UNIVERSIDAD NACIONAL
"Campus Omar Dengo"

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE QUÍMICA

Nivel del riesgo químico de la exposición laboral a compuestos azufrados en el Parque Nacional Volcán Poás

Bach. José David Morales Alpízar

Tutor: M.Sc. José Pablo Sibaja Brenes
Asesor: M.Sc. José Carlos Mora Barrantes
Asesora: Ph.D. María Martínez Cruz

Heredia, Costa Rica

Julio, 2022

Tabla de contenidos

Resumen 4

Índice de Figuras 6

Lista de abreviaciones y símbolos 7

1. Capítulo I: Introducción 8

1.1. Antecedentes y justificación 8

1.2. Objetivos y actividades 10

Objetivo general 10

Objetivos específicos 10

2. Marco teórico 11

1.1. Generalidades de volcanes de Costa Rica 11

1.2. Gases volcánicos y compuestos azufrados 12

1.2.1. Sulfuro de hidrógeno 13

1.2.2. Dióxido de azufre 14

1.3. Efectos de los compuestos de azufre en la salud 15

1.4. Valores límite ambientales 17

1.5. Metodología para la evaluación del riesgo laboral 19

2. Capítulo III Metodología 20

2.1. Cuantificación de la concentración del dióxido de azufre y del sulfuro de hidrógeno en el aire ambiente del Parque Nacional Volcán Poás 20

2.1.1. Definición del puesto de muestreo 20

3.1.2. Recolección de datos 22

3.1.3. Interpretación de datos y análisis estadístico 23

3.1.4. Análisis de tiempo de exposición y determinación de los valores límites ambientales VLA experimentales 24

Propuesta de metodología para la evaluación de riesgo químico asociado con la exposición laboral debido a los gases volcánicos de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno en cuatro puestos de análisis del PNVP25

4. Capítulo IV: Resultados y discusión 32

4.1. Concentración de los gases en los puestos de muestreo 32

4.2. Exposición laboral TWA y STEL 44

4.3. Análisis estadísticos 48

4.4. Resultados del riesgo químico 50

5. Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones 53

6. Referencias bibliográficas 55

7. Anexos 62

Resumen

El Parque Nacional Volcán Poás (PNVP) es uno de los lugares turísticos más visitados dentro de la Gran Área Metropolitana (GAM), debido a su actividad volcánica, atractivo paisajístico y biodiversidad. Sin embargo, los guardaparques están expuestos a la ceniza y los gases volcánicos (como el dióxido de azufre y el sulfuro de hidrógeno), en donde la exposición depende de la concentración, el tiempo y la frecuencia de exposición, y por tal motivo, se podría tener consecuencias en la salud de los trabajadores del parque a corto o a largo plazo. El dióxido de azufre y el sulfuro de hidrógeno son los compuestos evaluados en este estudio debido a que los guardaparques han presentado problemas de salud, por lo que es de relevancia estudiar las tendencias en el tiempo de estos gases y el cumplimiento de los niveles de exposición con respecto a la norma internacional de la OSHA. Se estudió la concentración del dióxido de azufre desde setiembre del 2018 hasta el 31 de diciembre 2019, y para el sulfuro de hidrógeno de febrero del 2019 hasta el 31 de diciembre del 2019. La medición y el análisis de la concentración de estos gases en el aire ambiente dentro del territorio del PNVP se realizó por medio de 4 equipos portátiles de mano MultiRae de Honeywell (New Jersey, Estados Unidos), los cuales registran lecturas de las concentraciones de los gases azufrados cada minuto. Los puntos de muestreos realizados fueron en la casa los guardaparques, caseta entrada PNVP, centro de visitantes y el mirador para visitantes. Durante el estudio, el valor discreto más alto de la concentración de SO_2 se observó en el Edificio del Centro de Visitantes, con un valor de 16,0 ppm, y en cuanto al H_2S, el valor discreto más alto fue en la Casa de los Guardaparques, con 45 ppm. Con respecto al promedio la tendencia es cercana al límite de detección para ambos gases, concordando con que, aunque el volcán tiene una actividad volcánica constante los gases en general no se dirigen hacia las zonas de visitación. Para el tiempo de exposición permisible en 8 horas (TWA) ningún puesto de medición superó la norma internacional de concentración de 2 ppm para el dióxido de azufre. Sin embargo, para el tiempo de exposición permisible en 15 minutos (STEL) si se superó los 5 ppm de dióxido de azufre, en el Edificio del Centro de visitantes y en el mirador para visitantes, con una concentración observada de 10,1 ppm y 7,4 ppm, respectivamente. El estudio del riesgo químico por la exposición a los gases volcánicos se determinó mediante 8 variables, tomando en cuenta el equipo de protección personal, las capacitaciones, la frecuencia de exposición y las características de las sustancias químicas. Los resultados obtenidos del riesgo químico para el sulfuro de hidrógeno en los cuatro puestos son de nivel bajo, para el dióxido de azufre la caseta de guardaparques, caseta de entrada PNVP y el mirador de visitantes es bajo. En el caso del puesto de Centro de Visitantes el riesgo químico es medio, consecuencia del uso de equipo personal y de las capacitaciones que tienen los empleados.

Índice de cuadros

Cuadro 1. Propiedades físicas, químicas y peligros asociados al sulfuro de hidrógeno.[45,46] 14
Cuadro 2 Propiedades físicas y químicas y riesgos a la salud asociados al dióxido de azufre.[47,48] 15
Cuadro 3. Niveles de exposición permisibles del SO_2 y afectaciones del dióxido de azufre y del sulfuro de hidrógeno en la salud. [44,47,51,52] 15
Cuadro 4. Determinación del valor de la clase del peligro de las sustancias químicas 26
Cuadro 5. Determinación del valor de la toxicidad de una sustancia química 27
Cuadro 6. Determinación del valor de la frecuencia de exposición..... 27
Cuadro 7. Determinación del valor del STEL Experimental de la Sustancia Química 28
Cuadro 8. Determinación del valor del TWA experimental de la sustancia química. 29
Cuadro 9. Determinación del valor de uso de equipo de protección personal 30
Cuadro 10. Determinación del valor de los efectos potenciales de la sustancia química. 30
Cuadro 11. Determinación del valor de la capacitación sobre conocimiento de toxicidad y efectos de las sustancias químicas. 31
Cuadro 12. Determinación de tipo de riesgo a la exposición a la sustancia química..... 32
Cuadro 13. Resumen de los datos en los cuatro puntos de estudio de las concentraciones los gases SO_2 y H_2S en el volcán Poás. 33
Cuadro 14. Resumen de los datos de las concentraciones de los gases SO_2 medidos por el ExpoGAS en el tercer puesto de medición en el volcán Poás..... 42
Cuadro 15. Determinación de riesgo químico para el dióxido de azufre en el volcán Poás 51
Cuadro 16. Determinación de riesgo químico para el sulfuro de hidrógeno en el volcán Poás..... 51
Cuadro 17. Resultados riesgo químico según metodología para el dióxido de azufre en el volcán Poás... 52
Cuadro 18. Resultados riesgo químico según la metodología para el sulfuro de hidrógeno en el volcán Poás 52

Índice de Figuras

Figura 1 Síntomas por el dióxido de azufre presentados por los guardaparques del Parque Nacional Volcán Poás. [56] 17
Figura 2 . Puestos de medición de SO_2 y H_2S en el Parque Nacional Volcán Poás 21
Figura 3 Sistema de muestreo de gases MultiRae lite [65] 22
Figura 4. Equipo de protección personal tomado de la página de 3M [70] 29
Figura 5. Gráfico. Resultados del dióxido de azufre del puesto 1 ubicado en la caseta de cobro de la entrada del Parque Nacional Volcán Poás. 34
Figura 6. Gráfico. Resultados del sulfuro de hidrógeno del puesto 1 ubicado en la caseta de cobro de la entrada del Parque Nacional Volcán Poás. 35
Figura 7. Gráfico. Resultados del dióxido de azufre en el puesto 2 ubicado en el Centro para Visitantes del Parque Nacional Volcán Poás. 36
Figura 8. Foto satelital y modelación de dispersión de gases AERMOD del día 21 de febrero del 2019. [63,64] 37
Figura 9. Rosa de los vientos para el Volcán Póas el 21 de febrero del 2019 38
Figura 10. Foto satelital y modelación de dispersión de gases AERMOD del día 25 de setiembre del 2019.[63,64] 38
Figura 11. Rosa de los vientos para el Volcán Póas el 25 de setiembre del 2019 39
Figura 12. Gráfico de resultados del dióxido de azufre en el puesto 3 ubicado en el Mirador para Visitantes del Parque Nacional Volcán Poás 41
Figura 13. Gráfico. 43
Figura 14. Gráfico. Resultados de TWA y STEL para el dióxido de azufre del puesto 1 ubicado en la caseta de cobro de la entrada del Parque Nacional Volcán Poás. 44
Figura 15. Gráfico. Resultados de TWA y STEL para el dióxido de azufre del puesto 2 ubicado en el centro de visitantes del Parque Nacional Volcán Poás. 45
Figura 16. Gráfico. Resultados de TWA y STEL para el dióxido de azufre en el puesto 3 ubicado en el mirador para visitantes del Parque Nacional Volcán Poás. 46
Figura 17. Gráfico. Resultados de TWA y STEL para el dióxido de azufre en el puesto 4 ubicado en la casa de los guardaparques Parque Nacional Volcán Poás 47
Figura 18. Distribución de probabilidad de concentración de dióxido de azufre. 48
Figura 19. Distribución de probabilidad de dióxido de azufre, utilizando el MultiRae y el Expogas en el puesto 3 del volcán Póas. 50

Lista de abreviaciones y símbolos

EXPOGAS: Exposición humana al gas SO2, sistema de monitoreo tipo semáforo con alerta en tiempo real ubicado en El Mirador para Visitantes del PNVP del OVSICORI-UNA

IDLH: Concentración inmediatamente peligrosa para la vida o salud

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

PEL: Límite de exposición permisible

PNVP: Parque Nacional Volcán Poás

RSN: Red Sismológica Nacional

SINAC: Sistema Nacional de Área de Conservación de Costa Rica

STEL: Tiempo de exposición permisible en 15 minutos

TWA: Tiempo de exposición permisible en 8 horas

ACGIH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales

1. Capítulo I: Introducción

1.1. Antecedentes y justificación

Los compuestos azufrados se encuentran presentes alrededor del planeta siendo parte importante de los ciclos biogeoquímicos, de estas sustancias, los principales compuestos que muestran un riesgo importante a la salud humana son el ácido sulfúrico, el dióxido de azufre y el sulfuro de hidrógeno. [1] El sulfuro de hidrógeno se encuentra en áreas con actividad geotérmica, volcánica y en procesos industriales. [2,3] Las plantas de tratamiento de aguas residuales son una fuente importante de compuestos azufrados, ya que se generan como subproductos de las condiciones anaeróbicas. De igual forma, la producción de papel produce sulfuro de hidrógeno, debido al uso de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio en la madera para degradar la lignina[4–6] En las refinerías de gas y petróleo existe también exposición al sulfuro de hidrógeno, debido al contenido de azufre presente en el crudo. [7] Otra fuente importante de sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre es la actividad de generación de biogás, utilizando residuos de animales como fuente de energía. [1,4,8–10]

El dióxido de azufre se encuentra presente en diferentes procesos industriales, principalmente en la obtención de ácido sulfúrico y en la combustión de derivados del petróleo y del carbón.[4] Estudios han evidenciado los efectos en la salud producto de la exposición laboral a los compuestos azufrados. En el Reino Unido se evaluó la exposición laboral al sulfuro de hidrógeno por medio de análisis de tiosulfato en sangre y orina, obteniendo resultados positivos en personas inconscientes encontradas en sus zonas de trabajo. [11] Otra investigación realizada en Nueva Zelanda, donde la actividad geotérmica es la principal fuente de energía, estudió los problemas de salud pulmonares, alteraciones cognitivas y neuropatía periférica a la exposición crónica a los compuestos azufrados. El estudio evidenció niveles superiores al permitido de sulfuro de hidrógeno en el ambiente laboral, sin embargo, no se pudo demostrar alguna relación concluyente sobre efectos de la salud y sulfuro de hidrógeno. [7,12,13] 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 sulfuro de hidrógeno emitidos hacia los alrededores del sistema de tratamiento. [6]

En China, se han realizado estudios de exposición al dióxido de azufre 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 en los pies, las manos y la boca en niños durante la época de invierno. [14–16] En el parque hidrotermal del país Santa Lucía, en el Mar Caribe, se detectaron concentraciones de dióxido de azufre entre 650 $\mu g/m^3$ y 1300 $\mu g/m^3$ producto de la actividad geotérmica, esto puede generar una afectación a personas sensibles con problemas respiratorios. Se han evidenciado

exposiciones al dióxido de azufre por quema de carbón para obtención de energía, y de la quema de una mina de azufre, donde el riesgo químico ha generado problemas pulmonares en la población cercana a las fuentes de emisión. [2,3,17]

Una fuente natural importante de compuestos azufrados es la actividad geotérmica, la actividad volcánica y la actividad industrial, estás actividades emanan aerosoles azufrados, que por su tamaño o diámetro aerodinámico pueden recorrer largas distancias afectando la salud de las personas. [1,18] Varias investigaciones se han enfocado en estudiar los efectos en la población por la exposición a las emisiones volcánicas. Una investigación en Portugal relaciona un aumento de cáncer, principalmente en la faringe, boca y los genitales, debido a una exposición crónica a la actividad volcánica en el volcán Azores. De la misma forma, en varios parques nacionales volcánicos de Hawaii se han encontrado concentraciones mayores a los 500 ppb de dióxido de azufre en el aire ambiente, ocasionando daños a la salud humana. [19–21] Estudios en el volcán Monte Etna (Italia), Mt St Helens (USA), 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. [9,22–24]

En el caso particular de Costa Rica, se han ejecutado gestiones preliminares 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. [25–27] 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 guardaparques a 3 personas, causada por un evento eruptivo ocurrido en junio del 2017, debido a una concentración de hasta 47,0 mg/m^3 de SO_2 en la caseta de entrada al parque nacional. Durante la noche del mismo día del evento, 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 y la exposición laboral. [28] . Cabe destacar que en Costa Rica reglamento no se menciona un valor criterio para el sulfuro de hidrógeno, sin embargo, en el reglamento Nº 30221-S Sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos, el cual fue derogado, el H_2S no podía exceder valores de 20 $\mu g/m^3$ en 24 horas, ocasionando que haya un vacío reglamentario debido a la mal redacción u omisión de este contaminante en el nuevo reglamento. Hay que tomar en cuenta que Costa Rica es un país con alta

actividad volcánica al estar en el cinturón de fuego del Pacifico, por lo que hay probabilidades de alta actividad volcánica asimismo sísmica. [29–31]

Debido a la reciente actividad magmática en el Volcán Poás, el Laboratorio de Química de la Atmósfera de la Universidad Nacional (LAQAT-UNA), con el objetivo de diagnosticar cambios en la desgasificación fumarólica, ha realizado muestreos desde el 2017 de los compuestos $HF_{(l)}$, $HCl_{(l)}$, $SO_{2(g)}$, $H_2S_{(g)}$ y $HNO_{3(l)}$. 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 laboral de las personas 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. [32]

Al estar expuestos a ciertas sustancias que pueden afectar su salud se toman valores recomendados o valore techo, los cuales no deben ser sobrepasados. Estos valores de las sustancias se realizan por medio de estudios en animales y humanos. Con respecto a lo anterior, se hace necesario una constante medición y evaluación a la exposición de gases azufrados (dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno) en trabajadores y visitantes, mediante la medición continua de SO_2 y el H_2S, para la determinación del nivel de riesgo químico y el mejoramiento continuo de las condiciones de trabajo en el Parque Nacional Volcán Poás.

1.2. Objetivos y actividades

Objetivo general

Evaluar la exposición laboral de compuestos azufrados en los trabajadores en el Parque Nacional Volcán Poás (PNVP), mediante la medición continua de $SO_{2(g)}$ y el $H_2S_{(g)}$ para la determinación del nivel de riesgo químico y el mejoramiento continuo de las condiciones de trabajo.

Objetivos específicos

Cuantificar la concentración del dióxido de azufre y del sulfuro de hidrógeno en el Parque Nacional Volcán Poás.

Determinar los valores límites de exposición laboral experimentales del dióxido de azufre y del sulfuro de hidrógeno en el Parque Nacional Volcán Poás para comparar con los valores límites teóricos.

Definir el nivel de riesgo químico de trabajadores producto de la exposición laboral al dióxido de azufre y al sulfuro de hidrógeno en el Parque Nacional Volcán Poás.

2. Marco teórico

1.1. Generalidades de volcanes de Costa Rica

Los volcanes son estructuras geológicas donde se da una liberación de gases y roca fundida conocida como lava. Se pueden clasificar como volcanes extintos o activos, en función de su última actividad magmática. Los volcanes extintos no tienen actividad, mientras los activos pueden estar: 1) Dormidos (o en reposo) con actividad secundaria, manifestada a través de sismos, presencia de fumarolas, aguas termominerales además pueden reactivarse o 2) En erupción con emisión de gases, cenizas, bombas, e inclusive coladas o fuentes de lava. [25,26]

El volcán Poás es un estratovolcán que tiene una altura de 2708 metros sobre nivel del mar, presenta un cráter activo que alberga un lago hiperácido usualmente con color verde turquesa y fumarolas típicamente de baja temperatura. [33] El macizo del Poás está constituido por tres conos volcánicos principales: el Botos, el von Frantzius y el Poás (actual cráter activo). Las lavas típicas del Poás presentan un ámbito de composiciones desde basalto de isla oceánica (OIB) proveniente de la subducción de la falla de los Galápagos hasta basalto-andesitas y andesitas. [34] El edificio volcánico está construido por secuencias de lavas, cenizas, lahares, tobas, ignimbritas y lapilli. El lago hiperácido “Laguna Caliente” es termomineral y contiene una gran diversidad de iones en disolución, depósitos de minerales de azufre, yeso y silicatos, entre muchos otros. El sulfuro de hidrógeno y el dióxido de azufre reaccionan con el agua del sistema hidrotermal dando origen a iones en disolución y una gama de minerales que precipitan en el fondo del lago cratérico. El color verde turquesa del lago proviene de coloides de azufre y sílica suspendidos en el agua, así como de iones de hierro III disueltos. La actividad más importante se genera en el cráter principal y en el lago hiperácido. Las erupciones de mayor importancia se registraron en 1910, 1953-1955 y el 2017, y fueron tipo freatomagmáticas culminando con erupciones magmáticas. En estos periodos, el lago hiperácido se ha secado completamente y la morfología del cráter principal ha cambiado sustancialmente. [28]

1.2. Gases volcánicos y compuestos azufrados

Los gases volcánicos varían según la actividad y el tipo de erupción, sin embargo, la composición más común es la siguiente: vapor de agua (30 % a 90 %), dióxido de azufre (5 % a 50 %) dióxido de carbono (4 % a 40 %), sulfuro de hidrógeno > 2 %, monóxido de carbono > 0,5 % y pequeñas concentraciones de helio (He) y radón (Rn) (menor a 0,1 %). Desde una perspectiva de salud, los gases volcánicos de mayor interés son: CO_2, SO_2, H_2S y Rn. Los gases azufrados en el lago hiperácido, se hidrolizan al reaccionar con el agua causando cambios en las concentraciones de estos, como se observa en la reacción 1. [35,36]

$$4SO_{2\,(g)} + 4H_2O_{(l)} \rightleftarrows 3H_2SO_{4\,(ac)} + H_2S_{(g)} \qquad \text{(Reacción 1)}$$

