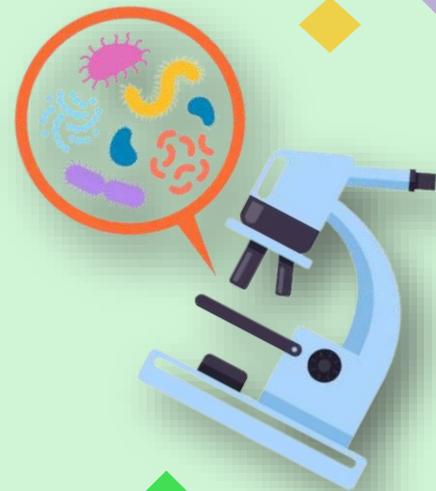




# I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales

Editado por  
Yuri Morales López



Universidad Nacional  
Costa Rica, 2019.



## Estudio preliminar sobre la composición del agua de lluvia en los alrededores del Parque Nacional del Volcán Poás

**Karla Bolaños-Bolaños**  
[karla.bolanosbolanos@ucr.ac.cr](mailto:karla.bolanosbolanos@ucr.ac.cr)  
Universidad de Costa Rica  
Costa Rica

**José Pablo Sibaja-Brenes**  
[jose.sibaja.brenes@una.cr](mailto:jose.sibaja.brenes@una.cr)  
Universidad Nacional de Costa Rica  
Costa Rica

**José Carlos Mora-Barrantes**  
[jose.mora.barrantes@una.cr](mailto:jose.mora.barrantes@una.cr)  
Universidad Nacional de Costa Rica

**Danilo Umaña-Castro**  
[danilo.umana.castro@una.cr](mailto:danilo.umana.castro@una.cr)  
Universidad Nacional de Costa Rica  
Costa Rica

**Mario Cambronero-Luna**  
[mario.cambronero.luna@una.cr](mailto:mario.cambronero.luna@una.cr)  
Universidad Nacional de Costa Rica  
Costa Rica

**Lisseth Sandoval Soto**  
[lisseth.sandoval.soto@una.cr](mailto:lisseth.sandoval.soto@una.cr)  
Universidad Nacional de Costa Rica  
Costa Rica

**María Martínez Cruz**  
[maria.martinez.cruz@una.cr](mailto:maria.martinez.cruz@una.cr)  
Universidad Nacional de Costa Rica  
Costa Rica

### Resumen

La lluvia cumple un papel importante en la limpieza de la atmósfera, ya que a través de este proceso se remueven la mayor cantidad de iones presentes en la misma (Doria, 2017; Seinfeld & Pandis, 2006). En el presente estudio se realizó una evaluación preliminar de la composición atmosférica del agua de lluvia en y alrededores del Parque Nacional Volcán Poás en Costa Rica, que permita generar una base para estudios futuros que evalúen la influencia de fuentes antropogénicas y naturales en la composición del agua de lluvia en áreas naturales protegidas. El estudio se realizó entre mayo y octubre del 2017. Se analizaron parámetros como pH, conductividad eléctrica y aniones ( $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  y  $SO_4^{2-}$ ). Los valores más significativos fueron encontrados cerca del foco emisor (El Mirador para visitantes): pH 2,50,  $(66,3 \pm 1,6)$  mg/L para  $F^-$ ,  $(308,1 \pm 7,2)$  mg/L para  $Cl^-$  y  $(249,1 \pm 5,2)$  mg/L para el  $SO_4^{2-}$ . El monitoreo sistemático del agua de lluvia, así como el análisis de mayor cantidad de analitos, es necesario para el establecimiento de la contribución de las fuentes antropogénicas con respecto a las fuentes naturales, así como la influencia de estas fuentes en las características de la lluvia y su impacto en el agua de consumo humano y animal.

Tema: Gestión y sustentabilidad del territorio y los recursos naturales.

