



Evaluación del riesgo en la salud del personal del Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica, por exposición a los gases SO_2 y H_2S

Health risk assessment of staff at Poás Volcano National Park, Costa Rica, due to exposure to SO_2 and H_2S gasses

Avaliação do risco à saúde da equipe do Parque Nacional do Vulcão Poás, Costa Rica, devido à exposição aos gases SO_2 e H_2S

José David Morales-Alpízar¹, José Pablo Sibaja-Brenes¹, José Carlos Mora-Barrantes¹,
María Martínez-Cruz², Henry Borbón-Alpízar¹, Alexa Retana-Díaz¹, Rosa Alfaro-Solís^{1*}

Received: Aug/17/2023 • Accepted: Apr/16/2024 • Published: Aug/31/2024

Resumen

[Objetivo] Verificar el cumplimiento de los niveles de exposición a SO_2 y H_2S , de los guardaparques del Parque Nacional Volcán Poás, tomando como referencia la norma internacional OSHA. **[Metodología]** Se estudió la concentración del SO_2 desde setiembre 2018, hasta diciembre 2019 y para el H_2S de febrero 2019, hasta diciembre 2019, haciendo uso de equipos de detección portátiles MultiRae. Los puntos de muestreo se colocaron en la casa de guardaparques, la caseta de entrada, el centro de visitantes y el mirador. El nivel de riesgo químico se determinó considerando: la salud de los trabajadores, el tiempo de exposición, el equipo de seguridad, las capacitaciones y los valores de TWA y STEL obtenidos. **[Resultados]** El valor más alto de la concentración de SO_2 fue de 16,0 ppm, se registró en el centro de visitantes, y para el de H_2S fue de 45 ppm (casa de guardaparques). La concentración promedio de los gases estuvo cercana al límite de detección para ambos gases, sugiriendo que los gases, en general, no se dirigen hacia las zonas de visitación. Ningún puesto de medición superó los 2 ppm para el SO_2 en 8 horas (TWA). Sin embargo, en el centro de visitantes y en el mirador para visitantes, se superó los 5 ppm de SO_2 en 15 minutos (STEL), con concentraciones de 10,1 ppm y 7,4 ppm, respectivamente. **[Conclusiones]** Se obtuvieron niveles bajos de riesgo químico, para ambos gases, en los puntos muestreados, a excepción del punto del centro de visitantes, donde el nivel de riesgo fue medio.

* Autor para correspondencia

José David Morales-Alpízar, ✉ dma262@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-5439-3452>

José Pablo Sibaja-Brenes, ✉ jose.sibaja.brenes@una.cr, <https://orcid.org/0000-0002-7056-2717>

José Carlos Mora-Barrantes, ✉ jose.mora.barrantes@una.cr, <https://orcid.org/0000-0002-0409-5276>

María Martínez-Cruz, ✉ maria.martinez.cruz@una.cr, <https://orcid.org/0000-0002-7656-2750>

Henry Borbón-Alpízar, ✉ henry.borbon.alpizar@una.cr, <https://orcid.org/0000-0003-0869-4126>

Alexa Retana-Díaz, ✉ aretanad341@ulacit.ed.cr, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Rosa Alfaro-Solís, ✉ rosa.alfaro.solis@una.cr, <https://orcid.org/0000-0001-7413-4210>

1 Laboratorio de Química de la Atmósfera, Escuela de Química, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

2 Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.



Palabras claves: sulfuro de hidrógeno; dióxido de azufre; riesgo químico: exposición laboral; volcán Poás, Costa Rica.

Abstract

[Objective] Verify the levels of exposure to SO_2 and H_2S of park rangers at the Poás Volcano National Park, using OSHA international standards as a reference. **[Methodology]** SO_2 and H_2S concentrations were studied from September 2018 to December 2019 and February 2019 to December 2019, respectively using MultiRae portable detection equipment. Sampling points were placed at the ranger's house, the entrance station, the visitors' center, and the overlook. The level of chemical risk was determined taking into consideration: the workers' health, exposure time, safety equipment, training, and TWA and STEL values obtained. **[Results]** The highest SO_2 concentration was 16.0 ppm, which was recorded at the visitor center, while the highest H_2S concentration was 45 ppm, which was obtained from the park ranger's house. The average gas concentration was close to the detection limit for both gasses, suggesting that gasses, in general, are not directed toward visitors' areas. No measurement station exceeded 2 ppm for SO_2 in 8 hours (TWA). However, in the visitors' center and the overlook, SO_2 exceeded 5 ppm in 15 minutes (STEL) with concentrations equal to 10.1 ppm and 7.4 ppm, respectively. **[Conclusions]** Low levels of chemical hazard were obtained for both gasses at the sampling points, except for the visitors' center which had a medium level.

Keywords: Sulfur dioxide; hydrogen sulfide; chemical hazard; occupational exposure; Poás Volcano Costa Rica.

Resumo

[Objetivo] Verificar o cumprimento dos níveis de exposição aos gases SO_2 e H_2S dos guardas florestais do Parque Nacional do Vulcão Poás, tomando como referência a norma internacional OSHA. **[Metodologia]** Foi estudada a concentração de SO_2 de setembro de 2018 a dezembro de 2019 e a de H_2S de fevereiro de 2019 a dezembro de 2019, usando o equipamento de detecção portátil MultiRae. Os pontos de amostragem foram colocados na casa do guarda florestal, na guarita de entrada, no centro de visitantes e no mirante. O nível de risco químico foi determinado considerando: a saúde dos trabalhadores, o tempo de exposição, o equipamento de segurança, o treinamento e os valores TWA e STEL obtidos. **[Resultados]** O valor mais alto para a concentração de SO_2 foi de 16,0 ppm, registrado no centro de visitantes, e para H_2S foi de 45 ppm (casa do guarda florestal). A concentração média dos gases estava próxima do limite de detecção para ambos os gases, sugerindo que os gases, em geral, não são direcionados para as zonas de visitação. Nenhum local de medição excedeu 2 ppm para SO_2 em 8 horas (TWA). Entretanto, no centro de visitantes e no mirante para visitantes, o SO_2 excedeu 5 ppm de SO_2 em 15 minutos (STEL), com concentrações de 10,1 ppm e 7,4 ppm, respectivamente. **[Conclusões]** Foram obtidos baixos níveis de risco químico para ambos os gases nos pontos amostrados, com exceção do centro de visitantes, onde o nível de risco foi médio.

Palavras-chave: sulfeto de hidrogênio; dióxido de enxofre; risco químico: exposição ocupacional; vulcão Poás, Costa Rica.



