



Boletín anual del Programa de Vigilancia Volcánica
Año 2022

Erupciones
freáticas
en el
Rincón de la Vieja
Turrialba
y Poás

Flujo piroclástico
en el Turrialba





Programa de Vigilancia Volcánica

Boletín anual

Año 2022

1. Resumen General de la Actividad Volcánica

En el 2022, el volcán Rincón de la Vieja mostró la mayor actividad volcánica. De este volcán se tiene un registro de 213 erupciones o exhalaciones registradas por la red sísmica y observaciones visuales a través de las cámaras web del OVSICORI. La erupción más energética ocurrió el 5 de enero durante la noche, a las 6:33 pm. De esta erupción se tienen registros de material incandescente bajando por las laderas del volcán, gracias a las cámaras web.

El volcán Turrialba muestra una lenta disminución de su actividad durante el 2022. Se registraron 14 erupciones, 12 de ellas durante el primer trimestre del año. El 17 de enero ocurrieron 4 erupciones incluyendo la más energética del año a las 9:31 pm, la cual produjo una columna de ceniza que no se levantó más de 500-1000m, pero generó un flujo piroclástico que cubrió el cráter central y hasta 500m hacia el este.

El volcán Poás presentó una actividad baja, dominada por la actividad hidrotermal superficial. Se observó un crecimiento del lago y se registró una erupción hidrotermal el 6 de abril a las 2:42 am. Esta erupción destruyó el campo fumarólico en la pared noreste del cráter (llamado en los años 90: “fumarola Naranja”). La erupción se dio junto con un deslizamiento, moviendo alrededor de 160 000 m³ de material, ~100 000 de ellos entraron en el lago hasta más de 250 m de distancia. En agosto el volcán inició un aumento de actividad sísmica superficial la cual culminó el 4-6 de setiembre, poco antes de la primera observación (el 7 de setiembre) de una nueva fumarola subacuática hacia el norte del lago.

El volcán Irazú sigue presentando deslizamientos frecuentes (se registraron 40 por medios sísmicos) y una actividad sísmica baja. El Arenal sigue presentando una actividad sísmica de fondo, una contracción del edificio y una desgasificación hidrotermal en la cima. Los complejos Tenorio y Miravalles siguen presentando una actividad sísmica frecuente principalmente cerca de fallas tectónicas y de campos geotérmicos. El Barva presentó poca actividad sísmica este año, principalmente ubicada en fallas tectónicas ubicadas en las faldas del volcán.

2. Red de Monitoreo y Vigilancia Volcánica

En el 2022, el OVSICORI-UNA enfrentó una situación financiera crítica. Como consecuencia, se enfocó en el mantenimiento de la red de monitoreo, trabajo que se encontró limitado justamente por la falta de recursos financieros. A pesar de esta situación, se logró recuperar algunas estaciones sísmicas cruciales con problemas de instrumentación e instalar 2 nuevas estaciones en Rincón y Orosi. Además, el OVSICORI-UNA logró mejorar la red de monitoreo del Rincón de la Vieja con otra estación sísmica,

dos estaciones de monitoreo de gas (DOAS, financiada por USAID y VDAP), y la instalación de una tercera cámara web (Tabla 1).

Después de 5 años de uso de una escala del estado de actividad de los volcanes para comunicación al público, el grupo de Vigilancia Volcánica realizó una evaluación de esta herramienta y decidió proceder con una modificación a fin de mejorar la comunicación del nivel de preocupación

asociado a la actividad volcánica. Esta escala (Figura 1) está basada en la escala usada por el USGS (*United States Geological Survey*) y adaptada a las condiciones de los volcanes de Costa Rica (<http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/vulcanologia/nive-l-de-actividad-volcanica>).

También se procedió a algunos cambios para los reportes de erupción a fin de conformarlos a las reglas internacionales particularmente el formato destinado al transporte aéreo (*Volcano Observatory Notice for Aviation*). Este cambio

generó algunos errores que se han ido rectificando sobre la marcha.

Durante este año, el grupo de vigilancia volcánica publicó 45 boletines semanales (<http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/vulcanologia/informes-y-boletines/boletin-semanal-vigilancia-volcanica>), 4 comunicados para el Poás, 3 comunicados para el Turrialba y 1 comunicado para el Rincón de la Vieja, además de los 365 boletines diarios.