El dióxido de azufre en disolución acuosa y con baja cantidad de oxígeno disuelto, puede reducirse a sulfuro de hidrógeno, además ocurren procesos de absorción y desorción, todos estos procesos secundarios se ven afectados por la relación de temperatura, oxígeno e hidrógeno presente en el volcán. [35] En los volcanes, un aumento de las emisiones de dióxido de carbono y de dióxido de azufre son indicadores de un alza de actividad volcánica, donde el flujo de sulfuro de hidrógeno se espera que sea bajo, sin embargo, las emisiones del volcán Hierro, un volcán submarino en el archipiélago canario en España, muestran que no siempre se da esta relación de actividad según las emisiones de dióxido de azufre. La relación de SO_2/H_2S sigue el equilibrio presente en la siguiente reacción. [37,38]

$$SO_{2\,(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftarrows 2H_2O_{(ac)} + H_2S_{(g)} \qquad \text{(Reacción 2)}$$

El equilibrio de la Reacción 2 se ve afectado según la presión y la temperatura, por lo cual una presión alta y una baja temperatura favorecen la formación de sulfuro de hidrógeno. [39] El azufre se puede encontrar en los volcanes como dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, sulfato, tiosulfato, politionatos y azufre elemental. El azufre elemental es indicador de desgasificación a temperaturas mayores a 300 °C, como se observa en las siguientes reacciones: [1,36]

$$3SO_{2\,(g)} + 14H^+_{(ac)} \rightleftarrows 6H_2O_{(ac)} + H_2S_{(g)} + 2S_{(s)} \qquad \text{(Reacción 3)}$$

$$SO_{2\,(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftarrows 2H_2O_{(ac)} + 3S_{(s)} \qquad \text{(Reacción 4)}$$

Para temperaturas menores a los 300 °C, el dióxido de azufre se convierte a sulfuro de hidrógeno por procesos cinéticos lentos en equilibrio con el hierro. En la liberación de vapores volcánicos en

presencia de agua, el dióxido de azufre y el sulfuro de hidrógeno reaccionan de acuerdo con la Reacción 1 y la Reacción 5, esos mismos procesos ocurren en el lago hiperácido Volcán Poás. [37,38]

$$SO_4^{-2} + 3H_2S_{(g)} + 2H^+ \rightleftarrows 4H_2O_{(ac)} + 4S_{(s)} \qquad \text{(Reacción 5)}$$

El Parque Nacional Volcán Poás (PNVP), al tener uno de los volcanes más activos de Costa Rica, tiene una emanación de gases volcánicos constante durante los periodos de actividad (ver reacciones 1,2,3). Las reacciones químicas y efectos ópticos explican el color verde turquesa del lago, el cual es extremadamente ácido con valores de pH cercanos a 0. Al mismo tiempo, la salinidad y la acidez incrementan la formación del azufre elemental. El incremento de estas variables se da por la evaporación del agua debido a la actividad volcánica y a una insuficiente recarga del lago mediante el agua de lluvia o la escorrentía. [38,39]

1.2.1. Sulfuro de hidrógeno

El H_2S es un gas incoloro inflamable con un olor fuerte a materia orgánica descompuesta. Debido a su peculiar olor el ser humano es muy sensible a detectarlo. Sin embargo, a concentraciones mayores a 0,01 % m/v este gas no es percibido. El sulfuro de hidrógeno tiene una densidad de 1,19 veces mayor que el aire, por lo que puede causar asfixia, pero tiene otros peligros a menores concentraciones, como irritaciones en la piel, en las vías respiratorias y en los ojos. Es un gas que se encuentra en lugares con actividad geotérmica. La forma común de contacto en el cuerpo es por la vía respiratoria. [40–43]

La degradación del H_2S se da por medio del hígado, los riñones y el páncreas, es oxidado y eliminado como sulfato por vía urinaria. Este gas tiene una permanencia en el aire de 1 día a 42 días, convirtiéndose a dióxido de azufre y a sulfatos. Esta permanencia en la atmósfera depende de la luz, el oxígeno presente y las condiciones climatológicas. Los principales impactos a nivel de salud son en el sistema respiratorio, nervioso y cardiaco. [40,41,44] En el Cuadro 1 se observan los efectos de la exposición a corto plazo y a largo plazo, los cuales dependen del tiempo de exposición y la concentración de los gases.

Cuadro 1. Propiedades físicas, químicas y peligros asociados al sulfuro de hidrógeno.[45,46]

Compuestos	**Color**	**Olor**	**Densidad (g/L)**	**Solubilidad (g/L)**	**Síntomas corto plazo**	**Síntomas crónicos**
Sulfuro de hidrógeno	Incoloro	Característico (huevo podrido)	1,19	1,39	Irritación en ojos y tracto respiratorio, desmayo y muerte	Laringitis, bronquitis, edema pulmonar, arritmia cardiaca, taquicardia

1.2.2. Dióxido de azufre

Es un gas emitido por los volcanes y de forma antropogénica por la combustión de derivados del petróleo y del carbón y por procesos industriales. En la atmósfera reacciona con los radicales •OH, formando el SO_3, el cual reacciona con el agua presente en la atmósfera formando ácido sulfúrico y sulfatos. Al entrar al tracto respiratorio ocurre la formación de ácido sulfúrico, posteriormente eliminado por vía urinaria como sulfato. [40,45]

En el Cuadro 2 se observan las características físicas y químicas del dióxido de azufre. La principal fuente de exposición es a través de la inhalación, sin embargo, también puede ser por contacto con la piel, causando irritación y problemas pulmonares en personas asmáticas. [36] El SO_2 es relativamente soluble en agua por lo cual se da una mayor absorción del dióxido de azufre por respiración vía nasal que por la inhalación por la boca. El dióxido de azufre y los metabolitos que reaccionan en la mucosa nasal son absorbidos y desorbidos continuamente, llegando a partes interiores del sistema pulmonar. La absorción de este compuesto es mayor en la parte interna del sistema respiratorio. [40,45]

Cuadro 2 Propiedades físicas y químicas y riesgos a la salud asociados al dióxido de azufre. [47,48]

Compuestos	Color	Olor	Densidad (g/L)	Solubilidad (g/L)	Síntomas corto plazo	Síntomas crónicos
Dióxido de azufre	Incoloro	Irritante característico principalmente a nivel de tráquea	1,52	2,62	Irritación vías respiratorias, piel ojos, tráquea	Problemas cardiopulmonares

1.3. Efectos de los compuestos de azufre en la salud

Los efectos de los compuestos químicos en la salud de las personas y de animales dependen principalmente de la concentración de la sustancia y el tiempo de exposición de la persona [44,45,49,50]. Hay compuestos que son más sensibles o potencialmente más peligrosos para la salud, dependiendo de las características del compuesto. Igualmente, influye la vía de entrada al cuerpo, que puede ser vía oral, respiratoria o dérmica. En el Cuadro 3 se muestran los efectos a la salud por parte de los compuestos azufrados.

Cuadro 3. Niveles de exposición permisibles del SO_2 y afectaciones del dióxido de azufre y del sulfuro de hidrógeno en la salud. [44,47,51,52]

Compuesto	Límites de exposición (ppm)	Efectos sobre la salud	Valor referencia
SO_2	1 a 5	Umbral de respuesta respiratoria en actividad o respiración en individuos sanos	TWA 2 ppm STEL 5 ppm TLV ED 0,25 ppm
	3 a 5	El gas es fácilmente detectable. Caída de la función respiratoria en reposo y resistencia a la corriente de aire	
	5	Aumento de la resistencia en sujetos sanos	
	6	Inmediata irritación en ojos, nariz y garganta	
	10	Empeora la irritación en ojos, nariz y garganta	
	10 a 15	Umbral de toxicidad por exposición prolongada	
	20	Parálisis o muerte después de exposición prolongada	
	150	Máxima concentración que puede soportar un individuo sano por algunos minutos	

Compuesto	Límites de exposición (ppm)	Efectos sobre la salud	Valor referencia
H_2S	0,0008 a 0,2	Umbral de respuesta, olor a huevo podrido	TWA 20 ppm STEL 50 ppm (en 10 minutos) REL 10 ppm (en 10 minutos) TLV EC 5 ppm TLV ED 1 ppm
	20	Olor a fuga de gas, tolerancia por algunas horas sin daño	
	20 a 50	Irritación ocular	
	50	Exposición prolongada puede causar faringitis o bronquitis	
	60	Exposición prolongada puede causar conjuntivitis y dolor de ojos	
	150 +	Irritación del tracto respiratorio superior. Pérdida del olfato	
	250	Edema pulmonar con riesgo de muerte	
	500	Muy peligroso, se debe evacuar cuanto antes	
	1000	Pérdida de conciencia	
	1000 a 2000	Intoxicación aguda, respiración agitada, angustia, náuseas y vómito. Puede ser acompañado con pérdida de conciencia, coma y paro respiratorio	
	2000	Pérdida de conciencia y alta probabilidad de muerte	

La exposición laboral al sulfuro de hidrógeno ocasiona una afectación en el sistema nervioso, cardiovascular y respiratorio. En el caso de altas concentraciones origina neurotoxicidad, convulsiones, broncoespasmos y fallos respiratorios. Mediante la vía inhalatoria, y por el contacto con el agua, el H_2S se disocia en H^+ y S^{-2}, llegando al torrente sanguíneo. El sulfuro libre inhibe el citocromo oxidasa, previniendo la fosforilación oxidativa. Experimentos en ratas han demostrado que se afecta el olfato e igualmente produce efectos citogénicos en la parte nasal. Asimismo, los efectos también pueden ser desórdenes neurológicos, cambios de comportamiento, y problemas en la piel y en los ojos. Una exposición aguda de alta concentración de sulfuro de hidrógeno deja de inmediato una secuela tóxica o letal, sin embargo, una exposición baja y a largo plazo deja dolencias. [47,51,52]

El dióxido de azufre es uno de los mayores componentes atmosféricos debido al creciente uso de combustibles fósiles. Además, es emitido naturalmente por los volcanes. Estudios en Estados Unidos, Canadá y China han demostrado que las principales afectaciones son en el sistema respiratorio y en el sistema cardíaco. Entre los problemas que se relacionan con este compuesto son el paro cardiaco, los problemas cardiorespiratorios, las enfermedades coronarias y el corazón isquémico. Igualmente, la exposición humana al SO_2 aumenta el riesgo de paro y arritmia cardiaca.

El efecto que se genera en el sistema cardíaco se debe principalmente a que el dióxido de azufre, al ser absorbido en el cuerpo, reacciona y ocasiona problemas disfuncionales en la mitocondria, produciendo un cambio en el ritmo de apoptosis, en la producción de ATP y la formación de sustancias reactivas al oxígeno. Entre los efectos crónicos producidos por el dióxido de azufre se encuentran: enfermedades cardíacas, tos, asma, una menor función de los pulmones, mayor riesgo de infecciones y enfermedades respiratorias. [53–55]

Los principales casos de intoxicación por inhalación del sulfuro de hidrógeno se dan en fuentes hidrotermales o espacios cerrados. Para el dióxido de azufre, la exposición es mayor por el uso de los combustibles fósiles. Los dos compuestos se encuentran en volcanes en desgasificación. Casos de efectos nocivos a la salud en zonas volcánicas se han dado en Japón, específicamente en el monte Sakurajima donde se presentaron concentraciones de hasta 209 ppb en 1988, afectando a la población cercana al volcán. En 1997 cuatro turistas murieron en el volcán de Adatara en Japón, por inhalación de sulfuro de hidrógeno. [29,43] Igualmente en Costa Rica ocurrió un incidente en el volcán Poás, donde se vieron afectados los guardaparques en el año 2017 durante el reciente periodo de erupciones magmáticas. Además de ese incidente los guardaparques han sufrido malestares médicos debido a las concentraciones de dióxido de azufre como se puede observan en la Figura 1. A través del tiempo ellos han estado expuesto a diferentes gases volcánicos los cuales les han generado desde tos hasta presión arterial anormal.

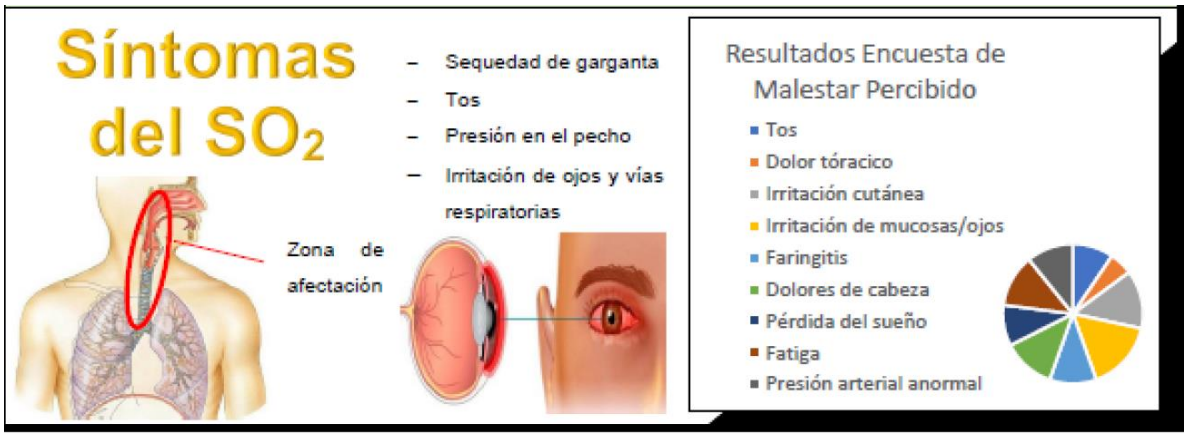

Figura 1 Síntomas por el dióxido de azufre presentados por los guardaparques del Parque Nacional Volcán Poás. [56]

1.4. Valores límite ambientales

Los valores límite ambientales son concentraciones de referencia a las cuales pueden causar un daño si se sobrepasa la concentración en un periodo de exposición determinado. Estos valores se conocen por medio de experimentos de exposición principalmente en animales, con el fin de saber las concentraciones en las cuales al ser sobrepasados pueden causar ya sean daños crónicos o

agudos a la salud de las personas expuestas, los valores de exposición para un compuesto no son los mismo para todas las organizaciones, además varía según el tipo de compuesto para luego ser tomados como valores de referencia en el campo de seguridad y salud ocupacional. [57]

Estos límites de exposición son una herramienta para tener un control de la magnitud de exposición a los contaminantes y, asimismo, una mejor respuesta en caso de una alta concentración de la sustancia en el ambiente laboral. En el Cuadro 3 se muestran los valores de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno y las afectaciones a la salud humana. [42,44,45,49,50]

Tipos de VLA

- TLV-TWA (Valor Límite Ambiental-Exposición Diaria): Valor máximo de exposición durante una jornada de 8 horas o 40 semanales.

- TLV-STEL (Valor Límite Ambiental-Exposición de Corta Duración) Valor máximo de exposición de compuestos durante 15 minutos.

- TLV-C (Valor Límite ambiental-Techo): Es el valor techo donde la concentración no debe ser sobrepasada en ningún momento.

La OSHA utiliza el PEL (límites de exposición permisible) el cual presenta valores, dependiendo del tipo de sustancia, la toxicidad del compuesto y el tiempo de exposición. El TWA es el valor máximo permitido en una jornada laboral de 8 horas. También, un límite PEL es el STEL, siendo 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” o techo el cual no debe ser superado en ningún momento durante la jornada laboral. [41,45,57]

Al mismo tiempo, se encuentran otras organizaciones que tienen diferentes valores recomendados de exposición laboral a compuestos químicos, la NIOSH utiliza el REL (límite de exposición recomendado) donde se encuentra el TWA que incluye una jornada de 8 horas por jornada laboral de 40 horas semanales. Igualmente, tiene un límite de exposición de 15 minutos conocido como ST. Otra organización es la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) que utiliza como medida de exposición máxima los TLV (valores límites de umbral) donde utiliza los siguientes valores como referencia: [45,57]

- TLV-TWA: Valor máximo de exposición durante una jornada de 8 horas o 40 semanales
- TLV-STEL Valor máximo de exposición de compuestos durante 15 minutos
- TLV-C: Es el valor techo donde la concentración no debe ser sobrepasada en ningún momento

Estos valores se conocen por medio de experimentos de exposición principalmente en animales, con el fin de saber las concentraciones en las cuales al ser sobrepasados pueden causar daños crónicos o agudos a la salud de las personas expuestas. Los valores de exposición para un compuesto no son los mismos para todas las organizaciones, sin embargo, sirve de referencia para saber si hay un ambiente seguro. No obstante, en el 2016 un estudio criticó la diferencia de los valores en algunos compuestos como el diisocianato de tolueno, donde la organización ACGIH tiene valores menores a los de la OSHA, pero no hay estudios detallados sobre una afectación, utilizando los valores de TLV. [31]

Estos límites de exposición son una herramienta para tener un control de la magnitud de exposición a los contaminantes y, asimismo, una mejor respuesta en caso de una alta concentración de la sustancia en el ambiente laboral. En el Cuadro 3 se muestran los valores teóricos de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno y las afectaciones a la salud humana. [42,44,45,49,50]

En Costa Rica no existe una institución con valores límites ambientales propios, sin embargo, la única reglamentación relacionada a emisiones o concentraciones ambientales externas se limita a dos reglamentos. Las concentraciones en los reglamentos no consideran los valores límites ambientales, ya que los métodos no toman en cuenta los periodos de exposición utilizados en el TLV, STEL y TLV-Techo, según el reglamento No 39951-S de calidad de aire para contaminantes criterio, el dióxido de azufre no debe superar las exposiciones de 75 ppb en 1 hora o 500 ppb en 3 horas.

1.5. Metodología para la evaluación del riesgo laboral

El peligro químico de una sustancia depende de la naturaleza del compuesto. Existen sustancias que ocupan diferentes dosis para causar algún daño al organismo. El riesgo químico es la probabilidad que ocurra algún daño ya sea a la salud, a los materiales o a la naturaleza. Una herramienta para conocer la probabilidad del riesgo químico asociado con un compuesto es por medio de metodologías de riesgo, enfocándose en diferentes aspectos del compuesto. Estos instrumentos dirigidos a la salud pueden servir para medir el riesgo laboral en alguna industria, o actividad productiva donde se encuentre un peligro latente que alcanza a afectar la salud de los trabajadores. Entre algunas de las metodologías que consideran estos factores de riesgo están: [58,59]

- Evaluación simplificada del riesgo por inhalación (I): Método basado en el COSHH Essentials del Health and Safety Executive (HSE)
- NTP 406 y 407: Contaminantes químicos: evaluación de la exposición laboral del INSHT

- NTP 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. Metodología simplificada del INSHT
- Evaluación simplificada del riesgo por inhalación (I): Método basado en el COSHH Essentials del Health and Safety Executive (HSE)
- Evaluación simplificada del riesgo por inhalación (II): Método basado en el método el propuesto por el Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)
- NTP 897-Exposición dérmica a sustancias químicas evaluación y gestión del riesgo del INSHT
- NTP 135: Seguridad en el laboratorio. "Cuestionario de Seguridad", del INSHT
- NTP 934 Agentes químicos: metodología cualitativa y simplificada de evaluación del riesgo de accidente" del INSHTNTP 525: Criterios de establecimiento de valores límite de exposición profesional en la Unión Europea del INSHT
- NTP 697: Exposición a contaminantes químicos por vía dérmica del INSHT
- Risk Evaluations for Existing Chemicals under TSCA del EPA

Las metodologías 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 aspectos que se tomen en consideración, según la metodología a escoger. Actualmente, destacan dos evaluaciones de riesgo químico: el modelo británico COSHH Essentials, desarrollado por el Ejecutivo de Salud y Seguridad (HSE, por sus siglas en inglés), y el modelo francés del Instituto Nacional de Investigación en Seguridad (INRS, por sus siglas en inglés). El modelo británico proporciona un diagnóstico inicial, 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 de Higiene en el Trabajo de España (INSHT). [60,61]

2. Capítulo III Metodología

2.1. Cuantificación de la concentración del dióxido de azufre y del sulfuro de hidrógeno en el aire ambiente del Parque Nacional Volcán Poás

2.1.1. Definición del puesto de muestreo

En el Parque Nacional Volcán Poás los puestos de muestreo se evaluaron según 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°10'52,88"N y 84°14'16,27"O, puesto 2: Centro para Visitantes 10°11'8,25"N y 84°14'10,96"O, puesto 3: Mirador para Visitantes borde sur del cráter principal 10°11'26,13"N y 84°13'57,69"O y puesto 4: Casa guardaparques 10°10'4,02"N y 84°13'57,35"O. Los puestos se detallan a continuación en la Figura 2.