Principal área: Biología

---

Bolaños-Bolaños, K., Sibaja-Brenes, J. P., Mora-Barrantes, J. C., Umaña-Castro, D., Cambronero-Luna, M., Sandoval-Soto, L. & Martínez-Cruz, M. (2019). Estudio preliminar sobre la composición atmosférica del agua de lluvia en y los alrededores del Parque Nacional del Volcán Poás. En Y. Morales-López (Ed.), *Memorias del I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional, Costa Rica, 2019* (e142, pp. 1-11). Heredia: Universidad Nacional. doi <http://dx.doi.org/10.15359/cicen.1.29>

### Abstract:

The rain plays an important role in the cleanliness of the atmosphere, since through this process the greater amount of ions present in it is removed (Doria, 2017; Seinfeld & Pandis, 2006). In the present study, a preliminary evaluation of the atmospheric composition of rainwater in and around the Poas Volcano National Park in Costa Rica was carried out, which allows generating a basis for future studies that evaluate the influence of anthropogenic and natural sources in the composition of the rainwater in protected natural areas. The study was conducted from May to October 2017. Parameters such as pH, electrical conductivity and anions ( $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  and  $SO_4^{2-}$ ) were analyzed. The most significant values were found near the emitter focus (El Mirador for visitors) pH: 2,50, ( $66,3 \pm 1.6$ ) mg/L for  $F^-$ , ( $308.1 \pm 7.2$ ) mg/L for  $Cl^-$  and ( $249.1 \pm 5.2$ ) mg/L for  $SO_4^{2-}$ ). The constant monitoring of rainwater, as well as the analysis of a greater quantity of pollutants, is necessary for the establishment of relationships between anthropogenic and natural emissions, as well as their influence on rainfall patterns and their impact on water human consumption.

*Palabras clave:* Contaminantes atmosféricos; volcanes; agua de lluvia; iones; Costa Rica.

### Introducción

La lluvia cumple un rol fundamental en la limpieza de la atmósfera, debido a que mediante este proceso se remueve la mayor cantidad de contaminantes. La composición química del agua de lluvia presenta variación de un lugar a otro y respecto de una región a otra, esto como producto de la influencia de fuentes locales (Doria, 2017; Seinfeld & Pandis, 2006), tanto naturales como antropogénicas (Doria, 2017; Ramírez et al., 2010). Determinar la composición del agua es una variable atmosférica que permite comprender el papel del transporte de los componentes solubles de la atmósfera y su contribución a las diferentes fuentes de contaminantes atmosféricos (Doria, 2017; Khemani et al., 1985). El agua de lluvia funciona como un sumidero relevante para la materia en forma de gases y partículas, incluyendo metales trazas en la atmósfera y, por tanto, desempeñando un rol importante en el control de las concentraciones de estas especies (Doria, 2017; Samara, Tsitouridou, & Balafoutis, 1992).

### Marco teórico

La química del agua presente en la atmósfera es el resultado de una compleja interacción entre la dinámica de las nubes y los procesos microfísicos (Al-Khashman, 2009). Juega un papel importante en la remoción de componentes solubles de la atmósfera, por lo que su composición ayuda a entender la contribución de los contaminantes emitidos por las fuentes naturales y antropogénicas a la atmósfera. En las últimas dos décadas se han realizado estudios relacionados con la composición de la lluvia y otras formas de agua en la atmósfera, como la niebla, se encontró en algunos casos, efectos nocivos a nivel ambiental y humano (Al-Khashman, 2009; Beiderwieden, E. Wrzesinsky, T. Klemm, 2005; Kitayama, Simizu, & Hara, 2008; Seto, Hara, Sato, Noguchi, & Tonooka, 2004).



La composición química de las deposiciones atmosféricas depende de numerosos mecanismos físicos y químicos de los aerosoles y precursores de las emisiones, de las reacciones químicas y de los procesos de eliminación. Por lo tanto, la química de las deposiciones húmedas puede brindar información sobre la evolución temporal de la atmósfera y su contaminación, y ser utilizada como un indicador pertinente para evaluar los procesos naturales frente a influencias antropogénicas (Doria, 2017; Wetangúla & Wamalwa, 2015). El estudio de la composición química de lluvia en áreas remotas ofrece un gran potencial para evaluar los efectos de centros urbanos, complejos industriales y emisiones naturales. De igual forma, permiten analizar y comprender los mecanismos que controlan la composición química de la atmósfera en las regiones alejadas a centros urbanos e industriales y los ciclos biogeoquímicos naturales (Doria, 2017; Xu & Han, 2009).

