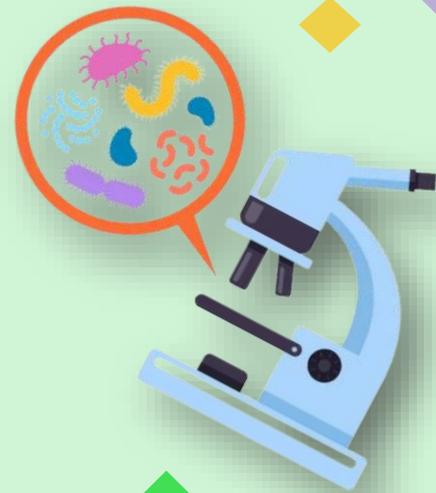




I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales

Editado por
Yuri Morales López



Universidad Nacional
Costa Rica, 2019.



Medición y modelaje de la concentración del dióxido de azufre en los alrededores del volcán Poás durante el 2017, para la apertura del Parque Nacional

Sibaja Brenes, J.¹, Bolaños Bolaños, K.¹, Mora Barrantes, J.¹, Umaña Castro, D.¹, Cambronero Luna, M.¹, Sandoval Soto, L.¹, Ortiz, Apuy, E.¹, Martínez Cruz, M.²

¹ Laboratorio de Química de la Atmósfera, Universidad Nacional, LAQAT-UNA, jose.sibaja.brenes@una.cr

² Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional, OVSICORI-UNA, maria.martinez.cruz@una.cr

Resumen

Se determinó la concentración del dióxido de azufre en el aire ambiente en forma simultánea en cuatro sitios en el Parque Nacional Volcán Poás, entre mayo y octubre del 2017. Las muestras de SO₂ en el aire se recolectaron con sistemas de burbujeo, donde los valores más significativos fueron hallados en el Centro de visitantes (10171 µg/m³) y la Casa de guardaparques (49360 µg/m³) para lapsos de muestreo de 4 horas continuas a aproximadamente 2 km y 3 km del foco emisor, respectivamente. El Mirador, que fue el lugar de muestreo más cercano al cráter, tuvo un valor máximo de 5072 µg/m³ en 4 h. Se corrió un modelo de la dispersión de los materiales emanados por el Poás con el código computacional AERMOD View para estimar los posibles lugares afectados por las emanaciones del volcán en el periodo eruptivo del 2017. El modelo toma en cuenta los datos topográficos, las características de la emisión y las condiciones meteorológicas. Los resultados del modelado indican que la mayor afectación se dio en el Parque Nacional Volcán Poás, mismo incluyendo la Casa de guardaparques, y que los gases pudieron llegar a zonas ubicadas hasta 20 km en dirección hacia el suroeste. Las emanaciones gaseosas por parte del volcán forzaron el cierre del Parque a los visitantes, la salida de los guardaparques a lugares seguros y una significativa problemática económica con una dimensión que afectó a los pobladores cercanos, así como a la economía general del país. Con los análisis realizados, se participó en charlas y capacitaciones para los guías turísticos, los guardaparques y la población cercana al volcán, para generar una conciencia y dar a conocer los peligros de vivir en las faldas del volcán Poás, y así, dar la oportunidad para que el Parque Nacional Volcán Poás y las comunidades a su alrededor sean un ejemplo de seguridad y estudio en

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

Principal área: Química

Sibaja-Brenes, J. P. (2019). Medición y modelaje de la concentración del dióxido de azufre en los alrededores del volcán Poás durante el 2017, para la apertura del Parque Nacional. En Y. Morales-López (Ed.), *Memorias del I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional, Costa Rica, 2019* (e70, pp. 1-8). Heredia: Universidad Nacional. doi <http://dx.doi.org/10.15359/cicen.1.11>

zonas con riesgo volcánico a nivel nacional e internacional.