Introducción

Los compuestos azufrados se encuentran presentes alrededor del planeta siendo parte importante de los ciclos biogeoquímicos; los que muestran un riesgo importante a la salud humana son el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el dióxido de azufre (SO_2) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S) (Oppenheimer *et al.*, 2011). El SO_2 se encuentra presente en diferentes procesos industriales, principalmente en la obtención de H_2SO_4 , en la combustión de derivados del petróleo y del carbón, así como en la industria de metales no ferrosos (Okolo, 2021), mientras que el H_2S , se encuentra en áreas con actividad geotérmica, volcánica y en procesos industriales, así como en las plantas de tratamiento de aguas residuales en donde se generan como subproductos de las condiciones anaeróbicas (Delgado *et al.*, 2023).

La principal vía de ingreso del SO_2 y del H_2S al cuerpo es a través del sistema respiratorio superior por medio de la inhalación, aunque también puede ingresar por contacto con la piel, causando irritación y problemas pulmonares en personas asmáticas (Williams y Rym, 2015).

El SO_2 es relativamente soluble en agua, por lo cual se da una mayor absorción por la respiración vía nasal que por la inhalación bucal. Al entrar al tracto respiratorio se da la formación de ácido sulfúrico, que posteriormente, es eliminado por la vía urinaria como sulfato (Chou *et al.*, 2016). Por su parte, la degradación del H_2S ocurre en el hígado, los riñones y el páncreas; es oxidado y eliminado como sulfato por vía urinaria. Los principales impactos del H_2S en el nivel de salud son en el sistema respiratorio, nervioso y cardíaco (Bolaños *et al.*, 2024; CDC, s. f.).

La exposición laboral al SO_2 aumenta el riesgo de paro y arritmia cardíaca; entre sus efectos crónicos se encuentran: las enfermedades cardíacas, la tos, el asma, una menor función de los pulmones, un mayor riesgo de infecciones y enfermedades respiratorias (Wang, 2012; Heaney *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2019).

Por otro lado, la exposición laboral al H_2S ocasiona una afectación en el sistema nervioso, el cardiovascular y el respiratorio. Altas concentraciones de H_2S origina neurotoxicidad, convulsiones, broncoespasmos y fallos respiratorios. Una exposición aguda por una alta concentración de H_2S , deja de inmediato una secuela tóxica o letal; sin embargo, una exposición baja y a largo plazo deja dolencias (Malone *et al.*, 2017; Department of Health and Human Services, 2010).

Estudios han evidenciado los efectos en la salud producto de la exposición laboral a los compuestos azufrados. En China, se han realizado estudios de exposición al SO_2 en varias ciudades, concluyéndose que los niveles de este compuesto aumentan el riesgo cardiovascular y respiratorio principalmente, en la población adulta mayor.

Igualmente, existe una correlación con las enfermedades de los pies, las manos y la boca en niños durante la época de invierno (Chen *et al.*, 2012; Wei *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2018).

En el parque hidrotermal en Santa Lucía, en el Mar Caribe, se detectaron concentraciones de SO_2 entre $650 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $1300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ producto de la actividad geotérmica, esto puede generar una afectación a personas sensibles con problemas respiratorios. Se han evidenciado exposiciones al SO_2 por combustión de carbón para obtención de energía, y por la quema de una mina de azufre, donde el gas emitido generó problemas pulmonares en la población cercana a las



fuentes de emisión (Björnham *et al.*, 2017; Joseph *et al.*, 2015; Amster *et al.*, 2014; Buonanno *et al.*, 2014).

En el Reino Unido se evaluó la exposición laboral al H_2S por medio de análisis de tiosulfato en sangre y orina, obteniendo resultados positivos en personas inconscientes encontradas en sus zonas de trabajo (Jones, 2014).

En una investigación realizada en Nueva Zelanda, donde la actividad geotérmica es la principal fuente de energía, se estudiaron los problemas pulmonares, alteraciones cognitivas y neuropatía periférica a la exposición crónica a los compuestos azufrados. El estudio evidenció niveles superiores al permitido de H_2S en el ambiente laboral; sin embargo, no se pudo demostrar alguna relación concluyente sobre efectos de la salud por parte del H_2S (Pope *et al.*, 2017; Reed *et al.*, 2014; Bates *et al.*, 2015).

Un estudio desarrollado en Brasil detectó un riesgo para la salud en lugares cercanos a una planta de tratamiento de aguas residuales en Curitiba, producto de las concentraciones de H_2S emitidos hacia los alrededores del sistema de tratamiento (Godoi *et al.*, 2018).

Uno de los principales casos de intoxicación por inhalación del H_2S con efectos nocivos a la salud en zonas volcánicas se dio en Japón en 1988, específicamente, en el monte Sakurajima, donde se presentaron concentraciones de hasta 209 ppb, afectando a la población cercana al volcán.

En Costa Rica se realizó un estudio preliminar con respecto a los efectos en la salud de trabajadores de parques volcánicos y su relación con la exposición a emisiones gaseosas de SO_2 , H_2S , HCl y HF , en donde se encontró que una concentración máxima en tres horas de exposición de $(1,90 \pm 0,11)$ mg/m^3 de SO_2 en el volcán Poás, siendo la

irritación de mucosas-ojos, dolores de cabeza y fatiga las afecciones principalmente reportadas (Ortiz *et al.*, 2022).

Estudios en el volcán Monte Etna (Italia), en Mt St Helens (USA) y en Soufrière Hills (isla Monserrat) sobre el riesgo a la salud, a corto y largo plazo, por la exposición a ceniza, han concluido que este contaminante causa la generación de problemas respiratorios, molestias dérmicas y oculares (Lombardo *et al.*, 2013; Hansell *et al.*, 2006).

En el caso particular de Costa Rica, se han ejecutado gestiones por parte de instituciones estatales y autónomas, las cuales han realizado esfuerzos para estudiar los posibles efectos en la salud de las personas como producto de la exposición a las erupciones de ceniza en los volcanes Turrialba y Poás (Alvarado *et al.*, 2020; Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 2016; Alvarado y Martínez, 2017).

Un ejemplo de afectación de personas por exposición a emisiones volcánicas es la reducción de la cantidad de guardaparques en el Parque Nacional Volcán Poás; se pasó de 14 a tres guardaparques, a causa de un evento eruptivo ocurrido en junio del 2017, en el que se detectó una concentración de $47,0 mg/m^3$ de SO_2 en la caseta de entrada al parque nacional; tres guardaparques fueron retirados de sus puestos de trabajo, debido a la exposición de gases en el ambiente laboral que les produjo sangrado nasal, dolor de cabeza, irritación en el tracto respiratorio y síntomas de vómito. Como resultado de este incidente se prohibió la permanencia de personal en el parque durante la noche, hasta disponer de mediciones y conocimiento sobre los gases presentes, sus concentraciones y el tiempo de exposición de los guardaparques (Ortiz *et al.*, 2022; Bolaños *et al.*, 2024).