Los componentes disueltos en el agua de lluvia se pueden separar en tres grandes grupos: (a) los aerosoles de sal marina, (b) los aerosoles terrestres (suelo polvo, las emisiones biológicas) y (c) los aportes antropogénicos (Doria, 2017; Ghose, 2007). Estos últimos se relacionan con procesos industriales, combustibles fósiles, actividades mineras, incineración de residuos, emisiones vehiculares, agricultura y fertilizantes, así como otras actividades humanas que emiten cantidades considerables de contaminantes atmosféricos (Corpogujira (Corporación Autónoma Regional de La Guajira), 2012; Doria, 2017)

En 1996, Clark y colaboradores (1998) determinaron la química del agua de nubes y de las precipitaciones sobre la línea divisoria continental, y por debajo de ella, en la Reserva Biológica Monteverde, donde establecieron que las concentraciones de iones ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) en las precipitaciones fueron similares a las de las concentraciones en los bosques tropicales pre-montañosos y el bosque montañoso nublado. Sin embargo, éste ha sido uno de los pocos estudios realizados en este tipo de ecosistema tropical (Vásquez, Alfaro, Sibaja, Esquivel, & Valdés, 2012).

Con respecto a lo anterior, es importante indicar que los contaminantes atmosféricos contenidos en el agua de lluvia generan efectos nocivos en los ecosistemas, pues penetra en el suelo y provocan la pérdida de nutrientes, producto del intercambio de cationes básicos del suelo y la liberación cationes tóxicos para las plantas (Hidalgo, 2012). De igual forma, la acidificación de las aguas propicia la disolución de los metales pesados, la lluvia ácida posee un alto contenido de nitratos y amonio, alterando el ciclo de los nutrientes en la vegetación (Vásquez et al., 2012). La lluvia ácida no solo afecta los ecosistemas, sino que además corroe las superficies metálicas y destruye las estructuras de los edificios (Campos Gómez, 2000).

En el presente estudio se realizó una evaluación preliminar de la composición atmosférica del agua de lluvia en el Parque Nacional Volcán Poas en Costa Rica y en los alrededores de la zona, con el fin de marcar una base para la generación de estudios futuros que evalúen la influencia de las fuentes antropogénicas y naturales en la composición del agua de lluvia en áreas naturales protegidas.

## **Metodología**



Los muestreos se llevaron durante el periodo comprendido entre mayo a octubre del 2017 en el Parque Nacional Volcán Poás y sus alrededores. Se recolectaron muestras de agua de lluvia en ocho puntos alrededor del volcán, cuatro de ellos ubicados dentro del Parque Nacional Volcán Poás (1. Centro de visitantes  $10^{\circ}11'08,4''$  N y  $84^{\circ}14'10,5''$  O, 2. El mirador  $10^{\circ}11'26,7''$  N y  $84^{\circ}13'58,0''$  O, 3. La casa de guarda parques  $10^{\circ}10'03,9''$  N y  $84^{\circ}13'57,2''$  O y 4. Colinas  $10^{\circ}10'31,0''$  N y  $84^{\circ}14'56,1''$  O (suroeste del volcán)) y otros en Grecia (5. Tacares  $10^{\circ}02'44,5''$  N y  $84^{\circ}18'05,0''$  O y 6. La Arena  $10^{\circ}04'04,0''$  N y  $84^{\circ}17'38,6''$  O), Poás (7. Sabana Redonda  $10^{\circ}06'36,6''$  N y  $84^{\circ}13'37,9''$  O) y Naranjo (8. Cirrú  $10^{\circ}07'17,7''$  N y  $84^{\circ}21'57,8''$  O). La recolección del agua de lluvia se llevó mediante un sistema de muestreo simple compuesto por una botella y un embudo de polietileno de alta densidad previamente tratado con HCl 6,0 mol/L (disolución de los metales) y agua desionizada (disolución del ácido). En total se recolectaron 50 muestras de agua de lluvia, con un promedio de 6 muestras por punto, recolectadas una vez por mes, durante 6 meses.