Tabla 1: Red permanente de monitoreo de los volcanes del OVSICORI-UNA en el 2022 (1*: estación del IMN)

Equipos	Banda ancha	Infrasonido	GPS	MultiGAS	DOAS	SO ₂ ExpoGAS	Webcam	Radar	Estación geoquímica fuente termal	Calidad del aire	Meteo
Turrialba	6	2	4	1	1		2	1		1	1*
Irazú	5	1	5	1							1 + 1*
Barva	1										
Poás	5	1	4	1	1	1	2				1 + 1*
Platanar-Porvenir	1										
Arenal	2		3								
Tenorio-Miravalles	2		4								
Rincón de la Vieja	4	1	4	1	2		3		3		1
Orosí	1		1								

	Descripción	Manifestaciones posibles*	Peligros potenciales*
 Nivel 0	Ausencia de suficiente instrumentación operacional para determinar un nivel.		
 Nivel 1 CALMA	Estado de quietud, no eruptivo.	<ul style="list-style-type: none"> Sismos tectónicos, casuales sismos de baja frecuencia. Actividad hidrotermal (fumarolas, gases difusos, fuentes termales...) 	<ul style="list-style-type: none"> Sismos sentidos Zonas calientes (~100°C) y ricas en gases. Deslizamientos/ derrumbes/ lahares. Acumulación de gases en depresiones.
 Nivel 2 ADVERTENCIA	Estado de actividad significativa, o Disminución de un estado de mayor actividad (nivel 3, Precaución), se mantiene la vigilancia por posibles incrementos.	<ul style="list-style-type: none"> Erupciones pequeñas. Borbotón / géiser. Emisión significativa de gases ácidos. Aumento de temperatura (incandescencia). Enjambres sísmicos / tremor volcánico. Inflación-extensión leve del edificio volcánico. 	<ul style="list-style-type: none"> Caída ligera de ceniza. Balísticos proximales. Gas percibido. Lluvia ácida.
 Nivel 3 PRECAUCIÓN	Proceso eruptivo en progreso, o Incremento en la actividad que implica un mayor potencial eruptivo, o Disminución de un estado de actividad superior.	<ul style="list-style-type: none"> Explosiones / erupciones. Emisiones de ceniza / lava Flujos piroclásticos de poca extensión. Incremento sustancial en amplitud de manifestaciones sísmicas. Incremento de la inflación y extensión del edificio volcánico. Intensificación de la desgasificación. 	<ul style="list-style-type: none"> Afectación más allá del punto de emisión. Flujos piroclásticos cercanos. Caída moderada de ceniza. Balísticos distales. Lahares.
 Nivel 4 ALARMA	Erupción peligrosa es inminente, en curso o esperada.	<ul style="list-style-type: none"> Altas columnas eruptivas. Incremento sustancial de todos los parámetros de vigilancia. 	<ul style="list-style-type: none"> Afectación severa a población e infraestructura. Acumulación cuantiosa de ceniza. Flujos piroclásticos extensivos. Balísticos grandes distales. Lahares severos.

* Las manifestaciones y los peligros se acumulan de un nivel al siguiente. El nivel puede evolucionar de un nivel al siguiente o varios niveles interiores o superiores.

Nivel de Actividad	
Rincón de la Vieja:	Advertencia
Turrialba:	Advertencia
Poás:	Advertencia
Irazú:	Calma
Arenal:	Calma
Miravalles:	Calma
Tenorio:	Calma
Platanar-Porvenir:	Calma
Barva:	Calma
Orosí-Cacao:	Calma
Laguna Hule:	No hay datos actualizados
Cacho Negro:	No hay datos actualizados
Congo:	No hay datos actualizados
Río Cuarto:	No hay datos actualizados

Figura 1: Nueva escala de comunicación sobre el nivel de actividad de los volcanes de Costa Rica y tabla de los niveles correspondientes en el 2022.

3. Actividad Volcánica

3.1 Volcán Turrialba

Tipo: macizo estratovolcánico complejo con varios cráteres cuspidales y conos adventicios

Lat: 10.025°N; **Long:** 83.767°W; **Altura:** 3325 m.s.n.m.

Área y volumen: 663 km² y 300 km³

Edad: 500 000 años

Petrografía: basaltos hasta dacitas, predominando las andesitas y andesitas basálticas

Actividad prehistórica e histórica (1700-2020): varios eventos explosivos estromboleanos hasta plinianos en los últimos 3500 años. Actividad freatomagmática a vulcaniana en 1847-1866 y 2010-2020.