Figura 2 . Puestos de medición de SO_2 y H_2S en el Parque Nacional Volcán Poás

Además, se utilizaron los datos de la estación Expogas del OVSICORI-UNA para medir el dióxido de azufre, utilizando datos de mayo del 2019 hasta diciembre del 2019. La estación se encuentra ubicada en el Mirador para Visitantes en el borde oeste del cráter activo (200 m al oeste del cráter principal) con el fin de comparar las mediciones de ambos equipos.

3.1.2. Recolección de datos

La recolección de los valores de concentración de SO_2 y H_2S se hizo por medio de 4 dispositivos MultiRae lite de Honeywell (New Jersey, Estados Unidos) pertenecientes al PNVP que utilizan sensores específicos calibrados para cada gas de interés (Figura 3).

Figura 3 Sistema de muestreo de gases MultiRae lite [65]

Los equipos toman muestras cada minuto las 24 horas del día en cada puesto de medición. Los datos se recolectaron a partir de setiembre del 2018 para el dióxido de azufre, finalizando en diciembre del 2019, y para el sulfuro de hidrógeno se recogieron a partir de febrero del 2019 hasta finales de diciembre del 2019 (debido a la adquisición tardía del sensor de H_2S). A los equipos se les realizó la descarga de datos a través de interfase USB, la limpieza de los datos y la comprobación del funcionamiento, según el manual del fabricante y las calibraciones de los equipos utilizando el programa computacional del MultiRae lite.

Igualmente, se recolectaron los datos de concentración de SO_2 de la estación ExpoGAS marca Campbell, sistema de detección de gases que mide en tiempo real, tomando lecturas cada 3 segundos y reporta promedios de 5 minutos. Los datos son transferidos telemétricamente hasta el OVSICORI-UNA en Heredia. Los datos recogidos son entre el 17 de mayo del 2019 hasta 31 diciembre del 2019 en un periodo de tiempo de las 7:30 am hasta las 2:30 pm. La ubicación de la estación se encuentra en el puesto 3, midiendo solamente dióxido de azufre. El funcionamiento de toma de muestra es ejecutado por una bomba que transporta el gas hacia los detectores del

ExpoGAS y luego se envían los datos telemétricamente hasta el OVSICORI-UNA en Heredia. El SO_2 y el H_2S se miden por medio de detectores electroquímicos en los equipos MultiRae. igualmente, con la estación ExpoGas.

3.1.3. Interpretación de datos y análisis estadístico

Los datos de los sistemas de detección de gases MultiRAE se recolectaron al conectar los dispositivos a una computadora a la cual posee instalado el programa de descarga instalado de la empresa Honeywell. Una vez ya descargados los valores, se realizó procesamiento de los valores según las horas de muestreo por cada uno de los equipos. Se analizaron los datos, utilizando las concentraciones en el aire del dióxido de azufre y del sulfuro de hidrógeno encontrados en los 4 puntos de muestreos, con el fin de determinar los momentos en que se superaron los valores límites ambientales, el tiempo en que se superó y con qué frecuencia ocurrió cada situación. Además, se realizó una revisión de tiempos de exposición del personal de PNVP, tomando en cuenta la jornada laboral y el periodo en que se encuentran los funcionarios y visitantes dentro del PNVP. Asimismo, se utilizó los datos meteorológicos de la zona de estudio de la estación de monitoreo del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) tales como viento, precipitación, temperatura, humedad relativa, lluvia, entre otros, con el fin de determinar si se lleva a cabo una dilución de las concentraciones en el momento por la fuerza y dirección del viento o si los gases pueden interactuar con el agua disminuir su concentración.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo, donde se incluye promedio, frecuencia, media, valor máximo. También, se efectuó el estudio de las de inferencia estadística entre los días de muestreo. Además, se utilizó un programa estadístico R para determinar la distribución de probabilidad de concentraciones de gases en los diferentes puntos. Asimismo, se utilizó para comparar la relación entre las concentraciones en el puesto 3, tomando en cuenta el equipo MultiRae y la estación ExpoGAS, con el fin de determinar la variabilidad entre las mediciones de los diferentes equipos en un mismo punto de muestreo. Esto se realiza haciendo una comparación de la distribución de probabilidad de concentración con los dos equipos. Con el propósito de ver la variabilidad de un equipo estacionario a un equipo móvil y observar los cambios de las concentraciones de uso de los equipos MultiRae.

3.1.4. Análisis de tiempo de exposición y determinación de los valores límites ambientales VLA experimentales

Se utilizaron los datos de las concentraciones de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno experimentales para determinar el tiempo de exposición de los empleados durante la jornada laboral realizando una comparación de los TWA y STEL experimentales obtenidos de los equipos MultiRae con los valores limites ambientales teóricos, con la finalidad de conocer si en algún momento se da un posible riesgo de la salud por la exposición a estos gases. Los valores límites ambientales experimentales se determinaron mediante los criterios de la organización de la OSHA, utilizando los valores criterio (STEL, TWA y valor "ceiling") para el dióxido de azufre y para el sulfuro de hidrógeno. El cálculo de los valores experimentales se realiza mediante un valor promedio de los datos en el tiempo determinado según el valor limite ambiental.

3.2. Metodología de riesgo químico para el dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno

La definición del riesgo químico de trabajadores producto de la exposición laboral al dióxido de azufre y al sulfuro de hidrógeno en el Parque Nacional Volcán Poás, tiene el propósito del mejoramiento continuo de las condiciones de trabajo para los trabajadores de la zona, brindar opciones de mejora para el resguardo de la salud y conocer sobre la exposición de los turistas en las zonas de visitación.

Se elaboró una metodología para el determinar el riesgo químico para los compuestos de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno que incluya al menos las siguientes variables:

- Estado de salud de trabajadores
- Tiempo de exposición
- Equipos de seguridad
- Capacitación y formación de trabajadores
- Los TWA experimentales obtenidos y STEL

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

Se validó la metodología mediante un grupo focal compuesto por al menos tres expertos en temas relacionados con contaminación atmosférica, exposición laboral, 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.

Se definió a partir de la metodología seguida, el nivel de riesgo químico de los compuestos de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno. Una vez establecido el nivel riesgo químico en los puntos de muestreo, se desarrolló un informe con los principales resultados obtenidos. La información recopilada se socializó mediante sesiones de trabajo con la gerencia y los funcionarios del PNVP. Se generó una propuesta de trabajo que incluye procedimientos para la prevención y corrección a la exposición a riesgos químicos significantes y el cumplimiento de normativa nacional en términos de protección al trabajador, así como la mejora de las condiciones actuales.

Propuesta de metodología para la evaluación de riesgo químico asociado con la exposición laboral debido a los gases volcánicos de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno en cuatro puestos de análisis del PNVP

El valor de riesgo químico para cada sustancia química se determina a partir de las siguientes variables.

Variable I: Peligro de la sustancia química (PSQ)

La clasificación de la clase del peligro de la sustancia química se basa en la metodología del Instituto de Nacional de Investigación y Seguridad (INRS). [62] Los criterios incluidos en el Cuadro 6, para evaluar la variable PSQ son:

- Frases R o frases de riesgo utilizadas para los peligros de una sustancia química antiguamente utilizado por la UE [63–65]
- Frases H son las frases de riesgo químico por el sistema globalmente armonizado para cada sustancia química [63–65]
- STEL es el valor límite ambiental máximo de exposición durante 15 min por día [72]
- Materiales y proceso: Es la clase de peligro debido a la sustancia química emitido en el proceso [62]

De acuerdo con el Cuadro 4 un número mayor de la variable, indica un mayor peligro de la sustancia química evaluada.

Cuadro 4. Determinación del valor de la clase del peligro de las sustancias químicas

Peligro de la Sustancia Química (PSQ)				
Valor de la variable	**Criterios de clasificación de la variable**			
	Frases R	**Frases H**	**STEL mg/m^3 (1)**	**Materiales y procesos**
1	Tiene frases R, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	Tiene frases H, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	> 100	
2	R37 R36/37, R37/38, R36/37/38 R67	H335 H336	> 10 ≤ 100	Hierro / Cereal y derivados / Grafito Material de construcción / Talco Cemento / Composites Madera de combustión tratada Soldadura Metales-Plásticos Material vegetal-animal
3	R20 R20/21, R20/22, R20/21/22 R33 R48/20, R48/20/21, R48/20/22, R48/20/21/22 R62, R63, R64, R65 R68/20, R68/20/21, R68/20/22, R68/20/21/22	H304 H332 H361, H361d, H361f, H361fd H362 H371 H373 EUH071	> 1 ≤ 10	Soldadura inoxidable Fibras cerámicas-vegetales Pinturas de plomo Muelas Arenas Aceites de corte y refrigerantes
4	R15/2 9 R23 R23/24, R23/25, R23/24/25 R29, R31 R39/23, R39/23/24, R39/23/25, R39/23/24/25 R40, R42 R42/43 R48/23, R48/23/24, R48/23/25, R48/23/24/25 R60, R61, R68	H331 H334 H341 H351 H360, H360F, H360FD, H360D, H360Df, H360Fd H370 H372 EUH029 EUH031	> 0,1 ≤ 1	Maderas blandas y derivados Plomo metálico Fundición y afinaje de plomo
5	R26, R26/27, R26/28, R26/27/28 R32, R39 R39/26 R39/26/27, R39/26/28, R39/26/27/28 R45, R46, R49	H330 H340 H350 H350i EUH032 EUH070	≤ 0,1	Amianto y materiales que lo contienen Betunes y breas Gasolina (carburante) Vulcanización Maderas duras y derivados

Variable II: Toxicidad de la Sustancia Química (TSQ)

La evaluación de la variable de la Toxicidad de la Sustancia Química (TSQ) se basa principalmente en los criterios de niveles de toxicidad química incluidos en el Sistema Globalmente Armonizado (SGA). [73] El principal criterio utilizado en la variable TSQ es la concentración letal media (CL_{50}) de la sustancia química. La concentración letal media se define como la concentración de la sustancia química en el aire que mata al 50 % de los animales de ensayo durante el período de observación. [74, 75] De acuerdo con el Cuadro 5, un mayor valor numérico de la variable, indica un mayor nivel de toxicidad de la sustancia química evaluada.

Cuadro 5. Determinación del valor de la toxicidad de una sustancia química

Toxicidad de la Sustancia Química (TSQ)	
Valor de la variable	**Criterios de clasificación de la variable (ppm)**
1	Mayor a 20000
2	$2500 < CL50 \leq 20000$
3	$500 < CL50 \leq 2500$
4	$100 < CL50 \leq 500$
5	$0 < CL50 \leq 100$

Variable III: Frecuencia de Exposición a la Sustancia Química (FESQ)

La Frecuencia de Exposición a la Sustancia Química (FESQ) se determina en función de la cantidad de días en que un trabajador se expone a determinada sustancia química. De acuerdo con el Cuadro 6, un mayor valor numérico de la variable, indica una mayor frecuencia de exposición de la sustancia química evaluada. [66] La clasificación de la variable y su valor se detalla en el Cuadro 8.

Cuadro 6. Determinación del valor de la frecuencia de exposición

Frecuencia de Exposición a la Sustancia Química (FESQ)	
Valor de la variable	**Criterios de clasificación de la variable**
1	De duración menor a 15 min/día
2	De duración inferior a h/día, pero mayor o igual a 15 min/día
3	De duración comprendía entre 1 y 4 h/día
4	De duración comprendida entre 4 h/día y 8 h/día
5	De duración mayor a 8 h/día

Variable IV: STEL Experimental de la Sustancia Química (SESQ)

Los valores límites ambientales o TLV de una sustancia química es la concentración máxima de exposición permitida para un trabajador en un día laboral sin experimentar efectos adversos para la salud. Los valores límites umbrales son el TWA (Time-Weighted Average o promedio ponderado en el tiempo), el Ceiling y el STEL (Short-Term Exposure Limit o límite de exposición a corto plazo). El STEL es el nivel de exposición media máxima de una sustancia química en un periodo de 15 min que no debe sobrepasar durante la jornada laboral. [66,67]

La variable STEL Experimental de la Sustancia Química (SESQ) se determina a partir de una relación porcentual entre el valor teórico STEL y el valor experimental de STEL de cada sustancia química evaluada. De acuerdo con el Cuadro 7, un mayor numérico de la variable, indica un mayor riesgo de SESQ.

Cuadro 7. Determinación del valor del STEL Experimental de la Sustancia Química

Variable IV: STEL Experimental de la Sustancia Química (SESQ)	
Valor de la variable	**Criterios de clasificación de la variable**
1	Valor del STEL experimental menor a 20 % del valor teórico de STEL
2	Valor del STEL experimental entre 20 % y 50 % del valor teórico de STEL
3	Valor del STEL experimental entre 50 % a 80 % del valor teórico de STEL
4	Valor del STEL experimental entre 80 % a 100 % del valor teórico de STEL
5	Valor del STEL experimental mayor a 100 % del valor teórico de STEL

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

El valor límite umbral TWA es el nivel de exposición máxima permisible en un periodo de tiempo de 8 horas laborales. La variable TWA Experimental de una Sustancia Química (TESQ) se determina a partir de una relación porcentual entre el valor teórico TWA y el valor experimental

de TWA de cada sustancia química evaluada. [66,67] De acuerdo con el Cuadro 8, un mayor valor numérico de la variable, indica un mayor valor de TESQ.

Cuadro 8. Determinación del valor del TWA experimental de la sustancia química.

Variable V: TWA Experimental de una Sustancia Química (TESQ)	
Valor de la variable	**Criterios de clasificación de la variable**
1	Valor del TWA experimental menor a 20 % del valor teórico de TWA
2	Valor del TWA experimental entre 20 % y 50 % del valor teórico de TWA
3	Valor del TWA experimental entre 50 % a 80 % del valor teórico de TWA
4	Valor del TWA experimental entre 80 % a 100 % del valor teórico de TWA
5	Valor del TWA experimental mayor a 100 % del valor teórico de TWA

Variable VI: Uso de Equipo de Protección Personal (EPP)

La variable de equipo de protección personal EPP se evalúa en función de la disposición y el uso de equipo de protección personal por parte del personal expuesto a la sustancia química. El EPP considerado para definir la clasificación y el valor de la variable corresponde a: casco, ropa protectora, mascarilla con protector de partículas y sustancias ácidas (Figura 4). De acuerdo con el Cuadro 9 un mayor valor numérico de la variable, indica un menor uso del equipo de protección personal, por lo tanto, un mayor riesgo de exposición.

Figura 4. Equipo de protección personal tomado de la página de 3M [68]

Cuadro 9. Determinación del valor de uso de equipo de protección personal

Variable VI: Uso de Equipo de Protección Personal (EPP)	
Valor de la variable	**Criterios de clasificación de la variable**
1	Siempre utiliza EPP completo
2	Usa regularmente el EPP completo
3	Usa ocasional el EPP completo
4	Usa ocasional el EPP incompleto
5	Nunca utiliza EPP

Variable VII: Efecto potencial sobre la salud de la sustancia química (EFSQ)

La variable efecto potencial sobre la salud de la sustancia química (EFSQ) evalúa los potenciales efectos sobre la salud de las personas expuestas a determinada sustancia química. La variable considera los efectos que se pueden generar a corto plazo y largo plazo. Entre los efectos a corto plazo están que la sustancia química provoque irritación, sea nocivo o tóxico para el trabajador. Por su parte, los efectos a largo plazo considerados en la variable EFSQ se refieren a sustancias con potenciales efectos: carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos [66,69]. De acuerdo con el Cuadro 10, un mayor valor numérico de la variable, indica un efecto potencial mayor de la sustancia química evaluada sobre la persona.

Cuadro 10. Determinación del valor de los efectos potenciales de la sustancia química.

Variable VII: Efecto potencial sobre la salud de la sustancia química (EFSQ)				
Valor de la variable	**Criterios de clasificación de la variable**			
1	No se conocen efectos adversos hacia la salud			ACGIH A5-Carcinogénicos
2	Efectos reversibles para la piel, los ojos y las membranas mucosas			ACGIH A4-Carcinogénicos
3	Corrosivo (pH 3 a 5, 9 a 11)	Sensibilizante respiratorio	Nocivo	ACGIH A3-Carcinogénicos
4	Muy corrosivo (pH 0 a 2, 11,5 a 14)	Tóxico	Probablemente cancerígeno, mutágeno o	ACGIH A2-Carcinogénicos

			teratógenos en humanos	
5	Muy tóxico	Comprobado cancerígeno, mutágeno o teratógenos en humanos		ACGIH A1-Carcinogénicos

Variable VIII: Capacitación en Gestión de Productos Químicos (CGPQ)

La variable Capacitación en Gestión de Productos Químicos (CGPQ) evalúa los procesos de capacitación, formación y actualización profesional que reciben o han recibido los funcionarios expuestos a las sustancias químicas. Como parte de la variable CGPQ, se consideran aspectos de formación en temas de: peligro y riesgo químico, efectos de sustancias químicas sobre salud y medio ambiente, salud ocupacional, límites de exposición laboral, primeros auxilios, entre otros. La clasificación y el valor de la variable se detalla en el Cuadro 11. De acuerdo con el Cuadro 13, un mayor valor numérico de la variable, indica personal menos capacitado.

Cuadro 11. Determinación del valor de la capacitación sobre conocimiento de toxicidad y efectos de las sustancias químicas.

Variable VIII: Procesos de Capacitación en Gestión de Productos Químicos (CGPQ)	
Valor de la variable	**Criterios de clasificación de la variable**
1	Se capacita al menos una vez mensual
2	Se capacita al menos una vez trimestral
3	Se capacita al menos una vez semestral
4	Se capacita al menos una vez anual
5	Nunca

Nivel de Riesgo de exposición a la Sustancia Química (NRSQ)

El nivel de riesgo debido a la exposición a sustancias química se determina mediante la siguiente formula: [71,72,77,78,79] [67,68,70,71]

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

Donde:

SESQ: STEL: Experimental de la sustancia química

TESQ: TWA Experimental de la sustancia química

PSE: Peligro de la sustancia química

TSQ: Toxicidad de la sustancia química

EFSQ: Efecto potencial sobre la salud de la sustancia química EPP: Equipo de protección personal
FESQ: Frecuencia de exposición a la sustancia química
CGPQ: Capacitación en gestión de productos químicos

El rango de valores para cada nivel de riesgo de la exposición a sustancias químicas se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Determinación de tipo de riesgo a la exposición a la sustancia química

Rango de valor del nivel de riesgo	Nivel de riesgo
1 a 150	Bajo
151 a 300	Medio
301 >	Alto

4. Capítulo IV: Resultados y discusión

4.1. Concentración de los gases en los puestos de muestreo

En el Cuadro 13 se observa un resumen de los datos generales para cada punto de las concentraciones de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno. No se recolectó la misma cantidad de datos para cada punto debido a un mal funcionamiento de los equipos, el olvido por parte de los guardaparques al llevarlos a la zona de estudio o simplemente estaban en mantenimiento o en calibración. Para el puesto 1, el porcentaje de datos no recolectados fue de 58,4 %, para el puesto 2 fue de 12,0 %, para el puesto 3 el porcentaje fue de 39,9 % y para el puesto 4 fue de 26,0 %. En el Cuadro 5 se observa que el mayor porcentaje de datos positivos (mayor a 0,5 ppm) para SO_2 es de 1,7 % con respecto al total de datos analizados en los cuatro puestos de monitoreo, en el cual se presentó en el puesto 3. El dato de mayor concentración para el dióxido de azufre para todo el periodo de muestreo en cada uno de los puntos fue de 16,0 ppm, que se determinó en el puesto 2. El mayor porcentaje de datos positivos se dio en el puesto 3, siendo un 0,29 % con respecto al total de datos analizados. Con respecto al sulfuro de hidrógeno, el dato más alto de concentración fue de 45 ppm y se dio en el puesto 4. El Cuadro 13 muestra que el promedio de la concentración de dióxido de azufre y de sulfuro de hidrógeno fue de 0,0 ppm.

