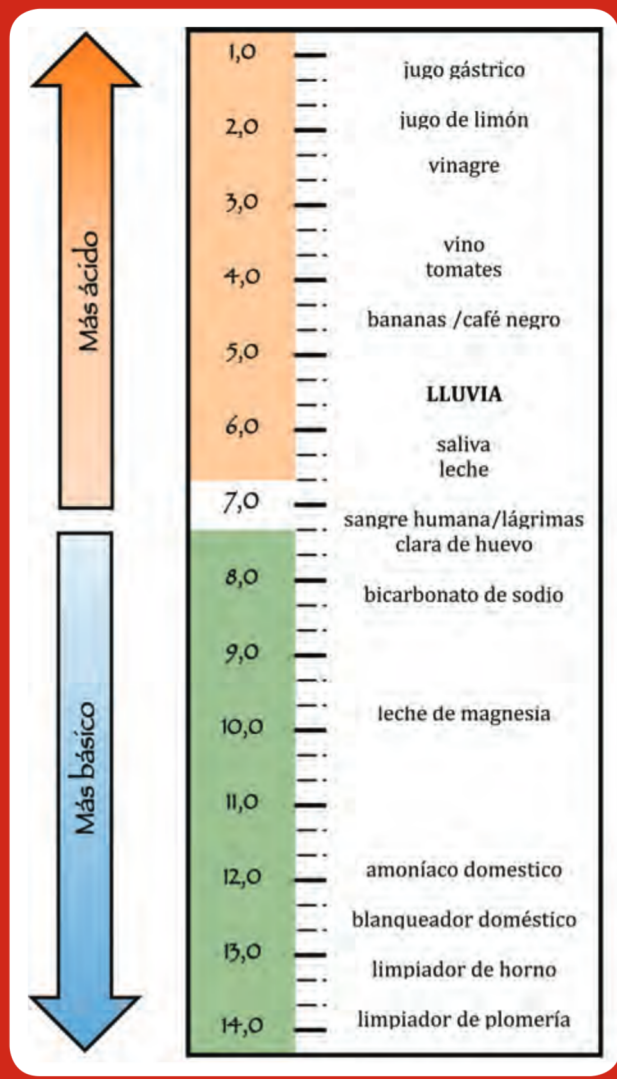


Figura 3. Valores de pH (Fuente:Brown et al.2004)

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.