Nivel máximo en el 2022: Advertencia

Peligros observados en el 2022: Erupciones y flujo piroclástico, emisión de ceniza, emisión significativa de gases, derrumbes.

3.1.1 V.Turrialba: Actividad en el 2022

En el 2022, se registraron 14 erupciones del volcán Turrialba, 12 de ellas durante el primer trimestre del año. También se registraron 46 retumbos, algunos de ellos asociados a deslizamientos dentro del cráter activo y otros a pequeñas exhalaciones. En general se observa una tendencia a la disminución de la actividad, tanto en el número, como en la amplitud de los eventos registrados (Figura 2). Se registraron más de 28000 sismos volcánicos de alta frecuencia y más de 4000 de baja frecuencia. La mayor disminución se dio en los sismos volcano-tectónicos; se registraron 100 distales y 65 proximales.

Durante este año 2022, las observaciones geodésicas basadas en datos GNSS mostraron que el macizo Irazú Turrialba está

en deflación, es decir en subsidencia y en contracción (Figura 3). La subsidencia es del orden de uno a dos centímetros por 2022 en el macizo y es más grande a partir de Julio 2022. Esta subsidencia y contracción es más marcada en la cima del volcán Turrialba (-3 cm en la cumbre), lo que podría ser relacionado con el colapso lento del cráter, ver siguientes párrafos. La modelización de la deflación del macizo, muestra que la fuente está alrededor del cráter del volcán Irazú y no del Turrialba. Tomando en cuenta de la imprecisión de modelización, esta ubicación corresponde a la posición de la fuente magmática que estuvo en inflación entre 2014 e inicio 2017 (reportarse a Müller et al., 2018). La profundidad de la fuente en deflación es más superficial que la fuente en inflación (4 km por debajo del nivel del mar).