La presencia de valores mayores al límite de detección hace que sea relevante el seguimiento del aumento de la concentración de los gases. Por tal motivo, se debe realizar las mediciones continuas

de gases en cada uno de los puntos de muestreo. A continuación, se hace un resumen de las concentraciones de cada puesto.

Cuadro 13. Resumen de los datos en los cuatro puntos de estudio de las concentraciones los gases SO_2 y H_2S en el volcán Poás.

	Concentración dióxido de azufre (ppm)				Concentración sulfuro de hidrógeno (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
Porcentaje de min mayor a 0,5 ppm	0,5	0,4	1,7	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0
Porcentaje de min mayor a 1 ppm	0,2	0,2	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Porcentaje de min mayor a 5 ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Puesto 1 Caseta de Entrada al PNVP

El puesto 1 se ubica en la caseta de cobro en la entrada del parque nacional, a 1,82 km en dirección sur del cráter del volcán Poás, siendo el puesto de monitoreo más lejano del cráter, dentro del Parque Nacional Volcán Poás, no obstante, es uno de los puestos donde siempre se encuentra personal durante la jornada laboral. En la Figura 5 se observan los resultados positivos de dióxido de azufre (mayores a 0,0 ppm), siendo la concentración máxima encontrada de 4,5 ppm, el cual se presentó en octubre del 2018. En este puesto las concentraciones más altas se obtuvieron en octubre

y diciembre del 2018 y febrero del 2019, siendo los otros meses con menores concentraciones de SO_2.

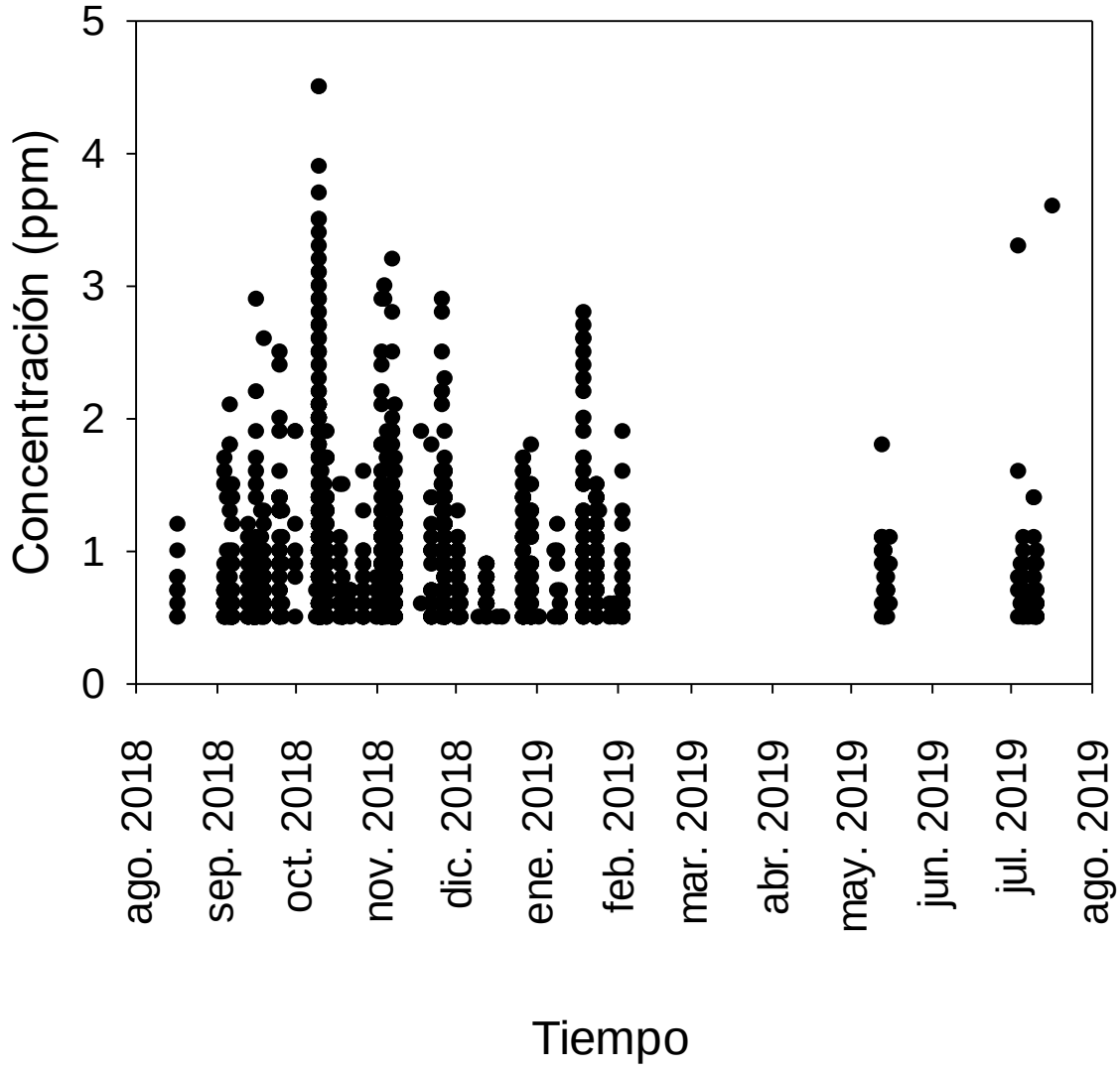

Figura 5. Gráfico. Resultados del dióxido de azufre del puesto 1 ubicado en la caseta de cobro de la entrada del Parque Nacional Volcán Poás.

En el puesto 1, los datos de concentración de SO_2 tomados por el equipo MultiRae muestran una tendencia a mantenerse por debajo del límite de detección (0,1 ppm) en la mayoría de los días de muestreo. En este puesto se realizó un monitoreo del 14 de agosto del 2018 hasta el 31 de diciembre del 2019, sin embargo, durante el periodo de febrero a mayo del 2019 y agosto a diciembre del 2019, no se registraron datos debido al mal funcionamiento del equipo, siendo solamente analizados un 41,57 % de datos en el tiempo estipulado en el proyecto. En la Figura 4 se observa un aumento en la concentración del dióxido de azufre hasta llegar a octubre del 2018, lo que concuerda con un periodo de aumento en la actividad del volcán, en donde el OVSICORI reportó

erupciones, desgasificación intensa y constante y deformación del edificio volcánico, además, se reportó el valor más alto de SO_2 el 10 octubre, obteniendo un valor de 4,5 ppm [63], donde a partir de este mes se baja la magnitud de los valores. los meses de mayo y julio del 2019, estos meses hubo concentraciones menores a los 2,0 ppm, exceptuando los dos concentraciones mayores de 3 ppm en julio del 2019. Con respecto a los resultados de las concentraciones de H_2S de la Figura 6, se observa que los datos más altos se presentaron en octubre del 2018 y la concentración máxima fue de 1,4 ppm de H_2S que coincide con la actividad volcánica mencionada anteriormente.

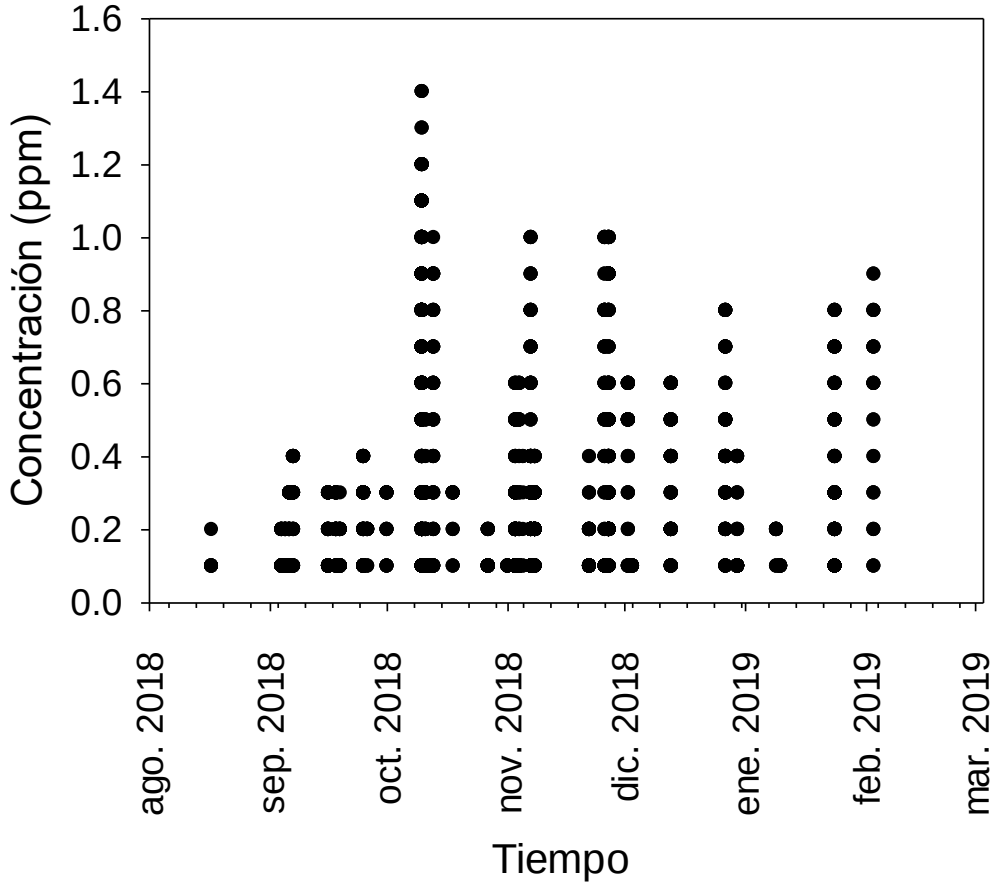

Figura 6. Gráfico. Resultados del sulfuro de hidrógeno del puesto 1 ubicado en la caseta de cobro de la entrada del Parque Nacional Volcán Poás.

Puesto 2 Centro para Visitantes

El puesto 2 que se encuentra en el Centro para Visitantes se ubica a 1,36 km dirección sur del cráter del volcán Poás, y según la Figura 6, se observa el registro de las mayores concentraciones durante octubre del 2018 y febrero, octubre del 2019, y en febrero del 2019. Estos valores máximos

concuerdan con periodos de actividad pico en el Poás, según el Ovsicori se dieron erupciones erupciones freatomagmáticas y estrombolianas.[63]

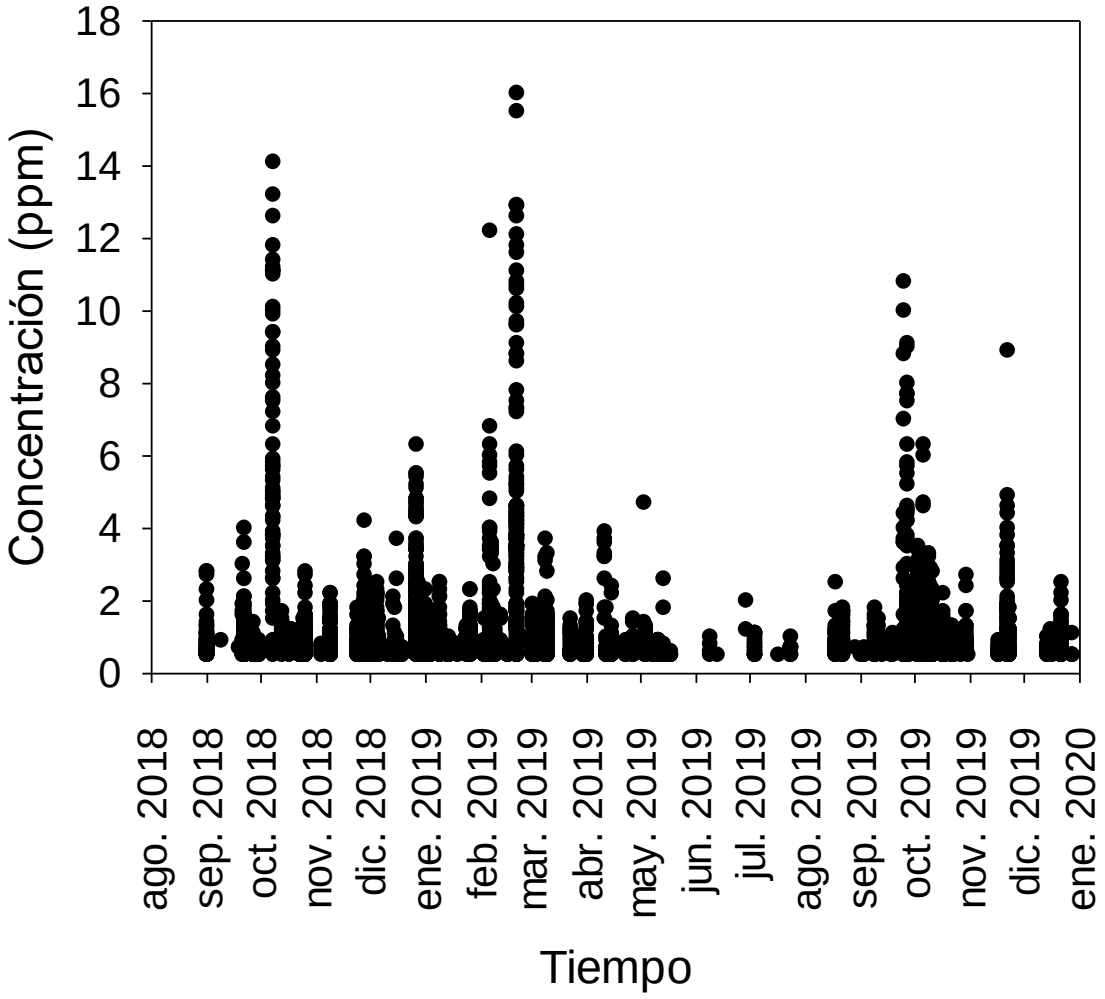

Figura 7. Gráfico. Resultados del dióxido de azufre en el *puesto 2* ubicado en el Centro para Visitantes del Parque Nacional Volcán Poás.

El valor de mayor concentración para este puesto de análisis fue de 16,0 ppm de SO_2 el cual se registró en la fecha del 21 de febrero del 2019, además en ese mismo día se obtuvo un periodo de 137 datos positivos registrados, siendo unos de los días donde hubo una mayor cantidad de datos durante un periodo corto. El lapso ocurrió entre las 7:55 am y las 10:11 am. En la Figura 8 se observa una modelación de la dispersión del SO_2, utilizando el programa AERMOD, para ese día en específico. Este programa computacional toma en cuenta las variables meteorológicas y de terreno para el día en específico de estudio. En la figura 8 se observa que en los sectores de Centro de Turistas y el Mirador para visitantes son los puntos más cercanos a la zona de alta concentración de dióxido de azufre según el modelo, y las condiciones climatológicas los vientos provenientes del norte, que pasan por el cráter del volcán y por la topografía de la zona los vientos se pasan por

un valle cratérico. En la Figura 8 es una imagen del Satélite OMI de la NASA, donde se hace un mapeo diario de la concentración de la columna de SO_2 sobre diferentes partes alrededor del planeta. La imagen muestra una acumulación de gas sobre el Valle Central de Costa Rica, donde se llega a una cantidad de 19 toneladas de SO_2 para ese día de estudio, con lo cual, se confirma que hubo una alta concentración de gases azufrados cerca del volcán Poás, con dirección hacia el sureste, como lo muestra lo calculado con el programa AERMOD.

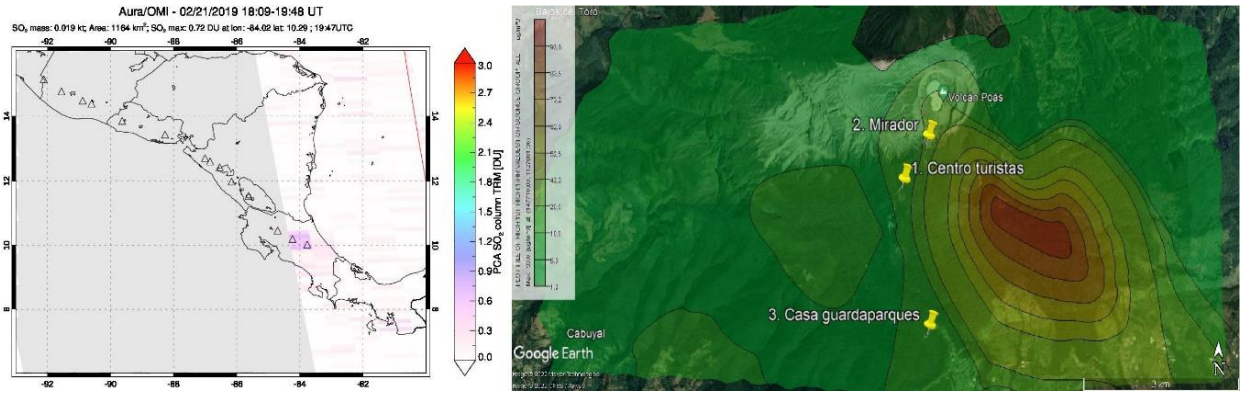

Figura 8. Foto satelital y modelación de dispersión de gases AERMOD del día 21 de febrero del 2019. [72,73]

En cuanto a las condiciones meteorológicas para el 21 de febrero del 2019, no se reportó precipitación, la temperatura estaba entre los 10,4 y 15,2°C, la humedad relativa entre 33 % y 53 %. Estas condiciones favorecen una presencia de los gases volcánicos en el ambiente, ya que, al no haber precipitación y una menor humedad ambiente, los gases no se van a disolver en las gotas de nube o gotas de lluvia. El viento se encontró por debajo de los 5,7 m/s, con una dirección predominante desde el noreste, el norte y el noroeste. Como se observa en la Figura 9, los vientos provenientes de la zona norte y del caribe. Lo que concuerda con la modelación realizada, ya que las mayores concentraciones no están cercanas al cráter del volcán y se encuentran dispersas hacia la zona de visitación del Parque.

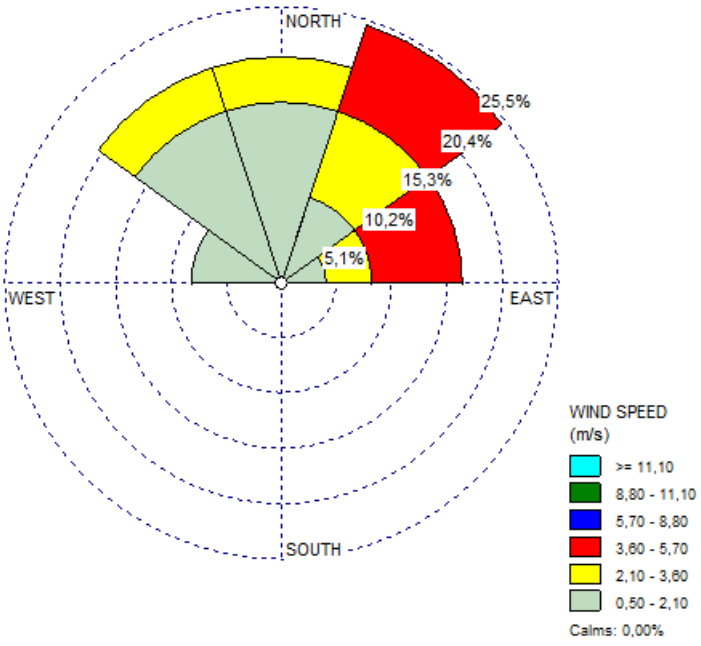

Figura 9. Rosa de los vientos para el Volcán Póas el 21 de febrero del 2019

Por otro lado, en la Figura 10 se observa una modelación que se realizó para el 25 de setiembre del 2019, en donde se encontró una concentración máxima de 16 ppm de dióxido de azufre, en este día se realizó la modelación durante un periodo de dos horas de 7:30 a.m. a 9:30 a.m. En dicho día se presentó una mayor cantidad de datos mayores al límite de detección por parte de los medidores MultiRae en el parque.