Costa Rica se ubica en el cinturón de fuego del Pacífico, por lo que presenta una alta actividad volcánica (Red Sismológica Nacional, 2019; Korhonen *et al.*, 2004; Lynch *et al.*, 2018). El Laboratorio de Química de la Atmósfera de la Universidad Nacional (LAQAT-UNA), con el objetivo de diagnosticar cambios en la desgaseificación fumarólica, ha realizado muestreos en el volcán Poás, desde el 2017, de los compuestos: $\text{HF}_{(ac)}$, $\text{HCl}_{(ac)}$, $\text{SO}_{2(g)}$, $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ y $\text{HNO}_{3(ac)}$.

La iniciativa del LAQAT-UNA se realiza en conjunto con el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), institución que en sus políticas de gestión de capital humano destaca el compromiso de mantener un ambiente físico y mental adecuado para los funcionarios.

La salud de las personas en el ambiente laboral en un parque volcánico puede verse afectada por situaciones internas del lugar de trabajo, como descuido o desconocimiento de las normas de trabajo y seguridad, o por situaciones externas como temblores o emisión de gases y aerosoles por la actividad volcánica. La salud puede afectarse mental o físicamente, según la situación o la exposición que tenga el personal (Myers *et al.*, 2022).

Al estar expuestos a sustancias gaseosas que pueden afectar la salud de los guardaparques y de la población en general, se toman como referencia valores de concentración en aire, los cuales no deben ser sobrepasados en un lapso o un valor de concentración específica. En consecuencia, se hace necesaria la evaluación de la exposición de los guardaparques a los gases azufrados, mediante la medición continua de SO_2 y el H_2S , para determinar el riesgo químico y establecer el posible efecto en la salud, agudo o crónico, causado por la exposición a estas sustancias y así tomar las acciones

que permitan disminuir las potenciales afectaciones a la salud de las personas.

Las metodologías más utilizadas para determinar el riesgo químico son de instituciones tales como el Ejecutivo de Salud y Seguridad (HSE) de Gran Bretaña y el Instituto Nacional de Investigación en Seguridad (INRS) de Francia. Estas toman en cuenta diferentes aspectos como la naturaleza de la sustancia, la toxicidad o la afectación a la salud, así como el tiempo de exposición, el equipo de protección personal u otros.

El modelo del HSE proporciona un diagnóstico inicial, que comprende la etapa de estimación del riesgo (potencial), y desarrolla una metodología para determinar la medida de control adecuada a la operación que se está evaluando, y no propiamente para determinar el nivel de riesgo existente.

El método del INRS es el más utilizado debido a que realiza una estimación más real del riesgo, al tomar en cuenta más cantidad de variables. Este método es adaptado por el Instituto Nacional Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (Aguilar *et al.*, 2015; INSHT, 2019).

Una regulación muy utilizada para evaluar y comparar los valores ambientales para trabajadores es el de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) de Estados Unidos, entidad que ha definido los Límites de Exposición Permisible (PEL, por sus siglas en inglés) dependiendo del tipo de sustancia, la toxicidad del compuesto y el tiempo de exposición.

El promedio ponderado en el tiempo (TWA, por sus siglas en inglés) es un método para calcular la exposición diaria de un trabajador a sustancias peligrosas como polvo, humos, productos químicos, gases o vapores; TWA es el valor máximo permitido en una jornada laboral de ocho y 48 horas semanales. Otro parámetro es el es el Límite



de exposición a corto plazo (STEL en idioma inglés), al ser el valor máximo permitido en un tiempo corto de 15 minutos, este valor no se puede superar en ningún momento de la jornada laboral. Igualmente, existe el valor Ceiling el cual no debe ser superado en ningún momento durante la jornada laboral (Chou *et al.*, 2016).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la exposición laboral de gases azufrados en los trabajadores del Parque Nacional Volcán Poás (PNVP), mediante la medición continua de $\text{SO}_{2(g)}$ y el $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ para la determinación del nivel de riesgo por exposición a dichos gases en las condiciones de trabajo del personal del parque.

Metodología

Estaciones de muestreo

Las estaciones de muestreo se definieron de acuerdo con la cantidad de equipos disponibles y en relación con los lugares más frecuentados por las personas, sean guardaparques o visitantes. Las coordenadas geográficas de los puestos de recolección de datos fueron: puesto 1: caseta de entrada $10^{\circ}10'52,88''\text{N}$ y $84^{\circ}14'16,27''\text{O}$, puesto 2: centro para visitantes $10^{\circ}11'8,25''\text{N}$ y $84^{\circ}14'10,96''\text{O}$, puesto 3: mirador para visitantes borde sur del cráter principal $10^{\circ}11'26,13''\text{N}$ y $84^{\circ}13'57,69''\text{O}$ y puesto 4: casa guardaparques $10^{\circ}10'4,02''\text{N}$ y $84^{\circ}13'57,35''\text{O}$. Los puestos se detallan a continuación en la figura 1.



Figura 1. Puestos de medición de SO_2 y H_2S en el Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica. (Google, s. f.)



Recolección de datos

El registro de los valores de concentración de SO_2 y H_2S se hizo por medio de cuatro detectores portátiles MultiRae lite de Honeywell (New Jersey, Estados Unidos) pertenecientes al PNVP, que utilizan sensores específicos calibrados para cada gas de interés y que tienen la capacidad de recolectar información cada minuto durante las 24 horas del día. Los datos se recolectaron a partir de setiembre del 2018 para el SO_2 , y se finalizó en diciembre del 2019, y para el H_2S se recogieron a partir de febrero del 2019, hasta finales de diciembre del 2019.

Evaluación de riesgo químico asociado con la exposición laboral

Se elaboró una metodología para determinar el riesgo por exposición a SO_2 y H_2S , utilizando las siguientes variables:

- Estado de salud de trabajadores
- Tiempo de exposición
- Equipos de protección personal
- Capacitación y formación de trabajadores
- Los TWA y STEL experimentales y teóricos

La generación de información para las variables de evaluación del riesgo por exposición (encuestas, entrevistas y visitas guiadas) se fundamentó principalmente, en insumos disponibles y desarrollados por INSST, OSHA, EPA, NIOSH, COSHH e INRS.

Los valores ambientales TWA y STEL experimentales se determinaron mediante los criterios de la organización OSHA, utilizando los valores criterio (STEL, TWA y valor “ceiling”) para el SO_2 y para el H_2S . El cálculo de los valores experimentales se

realizó utilizando el valor promedio de los datos en el tiempo determinado, según el valor límite ambiental aplicable.