Palabras clave: Dióxido de azufre; volcán Poás; Aermod; peligros volcánicos

Abstract

The sulfur dioxide concentration was determined in four sites in the Poás Volcano National Park, between May and October 2017. The SO₂ samples were collected with bubble systems. The SO₂ most significant values were in the Visitor center (10171 µg/m³) and the park ranger house (49360 µg/m³) for 4 hours at approximately 2 km and 3 km from the focus sender, respectively. El Mirador, which was the closest sampling site to the crater, had a maximum value of 5072 µg/m³ at 4 h. A computational model was used to estimate the possible places affected by the volcano's emanations. The Aermod program, based on the topographic data, the characteristics of the emission and the meteorological conditions, showed that the highest affectation was in the Poás Volcano National Park, including the park ranger's house, where the gases could reach areas up to 20 km towards the southwest. The gaseous emanations by the volcano generated the closure of the Park and an economic problem for the population. With the analyzes carried out, we participated in talks and trainings for the guides, the park rangers and the population near the volcano, to generate an awareness and make known the dangers of living near of the Poás volcano, and make to the Poás Volcano National Park an example of security and study at a national and international level.

Keywords: Sulfur dioxide; Poás volcano; aermod; volcanic danger

Introducción

Los volcanes son una fuente natural de contaminación, esto debido a la reacción química que da lugar al combinar las emisiones volcánicas con los factores ambientales, generando sustancias tóxicas que ocasionan de forma natural la contaminación atmosférica en la zona de impacto (Martínez Márquez, 2010). En las erupciones volcánicas se liberan a la atmósfera cantidades indeterminadas de gases y ceniza, que alcanzan largas distancias, primeramente, estos productos son depositados de forma temporal en la troposfera, luego son dispersados en el medio ambiente por acción del viento, la lluvia, entre otros (Narváez y Cano 2004).

El gas emitido por un volcán se compone en su mayoría por contaminantes primarios (aquellos que se emiten directamente a la atmósfera), como lo son el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el dióxido de azufre (SO₂), el sulfuro de hidrógeno (H₂S), el cloruro de hidrógeno (HCl), el fluoruro de hidrógeno (HF), entre otros, que se caracterizan por ser emisiones ácidas (Enríquez Rodríguez, 2012). Algunos productos secundarios (aquellos son el resultado de transformaciones químicas de los contaminantes primarios después de ser emitidos) que se pueden encontrar en menor proporción son metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N₂), argón (Ar), helio (He), hidrógeno (H₂) y radón (Rn) (Enríquez Rodríguez, 2012).

Marco teórico



Según los efectos a la salud, los gases volcánicos se clasifican como irritantes y no irritantes, siendo los gases irritantes aquellos que pueden ejercer sus efectos a mucha menor concentración y a mucha distancia del volcán. Actúan en el sistema respiratorio y las mucosas, provocando así irritación en los ojos, lagrimeo, estornudos, entre otros. Entre estos gases se encuentran el dióxido de azufre, el sulfuro de hidrógeno, el cloruro de hidrógeno y el fluoruro de hidrógeno (Baxter, 2000).

Los gases no irritantes o gases asfixiantes son aquellos que están presentes dentro del cráter o cerca de las fisuras y actúan sin provocar lesiones a nivel local, ya que son absorbidos mediante la sangre y ejercen su efecto, desplazando el oxígeno del aire inspirado. Los gases asfixiantes más representativos son el dióxido de carbono y el nitrógeno (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

Conjuntamente, para que los contaminantes atmosféricos provoquen determinados efectos nocivos se debe llevar a cabo un proceso denominado como depósito atmosférico. Existen dos maneras de depósito, ya sea el depósito seco, que consiste en la captura directa de los contaminantes por la superficie mediante impacto, sedimentación o difusión, o bien el depósito húmedo, que consiste en el transporte de la sustancia contaminante hasta la superficie mediante la incorporación al agua de lluvia, la nieve o la niebla (Gallego, et al., 2012).