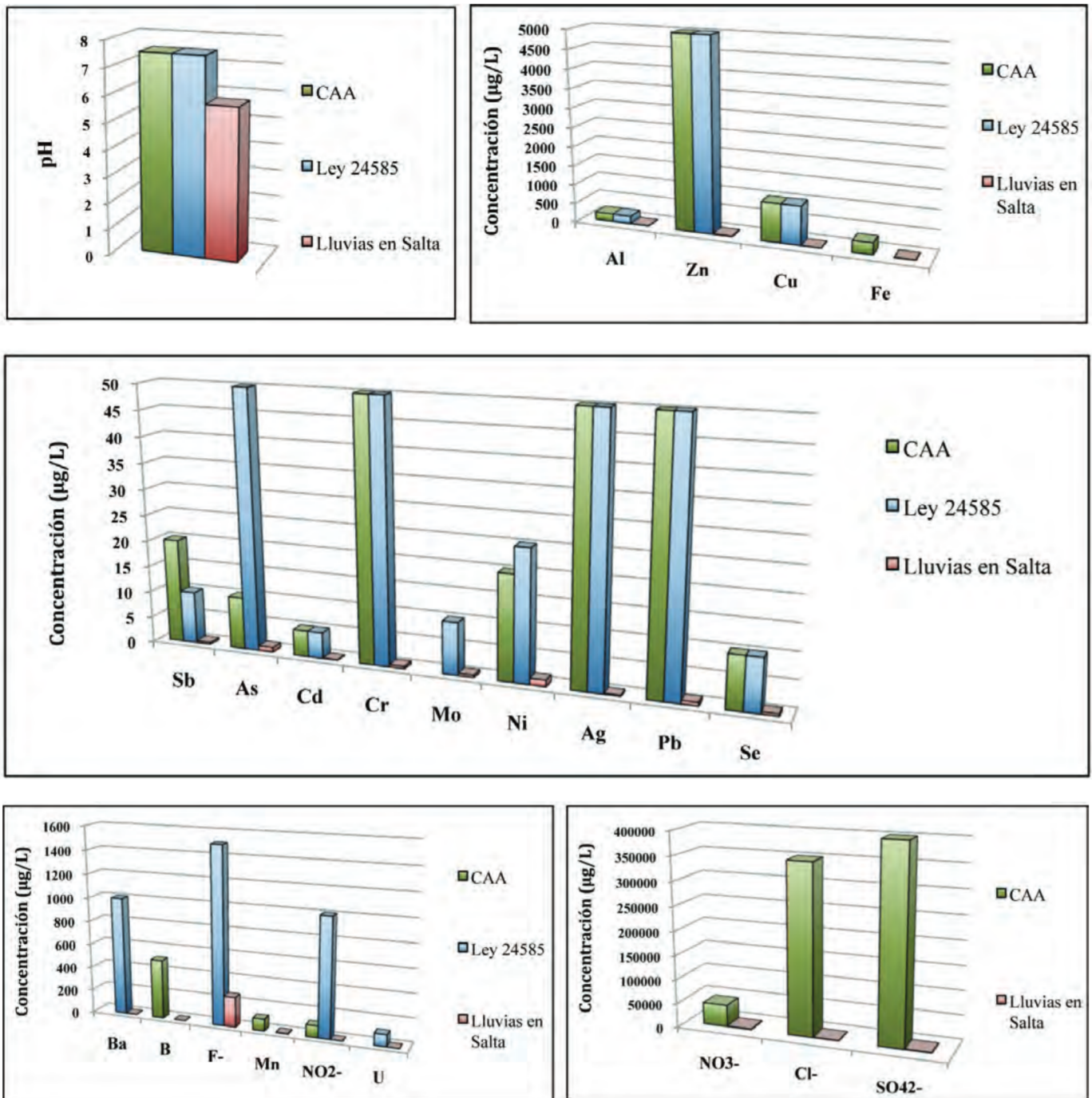
La CE es realmente una medida de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente. En el agua, esta capacidad se relaciona directamente con la presencia de sales en solución. Por ello, la medida de CE se utiliza indirectamente para determinar la concentración 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 CO<sub>2</sub> atmosférico (1 µS/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 atmosfera 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.

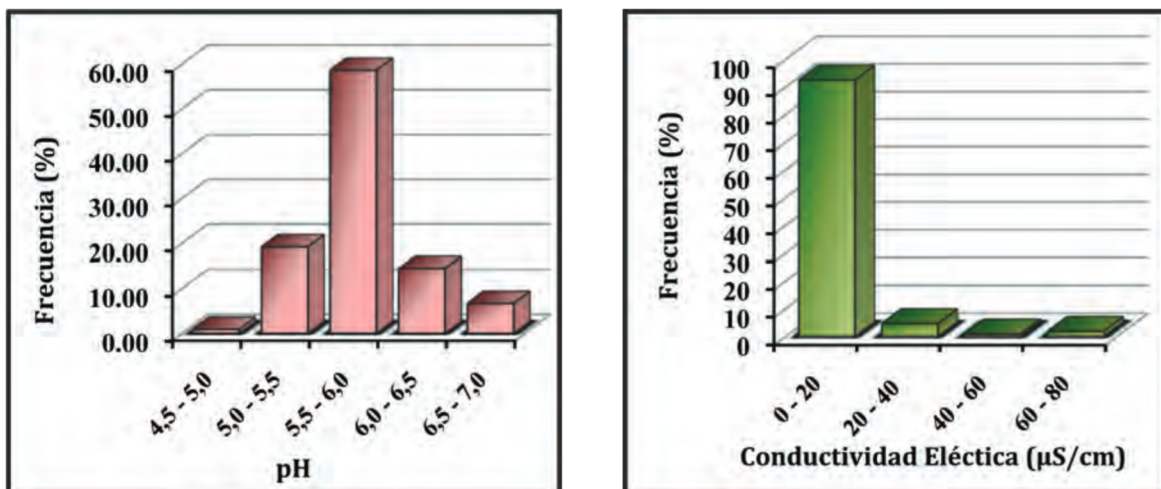
<sup>1</sup> Estación Mojotoro (Bianchi y Yañez, 1992)

<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., Anwari 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 Diaz 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 Diaz 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.