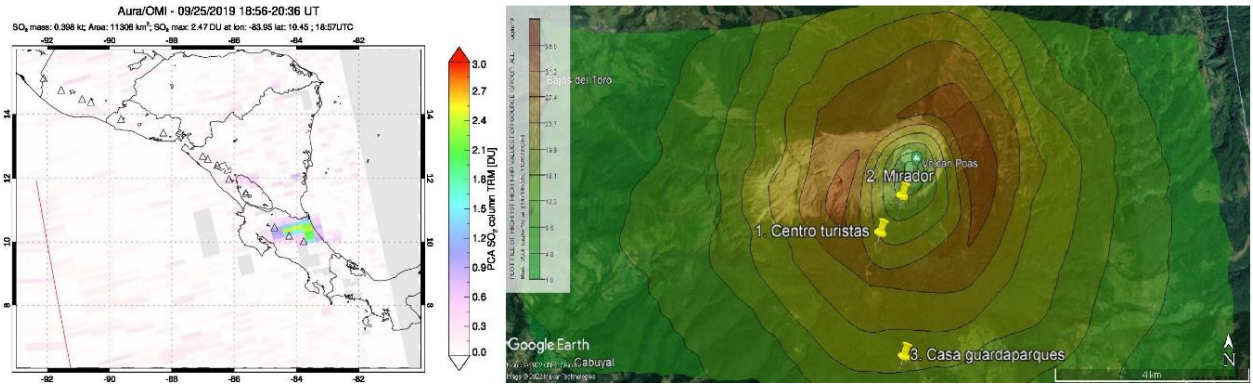

Figura 10. Foto satelital y modelación de dispersión de gases AERMOD del día 25 de setiembre del 2019. [72,73]

Las mayores concentraciones de SO_2 se encontraron al norte y al noreste del cráter, pero con una zona de gases atrapados en el cráter, donde se incluye la zona este del punto de emisión, donde está el Centro de Turistas. Lo cual se puede reflejar en la Figura 11, donde hay vientos que son mayoritariamente provenientes del sur y suroeste, pero, con una velocidad menor a 2,10 m/s,

incluso, menores a 0,5 m/s los cuales se tratan de vientos calmos, los cuales generan zonas de acumulación de gases por las montañas cercanas por las que las masas de aire no pueden ascender para dispersarse.

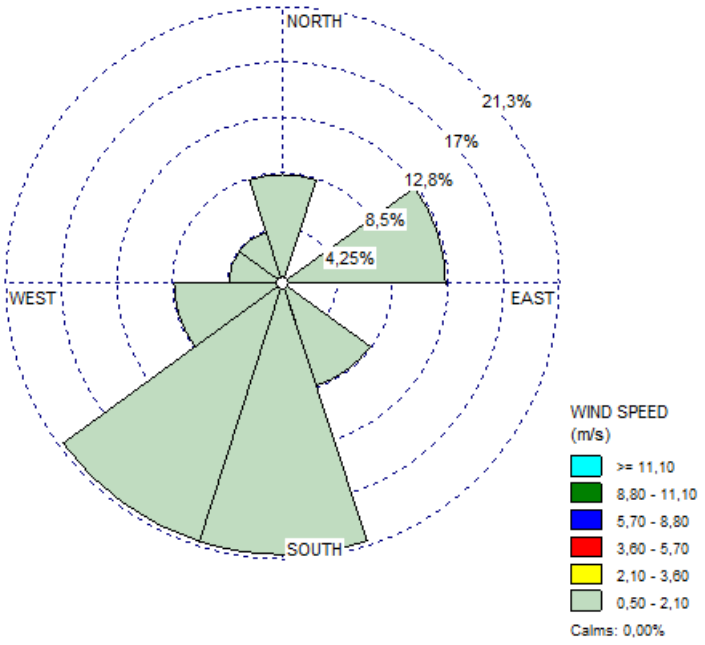

Figura 11. Rosa de los vientos para el Volcán Póas el 25 de setiembre del 2019

El rango de concentración dado en ese día de alta concentración de SO_2, y que se cerró el parque para la visitación, fue entre 0,5 ppm hasta 16,0 ppm, teniendo un promedio de concentración de 4,38 ppm durante ese periodo de 196 minutos de actividad. En este lapso, al estar expuestos a diferentes concentraciones de SO_2, se puede llegar a verse afectada la salud de los guardaparques. Según la OSHA, se considera que una concentración de esta magnitud puede afectar a nivel de salud, generando irritaciones en los ojos además en el sistema respiratorio más que todo en la nariz y la garganta. Igualmente, exposiciones prolongadas pueden causar mayores daños en el sistema respiratorio. [47,63]

Las concentraciones de sulfuro de hidrógeno en el puesto 2 estuvieron por debajo del límite de detección de 0,1 ppm del equipo MultiRae, por lo cual no sobrepasaron los valores de exposición laboral.

Puesto 3 Mirador para Visitantes PNVP

El puesto 3 se ubica en el Mirador para Visitantes del volcán, siendo el lugar de análisis más cercano a la fuente de emisión de los gases volcánicos, a una distancia aproximada de 0,72 km, por ende, es el lugar donde se tendría una mayor probabilidad de exposición de los gases SO_2 y H_2S. Esto se refleja en la cantidad de datos positivos determinados, en la Figura 12 se presenta que las mayores concentraciones del dióxido de azufre fueron en diciembre del 2018 y octubre a noviembre del 2019. La concentración más alta encontrada fue de 12,1 ppm de dióxido de azufre. En el Mirador para visitantes se observa que los datos de mayor concentración se encuentran en diciembre del 2018, sin embargo, a partir de octubre del 2019 se dio un incremento en las concentraciones hasta finales de diciembre del 2019. Según el registro de actividad volcánica del Ovsicori el cual se determina mediante estudios de emanaciones de gases, geodesia, y sismicidad, durante el periodo de setiembre hasta noviembre del 2019, se observó una actividad de erupción estable, la cual consta de emisiones pasivas, enjambre sísmico de baja frecuencia, deformación moderada de la superficie terrestre y desgasificación moderada. En diciembre se obtuvo una disminución de la actividad del volcán. En este punto hay 122 datos mayores a 5,0 ppm, y 8 datos mayores a 10,0 ppm los cuales ocurrieron en diciembre del 2018, octubre y noviembre del 2019. Esta situación concuerda con la actividad volcánica de erupción durante este periodo, debido a una desgasificación moderada por parte del volcán, resultando en una mayor emanación de gases. La dirección del viento en octubre, noviembre y diciembre es predominante hacia el suroeste, por lo que se daría una afectación a la zona de estudio, al encontrarse al sur del cráter activo. Concentraciones de SO_2 mayores a los 10,0 ppm puede causar irritación en la garganta, ojos y nariz como efectos agudos para la salud. [47,63]

Para el sulfuro de hidrógeno solamente se determinó un dato positivo, siendo de 9 ppm registrado el 15 de febrero del 2019.Cabe destacar que no hay datos durante el periodo de mayo a octubre del 2019 debido a que el equipo no estaba en funcionamiento. [44,51,52]

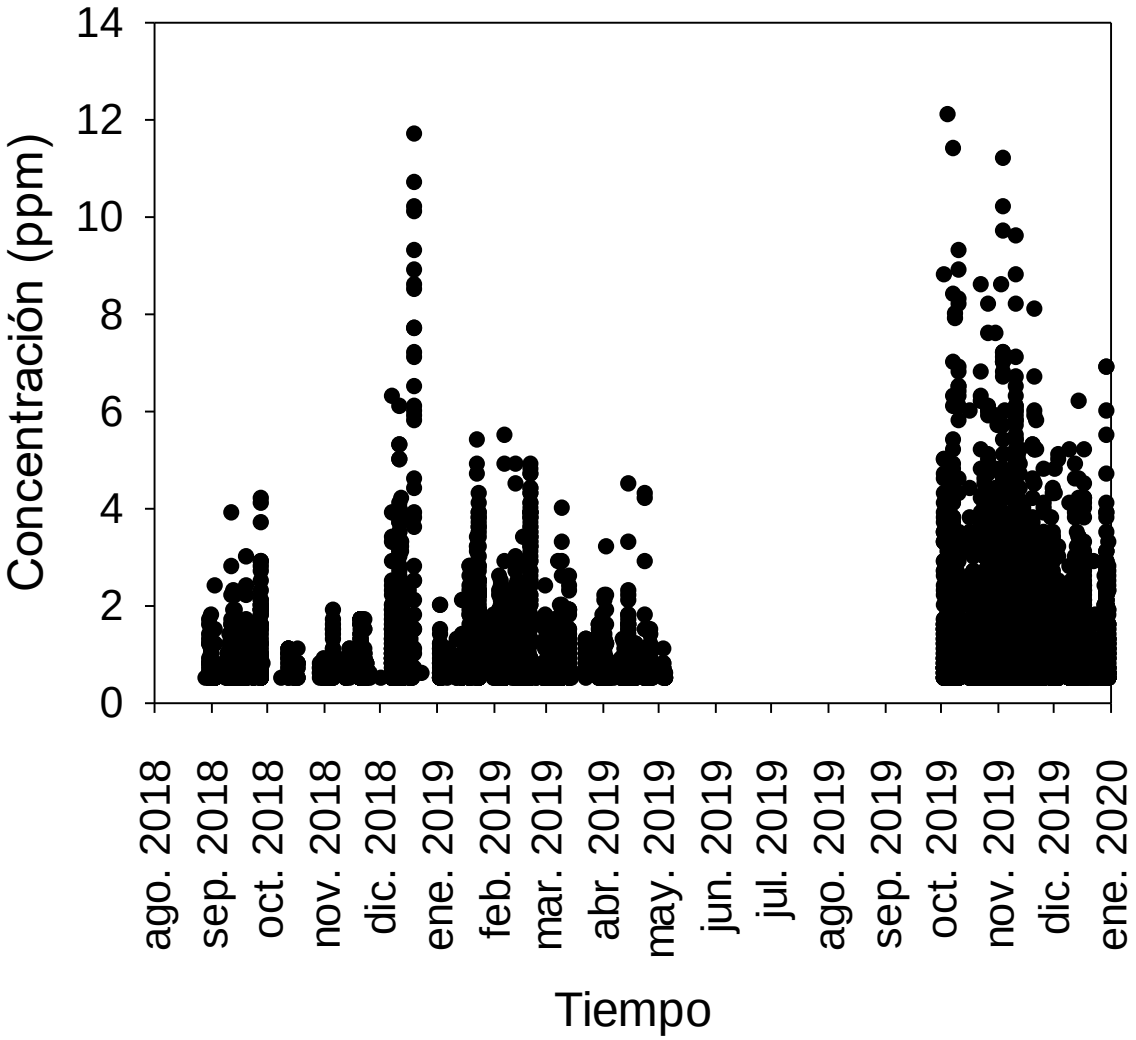

Figura 12. Gráfico de resultados del dióxido de azufre en el puesto 3 ubicado en el Mirador para Visitantes del Parque Nacional Volcán Poás

Además del monitoreo con los equipos MultiRae en los diferentes puntos del volcán, se tuvo la disponibilidad de realizar un segundo monitoreo mediante un equipo del OVSICORI-UNA en la zona del Mirador para Visitantes del volcán (más adelante se incluirá una comparación de los datos entre los dos equipos). La estación ExpoGAS recolectó datos desde mayo del 2019 hasta el 31 de diciembre del 2019 en un lapso de 7:12 am hasta las 2:29 pm para cada día, debido al programa de uso estipulado por el Ovsicori. En el Cuadro 4 se observa la mayor concentración registrada que fue de 17,1 ppm de SO_2 en febrero del 2019. Además, en mayo, agosto, setiembre y octubre del 2019 se observaron la mayoría de los datos mayores a 5,00 ppm. Esto reafirma la importancia de un monitoreo de las concentraciones de los gases volcánicos como el dióxido de azufre y el sulfuro de hidrógeno, debido a las concentraciones a las cuales pueden estar expuestos los guardaparques y los visitantes. El uso de la estación ExpoGas permite tener una perspectiva

diferente de las concentraciones que se pueden dar en el volcán, es una herramienta que hace mediciones constantes durante un periodo determinado por lo cual nos da un panorama en un tiempo determinado. En el caso de los equipos MultiRae hay una mayor variabilidad de factores personales que pueden afectar las mediciones. Una comparación de los datos nos permite ver que tan variables pueden ser las mediciones entre los dos equipos.

Cuadro 14. Resumen de los datos de las concentraciones de los gases SO_2 medidos por el ExpoGAS en el tercer puesto de medición en el volcán Poás.

Parámetro	**Valor**
Cantidad total de los datos	118243
Cantidad de datos mayor a 2 ppm	2958
Cantidad de datos mayor a 5 ppm	334
Cantidad de datos mayor a 10 ppm	43

Puesto 4 Casa Guardaparques PNVP

El puesto 4 se encuentra en la casa de los guardaparques, geográficamente es el punto de muestreo más lejano, a 3,2 km de la principal fuente de emisión de gases, en dirección sur del cráter del volcán Poás y fuera del territorio del parque nacional. El equipo MultiRae se coloca dentro de la casa de la propiedad de los guardaparques, analizando la concentración de dióxido de azufre y de sulfuro de hidrógeno continuamente, para la vigilancia de la concentración de gases y la posible exposición por parte de las personas durante el día y por la noche. El monitoreo en este puesto se realizó desde el 14 de agosto del 2018 hasta finales de diciembre del 2019, teniendo una menor cantidad de datos medidos debido a que el equipo no estaba funcionando o se encontraba en mantenimiento. La Figura 13 muestra los datos mayores a los 0,0 ppm de SO_2, los resultados mayores a 0,0 ppm en total son de 1408 o 0,26 % de SO_2. La mayor concentración fue de 7,4 ppm de SO_2 se obtuvo el 29 de setiembre del 2019, además para ese mismo día se obtuvo 17 valores mayores a los 5,0 ppm, en este día se reportó una actividad volcánica de erupción estable resultando en una emanación de gases moderada. [67] Efectos meteorológicos como la disminución de la altura de la capa de mezcla en las horas sin radiación solar hace que se comprima la atmósfera y se genera un aumento de la concentración de los gases.

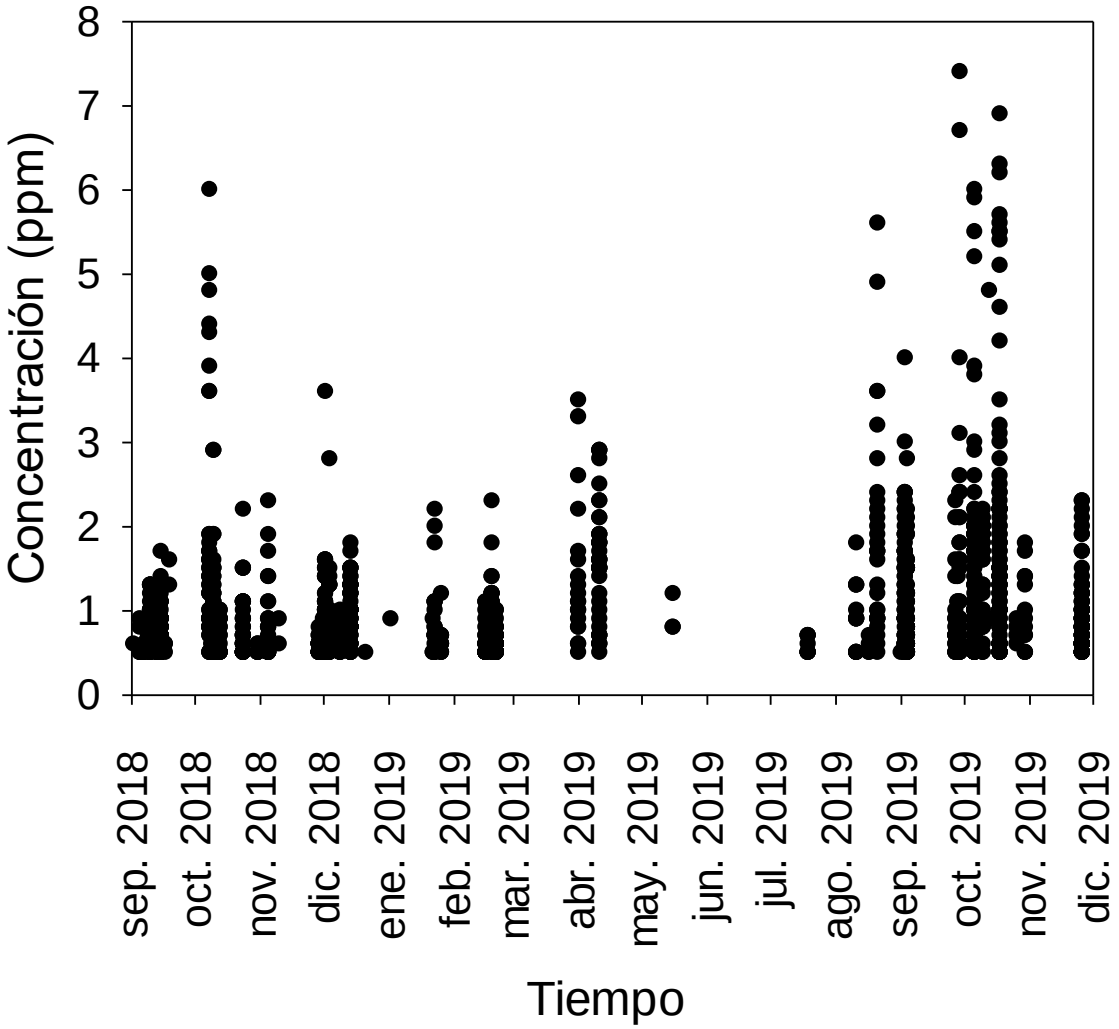

Figura 13. Gráfico.

Resultados del dióxido de azufre en el puesto 4 ubicado en la casa de los guardaparques Parque Nacional Volcán Poás

Para el sulfuro de hidrógeno solo se reportaron dos datos positivos, siendo uno de 9 ppm el 5 de julio del 2019, el cual solo podría presentar molestia por el olor a huevo podrido y un dato de 45 ppm el 22 de marzo del 2019 que este tendría una afectación en la salud, dando una irritación ocular, los dos datos se presentaron en un periodo de actividad volcánica de erupción estable. Las condiciones meteorológicas durante esos dos datos positivos fueron de una humedad el 5 de julio de 99 % y el 22 de marzo de 97 %, además no hubo precipitación durante esas dos fechas y se obtuvo una temperatura de 11,7 ºC el 5 de julio y 10,7 ºC el 22 de marzo. Cabe destacar que no hubo precipitación para las dos fechas, pero la humedad tuvo valores altos por lo cual favorece que los gases como el dióxido de azufre se disuelvan en agua, con lo que coincide que no haya este gas durante ese momento que se dio las concentraciones de sulfuro de hidrógeno. [63]

4.2. Exposición laboral TWA y STEL

Para la exposición laboral se tomó en cuenta el TWA y el STEL para cada lugar de medición. En el puesto 1 (Figura 14), ubicado en la caseta de cobro del parque, para el dióxido de azufre, 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 8 horas laborales. Para el caso del STEL, los datos no exceden el límite máximo (5,0 ppm), obteniendo un dato mayor de 0,6 ppm el 15 de mayo del 2019. [4] Por lo anterior, no hay evidencia de exposición laboral tóxica para el SO_2 en esta zona de trabajo, para un periodo de 15 minutos, para el periodo de mediciones realizado. [1,3,5] Para el caso del sulfuro de hidrógeno no se encuentra ningún dato mayor al límite de detección (0,1 ppm) para el TWA y el STEL en el puesto 1.