Metodología

Los muestreos se llevaron a cabo de mayo a octubre del 2017 en el Parque Nacional Volcán Poás y en los alrededores. El dióxido de azufre fue recolectado en los cuatro puntos ubicados dentro del Parque Nacional Volcán Poás (1. Centro de visitantes 10°11'08,4" N y 84°14'10,5" O, 2. El mirador 10°11'26,7" N y 84°13'58,0" O, 3. La Casa de guardaparques 10°10'03,9" N y 84°13'57,2" O y 4. Colinas 10°10'31,0" N y 84°14'56,1" O (suroeste del volcán)). Para la recolección del dióxido de azufre (SO₂) en el aire, se aspiró un volumen de aire medido a través de una disolución diluida de peróxido de hidrógeno en un medio ácido, para que así el SO₂ contenido en el aire se oxidara a sulfato para que fuera cuantificado mediante cromatografía de iones. En su totalidad se recolectaron 28 muestras de dióxido de azufre y 50 muestras de agua de lluvia.

El tratamiento para las muestras después de ser recolectadas consistió en la filtración, mediante filtros de membrana de 0,25 µm y el almacenaje a 4 °C hasta su análisis. En las muestras de dióxido de azufre se determinó la concentración del SO₄²⁻.

Se analizaron los valores encontrados en los muestreos con las estimaciones del programa de dispersión de contaminantes en el aire, Aermod. Este programa toma en cuenta las condiciones meteorológicas de la estación de monitoreo del Instituto Meteorológico Nacional (temperatura, humedad relativa, radiación solar, lluvia y velocidad y dirección del viento), la topografía de la zona y las condiciones del foco emisor, para estimar la concentración de los contaminantes alrededor (50 km de distancia a la redonda) de la fuente de contaminación.

Análisis

Con el aumento de la actividad volcánica en abril del 2017, se determinó la concentración del dióxido de azufre en el aire en los alrededores del cráter activo del



Volcán Poás entre abril y noviembre del 2017, específicamente para los puntos de muestreo: El Mirador, Centro de visitantes, Casa de guardaparques y Llano verde (Figura 1). Los resultados para la determinación de la concentración del dióxido de azufre en el aire en los alrededores del cráter activo del Volcán Poás se muestran en la Tabla 1. Donde las concentraciones mínimas reportadas sobrepasan el valor máximo de exposición recomendado para el periodo de 4 horas según la Red Internacional volcánico Peligro para la salud (IVHHN) (<https://www.ivhhn.org/>).



Figura 1. Puntos de muestreo dentro del Parque Nacional Volcán Poás según los mapas generados en Google Earth.

Tabla 1.
 Concentraciones del dióxido de azufre encontradas dentro del Parque Nacional Volcán Poás.

Punto de muestreo	Valor ($\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$) a 4 h	Valor ($\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$) a 20 min
Centro de visitantes	22 a 10171	2 a 848
Mirador	13 a 5072	1 a 423
Casa guardaparques	175 a 49360	15 a 4113
Colinas	129 a 708	11 a 59

De acuerdo con el Centro Nacional del Medio Ambiente de Chile (2018) hallazgos en estudios clínicos humanos indican que la exposición de 4 h durante 3 días por 3 semanas a concentraciones de dióxido de azufre de $2600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ genera disminución de la función espiro métrica, incremento en la resistencia específica en las vías respiratorias y una

disminución del flujo mucoso nasal. Además, la exposición a concentraciones más elevadas, tal como 13000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 4 horas provoca un aumento en la depuración bronquial.

Conjuntamente, la concentración de exposición AEGLs para el SO_2 (por sus siglas en inglés Acute Exposure Guideline Levels), a la cual se predice que en la población en general (incluyendo personas susceptibles) puedan experimentar efectos asintomáticos no sensoriales pasajeros y reversibles al cesar la exposición, es de 520 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (4 h), y la concentración a la cual se pueden experimentar efectos adversos en la salud que son de larga duración e irreversibles es de 1950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (4 h) y aquella a la cual se pueden experimentar efectos que pueden causar la muerte es de 78000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (4 h) (Centro Nacional del Medio Ambiente de Chile, 2018).