Se validó la metodología mediante un grupo focal compuesto por tres expertos en temas relacionados con contaminación atmosférica, exposición laboral y salud ocupacional. Se elaboró y se aplicó un cuestionario para obtener información relativa a:

- Condiciones, medidas y equipos de seguridad y protección personal.
- Condiciones infraestructurales de los trabajadores en los puestos.
- Procesos de formación y capacitación de trabajadores en temas relacionados con exposición a sustancias químicas.
- Gestión administrativa y operativa de la exposición laboral por parte de la gerencia del PNVP.

El Nivel de Riesgo de exposición a la Sustancia Química (NRSQ) para cada sustancia se determinó a partir de las siguientes variables:

Variable I: Peligro de la Sustancia Química (PSQ); el peligro de la sustancia se determinó con los valores STEL, en mg/m^3 .

Variable II: Toxicidad de la Sustancia Química (TSQ); se tomó en consideración para su cálculo la dosis letal media de la sustancia, en ppm.

Variable III: Frecuencia de Exposición a la Sustancia Química (FESQ); se determinó por medio del tiempo de exposición, en horas.

Variable IV: STEL Experimental de la Sustancia Química (SESQ); se calcula con base en el valor porcentual del STEL experimental con respecto al STEL teórico.

Variable V: TWA Experimental de una Sustancia Química (TESQ); el valor



asignado corresponde a la relación porcentual del TWA experimental con respecto al TWA teórico.

Variable VI: uso de Equipo de Protección Personal (EPP); para su cálculo se consideró el uso y la frecuencia de uso de los dispositivos de protección personal.

Variable VII: Efecto Potencial de la Sustancia Química (EFSQ) sobre la salud del personal del parque; para ello se tomó en consideración los efectos de la sustancia a corto y largo plazo.

Variable VIII: Capacitación en Gestión de Productos Químicos (CGPQ); se determinó tomando como base la frecuencia en la capacitación recibida por el personal en temas de peligros y riesgos químicos, efecto de las sustancias químicas sobre la salud y ambiente, límites de exposición laboral, primeros auxilios, entre otros.

La puntuación que se le asigna a cada una de las variables que influyen en la determinación el riesgo de exposición de una sustancia química se muestra en la tabla 1.

El nivel de riesgo por exposición a sustancias química se determinó mediante la Ecuación 1: (3M, s. f.; Tarin *et al.*, 2006; Solans y Regidor, 2010; Beheshti *et al.*, 2015).

$$NRSQ = \sqrt{\frac{SESQ \times TESQ \times PSQ \times TSQ \times EFSQ \times EPP \times FESQ \times CGPQ}{(Ecuación 1)}}$$

El resultado de la sumatoria de las ocho variables permite determinar el tipo de riesgo a la salud del personal del parque producto de la exposición a la sustancia química; la puntuación para un nivel de riesgo bajo oscila entre 1 a 150, para un nivel de riesgo medio se ubica entre 151 a 300 y para un nivel de riesgo alto la puntuación es mayor a 301.

El nivel de riesgo por exposición se determina mediante la ecuación 1; para las variables de peligrosidad, toxicidad y efectos de la salud de los compuestos, los valores son determinados en función de la sustancia química.

Tabla 1. Desglose del valor de cada una de las variables que influyen en el nivel de riesgo de exposición a sustancias químicas

Variable	PSQ	TSQ	FESQ	SESQ	TESQ	EPP	EFSQ	CGPQ
Parámetro evaluado	STEL mg/m ³	CL50 ppm	Tiempo de exposición	% STEL experimental en relación con el valor teórico de STEL	% TWA experimental en relación con el valor teórico de TWA	Uso	Efectos en la salud	Frecuencia de capacitación
Valor de la variable	-	-	-	-	-	-	-	-
1	> 100	> 20000	< 15 min/día	< 20	< 20	Siempre *EC	No se conocen	1/mes
2	> 10 ≤ 100	> 2500 ≤ 20000	> 15 min/día ≤ 1 h/día	> 20 ≤ 50	> 20 ≤ 50	Regularmente *EC	Efectos reversibles	1/3meses
3	> 1 ≤ 10	> 500 ≤ 2500	> 1 h/día ≤ 4 h/día	> 50 ≤ 80	> 50 ≤ 80	Ocasionalmente *EC	Corrosivo	1/6meses
4	> 0.1 ≤ 1	> 100 ≤ 500	> 4 h/día ≤ 8 h/día	> 80 ≤ 100	> 80 ≤ 100	Ocasionalmente **EI	Tóxico	1/12 meses
5	≤ 0.1	> 50 ≤ 100	> 8 h/día	< 100	< 100	Nunca **EI	Muy Tóxico	Nunca

* EC, uso de equipo completo

** EI, uso de equipo incompleto

Nota: fuente propia de la investigación.



Para el TWA y el STEL experimental el valor se obtiene al comparar el dato de mayor concentración obtenido en cada puesto y el valor del TWA y STEL teórico. Para los variables de frecuencia, equipo de protección personal y capacitaciones los datos provienen de un cuestionario realizado por cada trabajador en el Parque Nacional Volcán Poás. Para el caso de la frecuencia, se tomó como referencia una jornada de 40 horas semanales (Solans y Regidor, 2010; Beheshti *et al.*, 2015).

Análisis y resultados

Concentración de los gases en los puestos de muestreo

En la tabla 2 se muestra un resumen de las concentraciones de SO₂ y H₂S en cada punto muestreado. El mayor porcentaje de datos positivos (mayor a 0,5 ppm) para SO₂ es de 1,7 % y se presentó en el puesto 3. El

dato de mayor concentración para el SO₂ fue de 16,0 ppm, que se determinó en el puesto 2. Con respecto al H₂S, el dato más alto de concentración fue de 45 ppm y se dio en el puesto 4. La presencia de valores mayores al límite de detección del equipo hace que sea relevante el seguimiento del aumento de la concentración de los gases.

Exposición laboral TWA y STEL

Para la exposición laboral se tomó en cuenta los valores de TWA y STEL para cada lugar de medición. En la figura 2 se muestran los resultados de TWA y STEL para el SO₂ en el puesto 1, ubicado en la caseta de cobro de la entrada del Parque Nacional Volcán Poás.

Para el SO₂ se determinó que los datos de TWA no son mayores al límite superior establecido (2,0 ppm), por lo que no hay evidencia de exposición laboral tóxica para este gas en un tiempo de ocho horas.

Tabla 2. Resumen de las concentraciones los gases SO₂ y H₂S en los cuatro puntos de estudio en el Parque Nacional Volcán Poás.