Las muestras recolectadas, se filtraron, mediante filtros de membrana de  $0,25 \mu\text{m}$  y se almacenaron a  $4^{\circ}\text{C}$  para su posterior análisis. Los parámetros que se determinaron en las muestras de agua de lluvia fueron: el pH, la conductividad eléctrica y la concentración de especies químicas iónicas disueltas, tales como los aniones F-, Cl-, NO<sub>3</sub>- y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. El pH y la conductividad eléctrica se determinaron en las muestras previamente filtradas y a temperatura ambiente, utilizando un pH-metro Oakton y un conductímetro respectivamente. La determinación de los aniones (F-, Cl-, NO<sub>3</sub>- y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), se realizó por cromatografía de iones, utilizando un cromatógrafo marca DIONEX®, modelo ICS-5000 DUAL, con una precolumna aniónica IonPac AG23 (4 mm x 50 mm), una columna analítica aniónica IonPac AS23 (4 mm x 50 mm), un detector de conductividad eléctrica y una fase móvil de NaHCO<sub>3</sub>/ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Química de la Atmósfera de la Universidad Nacional en Heredia, Costa Rica (LAQAT-UNA).

## **Análisis**

En la tabla I se detallan los resultados de los valores promedios obtenidos en los puntos de muestro (Figura I) en el Parque Nacional Volcán Poás. Los puntos de muestreo se ubican en los alrededores del cráter activo. Los puntos son; El Mirador, Casa de Guarda Parques, Centro de Visitantes y Colinas (Figura I).





Figura I. Puntos de muestreo dentro del Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica

Tabla I

Valores promedios reportados para el agua de lluvia en el Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica

Punto de muestreo	pH	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	F <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)
Casa de guarda parques	3,65 a 5,22	7 a 123	< 2,5	< 1,2 a 17,1	< 0,8 a 1,3	< 0,8 a 23,7
El Mirador	2,50 a 3,39	176 a 1120	< 2,5 a 66,3	< 1,2 a 300,8	< 1,1	20,0 a 249,1
Centro de visitantes	3,86	77,1	< 2,5	6,9	< 0,8	5,1
Colinas	3,40 a 4,17	35 a 138	< 2,5	1,6 a 19,2	< 0,8 a 8,9	< 0,8 a 51,4

La tabla anterior indica que los valores de pH para todos los puntos de muestreos están entre el rango de 2,50 a 5,22. El máximo valor de pH corresponde al punto de muestreo denominado Casa de guarda parques. En general los valores de carácter ácido encontrados en todos los sitios muestreados obedecen a la reacción y disolución de los gases, las partículas y los aerosoles emitidos por el volcán Poás, principalmente. La cercanía del punto de emisión con respecto a los puntos de muestreo hace que se dé el proceso de solubilización de las sustancias y se disminuya el valor de pH y aumente la concentración de iones en la lluvia. Con respecto al valor de conductividad eléctrica, estos se ubican entre 7  $\mu\text{S/cm}$  y 1120  $\mu\text{S/cm}$ . En relación con este parámetro las mayores conductividades eléctricas corresponden al punto de muestreo nombrado El mirador, con un

valor mínimo de 176  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y uno máximo de 1120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Indicar que ningún otro punto muestreado alcanza el valor mínimo en conductividad eléctrica del punto el Mirador. Los altos valores reportados para el sitio el Mirador tienen una relación directamente proporcional con la mayor concentración reportada para los iones sulfatos, nitratos, cloruros y fluoruros. El punto de muestreo el Mirador se encuentra a aproximadamente 450 m de distancia del foco emisor. Por lo que las sustancias emitidas por el volcán se solubilizan y pueden precipitar cerca de la fuente.

Con respecto los iones mencionados, se detalla en la tabla I lo siguiente; a) la concentración para el ion  $\text{F}^-$  oscila entre valores menores a 2,5 mg/L a  $(66,3 \pm 1,6)$  mg/L, b) para el ion  $\text{Cl}^-$  se presentan valores menores a 1,2 mg/L a  $(308,1 \pm 7,2)$  mg/L, c) el ión  $\text{NO}_3^-$  muestra un rango de menor a 0,80 mg/L a  $(8,9 \pm 0,1)$  mg/L y d) el ion  $\text{SO}_4^{2-}$  sulfato indica datos entre un valor de detección menor a 0,8 mg/L a  $(249,1 \pm 5,2)$  mg/L.