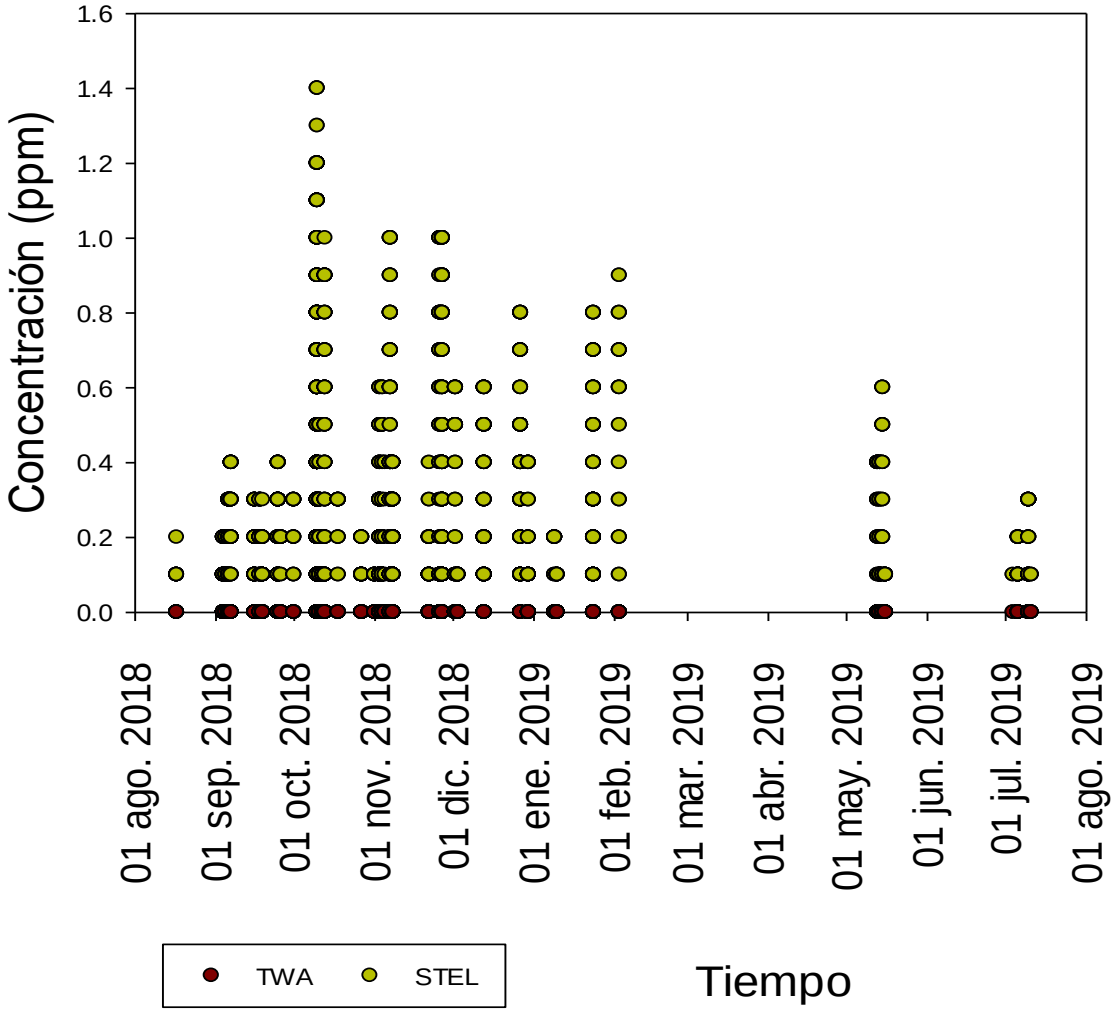

Figura 14. Gráfico. Resultados de TWA y STEL para el dióxido de azufre del puesto 1 ubicado en la caseta de cobro de la entrada del Parque Nacional Volcán Poás.

Para el puesto 2 (Centro de visitantes), en la Figura 15 se observa para el dióxido de azufre, que el TWA 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 ya implican que hay posible peligro por exposición laboral debido a las altas concentraciones de dióxido de azufre en corto plazo, más no a largo plazo en esta zona de trabajo. [1,4]

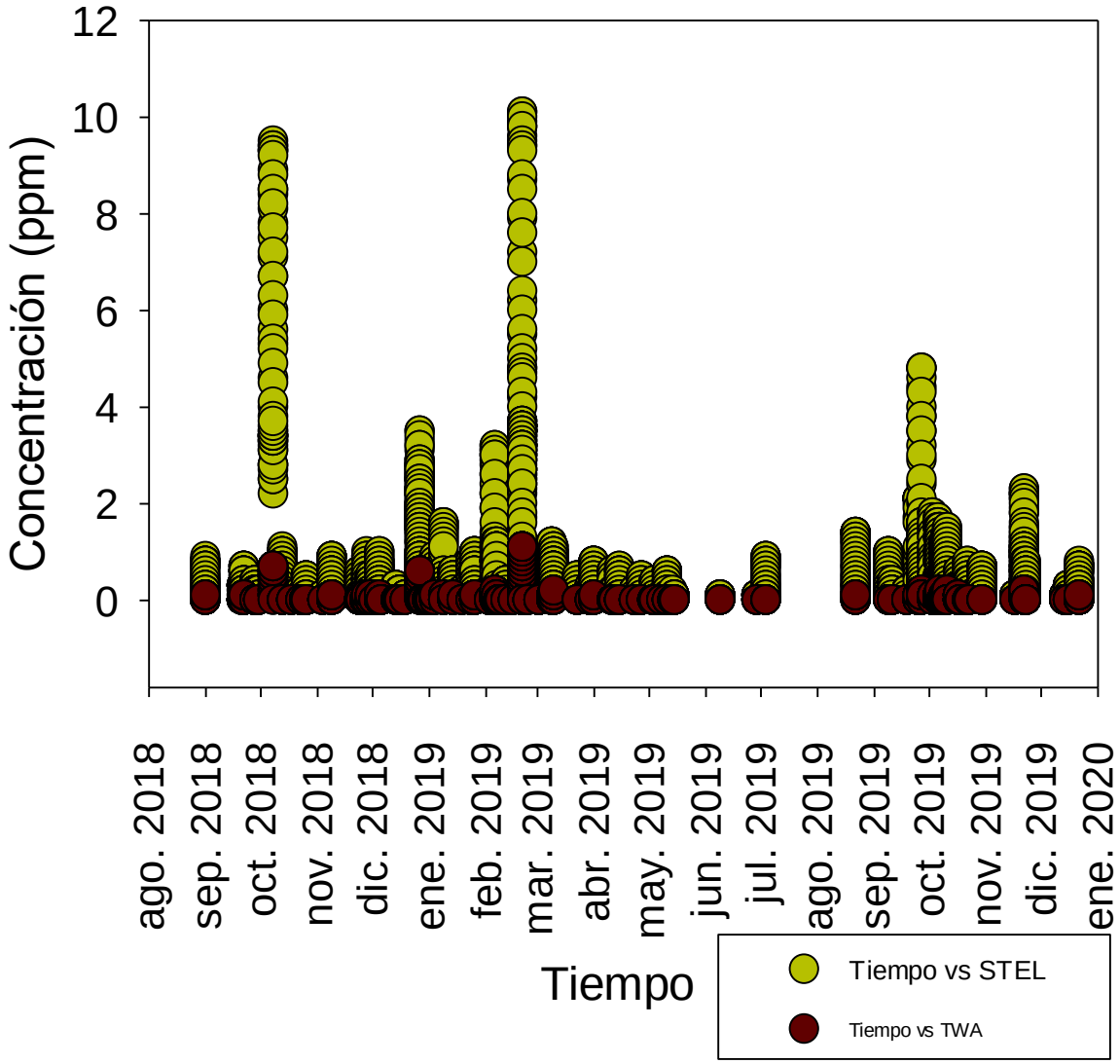

Figura 15. Gráfico. Resultados de TWA y STEL para el dióxido de azufre del puesto 2 ubicado en el centro de visitantes del Parque Nacional Volcán Poás.

Las concentraciones de sulfuro de hidrógeno en el puesto 2 no sobrepasaron los valores de exposición laboral para el TWA o el STEL.

En el puesto 3 (Mirador para visitantes) se determinó que las exposiciones al dióxido de azufre son menores a 2,0 ppm durante un periodo de 8 horas, como se observa en la Figura 16. Para el STEL, el límite de exposición durante 15 min tiene que ser menor a los 5,0 ppm. En el monitoreo

en el puesto 3 se determinó que 13 datos sobrepasaron los límites permitidos, eventos que se presentaron en diciembre del 2018 y octubre del 2019. Además, se obtuvo un STEL máximo de 7,4 ppm el 20 de diciembre del 2018. [4] Estos valores confirman que hay un posible riesgo químico debido a que se sobrepasa los valores permitidos del STEL y se pueden dar afectaciones a la salud si no se tienen las condiciones de seguridad para el personal y los visitantes, además, de las mediciones constantes del SO_2, para alertar a los visitantes y tomar las medidas de seguridad y precaución ante las altas concentraciones de dióxido de azufre.

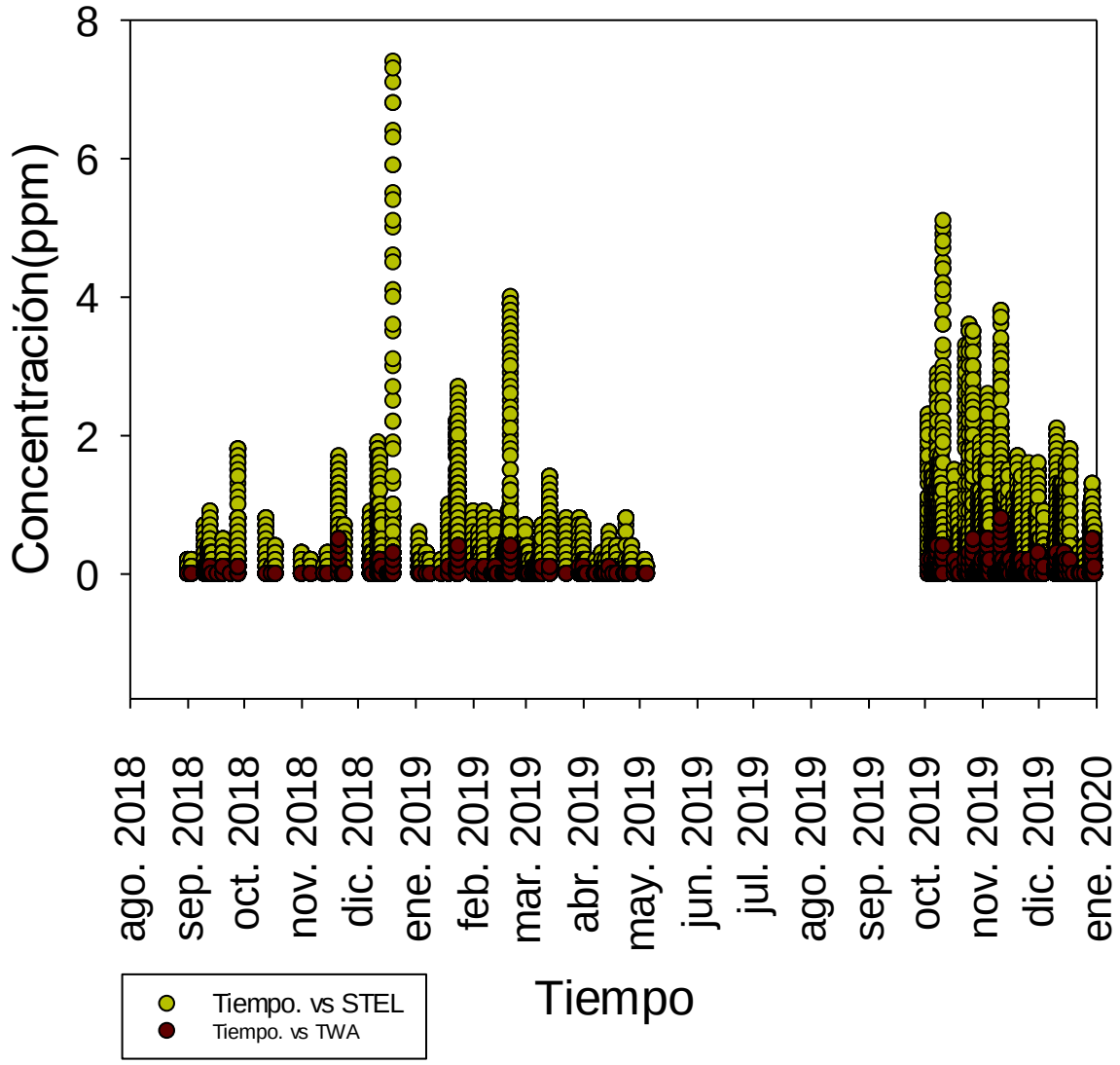

Figura 16. Gráfico. Resultados de TWA y STEL para el dióxido de azufre en el puesto 3 ubicado en el mirador para visitantes del Parque Nacional Volcán Poás.

la Figura 17 muestra los datos a nivel de exposición laboral en el puesto 4 de medición, tomando en cuenta como referencia los valores de TWA y STEL para el dióxido de azufre. Se observa que los datos de TWA calculados no son mayores al límite superior recomendado de 2,0 ppm. En el

caso de la exposición máxima permitida durante 15 minutos, los valores no superan los 5,0 ppm, aunque en octubre del 2018 se obtuvo un valor de STEL de 3,2 ppm de SO_2. Para el sulfuro de hidrógeno no se reportaron concentraciones de TWA o STEL mayores a los valores límites ambientales. [4,5]

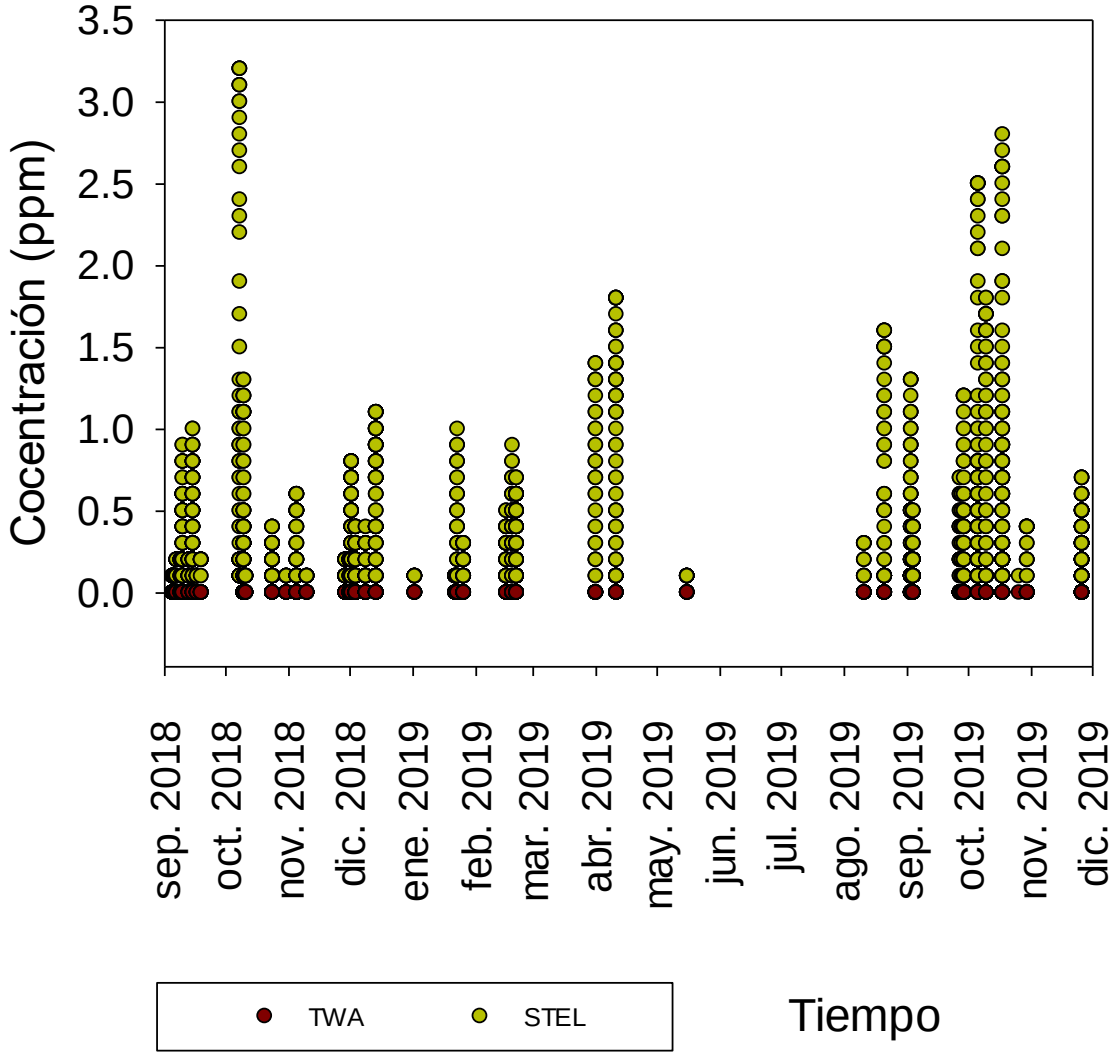

Figura 17. Gráfico. Resultados de TWA y STEL para el dióxido de azufre en el puesto 4 ubicado en la casa de los guardaparques Parque Nacional Volcán Poás

Observando los cuatro puntos se puede observar que, por el tipo de emanaciones de los compuestos de interés, los valores limites ambientales de mayor interés en este caso es el STEL debido a la naturaleza de las emisiones del volcán. En el caso del TWA al ser tan variable las concentraciones por el tipo de actividad que tenga el volcán, terreno de la zona y por las condiciones climatológicas los valores limites ambientales teóricos no se van a superar. Igualmente se corrobora con lo anterior visto con las modelaciones para el puesto 2 donde las concentraciones son afectadas por los factores anteriores.

4.3. Análisis estadísticos

En la Figura 18 se observa un gráfico de distribución de probabilidad de concentración de dióxido de azufre en los cuatro puestos de mayor afluencia de personal en el parque. En el grafico refleja la probabilidad de que ocurra un nivel concentración, donde la mayor probabilidad de concentración se encuentra cercana a 0,0 ppm. En los cuatro puestos de medición de dióxido de azufre se ve el mismo comportamiento, en donde se tiene un primer máximo a una concentración de 0,0 ppm y un segundo máximo de probabilidad con un valor cercano a 0,5 ppm. Igualmente, refleja que a mayor concentración menor probabilidad de tener un valor alto de dióxido de azufre.

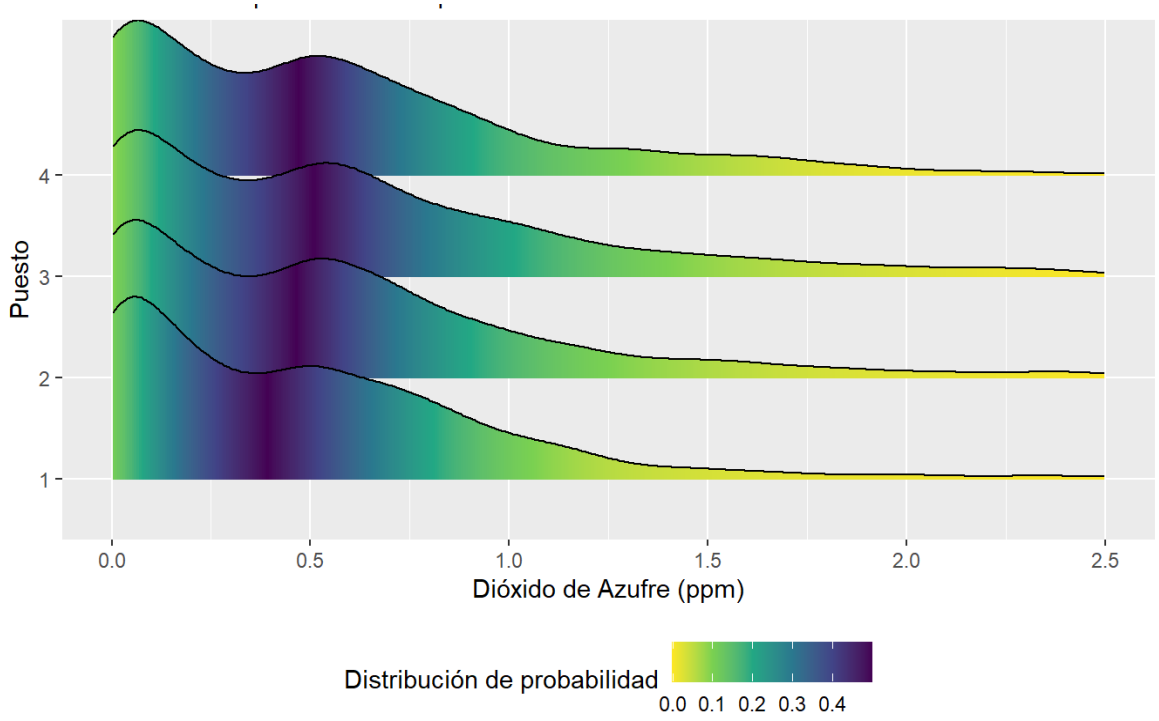

Figura 18. Distribución de probabilidad de concentración de dióxido de azufre.