	Concentración SO ₂ (ppm)				Concentración H ₂ S (ppm)			
	Puesto 1 Caseta cobro	Puesto 2 Centro visitantes	Puesto 3 Mirador para visitantes	Puesto 4 Casa guardaparques	Puesto 1 Caseta cobro	Puesto 2 Centro visitantes	Puesto 3 Mirador para visitantes	Puesto 4 Casa guardaparques
Cantidad total de datos recolectados	301171	637431	434953	535775	149467	435426	218962	535808
Mayor a 0,5 ppm	1380	2820	7162	1127	429	0	1	2
Mayor a 1 ppm	454	1179	3460	438	34	0	1	2
Mayor a 2 ppm	78	423	1195	111	0	0	1	2
Mayor a 3 ppm	14	259	540	42	0	0	1	2
Mayor a 4 ppm	2	157	262	25	0	0	1	2
Mayor a 5 ppm	0	99	122	17	0	0	1	2
Mayor a 10 ppm	0	27	8	0	0	0	0	1
Valor mayor	4,5	16,0	12,1	7,4	1,4	0,0	9,0	45,0
promedio ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% mayor a 0,5 ppm	0,5	0,4	1,7	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0
% mayor a 1 ppm	0,2	0,2	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
% mayor a 5 ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Nota: fuente propia de la investigación.

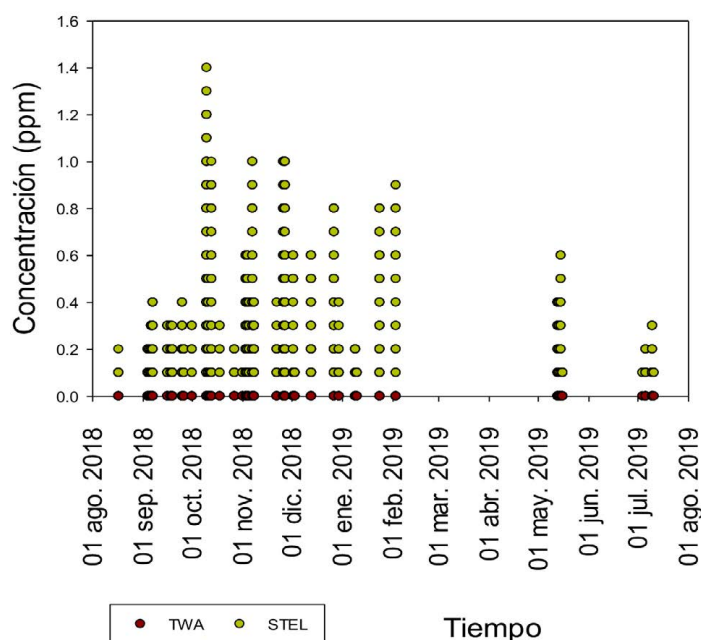


Figura 2. Resultados de TWA y STEL para el SO_2 del puesto 1 ubicado en la caseta de cobro de la entrada del Parque Nacional Volcán Poás.

Nota: fuente propia de la investigación.

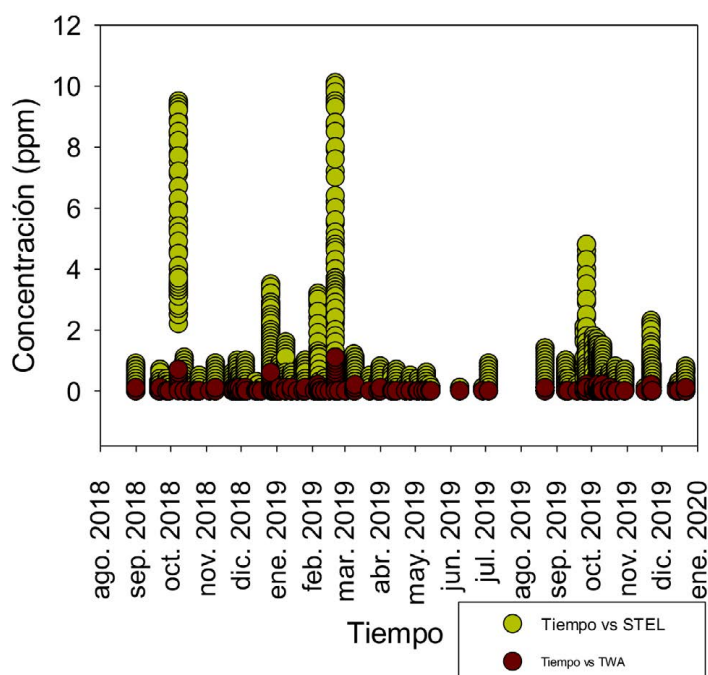


Figura 3. Resultados de TWA y STEL para el SO_2 del puesto 2 ubicado en el centro de visitantes del Parque Nacional Volcán Poás.

Nota: fuente propia de la investigación.

Para el caso del STEL, los datos no exceden el límite máximo (5,0 ppm), por lo que no hay evidencia de exposición laboral tóxica para el SO_2 en esta zona de trabajo para un periodo de 15 min. durante el periodo de mediciones realizado (Oppenheimer *et al.*, 2011; Joseph *et al.*, 2015; Hancock, 2019). Para el caso del H_2S no se encuentra ningún dato mayor al límite de detección (0,1 ppm) para el TWA y el STEL.

En la figura 3 se muestran los resultados de TWA y STEL para el SO_2 en el puesto 2 ubicado en el centro de visitantes del Parque Nacional Volcán Poás. Se observa que el TWA para el SO_2 presentó valores que no sobrepasaron el límite de 2,0 ppm. Sin embargo, para el STEL se obtuvieron 54 datos mayores al límite de 5 ppm.

Estos valores sugieren que hay un posible peligro por exposición laboral debido a las altas concentraciones de SO_2 en el corto plazo, más no a largo plazo en esta zona de trabajo (Oppenheimer *et al.*, 2011). Las concentraciones de H_2S en el puesto 2 no sobrepasaron los valores de exposición laboral para el TWA o el STEL.

La figura 3 muestra los resultados de TWA y STEL para el SO_2 del puesto 3 ubicado en el mirador para visitantes del Parque Nacional Volcán Poás. Se determinó que en lo referente al TWA que las exposiciones al SO_2 son menores a 2,0 ppm durante un periodo de 8 horas. Para el STEL se determinó que 13 datos



sobrepasaron los límites permitidos, eventos que se presentaron en diciembre del 2018 y octubre del 2019.

Estos valores sugieren que hay un posible riesgo por exposición a este gas y se pueden dar afectaciones a la salud si no se tienen las condiciones de seguridad para el personal y los visitantes; además, apuntan hacia la necesidad de realizar las mediciones constantes del SO_2 para alertar a los visitantes y tomar las medidas de seguridad correspondientes. Para el H_2S no se reportaron concentraciones de TWA o STEL mayores a los valores límites.

La figura 5 muestra los datos en el nivel de exposición laboral en el puesto 4. Se observa que los datos de TWA calculados no superan el límite superior recomendado. En el caso de la exposición máxima permitida durante 15 minutos (STEL), los valores no superan los 5,0 ppm. Para el H_2S tampoco se reportaron concentraciones de TWA o STEL mayores a los valores límites ambientales (Hancock, 2019).

Resultados del riesgo por exposición

En la tabla 3 se presentan los resultados del riesgo por exposición para el SO_2 y H_2S en el Parque Nacional Volcán Poás.

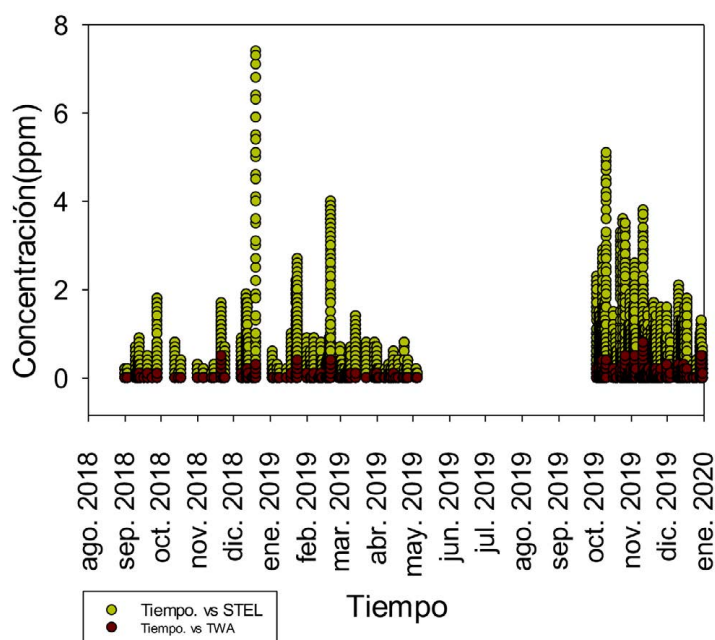


Figura 4. Resultados de TWA y STEL para el SO_2 en el puesto 3 ubicado en el mirador para visitantes del Parque Nacional Volcán Poás.

Nota: fuente propia de la investigación.

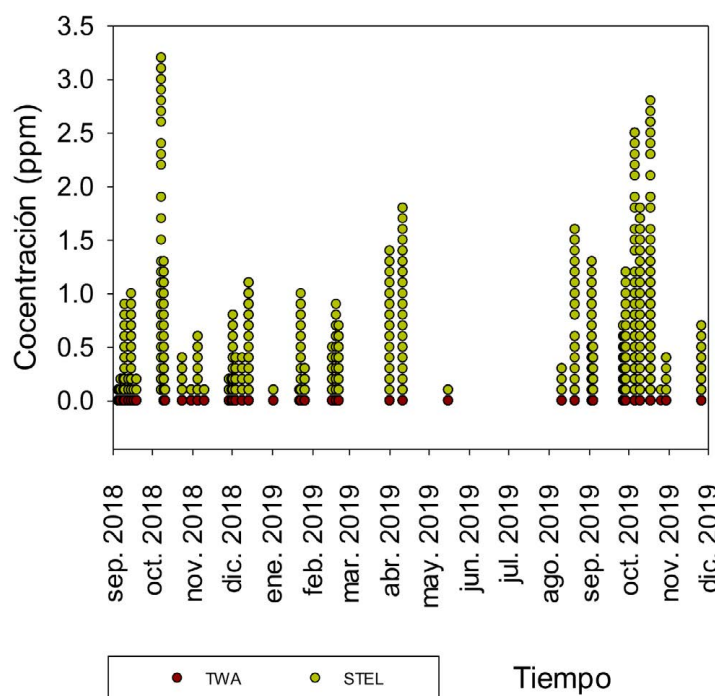


Figura 5. Resultados de TWA y STEL para el SO_2 en el puesto 4 ubicado en la casa de los guardaparques Parque Nacional Volcán Poás.

Nota: Fuente propia de la investigación.



Tabla 3. Resultados del riesgo por exposición para el SO_2 y H_2S en el Parque Nacional Volcán Poás.

Puesto	Resultado	SO_2	Resultado	H_2S
		Nivel de riesgo		Nivel de riesgo
Caseta de cobro	38	Bajo	49	Bajo
Centro de visitantes	164	Medio	55	Bajo
Mirador para visitantes	120	Bajo	49	Bajo
Caseta Guarda parques	134	Bajo	55	Bajo

Nota: fuente propia de la investigación

La evaluación del riesgo químico en el PNVP muestra para el SO_2 un riesgo bajo para todas las áreas, exceptuando el puesto ubicado en el centro de visitantes, al ser el resultado de un riesgo medio para este punto, mientras que el riesgo de exposición para el H_2S es bajo en todos los puntos de muestreo para esta sustancia.

A pesar de ello, no se descarta que se puedan presentar afectaciones de corto plazo para quienes se encuentren en las zonas de estudio, ya que se han suscitado periodos en los que se sobrepasa el STEL por varios minutos; las personas sensibles podrían tener repercusiones agudas o graves por la exposición continua a SO_2 y H_2S en este ambiente.

Los estudios en volcanes se enfocan en el riesgo físico, debido a las posibles erupciones, y en los efectos sobre la salud, provocados por cenizas y gases volcánicos (Lombardo *et al.*, 2013). Sin embargo, en la literatura no se observan estudios de riesgo por exposición específicos para estos componentes. Desde un punto de vista de salud ocupacional, no se toma en consideración la dispersión de las sustancias producto de la variación en la dirección y en la velocidad del viento, sin embargo, al ser el volcán Poás un volcán activo, la desgasificación es discontinua o continua o magnitud indefinida, y las condiciones meteorológicas como el viento, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar y la temperatura influyen

en la dispersión y por ende, en la concentración de los gases en los puntos estudiados.

La disminución del riesgo por exposición se puede llevar a cabo analizando los puntajes más altos obtenidos, proponiendo estrategias y medidas de contención que permitan reducir el puntaje y así disminuir el riesgo por exposición.

Conclusiones

El valor de TWA experimental para los gases SO_2 y H_2S no fue sobrepasado en ningún punto, se considera un valor ambiental máximo permitido en un periodo de ocho horas o en una semana de 40 horas; con respecto al STEL, se observaron datos superiores al límite permitido de 5 ppm. Al ser el STEL un valor máximo permitido en un periodo de 15 minutos.