Entre los muestreos realizados, las concentraciones más significativas del dióxido de azufre (en una media de 4 h) se detectaron en los alrededores del Centro de Visitantes: (10171 \pm 120) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el 12 de mayo del 2017 y la Casa de guardaparques (49360 \pm 10) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el 11 de junio del 2017. La presencia de mayor concentración del dióxido de azufre en dichos puntos, en comparación con El Mirador (5072 \pm 60) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el 12 de mayo del 2017 y (3885 \pm 30) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el 11 de junio del 2017), se debe a la dispersión y a la acumulación de una parte de los gases expulsados en el sector que está a una distancia aproximada de 1 km y 2 km, respectivamente, hacia el oeste-noroeste del cráter activo. Esto de acuerdo con el modelo de dispersión de gases con el código computacional AERMOD. De igual forma, dicho modelo de dispersión (Figura 2 y 3) muestra que la principal afectación de estas emisiones se concentra dentro del Parque Nacional. Conjuntamente, según Narváez y Cano (2004) “los volcanes activos emanan ceniza y gas, lo cual es tóxico sólo en las cercanías del volcán”. Con el modelo Aermom y los valores de SO_2 encontrados, se explica que la pluma de gases que se emite desde el cráter del volcán asciende adiabáticamente hasta una altura menor al km de altura para luego dispersarse en dirección del viento, principalmente hacia el suroeste. Luego, los gases se precipitan a 2 km de distancia del foco emisor.

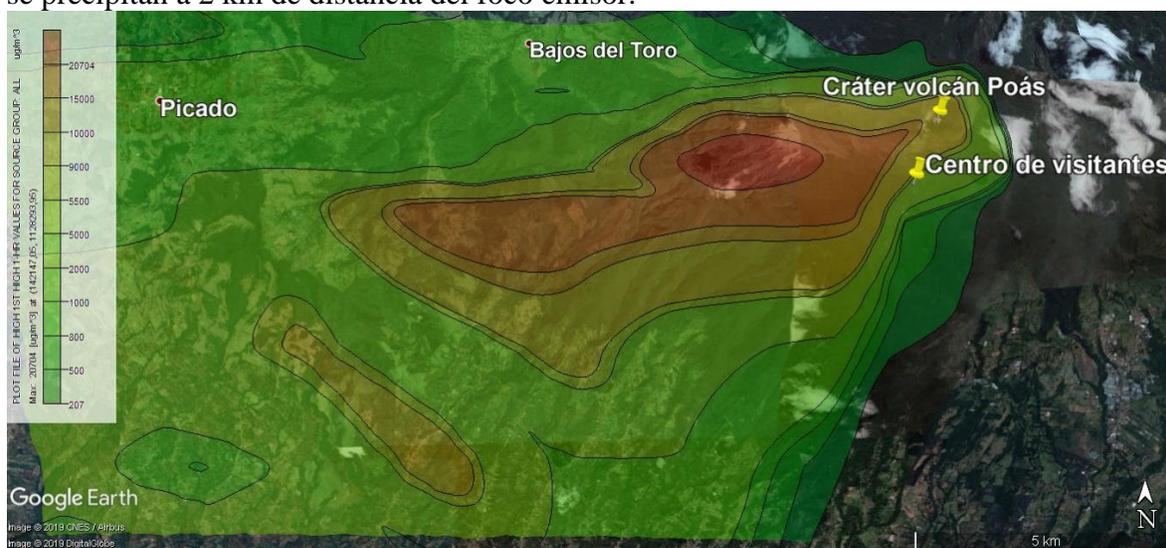


Figura 2. Modelo de dispersión de contaminantes Aermom para el 12 de mayo del 2017.



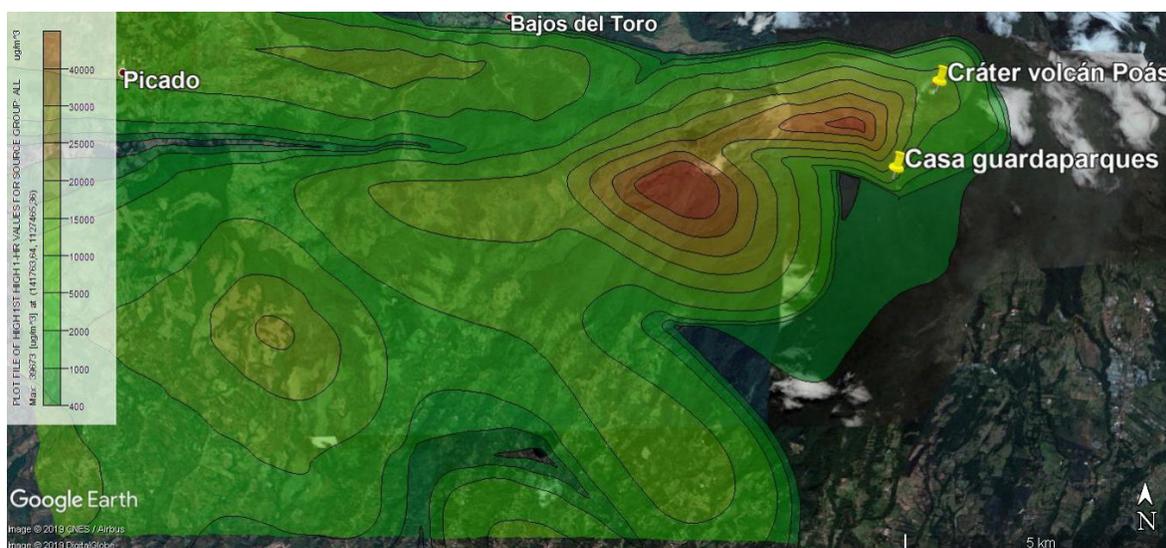


Figura 3. Modelo de dispersión de contaminantes AERMOD para el 11 de junio del 2017.

Los niveles del dióxido de azufre han sido perjudiciales para la población, en especial para los guardaparques, ya que han sentido molestias respiratorias como tos, sangrado nasal y dificultad para respirar. Esta situación se ha dado desde el 2017, donde en julio, los guardaparques presentaron hasta vómitos debido a los gases acumulados en la zona.

Las constantes emanaciones del volcán generaron el cierre de la zona por parte de la Comisión Nacional de Emergencias desde abril del 2017, dando una problemática económica en la zona por más de un año. Se dieron cierres de establecimientos comerciales, el traslado de personal a otras zonas y surgió la necesidad de generar nuevos atractivos en el lugar. Los líderes cantonales, la Cámara de Turismo, las municipalidades y otras organizaciones conocieron lo vulnerable y la dependencia de la apertura del Parque Nacional Volcán Poás con la economía de la zona. Se realizaron intentos para reactivar el lugar, pero los esfuerzos no eran suficientes para todos los comercios, los cuales representaban a familias, varias de ellas con deudas en los bancos donde se llegaba a acuerdos de pago y evitar dar más molestias a la población, esperando la reapertura del Parque Nacional Volcán Poás.

La apertura se trabajó como una oportunidad de mejora para la población y el país en cuanto al manejo de poblaciones en lugares zonas de riesgo. Se continuó con la vigilancia de las mediciones de los gases emanados por el volcán y su residencia en la atmósfera, ya que son importantes para dar alarmas y tomar las precauciones del caso. Con el programa AERMOD se visualizó que, aunque la zona con una influencia directa por el volcán era el Parque, las emisiones podían llegar a más de 20 km a la redonda, en función de la dirección del viento.

Con las mediciones de SO₂ realizadas y el índice generado por el Parque Nacional de los Volcanes de Hawaii se aprobó la tabla 2, con los valores de exposición al dióxido de



azufre, en tiempos de 20 minutos, el cual sería el tiempo que la visitación tendría en cada una de las zonas (Elias and Sutton, 2002).

Tabla 2.
Condición de la exposición a diferentes concentraciones del dióxido de azufre (SO₂) del Parque Nacional Volcán Poás

Condición	Respuesta del organismo
VERDE (BUENO) (0,0 ppm a 0,3 ppm) – (20 min) (0 µg/m ³ a 846 µg/m ³)	Actividad normal
AMARILLO (MODERADO) (0,3 ppm a 0,5 ppm) – (20 min) (846 µg/m ³ a 1410 µg/m ³)	Acciones de protección básicas: <ul style="list-style-type: none">Alerta al personalInformación a los visitantes de la concentración de alerta
NARANJA (INSALUBRE PARA PERSONAS SENSIBLES) (0,5 ppm a 1 ppm) – (20 min) 1410 µg/m ³ a 2820 µg/m ³)	Acciones de protección moderadas: <ul style="list-style-type: none">Relocalización/cancelación de caminatas y trabajos al aire libre
ROJO (INSALUBRE) (Mayor a 1 ppm) – (20 min) (Mayor a 2820 µg/m ³)	Acciones protectoras amplias: <ul style="list-style-type: none">Cierre del mirador al cráter y de ser necesario todo el parque

La apertura del Parque es la oportunidad para cambiar la mentalidad de la población residente y visitante, enseñándoles sobre las precauciones y los cuidados que se deben tener al vivir cerca o al visitar al volcán. Con esto, se vería al parque volcánico como una zona de estudio constante y que, al tomar las medidas aprobadas por las organizaciones participantes en la apertura, se disminuya el peligro de exposición.

Conclusiones

Las concentraciones del dióxido de azufre medias en la Casa de guardaparques fueron las más altas encontradas, en donde se puede tener problemas respiratorios por parte de los visitantes o de los trabajadores de la zona.

Se recomienda realizar más mediciones de la concentración del dióxido de azufre, además del sulfuro de hidrógeno, ya que este último se puede generar en las condiciones donde hay una laguna en el cráter del volcán.

La generación de grupos de trabajo sobre los diferentes temas relacionados con los volcanes hace que la capacitación sobre los peligros volcánicos y la apertura de las áreas



del Parque para la visitación, hayan tenido una serie de discusiones acertadas y meditadas para la mejora continua, la vigilancia volcánica y para que los trabajadores y la población cercana a la zona y en general aprendan sobre los cuidados de lo que es vivir con el vecino Volcán Poás a su lado.

Referencias

- Baxter, P. (2000). Erupciones volcánicas. En E. Noji (Ed.), *Impacto de los Desastres en la Salud Pública*, 178-203. Recuperado de <https://bit.ly/2CK3Fyu/>.
- Centro Nacional de Medio Ambiente de Chile. (2018). *Estimación de los riesgos en la salud por SO₂*. Recuperado de <https://bit.ly/2DSZeC3/>.
- Elias, T., Sutton, A.J. (2002). Volcanic air pollution in our backyard: gas advisory system helps alert people of Hawaii. *Geological Society of America Abstracts with Program*, 34 (5): A-11.
- Enríquez Rodríguez, A. (2012). *Impacto de las Erupciones Volcánicas Sobre el Sistema Respiratorio*. (Tesis de Maestría en Análisis y Gestión de Emergencias y Desastres). Universidad de Oviedo.
- Gallego, A., González, I., Sánchez, B., Fernández, P., Garcinuño, R., Bravo, J., Pradana, J., García, A., Durand, J. (2012). *Contaminación atmosférica*. España: EUNED. <https://www.ivhhn.org/> Consultada el 28 de diciembre del 2018.
- Martínez Márquez, E. (2010). *Química II*. Cengage Learning.
- Narváez, O., Cano, F. (2004). Cenizas Volcánicas: Contaminación Ambiental. *Rev. Inst. Nal. Enf. Resp. Mex*, 17 (1), 232-238. Recuperado de <https://bit.ly/2oJ7ydj/>.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía de Preparativos de Salud Frente a Erupciones Volcánicas*. Recuperado de <https://goo.gl/MMKBkq/>.



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