La distribución concuerda con los valores obtenidos en los cuatros puntos de muestreo, aunque la cantidad y la concentración de emanación de gases volcánicos depende de la magnitud de la actividad volcánica, la radiación solar, la presencia de la laguna volcánica y de la dirección y la velocidad del viento, que condiciona la zona en la cual se van a encontrar los gases volcánicos. Sin embargo, aunque se vaya disminuyendo la posibilidad en la Figura 18, se pueden dar valores que sobrepasen las condiciones necesarias para afectar la salud de las personas que se encuentran en el parque volcánico. La baja probabilidad de altas concentraciones no implica que se debe bajar la guardia o las mediciones, la probabilidad menor al 1 % y un buen sistema de vigilancia y atención ante los potenciales eventos que se presenten, podría hacer que se salven vidas en un momento de condiciones de altas concentraciones de gases. Así mismo en el grafico se evidencia

que el comportamiento de las concentraciones no es significativamente distinto, ya que vemos un comportamiento similar en la probabilidad de concentración para los cuatro puntos de muestreo.

En la Figura 19 se muestra una grafico de distribución de probabilidad de concentración, donde se comparan la distribución de los datos de los equipos utilizados, con el propósito de observar el comportamiento de los datos recolectados y realizar una comparación entre los valores reportados por el Expogas del OVSICORI-UNA y los equipos MultiRae, durante el periodo del 1 de octubre al 31 de octubre del 2019, debido a que son los únicos meses donde se presentan lecturas al mismo tiempo por parte de ambos equipos en la zona de estudio del Mirador para visitantes. Al comparar los valores de ambos equipos, no existe una linealidad clara entre las mediciones, obteniéndose un coeficiente de correlación de un 5 % entre las concentraciones de SO_2. Se tiene que considerar que el equipo MultiRae no siempre se encuentra en la misma posición en el mirador para visitantes e inclusive en el mejor punto de monitoreo. Se trata de un equipo móvil, para que los guardaparques lo trasladen a los lugares en donde ellos se encuentren. Se observó en una serie de oportunidades que utilizaban el medidor dentro del automóvil de SINAC, alterando las mediciones, por lo cual se va afectado los valores durante ese periodo de medición en ese punto de muestreo durante el tiempo en que el equipo se encuentre en ese lugar. Además, también se han dado casos en donde la toma de muestra del equipo MultiRae se encuentra posicionado hacia la pared de los refugios. Al tomar en cuenta estos factores, se observa una diferencia entre la probabilidad de concentración de SO_2 en los dos puntos, donde el equipo MultiRae va a tener una mayor tendencia a las concentraciones bajas, lo cual concuerda con lo anteriormente mencionado. En cambio, la estación de Expogas es un equipo el cual va a realizar las mediciones en un mismo lugar y durante un mismo lapso, por lo cual va a tener datos diferentes de probabilidad al equipo MultiRae. Otro punto para tomar en cuenta es la diferencia de altura en la toma de muestra de ambos equipos, en donde el Expogas mide a aproximadamente 2 m de altura y el MultiRae hace la medición a aproximadamente 1 m de altura.

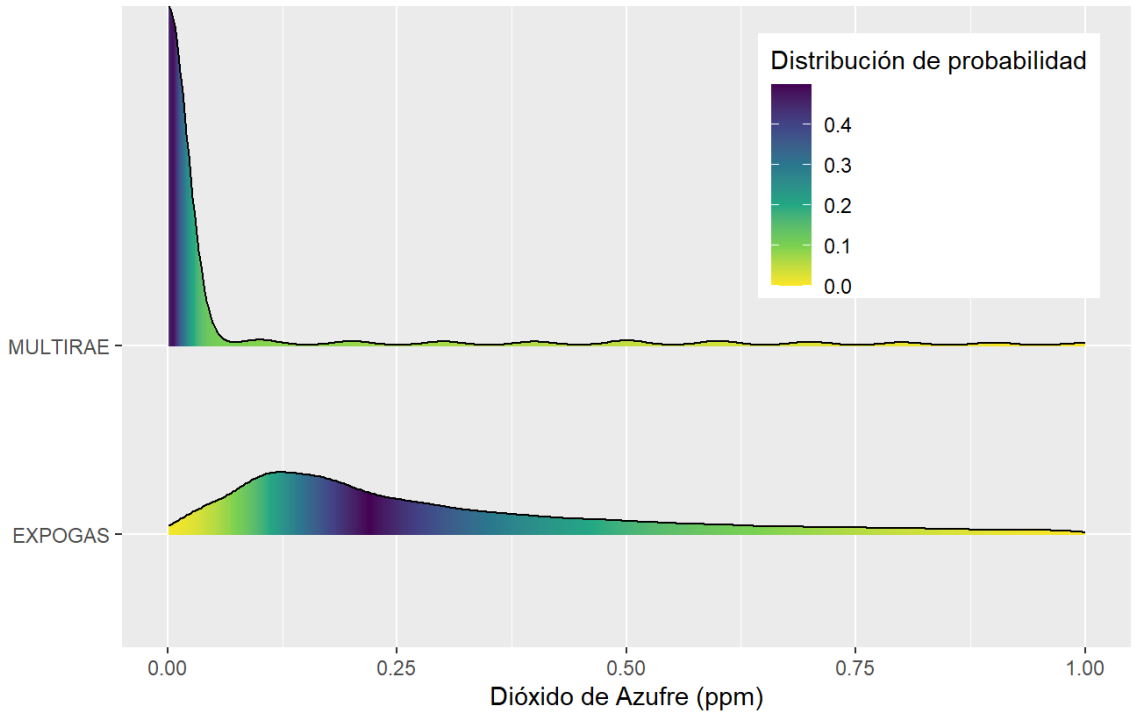

Figura 19. Distribución de probabilidad de dióxido de azufre, utilizando el MultiRae y el Expogas en el puesto 3 del volcán Póas.

La distribución de probabilidad entre los dos equipos permite evidenciar la importancia de tener un protocolo para el uso de los equipos MultiRae, al tener los dos equipos en un mismo punto de muestreo se espera que las distribuciones sean similares, sin embargo, por los factores anteriormente citados del uso en el momento de las mediciones del equipo MultiRae se da esta diferencia observada en la Figura 19.

4.4. Resultados del riesgo químico

El riesgo químico se determina mediante la ecuación 1, para el caso de las variables de peligrosidad, toxicidad y efectos de la salud de los compuestos, los valores son determinados según la sustancia química. Para el TWA experimental 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 Póas el cual se encuentra en anexos. [74,75]

Para el caso de la frecuencia, se tomó como referencia una jornada de 40 horas semanales, sin embargo, para el puesto de la caseta de guardaparques, el cálculo se tomó diferente debido a que los guardaparques pasan más tiempo en ese punto, inclusive duermen en la casa. En el Cuadro 15

se muestran los datos después de la recopilación de información para el dióxido de azufre y en el Cuadro 16 se observan los datos después de la recopilación de información el sulfuro de hidrógeno. Con la finalidad de aplicar la ecuación para determinar el riesgo químico en cada puesto de análisis. Con la intención de saber cuál es el lugar con mayor riesgo para la salud hacia los guardaparques y así, enfocar acciones para disminuir o eliminar dicho riesgo.

Cuadro 15. Determinación de riesgo químico para el dióxido de azufre en el volcán Poás

Puesto	Variable							
	PSQ	TSQ	FESQ	SESQ	TESQ	EPP	EFSQ	CGPQ
Caseta de cobro	3	3	4	1	1	4	2	5
Centro de visitantes	3	3	4	5	3	5	2	5
Mirador para visitantes	3	3	4	5	2	4	2	5
Caseta Guarda parques	3	3	5	2	5	4	2	5

Cuadro 16. Determinación de riesgo químico para el sulfuro de hidrógeno en el volcán Poás

Puesto	Variable							
	PSQ	TSQ	FESQ	SESQ	TESQ	EPP	EFSQ	CGPQ
Caseta de cobro	5	3	4	1	1	4	2	5
Centro de visitantes	5	3	4	1	1	5	2	5
Mirador para visitantes	5	3	4	1	1	4	2	5
Caseta Guarda parques	5	3	5	1	1	4	2	5

En el Cuadro 17 se observa la aplicación del riesgo químico según la metodología propuesta para el dióxido de azufre en los cuatro puestos. En los puestos de caseta de cobro, mirador para visitantes y caseta de guardaparques el nivel de riesgo es bajo, para el puesto de centro de visitantes

el riesgo es medio. Según el Cuadro 15, para las variables sobre la determinación del riesgo químico para el dióxido de azufre, los mayores puntajes se obtuvieron en la parte del valor experimental del STEL, equipo de protección personal y capacitaciones de personal, siendo estas dos últimas variables con la posibilidad de hacer medidas correctivas para disminuir el riesgo químico para el personal del parque nacional.

Cuadro 17. Resultados riesgo químico según metodología para el dióxido de azufre en el volcán Poás.

Puesto	**Resultado**	**Nivel de riesgo**
Caseta de cobro	38	Bajo
Centro de visitantes	164	Medio
Mirador para visitantes	120	Bajo
Caseta Guarda parques	134	Bajo

En el Cuadro 18 se observa los resultados del riesgo químico para el sulfuro de hidrógeno, alcanzando un riesgo químico para todos los puestos en la categoría de nivel bajo. La toxicidad de una sustancia, la peligrosidad o los efectos de la salud de un compuesto químico no se pueden modificar

Cuadro 18. Resultados riesgo químico según la metodología para el sulfuro de hidrógeno en el volcán Poás

Puesto	**Resultado**	**Nivel de riesgo**
Caseta de cobro	49	Bajo
Centro de visitantes	55	Bajo
Mirador para visitantes	49	Bajo
Caseta Guarda parques	55	Bajo

La evaluación del riesgo químico en el PNVP muestra como resultado para el dióxido de azufre, un riesgo bajo para todas las áreas exceptuando el puesto de centro de visitantes, siendo el resultado de un riesgo medio para este punto. El riesgo químico para el sulfuro de hidrógeno es bajo en todos los puntos de muestreo para esta sustancia. Además, que, al tratarse de un riesgo bajo en las localidades de estudio, no se descarta que se puedan presentar afectaciones de corto plazo para las personas que se encuentren en las zonas de estudio, ya que se han presentado periodos donde se

sobrepasa el STEL por varios minutos y se genera el cierre del parque. Además, que personas sensibles puedan tener repercusiones agudas o graves por la exposición continua a sustancias en el ambiente.

5. Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

El uso de equipos para analizar las concentraciones de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno son una herramienta que permite monitorear de manera continua las concentraciones de los compuestos a los que están expuestos los trabajadores del PNVP, estos datos de concentraciones proveen información para la toma de decisiones, analizar comportamientos en periodos de actividad volcánica de erupción, realizar estudios sobre la exposición por un periodo de tiempo ya sea diaria, semanal o mensual, con el objetivo de conocer si hay alguna relación con enfermedades a corto o largo plazo por la exposición a estos compuestos durante las horas laborales, con el propósito de tomar decisiones sobre la salud de los trabajadores. Asimismo, se puede complementar el uso de modelaciones para determinar un comportamiento del volcán durante el tiempo, con el fin de tener más información sobre los lugares donde se encuentran los gases de dióxido de azufre y sulfuro de hidrogeno dispersos en el área del Parque Nacional Volcán Poás.

Los valores límites experimentales se determinaron por medio de los equipos MultiRae, usando la información de generada en los diferentes puntos de análisis utilizados. El valor de TWA experimental no fue sobrepasado en ningún punto, se considera un valor ambiental máximo permitido en un periodo de 8 horas o en una semana de 40 horas. Al ser el volcán Poás un volcán activo, la desgasificación es descontinua o continua o magnitud indefinida, además las condiciones meteorológicas como el viento, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar y la temperatura influyen en la dispersión de los gases en los puntos de análisis. La emanación de gases depende del tipo de actividad volcánica o presencia de una laguna cratérica, al tener actividad volcánica se observa una mayor cantidad de gases volcánicos emanados por el volcán, sin embargo, la desgasificación es algo muy variable siendo difícil como para que el TWA sea sobrepasado en el parque.

En cuanto al STEL, se observaron datos mayores al límite permitido de 5 ppm. Al ser el STEL un valor máximo permitido en un periodo de 15 minutos, un factor importante en el periodo de medición fue la intensidad de desgasificación del volcán, la cual está relacionada con la actividad

volcánica. Al sobrepasar los valores máximos recomendados se observa un riesgo la salud de las personas expuestas a estas concentraciones. Para el STEL, por ser exposiciones de 15 minutos, 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. Sin embargo, por la naturaleza del lugar los empleados van a estar expuestos a los gases SO_2 y H_2S.

De los cuatro puntos de análisis, según el cuadro 17 y 18 todos se catalogan de riesgo bajo, sin embargo, el centro de visitantes tiene un riesgo medio para el dióxido de azufre, en la encuesta realizada a los empleados del PNVP se observó que algunas personas no utilizan ningún equipo de protección personal, además de que las capacitaciones al personal son pocas o nulas para diferentes personas.

Los principales componentes que pueden disminuir el riesgo químico son las capacitaciones y el uso de equipos de protección personal. Según el formulario elaborado para recopilar información, se observó 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. El riesgo químico se debe enfocar en dar capacitaciones a los empleados sobre salud y seguridad ocupacional, además de tomar medidas para que se cumplan el uso de equipo de protección personal en todas las zonas de trabajo o estancia.

. Se puede reducir los posibles efectos para la salud de los guardaparques, realizando capacitaciones sobre el uso del equipo protección personal, igualmente velar porque se utilice el equipo de protección personal adecuado, como casco, lentes de seguridad para gases, mascarilla para gases y vapores ácidos, ropa que cubra y proteja del sol. Asimismo, se puede dar rotaciones del personal en los diferentes puntos del volcán, ya que esto permite que al estar en diferentes zonas pueden estar menos expuestos.

Se recomienda, para tener información real de los datos de sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre, escribir y difundir un protocolo de uso de los equipos de medición, donde se tiene que incluir una ubicación especifica de análisis para cada puesto, manejo de los equipos, además realizar calibraciones y los mantenimientos, se tienen que coordinar cuando los equipos no estén en uso por lo anterior que no haya presencia de visitantes o cuando el parque tenga menos personal dentro de la zona donde el equipo va a estar en fuera de uso, con el objetivo de tener el menor tiempo posible a los guardaparques sin el conocimiento en tiempo real de las concentraciones de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno. La falta de un protocolo de uso se puede evidenciar por la diferencia de las concentraciones y distribución de probabilidad de concentración entre el uso del equipo MultiRae y la estación Expogas.

Se recomienda realizar las medidas correctivas dadas, para disminuir el riesgo químico en un eventual episodio de actividad de gases volcánicos alta, se puede tomar en cuenta las capacitaciones del personal, las cuales deben tener un enfoque en emergencias, seguridad y salud ocupacional, igualmente de los compuestos químicos a los que se encuentran expuestos y como evitar o disminuir el contacto o el peligro de estas sustancias. Esto con el fin de tener conocimientos de los peligros y del manejo de situaciones de atención de emergencias a los turistas y al personal del parque.

Por lo anterior, una constante vigilancia de la concentración de gases y aerosoles en los puntos de visitación, mantenimiento de los equipos de muestreo, aumentar la cantidad de sustancias que se puedan medir *in situ*, mejorar las condiciones laborales en cada punto, tener equipo de protección personal (lentes, chalecos, agua, mascarillas para gases azufrados y ácidos, entre otros), capacitación continua sobre las afectaciones, los riesgos y los primeros auxilios, entre otros.

6. Referencias bibliográficas

(1) Oppenheimer, C.; Scaillet, B.; Martin, R. S. Sulfur Degassing from Volcanoes: Source Conditions, Surveillance, Plume Chemistry and Earth System Impacts. *Rev Mineral Geochem* **2011**, *73*, 363–421. https://doi.org/10.2138/rmg.2011.73.13.

(2) Björnham, O.; Grahn, H.; von Schoenberg, P.; Liljedahl, B.; Waleij, A.; Brännström, N. The 2016 Al-Mishraq Sulphur Plant Fire: Source and Health Risk Area Estimation. *Atmos Environ* **2017**, *169*, 287–296. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.09.025.

(3) Joseph, E. P.; Beckles, D. M.; Cox, L.; Jackson, V. B.; Alexander, D. 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* **2015**, *304*, 38–48. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.07.036.

(4) Mizutani, Y.; Sgugiura, T. The Chemical Equilibrium in Solfataras of the Nasudake Volcano. *Bull Chem Soc Jpn* **1966**, *39* (October 1961), 2411.

(5) Hancock, J. T. Hydrogen Sulfide and Environmental Stresses. *Environ Exp Bot* **2019**, *161*, 50–56. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.08.034.

(6) Godoi, A. F. L.; Grasel, A. M.; Polezer, G.; Brown, A.; Potgieter-Vermaak, S.; Scremim, D. C.; Yamamoto, C. I.; Godoi, R. H. M. Human Exposure to Hydrogen Sulphide Concentrations near

Wastewater Treatment Plants. *Science of the Total Environment* **2018**, *610–611*, 583–590. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.209.

(7) Pope, K.; So, Y. T.; Crane, J.; Bates, M. N. Ambient Geothermal Hydrogen Sulfide Exposure and Peripheral Neuropathy. *Neurotoxicology* **2017**, *60*, 10–15. https://doi.org/10.1016/j.neuro.2017.02.006.

(8) Shivanthan, M. C.; Perera, H.; Jayasinghe, S.; Karunanayake, P.; Chang, T.; Ruwanpathirana, S.; Jayasinghe, N.; de Silva, Y.; Jayaweerabandara, D. Hydrogen Sulphide Inhalational Toxicity at a Petroleum Refinery in Sri Lanka: A Case Series of Seven Survivors Following an Industrial Accident and a Brief Review of Medical Literature. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* **2013**, *8* (1), 9. https://doi.org/10.1186/1745-6673-8-9.

(9) Horwell, C. J.; Baxter, P. J. The Respiratory Health Hazards of Volcanic Ash: A Review for Volcanic Risk Mitigation. *Bull Volcanol* **2006**, *69* (1), 1–24. https://doi.org/10.1007/s00445-006-0052-y.

(10) Maier, A.; Ovesen, J. L.; Allen, C. L.; York, R. G.; Gadagbui, B. K.; Kirman, C. R.; Poet, T.; Quiñones-Rivera, A. Safety Assessment for Ethanol-Based Topical Antiseptic Use by Health Care Workers: Evaluation of Developmental Toxicity Potential. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* **2015**, *73* (1), 248–264. https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.07.015.

(11) Jones, K. Case Studies of Hydrogen Sulphide Occupational Exposure Incidents in the UK. *Toxicol Lett* **2014**, *231* (3), 374–377. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.08.005.

(12) Reed, B. R.; Crane, J.; Garrett, N.; Woods, D. L.; Bates, M. N. Chronic Ambient Hydrogen Sulfide Exposure and Cognitive Function. *Neurotoxicol Teratol* **2014**, *42*, 68–76. https://doi.org/10.1016/j.ntt.2014.02.002.