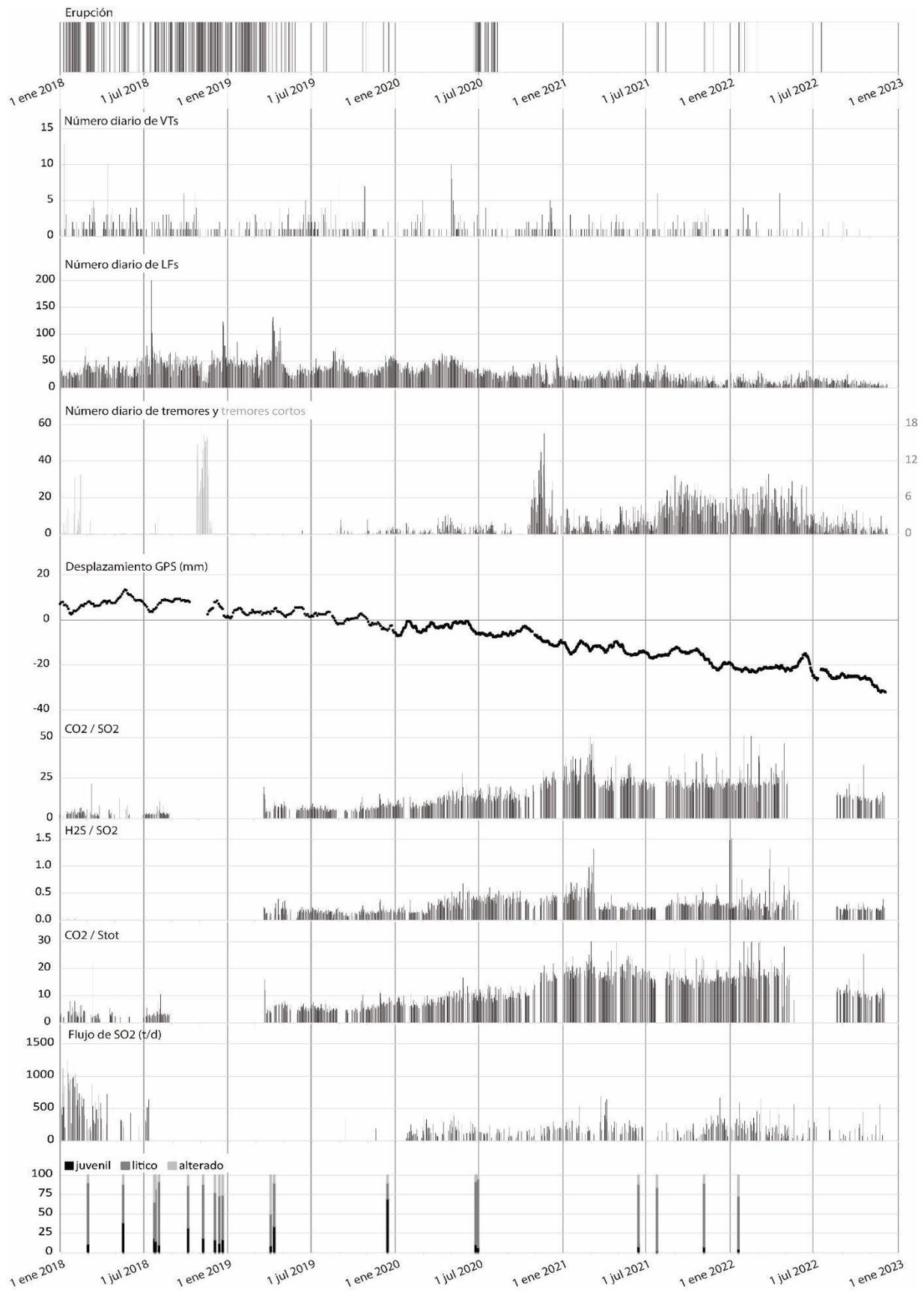


Figura 2: Evolución de algunos parámetros para la vigilancia del volcán Turrialba entre el 1 de enero del 2018 y el 31 de diciembre del 2022.

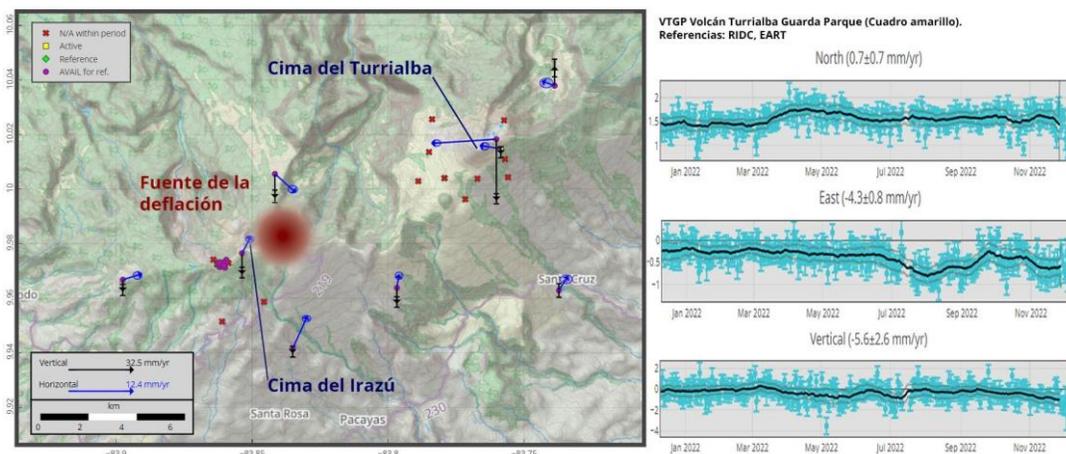


Figura 3: A la izquierda, los vectores de desplazamiento horizontales (azul) y verticales (negros) medidos con GNSS. Las elipses de confianza azules y las barras de error negras muestran las incertidumbres de los vectores horizontal y vertical, respectivamente. El círculo rojo indica la posición posible de la fuente que se despresuriza. En la pestaña de la derecha se aprecian las series de tiempo en la componente norte, este y vertical de la estación de VTGP (cuadro amarillo cerca de la cumbre de Turrialba) entre enero y diciembre 2022. Estos resultados son referenciados a las estaciones EART en la llanura caribeña y RIDC en el Valle Central

Además, se registraron derrumbes de las paredes del cráter (Figura 4). Este proceso de erosión y estabilización de las paredes provoca el relleno del cráter. Se midió una profundidad mínima de 107 m el 12 de mayo 2022 que se puede comparar con los años precedentes en la Tabla 2. Lo que muestra que desde 2019 el cráter se está rellendo.