Es importante resaltar que al ser el volcán Poás activo, la desgasificación puede ser discontinua, continua y con magnitud indefinida. Además, las condiciones meteorológicas como el viento, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar y la temperatura influyen en la dispersión y, por ende, en la concentración de los gases en los puntos estudiados, por lo que la vigilancia constante es imperante, debido a que la desgasificación continua podría sobrepasar los valores máximos recomendados y presentarse un riesgo la salud de las personas expuestas, tal y como se observó en



los momentos en los que el STEL se superó. Para el STEL, los efectos a la salud son agudos, inmediatos o de corto plazo, pero, si la exposición es constante en el tiempo, los efectos futuros podrían ser crónicos.

Aunque los resultados obtenidos en la evaluación del riesgo químico en el PNVP muestran que para el SO_2 y para el H_2S , hay un riesgo bajo en todos los puntos de muestreo, exceptuando el puesto ubicado en el centro de visitantes, donde la el riesgo para el SO_2 es medio, existe la posibilidad de afectación de corto plazo en el personal, debido a periodos de exposición aguda, tal y como se presentó en los periodos donde se superó el STEL por varios minutos, es por ello, por lo que se recomienda la continua vigilancia de las concentraciones a las que se expone el personal del Parque Nacional Volcán Poás, puesto que un nivel de riesgo bajo no inhibe la necesidad de tomar acciones para disminuir las potenciales afectaciones a la salud del personal expuesto.

De los cuatro puntos de muestreo solo el centro de visitantes tiene un riesgo medio para el SO_2 . Según la encuesta realizada a los empleados del PNVP, se registró que la mayoría de las personas no ha recibido capacitaciones y el uso de equipo de protección personal es deficiente, ya que no se utiliza completo, por lo que se recomienda elaborar un plan de acción que permita disminuir el riesgo químico, enfocado en capacitaciones a los empleados sobre salud, seguridad ocupacional y uso adecuado de equipo de protección personal.

Financiamiento

Universidad Nacional de Costa Rica.
Proyecto Código: 0296-20, monitoreo y modelaje computacional de la dispersión de los gases y las partículas emitidas por

los volcanes de Costa Rica, aplicando el programa de dispersión de contaminantes AERMOD.

Agradecimiento

Al personal del Parque Nacional Volcán Poás por permitir desarrollar este proyecto en sus instalaciones y por el acompañamiento en labores de muestreo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

Declaración de la contribución de los autores

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

El porcentaje total de contribución para la conceptualización, preparación y corrección de este artículo fue el siguiente: J. D. M. A. 20 %, J. P. S. B. 20 %, J. C. M. B. 20 %, M. M. C. 20 %, H. B. A. 5 %, A. R. D. 5 % y R. A. S. 10 %.

Declaración de disponibilidad de los datos

Los datos que respaldan los resultados de este estudio serán puestos a disposición por el autor correspondiente [J. P. S. B.], previa solicitud razonable.

Preprint

Una versión Preprint de este artículo fue depositada en: <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/26025>



Referencias

- 3M. (s. f.). *3M Personal Protective Equipment*. https://www.3m.com/3M/en_US/p/c/ppe/.
- Aguilar, F., Bernaola, M., Gálvez, V., Rams, P., Sánchez, T., Sousa, M. E., Tanarro, C. y Tejedor, J. (2015). *Riesgo químico sistemática para la evaluación higiénica*, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Alvarado, D. y Martínez, M. (2017). *Gases y aerosoles volcánicos emitidos por el volcán Turrialba detectados en el aire atmosférico en Coronado*, San José. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica.
- Alvarado, G., Esquivel, L., Sánchez, B. y Alfaro, J. (2020). *Actualización del peligro volcánico del Poás, Costa Rica*. Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo de la Comisión Nacional de Emergencia.
- Amster, E. D., Haim, M., Dubnov, J. y Broday, D. M. (2014). Contribution of nitrogen oxide and sulfur dioxide exposure from power plant emissions on respiratory symptom and disease prevalence. *Environmental Pollution*, 186, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.032>.
- Bates, M. N., Crane, J., Balmes, J. R. y Garrett, N. (2015). Investigation of hydrogen sulfide exposure and lung function, asthma and chronic obstructive pulmonary disease in a geothermal area of New Zealand. *PLoS One*, 10(3), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122062>.
- Beheshti, M., Firoozi, A., Alinaghi, A. y Rostami, S. (2015). Semi-quantitative risk assessment of health exposure to hazardous chemical agents in a petrochemical plant. *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.18869/acadpub.johe.4.1.1>.
- Björnham, O., Grahn, H., Von Schoenberg, P., Liljedahl, B., Waleij, A. y Brännström, N. (2017). The 2016 Al-Mishraq sulphur plant fire: source and health risk area estimation. *Atmospheric Environment*, 169, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.09.025>.
- Bolaños, K., Alfaro, R. y Sibaja, J. P. (2024). Mediciones y el modelaje de la concentración del dióxido de azufre y de la composición del agua de lluvia en los alrededores del volcán Poás durante el 2017 en Costa Rica. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.55467/reder.v8i1.136>.
- Buonanno, G., Stabile, L. y Morawska, L. (2014). Personal exposure to ultrafine particles: The influence of time-activity patterns. *Science of the Total Environment*, 468–469, 903–907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.016>.
- CDC. (s. f.). *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*. <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0337.html>.
- Chen, R., Huang, W., Wong, C. M., Wang, Z., Quoc Thach, T., Chen, B. y Kan, H. (2012). Short-term exposure to sulfur dioxide and daily mortality in 17 Chinese cities: The China air pollution and health effects study (CAPES). *Environment Research*, 118, 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.07.003>.
- Chou, S., Ogden, J. M., Phol, H. R., Scinicariello, F., Ingerman, L., Barber, L. y Citra, M. (2016). *Toxicological profile for hydrogen sulfide and carbonyl sulfide*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Division of Toxicology and Human Health Sciences. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/43468>.
- Delgado, A., Sibaja, J. P., Zúñiga, W., Vega, I., Alfaro, R., Mora, J. P. y Borbón, H. (2023). Spatial distribution of hydrogen sulfite and ammonia emissions from a wastewater treatment plant in Costa Rica, using the AERMOD air pollution dispersion model. *Uniciencia*, 37(1), 1–16. <https://doi.org/10.15359/ru.37-1.9>.
- Department of Health and Human Services. (2010). *Toxicological Profile for Sulfur Dioxide*.
- Godoi, A. F. L., Grasel, A. M., Polezer, G., Brown, A., Potgieter, S., Scremim, D. C., Yamamoto, C. I. y Godoi, R. H. M. (2018). Human exposure to hydrogen sulphide concentrations near wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment*, 610–611, 583–590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.209>.
- Google. (s. f.). [Volcán Poás]. Recuperado el 21 de mayo de 2020 de <https://goo.gl/maps/mxDspdP1DNjLVtJB8>.
- Hancock, J. T. (2019). Hydrogen sulfide and environmental stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.08.034>.
- Hansell, A. L., Horwell, C. J. y Oppenheimer, C. (2006). The health hazards of volcanoes and geothermal areas. *Occupational and Environmental Medicine*, 63(2), 149–156. <https://doi.org/10.1136/oem.2005.022459>.



- Heaney, C. D., Wing, S., Campbell, R. L., Caldwell, D., Hopkins, B., Richardson, D. y Yeatts, K. (2011). Relation between malodor, ambient hydrogen sulfide, and health in a community bordering a landfill. *Environmental Research*, 111(6), 847-852. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.05.021>.
- INSHT. (2009). *Guía técnica señalización de seguridad y salud en el trabajo*. Instituto Nacional de Higiene en el Trabajo de España. <http://www.infopreben.com/index.php/riesgos-itsaspreben/item/375-guia-tecnica-se%C3%B1alizacion%C3%B3n-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-insht-2009>
- Jones, K. (2014). Case studies of hydrogen sulphide occupational exposure incidents in the UK. *Toxicology Letters*, 231(3), 374-377. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.08.005>.
- Joseph, E. P., Beckles, D. M., Cox, L., Jackson, V. B. y Alexander, D. (2015). An evaluation of ambient sulphur dioxide concentrations from passive degassing of the sulphur springs, Saint Lucia geothermal system: Implications for human health. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 304, 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.07.036>.
- Korhonen, K., Liukkonen, T., Ahrens, W., Astrakianakis, G., Boffetta, P., Burdorf, A., Heederik, D., Kauppinen, T., Kogevinas, M., Osvoll, P., Rix, B. A., Saalo, A., Sunyer, J., Szadkowska, I., Teschke, K., Westberg, H. y Widerkiewicz, K. (2004). Occupational exposure to chemical agents in the paper industry. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 77(7), 451-460. <https://doi.org/10.1007/s00420-004-0530-5>.
- Li, S., Xu, Z., Xia, J., Qin, G. y Sang, N. (2019). Sulfur dioxide induces apoptosis via reactive oxygen species generation in rat cardiomyocytes. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 8758-8767. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04319-7>.
- Lombardo, D., Ciancio, N., Campisi, R., Di Maria, A., Bivona, L., Poletti, V., Mistretta, A., Biggeri, A. y Di Maria, G. (2013). A retrospective study on acute health effects due to volcanic ash exposure during the eruption of Mount Etna (Sicily) in 2002. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*, 8, 51. <https://doi.org/10.1186/2049-6958-8-51>.
- Lynch, H. N., Prueitt, R. L. y Goodman, J. E. (2018). Critique of the ACGIH 2016 derivation of toluene diisocyanate threshold limit values. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 97, 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.06.017>.
- Malone, S. L., Pearce, L. L. y Peterson, J. (2017). Environmental toxicology of hydrogen sulfide. *Nitric Oxide*, 71, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2017.09.011>.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (2016). *Guía sobre ceniza volcánica: Posibles efectos a la salud y seguridad de las personas trabajadoras, medidas de prevención y protección*. Ministerio de Salud Costa Rica.
- Myers, B., Brantley, S. R., Stauffer, P. y Ii, W. H. (6 de abril del 2022). *USGS Fact Sheet 144-00*; Virginia, NASA. *Ozone Monitoring Instrument*. <https://so2.gsfc.nasa.gov/>.
- Okolo, O. (2021). *Scrubbing of sulfur dioxide from secondary process gases in a copper smelter*. [Degree project in chemical engineering] KTH Royal Institute of Technology.
- Oppenheimer, C., Scaillet, B. y Martin, R. S. (2011). Sulfur degassing from volcanoes: Source conditions, surveillance, plume chemistry and earth system impacts. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 73(1), 363-421. <https://doi.org/10.2138/rmg.2011.73.13>.
- Ortiz Apuy, E., Mora Barrantes, J., & Sibaja Brenes, J. (2022). Preliminary study on health effects and their relation to volcanic gas emissions exposure. A case study of two active volcanoes in Costa Rica. *Uniciencia*, 36(1), 1-20. <https://doi.org/10.15359/ru.36-1.49>.
- Pope, K., So, Y. T., Crane, J. y Bates, M. N. (2017). Ambient geothermal hydrogen sulfide exposure and peripheral neuropathy. *Neurotoxicology*, 60, 10-15. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2017.02.006>.
- Red Sismológica Nacional. (2019). *Boletín sobre el Estado Actual de los Volcanes*. <https://rsn.ucr.ac.cr/actividad-volcanica/reportes-volcanicos/12384-boletin-sobre-el-estado-actual-de-los-volcanes-16-de-abril-2019>
- Reed, B. R., Crane, J., Garrett, N., Woods, D. L. y Bates, M. N. (2014). Chronic ambient hydrogen sulfide exposure and cognitive function. *Neurotoxicology and Teratology*, 42, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2014.02.002>.
- Solans, X. y Regidor, L. (2010). *Sustancias carcinogénicas: Criterios para su clasificación*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).



- Tarin, S., Huici, A. y Guardino, X. (2006). NTP 726: clasificación y etiquetado de productos químicos: sistema mundialmente armonizado (GHS). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Wang, L., Liu, C., Meng, X., Niu, Y., Lin, Z., Liu, Y., Liu, J., Qi, J., You, J., Tse, L. A., Chen, J., Zhou, M., Chen, R., Yin, P. y Kan, H. (2018). Associations between short-term exposure to ambient sulfur dioxide and increased cause-specific mortality in 272 Chinese cities. *Environment International*, 117, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.019>.
- Wang, R. (2012). Physiological implications of hydrogen sulfide: A whiff exploration that blossomed. *Physiological Reviews*, 92(2), 791-896. <https://doi.org/10.1152/physrev.00017.2011>.
- Wei, Q., Wu, J., Zhang, Y., Cheng, Q., Bai, L., Duan, J., Gao, J., Xu, Z., Yi, W., Pan, R. y Su, H. (2019). Short-term exposure to sulfur dioxide and the risk of childhood hand, foot, and mouth disease during different seasons in Hefei, China. *Science of the Total Environment*, 658, 116-121. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.481>.
- Williams, G. y Rymer, H. (2015). Hazards of volcanic gases. In *The Encyclopedia of Volcanoes*, (2nd ed., pp. 985-992). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385938-9.00057-2>.



Evaluación del riesgo en la salud del personal del Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica, por exposición a los gases SO₂ y H₂S (José David Morales-Alpízar • José Pablo Sibaja-Brenes • José Carlos Mora-Barrantes • María Martínez-Cruz • Henry Borbón-Alpízar • Alexa Retana-Díaz • Rosa Alfaro-Solís) **Uniciencia** is protected by Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported (CC BY-NC-ND 3.0)