En el caso específico del ion flúor, tres de los puntos de muestreos muestran valores menores a 2,5 mg/L, únicamente el sitio El Mirador mostró valores superiores, inclusive alcanzando valores de hasta 66,3 mg/L. Esto se puede explicar debido a que las sustancias emitidas se solubilizan y precipitan cerca de la fuente. Por tal motivo, es que se puede encontrar el fluoruro en el agua de lluvia de este punto y no en los demás. Dado que, en los puntos más distantes, el fluoruro se dispersa más y se diluye en la atmósfera. Patrón similar presentan los iones cloruros y sulfatos, para los cuales, los mayores valores reportados corresponden al El Mirador, 308,1 mg/L y 249,1 mg/L, respectivamente. Tal y como se muestra en la Tabla I el ion nitrato es el único reportado que no presenta las mayores concentraciones en el punto de muestreo El Mirador, la concentración más elevada para este ion se reportó en el sitio denominado Las Colinas, resultado que obedece a una posible influencia de una contaminación antropogénica.

La Tabla III muestra los valores reportados para los diferentes parámetros analizado en los sitios externos al parque. Los puntos de muestreo corresponden a los lugares aledaños al Parque Nacional Volcán Poás, los cuales son; Cirrú, La Arena, Tacaes y Sabana Redonda. La figura II muestra la distancia de estos puntos con respecto al parque nacional.



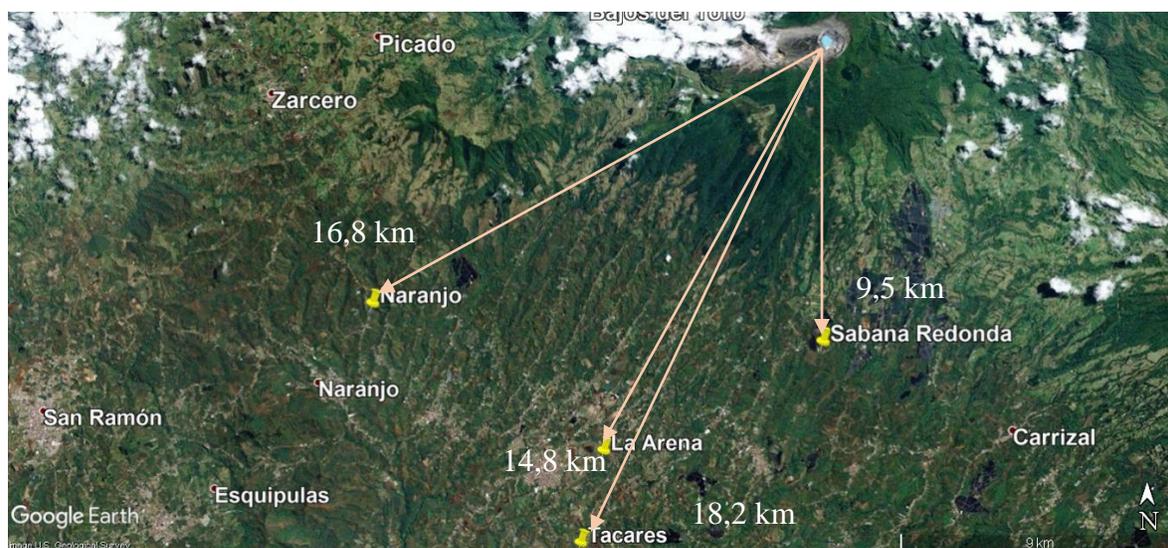


Figura II. Distancia de los puntos de muestreo fuera del Parque Nacional Volcán Poás

Tabla II

Valores reportados para el agua de lluvia en alrededores del Parque Nacional Volcán Poás

Punto de muestreo	pH	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	F <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)
Cirrí	3,74 a 5,31	16 a 90	< 2,5	0,9 a 9,4	< 0,8 a 3,7	3,3 a 10,3
La Arena	3,68 a 6,70	12 a 109	< 2,5	1,0 a 27,4	< 0,8 a 6,4	< 0,8 a 26,4
Tacares	3,02 a 7,65	19 a 460	< 2,5	1,3 a 59,4	< 0,8 a 1,6	< 0,8 a 3,4
Sabana Redonda	4,42 a 5,21	12 a 38	< 2,5	1,4 a 2,4	0,7 a 1,4	3,2 a 5,8

La Tabla anterior indica que los valores de pH para todos los puntos de muestreos están entre el rango de 3,02 a 7,65. El máximo valor de pH corresponde al punto de muestreo denominado Tacares, lo cual obedece a una mezcla de sustancias provenientes del volcán Poás y del Valle Central, según el patrón de vientos. Con respecto al valor de conductividad eléctrica, éstos se ubican entre 12  $\mu\text{S/cm}$  y 460  $\mu\text{S/cm}$ . En relación con este parámetro, los valores más altos de conductividades eléctricas corresponden al mismo punto de muestreo (Tacares), con un valor mínimo de 19  $\mu\text{S/cm}$  y uno máximo de 460  $\mu\text{S/cm}$ . Los segundos valores más altos de conductividad eléctrica se dieron en el punto de muestreo La Arena, donde se reportan valores hasta de 109  $\mu\text{S/cm}$ . Los mayores valores reportados para estos dos puntos (Tacares y La Arena) pueden tener una relación directamente proporcional con la mayor concentración reportada para los iones sulfatos, nitratos, cloruros y fluoruros. Los puntos de muestreo de Tacares y La Arena están al Suroeste del volcán, por lo que las emisiones del cráter (según el patrón predominante de los vientos hacia el Suroeste) y la contaminación antropogénica puede influir en los valores encontrados.

Con respecto los iones mencionados, se detalla en la Tabla II lo siguiente; a) la concentración para el ion F<sup>-</sup> reporto en todos los casos valores menores a 2,50 mg/L, b) para el ion Cl<sup>-</sup> se presentan valores entre (0,9 ± 0,2) mg/L a (59,4 ± 3,8) mg/L, c) el ión

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> muestra un rango de valores menores a 0,80 mg/L a (6,4 ± 0,2) mg/L y d) el ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> sulfato indica datos entre 0,8 mg/L hasta (26,4 ± 0,7) mg/L.

En el caso específico del ion flúor, los cuatro puntos de muestreos muestran valores menores a 2.5 mg/L, esto se puede debe a un proceso de dilución de las partículas emitidas por el volcán y la distancia de dispersión, la cual es de más de 20 km de distancia con respecto a la fuente de emisión. Para el caso de los iones cloruro, la mayor concentración (59,4 mg/L) se reportó en el sitio de muestreo nombrado Tacares, lo cual se puede explicar, considerando que La Arena presenta los valores más altos para los iones sulfatos (26,4 mg/L) y nitratos (6,4 mg/L), esto principalmente por transporte y disolución de gases como dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno producto de la contaminación local y del transporte de las masas de aire a largas distancias.

En la Tabla III se comparan los promedios de los datos reportados para los sitios de muestreo dentro y en los alrededores del Parque Nacional Volcán Poás. El valor del pH en los alrededores del parque se acerca mayormente a la neutralidad (pH = 7) respecto a los valores en el parque nacional. Respecto a la conductividad eléctrica, los mayores valores también se reportan dentro del parque, con un valor máximo de 364 μS/cm mientras que en los alrededores el mayor valor es de 171 μS/cm. La variación entre estos valores se puede explicar en función de las concentraciones reportadas para los iones fluoruros, cloruros y sulfatos, estos iones se reportan en mayor cantidad para los puntos de muestreo dentro del parque, lo cual evidencia la gran influencia del cráter sobre los alrededores cercanos. La disminución en la concentración de estos iones en los sitios más alejados del parque puede obedecer a la dilución del agua de lluvia producto a los vientos y distancia de los sitios de muestreo con respecto al cráter. El único ion que presenta concentraciones similares tanto dentro como fuera del área del parque es el nitrato, éste se puede explicar a que se tienen diferentes fuentes de emisión, tanto naturales como antropogénicas que generan el aumento de los nitratos en la atmósfera de manera constante.