(13) Bates, M. N.; Crane, J.; Balmes, J. R.; Garrett, N. Investigation of Hydrogen Sulfide Exposure and Lung Function, Asthma and Chronic Obstructive Pulmonary Disease in a Geothermal Area of New Zealand. *PLoS One* **2015**, *10* (3), 1–16. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122062.

(14) Chen, R.; Huang, W.; Wong, C. M.; Wang, Z.; Quoc Thach, T.; Chen, B.; Kan, H. Short-Term Exposure to Sulfur Dioxide and Daily Mortality in 17 Chinese Cities: The China Air Pollution and Health Effects Study (CAPES). *Environ Res* **2012**, *118*, 101–106. https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.07.003.

(15) Wei, Q.; Wu, J.; Zhang, Y.; Cheng, Q.; Bai, L.; Duan, J.; Gao, J.; Xu, Z.; Yi, W.; Pan, R.; Su, H. 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* **2019**, *658*, 116–121. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.481.

(16) 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.; Kan, H. Associations between Short-Term Exposure to Ambient Sulfur

Dioxide and Increased Cause-Specific Mortality in 272 Chinese Cities. *Environ Int* **2018**, *117* (April), 33–39. https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.019.

(17) Amster, E. D.; Haim, M.; Dubnov, J.; Broday, D. M. Contribution of Nitrogen Oxide and Sulfur Dioxide Exposure from Power Plant Emissions on Respiratory Symptom and Disease Prevalence. *Environmental Pollution* **2014**, *186* (x), 20–28. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.032.

(18) Buonanno, G.; Stabile, L.; Morawska, L. Personal Exposure to Ultrafine Particles: The Influence of Time-Activity Patterns. *Science of the Total Environment* **2014**, *468–469*, 903–907. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.016.

(19) Michaud, J. P.; Krupitsky, D.; Grove, J. S.; Anderson, B. S. Volcano Related Atmospheric Toxicants in Hilo and Hawaii Volcanoes National Park: Implications for Human Health. *Neurotoxicology* **2005**, *26* (4 SPEC. ISS.), 555–563. https://doi.org/10.1016/j.neuro.2004.12.004.

(20) Amaral, A. F. S.; Rodrigues, A. S. Chronic Exposure to Volcanic Environments and Chronic Bronchitis Incidence in the Azores, Portugal. *Environ Res* **2007**, *103* (3), 419–423. https://doi.org/10.1016/j.envres.2006.06.016.

(21) Heggie, T. W. Geotourism and Volcanoes: Health Hazards Facing Tourists at Volcanic and Geothermal Destinations. *Travel Med Infect Dis* **2009**, *7* (5), 257–261. https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2009.06.002.

(22) Lombardo, D.; Ciancio, N.; Campisi, R.; di Maria, A.; Bivona, L.; Poletti, V.; Mistretta, A.; Biggeri, A.; di Maria, G. A Retrospective Study on Acute Health Effects Due to Volcanic Ash Exposure during the Eruption of Mount Etna (Sicily) in 2002. *Multidiscip Respir Med* **2013**, *8* (8), 1. https://doi.org/10.1186/2049-6958-8-51.

(23) Hansell, A. L.; Horwell, C. J.; Oppenheimer, C. The Health Hazards of Volcanoes and Geothermal Areas. *Occup Environ Med* **2006**, *63* (2), 149–156. https://doi.org/10.1136/oem.2005.022459.

(24) Cullen, R. T.; Jones, a D.; Miller, B. G.; Tran, C. L.; Davis, J. M. G.; Donaldson, K.; Wilson, M.; Stone, V.; Morgan, A. Toxicity of Volcanic Ash from Montserrat. *Institute of Occupational Medicine* **2002**, No. April, 67.

(25) Ministerio de Trabajo y Seguridad Social; MInisterio de Salud Costa Rica. *Guía Sobre Ceniza Volcánica: Posibles Efectos a La Salud y Seguridad de Las Personas Trabajadoras, Medidas de Prevención y Protección*; San Jose, 2016.

(26) Alvarado, D.; Martínez, M. Gases y Aerosoles Volcánicos Emitidos Por El Volcán Turrialba Detectados En El Aire Atmosférico En Coronado San José Reporte: **2017**, No. 5 y 6 setiembre 2017, 1–3.

(27) Red Sismológica Nacional. *El Riesgo Derivado de La Amenaza Volcánica En Costa Rica*; 2014.

(28) Sibaja Brenes, J. P.; Bolaños Bolaños, K.; Mora Barrantes, J. C.; Umaña Castro, D.; Cambronero Luna, M.; Sandoval Soto, L.; Ortiz Apuy, E.; Martinez Cruz, M. 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. *Memorias del I CICEN* **2019**, 1–8. https://doi.org/10.15359/cicen.1.11.

(29) Red Sismologica Nacional. *Boletín Sobre El Estado Actual de Los Volcanes - 16 de Abril, 2019*; San Jose, 2019.

(30) 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-Stanczyk, I.; Teschke, K.; Westberg, H.; Widerkiewicz, K. Occupational Exposure to Chemical Agents in the Paper Industry. *Int Arch Occup Environ Health* **2004**, *77* (7), 451–460. https://doi.org/10.1007/s00420-004-0530-5.

(31) Lynch, H. N.; Prueitt, R. L.; Goodman, J. E. Critique of the ACGIH 2016 Derivation of Toluene Diisocyanate Threshold Limit Values. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* **2018**, *97* (June), 189–196. https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.06.017.

(32) Myers, B.; Brantley, S. R.; Stauffer, P.; Ii, W. H. *USGS Fact Sheet 144–00*; Virginia, 2000.

(33) SINAC; ACCVC. *Plan de Manejo Parque Nacional Volcán Poás*; San José, 2001.

(34) Gazel, E.; Carr, M. J.; Hoernle, K.; Feigenson, M. D.; Szymanski, D.; Hauff, F.; van den Bogaard, P. Galapagos-OIB Signature in Southern Central America: Mantle Refertilization by Arc-Hot Spot Interaction. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **2009**, *10* (2). https://doi.org/10.1029/2008GC002246.

(35) Iwasaki, I.; Ozawa, T.; Yoshida, M.; Katsura, T.; Iwasaki, B.; Kamada, M. Chemical Composition of Volcanic Gases in Japan. *Bulletin Volcanologique* **1962**, *24* (1), 23–48. https://doi.org/10.1007/BF02599327.

(36) Williams-Jones, G.; Rymer, H. *Hazards of Volcanic Gases*, Second Edi.; Elsevier Inc., 2015. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385938-9.00057-2.

(37) Gaillard, F.; Scaillet, B.; Arndt, N. T. Atmospheric Oxygenation Caused by a Change in Volcanic Degassing Pressure. *Nature* **2011**, *478* (7368), 229–232. https://doi.org/10.1038/nature10460.

(38) Werner, C.; Kelly, P. J.; Doukas, M.; Lopez, T.; Pfeffer, M.; McGimsey, R.; Neal, C. Degassing of CO 2 , SO 2 , and H 2 S Associated with the 2009 Eruption of Redoubt Volcano, Alaska. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **2013**, *259*, 270–284. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.04.012.

(39) Lee, S.; Kang, N.; Park, M.; Hwang, J. Y.; Yun, S. H.; Jeong, H. Y. A Review on Volcanic Gas Compositions Related to Volcanic Activities and Non-Volcanological Effects. *Geosciences Journal* **2018**, *22* (1), 183–197. https://doi.org/10.1007/s12303-017-0056-y.

(40) Loomis, T. P. Volcanic Landforms and Surface Features; a Photographic Atlas and Glossary. *Am J Sci* **2010**, *272* (8), 801–0. https://doi.org/10.2475/ajs.272.8.801.

(41) Giggenbach, W. F. Redox Processes Governing the Chemistry of Fumarolic Gas Discharges from White Island, New Zealand. *Applied Geochemistry* **1987**, *2* (2), 143–161. https://doi.org/10.1016/0883-2927(87)90030-8.

(42) Takano, B.; Watanuki, K. Monitoring of Volcanic Eruptions at Yugama Crater Lake by Aqueous Sulfur Oxyanions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **1990**, *40* (1), 71–87. https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90107-Q.

(43) Delmelle, P.; Bernard, A.; Kusakabe, M.; Fischer, T. P.; Takano, B. Geochemistry of the Magmatic-Hydrothermal System of Kawah Ijen Volcano, East Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **2000**, *97* (1–4), 31–53. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(99)00158-4.

(44) CDC NIOSH. *Niosh Pocket Guide To Chemical Hazards*. Safety And Health. https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0337.html (accessed 2019-04-17).

(45) Chou, S.; Ogden, J. M.; Phol, H. R.; Scinicariello, F.; Ingerman, L.; Barber, L.; Citra, M. *Toxicological Profile for Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide*; 2016.

(46) Malone Rubright, S. L.; Pearce, L. L.; Peterson, J. Environmental Toxicology of Hydrogen Sulfide. *Nitric Oxide* **2017**, *71*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.niox.2017.09.011.

(47) U.S Department of Health and Human Services. *Toxicological Profile for Sulfur Dioxide*; 2010. https://doi.org/10.1201/9781420061888_ch144.

(48) van Thriel, C.; Schäper, M.; Kleinbeck, S.; Kiesswetter, E.; Blaszkewicz, M.; Golka, K.; Nies, E.; Raulf-Heimsoth, M.; Brüning, T. Sensory and Pulmonary Effects of Acute Exposure to Sulfur Dioxide (SO2). *Toxicol Lett* **2010**, *196* (1), 42–50. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.03.013.

(49) Scolamacchia, T.; Cronin, S. J. Idiosyncrasies of Volcanic Sulfur Viscosity and the Triggering of Unheralded Volcanic Eruptions. *Front Earth Sci (Lausanne)* **2016**, *4* (March), 1–5. https://doi.org/10.3389/feart.2016.00024.

(50) Hansell, A.; Oppenheimer, C. Health Hazards from Volcanic Gases: A Systematic Literature Review. *Arch Environ Health* **2004**, *59* (12), 628–639. https://doi.org/10.1080/00039890409602947.

(51) New Jersey Department of Health. *Right to Know PRO*; New Jersey, 2001; Vol. 8. https://doi.org/10.1016/s1074-9098(01)00269-6.

(52) Services, N. J. D. of H. and S. *Hoja Informativa Sobre Sustancias Peligrosas: 2-Metiltetrahidrofurano*; New Jersey, 2006; Vol. 2013.

(53) Wang, R. Physiological Implications of Hydrogen Sulfide: A Whiff Exploration That Blossomed. *Physiol Rev* **2012**, *92* (2), 791–896. https://doi.org/10.1152/physrev.00017.2011.

(54) Heaney, C. D.; Wing, S.; Campbell, R. L.; Caldwell, D.; Hopkins, B.; Richardson, D.; Yeatts, K. Relation between Malodor, Ambient Hydrogen Sulfide, and Health in a Community Bordering a Landfill. *Environ Res* **2011**, *111* (6), 847–852. https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.05.021.

(55) Li, S.; Xu, Z.; Xia, J.; Qin, G.; Sang, N. Sulfur Dioxide Induces Apoptosis via Reactive Oxygen Species Generation in Rat Cardiomyocytes. *Environmental Science and Pollution Research* **2019**, *26* (9), 8758–8767. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04319-7.

(56) Ortiz, E. Evaluación de Los Efectos Causados Por La Exposición a Gases En Ambienstes Frecuentados Por Parte de Funcionarios de Los Parques Nacionales Volcán Poás y Volcán Turrialba., Universidad Nacional , Heredia, 2020.

(57) Bartual, J.; Guardino, X. *NTP 244 : Criterios de Valoración En Higiene Industrial;Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo*; España, 1987.

(58) Gobierno de Costa Rica. *Decreto N° 30221-S Reglamento Sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos*; La Gaceta: Costa Rica, 2002; p 10.

(59) Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica. No 39951-S Reglamento de Calidad Del Aire Para Contaminantes Criterio. Publicado En La Gaceta Diario Oficial No. 209 Alcance 239, Del 1 de Noviembre Del 2016. *La Gaceta Digital, Diario Oficial.* Costa Rica 2016.

(60) Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *Riesgos químicos*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. http://www.insht.es/portal/site/RiesgosQuimicos/ (accessed 2019-05-25).

(61) Aguilar, F.; Bernaola, F.; Galvez, M.; Rams, V.; Sanchez, P.; Sousa, M.; Tanarro, M.; Tejedor, C. *Riesgo Químico Sistemática Para La Evaluación Higiénica*; España, 2015; Vol. 144. https://doi.org/10.1037/a0039137.

(62) Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. NTP 937 Agentes Químicos: Evaluación Cualitativa y Simplificada Del Riesgo Por Inhalación (III). *Notas Técnicas de Prevención* **2012**, *3* (3), 286–294.

(63) Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. *Nivel de actividad volcánica*. http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/vulcanologia/nivel-de-actividad-volcanica (accessed 2021-11-30).

(64) Systems by Honeywell, R. *Monitor inalámbrico portátil multigás*. www.raesystems.es (accessed 2019-04-20).

(65) Parker, A. *Contaminación Del Aire Por La Industria*, Primera Ed.; Editorial Reverté, 1983.

(66) Husin, S. N. H.; Mohamad, A. B.; Abdullah, S. R. S.; Anuar, N. Chemical Health Risk Assessment at The Chemical and Biochemical Engineering Laboratory. *Procedia Soc Behav Sci* **2012**, *60* (May 2014), 300–307. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.383.

(67) Ferrer Panzano, R.; Huici Montagud, A. NTP 525: Criterios de Establecimiento de Valores Límite de Exposición Profesional En La Unión Europea. **1999**.

(68) 3m. *3M Personal Protective Equipment*. https://www.3m.com/3M/en_US/p/c/ppe/ (accessed 2021-05-18).

(69) Dazi, H.; Heydari, P.; Shokri, S.; Varmazyar, S.; Safari Variani, A. Semi-Quantitative Assessment of the Health Risk of Occupational Exposure to Chemicals and Evaluation of Spirometry Indices on the Staff of Petrochemical Industry. *Archives of Hygiene Sciences* **2017**, *6* (1), 49–57. https://doi.org/10.29252/archhygsci.6.1.49.

(70) Tarin, S.; Huici, A.; Guardino, X. NTP 726: Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos: Sistema Mundialmente Armonizado (GHS). *Centro Nacional de Condiciones de Trabajo* **2006**, 6.

(71) Tuggle, R. M. The Relationship between TLV-TWA Compliance and TLV-STEL Compliance. *Appl Occup Environ Hyg* **2000**, *15* (4), 380–386. https://doi.org/10.1080/104732200301502.

(72) NASA. *Ozone Monitoring Instrument*. https://so2.gsfc.nasa.gov/ (accessed 2022-06-04).

(73) Universidad Nacional Costa Rica. *Observatorio ambiental*. https://www.observatorioambiental.una.ac.cr/index.php/documentos (accessed 2022-06-04).

(74) Solans, X.; Regidor, L. Sustancias Carcinogénicas: Criterios Para Su Clasificación. **2010**, 1–10.

(75) Beheshti, M.; Firoozi chahak, A.; Alinaghi Langari, A.; Rostami, S. Semi-Quantitative Risk Assessment of Health Exposure to Hazardous Chemical Agents in a Petrochemical Plant. *Journal of Occupational Health and Epidemiology* **2015**, *4* (1), 1–8. https://doi.org/10.18869/acadpub.johe.4.1.1.

La presente encuesta es para hacer una síntesis de las condiciones y los riesgos asociados con la exposición a gases y aerosoles ácidos en el parque volcánico. Esta encuesta es parte de la tesis del estudiante José David Morales Alpízar, titulada "Nivel del riesgo químico de la exposición laboral a compuestos azufrados en el Parque Nacional Volcán Poás", bajo la tutela del profesor José Pablo Sibaja Brenes de la Universidad Nacional.

*Obligatorio

7. Anexos

Encuesta para el personal del Parque Nacional Volcán Poás

1. Nombre completo * *

2. Correo electrónico *

3. Edad *

4. ¿A cuál de las siguientes entidades se identifica como trabajador dentro del Parque Nacional Volcán Poás?

Marca solo un óvalo.

- SINAC
- Cruz Roja
- Cafetería
- Otros: _____

5. ¿Ha trabajado en otro parque volcánico? *

Marca solo un óvalo.

- Si
- No

6. Tiempo de laborar en el Parque Nacional Volcán Poás *

Marca solo un óvalo.

- menos de un año
- de 1 año a 3 años
- de 3 años a 5 años
- de 5 años a 10 años
- más de 10 años

7. ¿Cuánto tiempo pasa en la casa de guardaparques durante la semana ? *

Marca solo un óvalo.

- 0 horas
- De 1 hora a 28 horas
- De 29 hora a 56 horas
- De 57 hora a 84 horas
- De 85 hora a 112 horas
- De 113 hora a 140 horas
- 141 horas o más

8. ¿Cuánto tiempo de la jornada laboral pasa en la caseta de cobro durante el mes ? *

Marca solo un óvalo.

- 0 horas
- De 1 a 7 días
- De 8 a 14 días
- De 15 a 21 días
- 21 días o más

9. ¿Cuánto tiempo de la jornada laboral pasa en el centro de visitantes durante el mes ? *

Marca solo un óvalo.

- 0 horas
- De 1 a 7 días
- De 8 a 14 días
- De 15 a 21 días
- 21 días o más

10. ¿Cuánto tiempo de la jornada laboral pasa en el mirador del volcán durante el mes ? *

Marca solo un óvalo.

- 0 horas
- De 1 a 7 días
- De 8 a 14 días
- De 15 a 21 días
- 21 días o más

11. ¿Ha sentido problemas respiratorios por la presencia de gases emitidos por el volcán?

Marca solo un óvalo.

- Si
- No

12. ¿Cuenta con los siguientes equipos de protección personal? *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- [ ] Lentes de seguridad
- [ ] Casco de seguridad
- [ ] Ropa adecuada para protección de radiación solar (pantalón largo, camiseta larga y alguna otra protección para cuello o partes sensibles al sol
- [ ] Mascarilla con protector de partículas y sustancias
- [ ] Otro

13. ¿Con qué frecuencia usa el Equipo de Protección Personal (EPP)? *

Marca solo un óvalo.

- Siempre utiliza EPP completo
- Usa regularmente el EPP completo
- Usa ocasional el EPP completo
- Usa ocasional el EPP incompleto
- Nunca utiliza EPP

14. ¿Con qué frecuencia recibe capacitaciones ? *

Marca solo un óvalo.

- Se capacita al menos una vez mensual
- Se capacita al menos una vez trimestral
- Se capacita al menos una vez semestral
- Se capacita al menos una vez anual
- Nunca

15. En caso de recibir capacitaciones, cuales son los aspectos de formación que ha recibido *

Muchas gracias por su tiempo
Esta información será parte del trabajo de graduación y serán presentada a las autoridades respectivas.

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

Encuesta para los guardaparques del Parque Nacional Volcán Poás

La presente encuesta es para hacer una síntesis del uso MultiRae en el parque volcánico. Esta encuesta es parte de la tesis del estudiante José David Morales Alpízar, titulada "Nivel del riesgo químico de la exposición laboral a compuestos azufrados en el Parque Nacional Volcán Poás", bajo la tutela del profesor José Pablo Sibaja Brenes de la Universidad Nacional.

*Obligatorio

1. Nombre completo *

_____

2. ¿Cada cuánto utiliza el equipo multiRae? *

Marca solo un óvalo.

- Todos los dias
- Dos a tres días a la semana
- Una vez a la semana
- Nunca

3. ¿Considera que es importante el uso de estos equipos como una herramienta en la jornada laboral? *

Marca solo un óvalo.

- Si
- No

4. ¿Ha recibido capacitación sobre el uso de los equipos multiRAE? *

Marca solo un óvalo.

- Si
- No

*

5. ¿Cuál es la importancia de tener equipos que puedan leer dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno durante la jornada laboral?

6. ¿Qué recomendaciones daría para los equipos? *

Muchas gracias por la información brindada

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios