

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL AGUA DE LAS NUBES Y DEL AGUA DE LLUVIA EN LA RESERVA DEL BOSQUE NUBOSO MONTEVERDE, COSTA RICA

Rebeca Bolaños Mora¹, José Pablo Sibaja-Brenes¹, José Carlos Mora-Barrantes¹, Germain Esquivel Hernández¹, Rosa Alfaro Solís¹, Juan Valdés-González¹

1 jose.sibaja.brenes@una.cr, Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT) de la Universidad Nacional, 86-3000, Heredia, Costa Rica

Resumen

Se determinaron parámetros físico-químicos y la composición del agua de lluvia y de la niebla en la Reserva Bosque Nuboso Monteverde, Costa Rica (10° 17,831 Norte; 84° 47,001 Oeste), desde julio hasta setiembre del 2011. Las muestras de agua de niebla se recolectaron utilizando un muestreador de niebla con líneas de nylon y para la recolección del agua de lluvia se utilizó un muestreador en cascada. Las concentraciones de los aniones y los cationes en las muestras de niebla fueron generalmente dos veces más altas que las presentes en el agua de lluvia. El pH promedio para las muestras de agua de lluvia fue de $5,21 \pm 0,01$ y del agua de niebla de $4,65 \pm 0,01$, lo que indicó que la precipitación fue ácida. En las muestras de agua de lluvia y de niebla se observó el predominio del anión sulfato, encontrándose en el total de las muestras analizadas y presentando las concentraciones más altas con respecto a los otros aniones analizados. Al analizar la relación de las concentraciones de los aniones y los cationes presentes en las muestras, se observó principalmente influencia marítima y posibles emisiones desde los suelos. La estación meteorológica colocada en el punto de muestreo, durante el periodo de estudio, mostró que la dirección predominante del viento, en un 78 % fue desde el este-noreste, ya que los vientos alisios ingresaron por el noreste desde el mar Caribe hacia el Océano Pacífico, de manera que las masas de aire predominantes ejercieron una influencia sobre las características físicas y químicas del agua de lluvia y de la niebla.

Introducción

La precipitación atmosférica es uno de los mecanismos naturales más efectivos de remoción de los contaminantes gaseosos y de las partículas presentes en la atmósfera, por lo que el estudio de sus características físicas y químicas permite determinar el nivel de las emisiones de distintas fuentes (Rees, 1999; Sanchez-Murillo et al., 2013, Vásquez Morera et al., 2012). Las partículas en suspensión (aerosoles), proceden tanto de las fuentes naturales (el polen, los ácidos orgánicos, los océanos y la vegetación) así como de las fuentes antropogénicas, ya sea industriales o la quema de combustibles (Seinfeld et al., 1998). Dichas partículas interactúan con el vapor de agua de la atmósfera y actúan como núcleos de condensación en las nubes, de manera que los materiales capturados por las gotas de las nubes son removidos por medio de la deposición húmeda. Las gotas que conforman la niebla son generalmente más ácidas que las gotas provenientes de las precipitaciones lluviosas, debido a que son más pequeñas y los analitos no se encuentran diluidos. La intercepción de estas gotas provee una ruta que transfiere al follaje sulfatos y nitratos, que pueden ser perjudiciales para su crecimiento (Rees, 1999). Los iones sulfato y nitrato se asocian al fenómeno de lluvia ácida, los cuales provienen de la combustión de los combustibles fósiles y de ciertas prácticas agrícolas como las quemadas de biomasa, que al liberar

sustancias como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno a la atmósfera, provocan la formación de ácido sulfúrico y ácido nítrico, que posteriormente retornan a la superficie terrestre, ya sea como aerosoles líquidos o sólidos, afectando a los ecosistemas naturales (Rees, 1999). Las investigaciones de la química y de la física de las nubes han adquirido mayor importancia en las últimas décadas, debido a que los nutrientes y los contaminantes presentes en el agua de las nubes exhiben una fuerte influencia sobre los ecosistemas, especialmente en los forestales de montaña, donde la niebla se produce con mucha frecuencia (Beiderwieden et al., 2005; Wheather, 1999).

Metodología

La cristalería, los embudos, las botellas fueron lavadas con jabón y agua desionizada, luego se dejaron en remojo durante un día en una disolución de HCl al 5 % v/v y posteriormente se enjuagaron con agua desionizada.

Se instaló una estación meteorológica, marca Campbell, equipada con sensores de humedad, de temperatura, de velocidad y de dirección del viento. En el muestreo de agua de niebla se utilizó un muestreador de líneas de nylon y para la recolección del agua de lluvia se utilizó un muestreador en cascada SIBATA, W102.