Tabla III

*Comparación de datos reportados para los sitios de muestreo dentro y en los alrededores del Parque Nacional Volcán Poás*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad μS/cm</b>	<b>F<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L)</b>
En el Parque Nacional	3,35-4,16	74-365	< 2,5- 66,3	< 1,2-86	< 0,8-3,8	< 0,8-82,3
Alrededores del Parque Nacional	3,7-6,21	15-174	< 2,5	1,2-24,7	< 0,8-3,3	< 0,8-11,5

Los valores obtenidos en las tablas I y II fueron comparados con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (2005) decreto N° 41499-S. Según este reglamento los valores alerta para los parámetros analizados son 6 para pH, 400 μS/cm en conductividad eléctrica, 25 mg/L para el Cl<sup>-</sup>, 25 mg/L para el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y 25 mg/L para el SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (no hay valor alerta para el F<sup>-</sup>). Para el caso de los valores máximos admisibles, el reglamento indica; 8 para pH, 0,7 mg/L para el F<sup>-</sup>, 250 mg/L para el Cl<sup>-</sup>, 50 mg/L para el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y 250 mg/L para el SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.



Al analizar los valores obtenidos con los valores del reglamento, se observa que todos los puntos muestran valores de pH bajos, sin embargo, la mayor conductividad y concentración de aniones de origen volátil magmático ( $\text{SO}_4^{2-}$ , F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>) en el agua de lluvia se encontró en El Mirador, a 300 m del cráter activo. Por lo tanto, el agua de lluvia en El Mirador no sería apta para consumo animal y/o humano. Según (Narváez & Cano, 2004), la ingesta de agua contaminada con flúor puede causar desde enfermedades gastrointestinales hasta complicaciones severas en enfermos crónicos. Además, la alta acidez en agua de lluvia podría generar efectos adversos sobre la calidad de la vegetación y de la infraestructura, en especial en aquella construida con metal y concreto (Ortuño et al., 2002).

## **Conclusiones**

En total se recolectaron 50 muestras de agua de lluvia, con un promedio de 6 muestras por punto, con una frecuencia de una vez por mes, durante 6 meses, en donde se analizaron los parámetros de pH y conductividad y la concentración de iones sulfato, nitrato, cloruro y fluoruro.

Todos los parámetros analizados, con excepción del ion nitrato, mostraron mayores concentraciones (y datos) para los sitios de muestreo dentro del Parque Nacional Volcán Poás con respecto a los lugares a más de 20 km del volcán.

En las muestras del agua de lluvia las concentraciones más significativas de los iones de origen magmático ( $\text{SO}_4^{2-}$ , F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>) fueron reportados en las cercanías del foco emisor, punto denominado el Mirador, que se encuentra a alrededor de 450 m del cráter principal.

En los alrededores del parque las mayores concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$  y F<sup>-</sup> se reportaron en el sitio La Arena, donde se puede tener una influencia de las emisiones del volcán Poás y de la contaminación antropogénica.

La generación de grupos de trabajo sobre los diferentes temas relacionados con los volcanes y su repercusión para los visitantes y la población aledaña permite discutir sobre las medidas de seguridad preventivas para una adecuada vigilancia de los potenciales efectos del volcán.

El presente trabajo representa un estudio muy preliminar con respecto a la composición química del agua de lluvia en el Parque Nacional Volcán Poás y en los alrededores, por lo tanto, se recomienda la continuidad del estudio o la generación de nuevos proyectos donde la cantidad de muestras recolectadas en cada punto de muestreo sea mucho mayor.

Se recomienda que estudios futuros evalúen la influencia de fuentes antropogénicas y naturales en las diferentes concentraciones de los iones estudiados, además de incluir como parámetros de análisis la presencia de metales pesados en el agua de lluvia, cuyas principales fuentes de generación son la industria, la minería, la fundición de metales y las fuentes móviles.

Estudios futuros deben relacionar la presencia de contaminantes en el agua de lluvia con el estado de la vegetación en zonas dentro y fuera del parque.



Futuras e investigaciones con mayores ámbitos de acción y alcance se recomiendan que evalúen el efecto de los contaminantes en el agua de lluvia en cuerpos de agua y agua de consumo humano,

## Referencias

- Al-Khashman, O. (2009). Chemical characteristics of rainwater collected at a western site of Jordan. *Atmospheric Research*, 91(1), 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.05.007>
- Beiderwieden, E. Wrzesinsky, T. Klemm, O. (2005). Chemical characterization of fog and rain water collected at the eastern Andes cordillera. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(3), 185–191.
- Campos Gómez, I. (2000). *Saneamiento ambiental*. San José: Editorial Universidad Nacional a Distancia.
- Clark, K. L., Nadkarni, N. M., Schaefer, D., & Gholz, H. L. (1998). Cloud water and precipitation chemistry in a tropical montane forest, Monteverde, Costa Rica. *Atmospheric Environment*, 32(9), 1595–1603. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00384-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00384-1)
- Corpoguajira (Corporación Autónoma Regional de La Guajira). (2012). Atlas Ambiental del Departamento de La Guajira. Riohacha.
- Doria, C. (2017). Metales pesados (Cd , Cu , V , Pb) en agua lluvia de la zona de mayor influencia de la mina de carbón en La Guajira , Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 46(2), 37–44. <https://doi.org/2357-3791>.
- Ghose, M. (2007). Opencast coal mining in India: Assessing air pollutant emission rates. *Environmental Quality Management*, 17(1), 35–41. <https://doi.org/10.1002/tqem.20150>
- Hidalgo, R. T. (2012). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. *Tecnogestión*, 9(1), 3–11. Retrieved from <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/5646/7164>
- Khemani, L., Momin, G., Naik, M., Prakasa Rao, P., Kumar, R., & Ramana, M. (1985). Impact of alkaline particulates on pH of rain water in India. *Water, Air, and Soil Pollution*, 25(4), 365–376. <https://doi.org/10.1007/BF00283789>
- Kitayama, K., Simizu, T., & Hara, H. (2008). Impacts of sulfur dioxide from Miyakejima on precipitation chemistry in Japan. *Atmospheric Environment*, 42(39), 8923–8933. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.08.020>
- Narváez, O., & Cano, F. (2004). Cenizas Volcánicas: Contaminación ambiental. *Revista Del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*, 17(3), 232–238.
- Ortuño, C., Carmona, M., Granados, M., Jaimes, M., García, L., Argueta, L., ... Del Valle, E. (2002). Informe anual de la calidad del aire y precipitación ácida. Retrieved from



<https://goo.gl/ZcqAX9>

- Poder Ejecutivo. Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Pub. L. No. 41499-S (2005). Costa Rica: Sistema Costarricense de Información Jurídica. Retrieved from <https://bit.ly/2GdYQxe>
- Ramírez, E., Miranda, R., Gracia, Y., Balderas, I., Bravo, H., Sosa, R., ... Kahl, J. (2010). Chemical composition of rainwater in northeastern México. *Atmosfera*, 23(3), 213–224.
- Samara, C., Tsitouridou, R., & Balafoutis, C. (1992). Chemical composition of rain in Thessaloniki, Greece, in relation to meteorological conditions. *Atmospheric Environment*, 26(3), 359–367. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(92\)90011-G](https://doi.org/10.1016/0957-1272(92)90011-G)
- Seinfeld, J., & Pandis, S. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change* (Segunda). Wiley – Interscience.
- Seto, S., Hara, H., Sato, M., Noguchi, I., & Tonooka, Y. (2004). Annual and seasonal trends of wet deposition in Japan. *Atmospheric Environment*, 38(22), 3543–3556.
- Vásquez, T., Alfaro, R., Sibaja, J., Esquivel, G., & Valdés, J. (2012). Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde. *Uniciencia*, 26, 51–64. Retrieved from <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/3862>
- Wetangúla, G., & Wamalwa, H. (2015). Trace Elements in Rainfall Collected around Menengai Area Kenya. In *World Geothermal Congress* (pp. 19–25). Melbourne.
- Xu, Z., & Han, G. (2009). Chemical and strontium isotope characterization of rainwater in Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 43(12), 1954–1961. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.01.010>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