Las muestras se transportaron al laboratorio en donde se filtraron a través de un sistema de vidrio Milli-pore. El filtrado se separó en tres fracciones, una fracción se utilizó para el análisis de aniones y cationes, la otra fracción se acidificó con H₂SO₄ concentrado, hasta obtener un pH menor de 2, para el análisis de amonio, la última fracción se utilizó para medir el pH y la conductividad. Se determinaron las concentraciones de las especies químicas iónicas disueltas en las muestras: Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, F⁻, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺, por medio de cromatografía de iones, utilizando un cromatógrafo DIONEX®, modelo ICS-5000 DUAL, con una precolumna aniónica IonPac AG23 (4X50mm) y una precolumna catiónica IonPac CG12A (4X50mm), dos columnas analíticas, una aniónica IonPac AS23 (4x250mm) y otra catiónica CS12A (4x250mm) y un detector de conductividad eléctrica. La fase móvil para el análisis de los aniones fue de 4,5 mM de NaHCO₃/ 0,8 mM Na₂CO₃. La fase móvil correspondiente al análisis de cationes fue ácido metasulfónico 20 mM. El cromatógrafo operó con un flujo de 1,00 mL min⁻¹.

Resultados y discusión

Conductividad y pH del agua de lluvia y del agua de niebla

Los valores de pH y de conductividad de las muestras de agua de lluvia fueron similares, reportándose como valor promedio de los tres meses de estudio (5,21 ± 0,01) y (17,06 ± 0,01) µS/cm, respectivamente.

Los valores de pH y conductividad de las muestras de agua de niebla fueron similares, reportándose como valor promedio de los tres meses de estudio (4,65 ± 0,01) y (33,43 ± 0,01) µS/cm, respectivamente.

Composición química del agua de niebla

Se realizó el análisis de la composición química del agua de niebla. Durante todo el periodo de estudio se observó un predominio del anión sulfato, encontrándose éste en el total de las muestras analizadas y, presentando concentraciones más altas con respecto a los otros aniones analizados. De los cationes, el predominante fue el sodio en el transcurso de los meses de julio y agosto y durante setiembre el calcio fue el catión mayoritario.

XXXI Congreso Argentino de Química

25 al 28 de Octubre de 2016 Asociación Química Argentina

Sánchez de Bustamante 1749 – Ciudad de Buenos Aires – Argentina

The Journal of The Argentine Chemical Society Vol. 103 (1-2) January – December 2016 ISSN: 1852 -1207

Anales de la Asociación Química Argentina AAQAE 095 - 196

En el análisis de la composición química de la niebla también se consideraron los coeficientes de determinación (R^2) de los diferentes aniones y cationes. Las correlaciones de las especies mostraron la relación que existe entre las especies diferentes e indicaron si las especies podrían estar asociadas entre sí, utilizando sus concentraciones diarias, donde se mostró una alta correlación ($R^2 > 0,7$) entre el cloruro y el sodio, el magnesio y el calcio. El cuadro 1 muestra la variación del pH y de las concentraciones promedio de aniones y cationes presentes en el agua de niebla.

Cuadro 1. Variación del pH y de las concentraciones promedio de aniones y cationes presentes en el agua de niebla durante julio, agosto y setiembre del 2011.

pH y concentración promedio de aniones en el agua de niebla (mg/L)							
Mes	pH ± 0,01	Fluoruro ± 0,02 mg/L	Cloruro ± 0,02 mg/L	Nitrato ± 0,006 mg/L	Sulfato ± 0,02 mg/L		
Julio	4,80	0,07	3,52	1,314	3,34		
Agosto	4,51	0,09	3,90	1,180	6,34		
Setiembre	4,34	0,06	1,60	0,823	6,16		
pH y concentración promedio de cationes en el agua de niebla (mg/L)							
Mes	pH ± 0,01	Litio ± 0,004 mg/L	Sodio ± 0,02 mg/L	Amonio ± 0,04 mg/L	Potasio ± 0,04 mg/L	Magnesio ± 0,02 mg/L	Calcio ± 0,06 mg/L
Julio	4,80	<LD	2,22	1,05	0,37	0,16	0,69
Agosto	4,51	<LD	2,22	0,11	0,47	0,20	0,43
Setiembre	4,34	<LD	0,56	0,33	0,22	0,12	0,40

LD del litio: 0,01 mg/L

Composición química del agua de lluvia

Se realizó el análisis de la composición química del agua de lluvia. Durante todo el periodo de estudio se observó un predominio del anión sulfato, encontrándose en el total de muestras analizadas y presentando concentraciones más altas respecto a los otros aniones analizados. De los cationes el predominante fue el sodio en el transcurso de los meses de julio y agosto, durante setiembre el calcio fue el catión mayoritario. El cuadro 1 muestra la variación del pH y de las concentraciones promedio de aniones y cationes presentes en el agua de lluvia.

Cuadro 2. Variaciones del pH y de las concentraciones promedio de aniones y cationes presentes en el agua de lluvia durante julio, agosto y setiembre del 2011.

pH y concentración promedio de aniones en el agua de lluvia (mg/L)							
Mes	pH ± 0,01	Fluoruro ± 0,02 mg/L	Cloruro ± 0,02 mg/L	Nitrato ± 0,006 mg/L	Sulfato ± 0,02 mg/L		
Julio	5,65	0,03	1,77	0,564	1,69		
Agosto	5,19	0,05	1,02	0,532	3,43		
Setiembre	4,79	0,02	0,40	0,358	1,74		
pH y concentración promedio de cationes en el agua de lluvia (mg/L)							
Mes	pH ± 0,01	Litio ± 0,004 mg/L	Sodio ± 0,02 mg/L	Amonio ± 0,04 mg/L	Potasio ± 0,04 mg/L	Magnesio ± 0,02 mg/L	Calcio ± 0,06 mg/L
Julio	5,65	<LD	0,57	0,41	0,21	0,07	0,31
Agosto	5,19	<LD	0,37	0,27	0,20	0,07	0,26
Setiembre	4,79	<LD	0,13	0,21	0,17	0,06	0,28

LD del litio: 0,01 mg/L

Relación de la composición química del agua de lluvia y el agua de niebla con respecto a la dirección y dirección del viento

El clima de la región de Monteverde está determinado por los vientos alisios que ingresan a Costa Rica cargados de humedad por el noreste desplazándose desde el mar Caribe, hacia el Pacífico. Éstos se enfrían al subir sobre la cordillera, provocando lluvias orográficas y pasan a la vertiente del Pacífico, calentándose a medida que descienden. La estación meteorológica colocada en el sitio de muestreo indicó una dirección del viento predominante en la dirección este-noreste, la cual se reportó con un 78,3 % de frecuencia durante el periodo de muestreo, desde julio del 2011 hasta setiembre del 2011. En un 11.9% de frecuencia la dirección del viento se dirigió al noreste, en un 4,3 % de frecuencia la dirección fue oeste-suroeste, con un 2,2 % de frecuencia la dirección fue hacia el oeste y un 1,1 % de frecuencia la dirección fue oeste-noroeste, sur-suroeste y suroeste. No se observó una tendencia consistente que relacione la variación diaria de la composición química de las muestras de agua de lluvia y del agua de niebla con la variación diaria de la temperatura y la humedad relativa.

Conclusiones

Las concentraciones de los aniones y los cationes presentes en las muestras de agua de niebla fueron generalmente dos veces más altas que las presentes en el agua de lluvia, el pH promedio del agua de niebla fue más bajo que el de lluvia. En las muestras de agua de lluvia y de niebla se observó, en su composición iónica, el predominio del anión sulfato, encontrándose éste en el total de las muestras analizadas y presentando las concentraciones más altas, con respecto a los otros aniones analizados. Al analizar la relación de las concentraciones de los aniones y cationes presentes en las muestras, se observó principalmente la influencia marítima (correlaciones más altas entre el magnesio y el sulfato, el nitrato y el cloruro) y las posibles emisiones desde los suelos (nitratos). Esto se dio debido a que los vientos alisios ingresaron por el noreste, desde el mar Caribe hacia el Pacífico, atravesando Costa Rica, de manera que la masa de aire predominante sobre las características físicas y químicas del agua de lluvia y de niebla, proviene del este-noreste.

Bibliografía

- Beiderwieden, E; Wrzesinsky, T; Klemm, O. Chemical Characterization of Fog and Rainwater Collected at the Eastern Andes Cordillera. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2005, 2, pp. 863-885.
- Sánchez-Murillo, R; Esquivel-Hernández, G; Welsh, K; S. Brooks, E; Boll, J; Alfaro-Solís, R; Valdés-González, J. Spatial and Temporal Variation of Stable Isotopes in Precipitation across Costa Rica: An Analysis of Historic GNIP Records. *Open Journal of Modern Hydrology*, 2013, 3, 226-240.
- Seinfeld, J.H; Pandis, S.P. *Atmospheric Chemistry and Physics*; John Wiley & Sons, Inc: USA, 1998; pp. 97-99, 1048.
- Rees, M.H. *Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere*; Cambridge Atmospheric and Space Science Series: USA, 1999; p. 323.
- Vásquez Morera, T; Alfaro Solís, R; Sibaja Brenes, J.P; Esquivel Hernández, G; Valdés González, J. Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la Reserva Biológica Monteverde. *R. Uniciencia*, 2012, 26, pp. 51-63.
- Wheather, K.C. The importance of cloud and fog in the maintenance of ecosystems. *TREE*.1999,14, pp 214-215.