Los datos de MultiGAS (Figura 2 y Figura 5) han demostrado un cambio significativo entre 2021 y finales de 2022. Durante 2021 y la primera mitad de 2022 la razón CO_2/SO_2 andaba alrededor de 20 y $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$ andaba alrededor de 0. Basado en la clasificación de Stix y de Moor (2018) esas

emisiones caen en el campo de “sulfur scrubbing” sugiriendo una influencia importante del sistema hidrotermal en las emisiones que quitaba suficiente SO_2 para generar razones elevadas de CO_2/SO_2 (Figura 5). Durante 2022 se notó una tendencia hacia valores CO_2/SO_2 más bajas ~10 que caen en el campo de gases que provienen de magma profundo con un poco menos influencia del sistema hidrotermal. Podría ser que el sistema hidrotermal restablecido después del periodo eruptivo de 2014-2020 se saturó suficientemente con gases magmáticos y por eso tiene menos impacto en las emisiones actualmente.

Tabla 2: Altitud y profundidad en metros del cráter de Turrialba entre 2016 y 2022.

FECHA	ALT FONDO CRÁTER	ALT BORDE CRÁTER (MIN)	ALT BORDE CRÁTER (MAX)	PROFUNDIDAD MÍNIMA
31 MAR 2016	3100	3174	3312	75
23 ENE 2017	2996	3176	3315	180
9 NOV 2018	-	3175	-	-
15 FEB 2019	2960	3175	3315	215
5 FEB 2020	3024	3174	3316	150
12 MAY 2022	3062	3169	3317	107

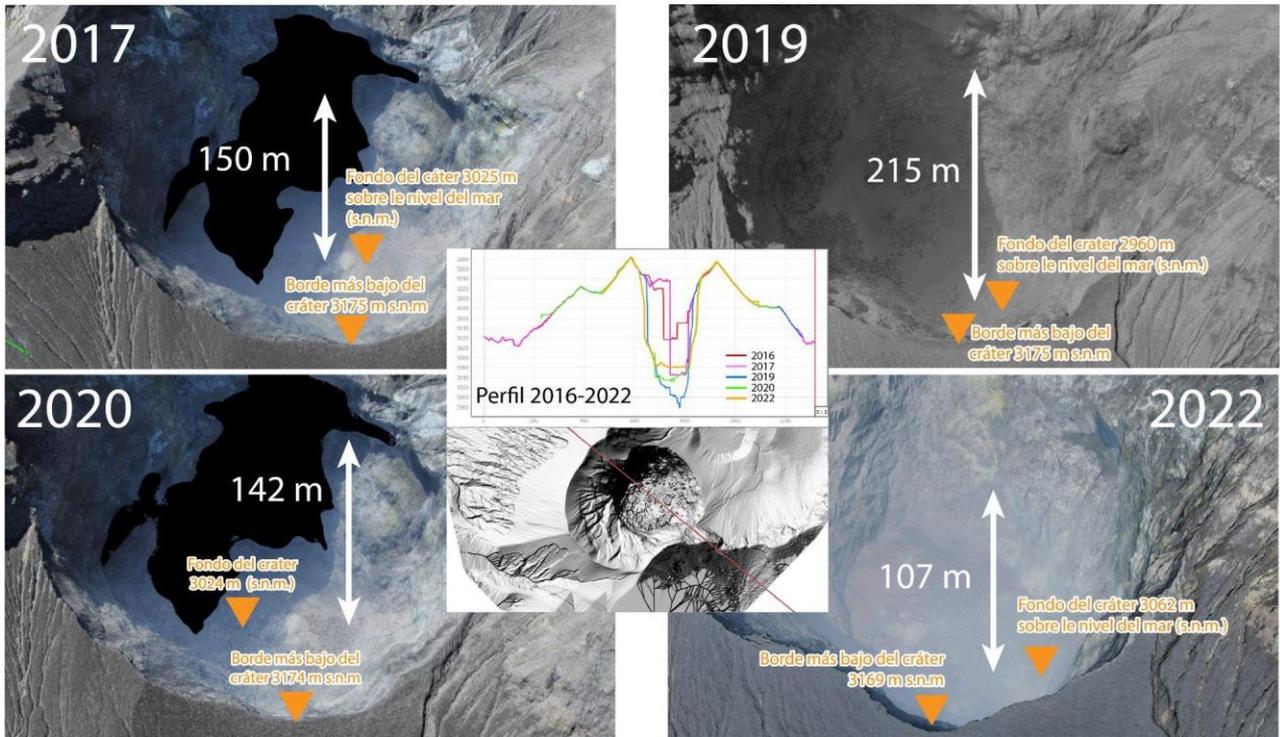


Figura 4: Evolución morfológica del cráter de Turrialba entre 2016 y 2022.

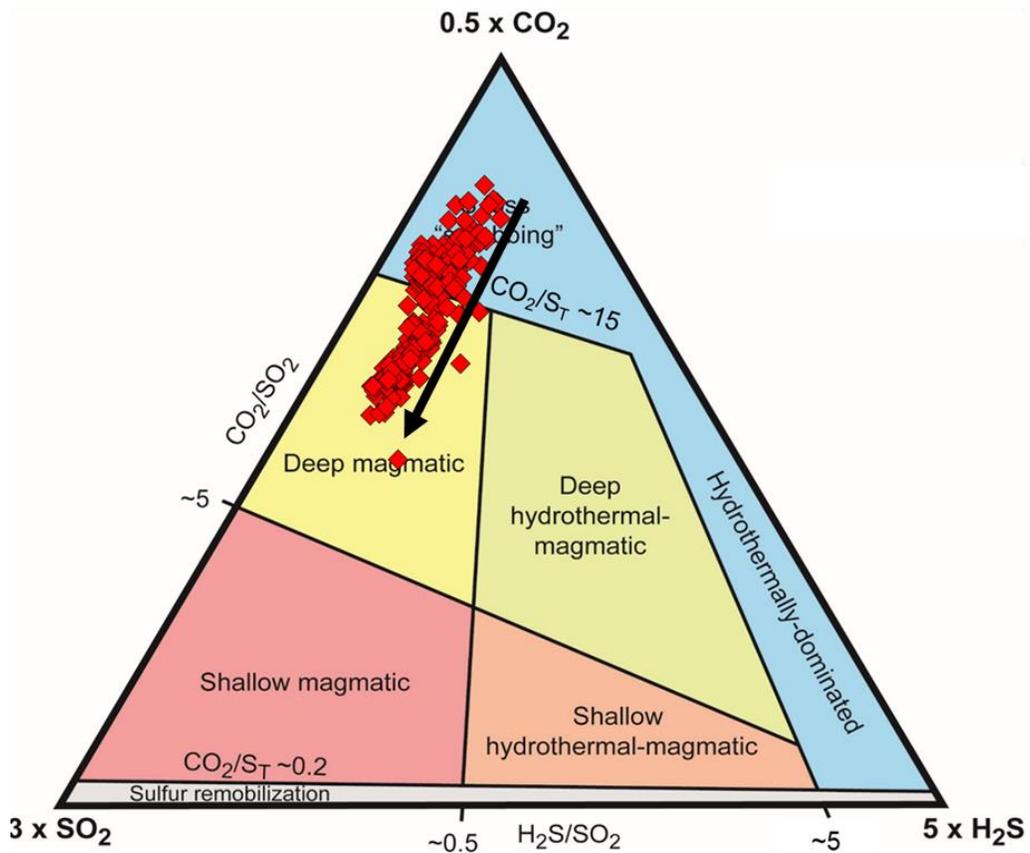


Figura 5: Composiciones de gases medidas en la pluma del Turrialba en 2022. La flecha indica la evolución de composiciones durante el año.

3.1.2 V.Turrialba: Erupción del 17 de enero del 2022

A pesar de esta tendencia general a la disminución de actividad, se observó una capacidad de producir erupciones peligrosas sin precursor (Figura 6). El 17 de enero ocurrieron 4 erupciones incluyendo la más energética del año a las 9:31 pm, la cual produjo una columna de ceniza que no se levantó más de 500-1000m, pero generó un flujo piroclástico que cubrió el cráter central y hasta 500m hacia el este (Figura 7). Este evento eruptivo fue el más energético de los últimos 2-3 años.

El flujo de SO₂ mostró un pequeño incremento días antes de la erupción del 27 de enero, cuando alcanzó valores cercanos a 700 t/d. No obstante, este comportamiento se observó también en marzo, donde no hubo ninguna erupción. De tal manera, no puede establecerse una clara correlación entre el incremento del flujo de SO₂ y la erupción del 27 de enero. En general, ocurrió un descenso del flujo de SO₂ desde principios de este año a marzo. Luego se han observado

fluctuaciones poco significativas, con un flujo promedio cercano a 200 t/d (Figura 8).

Los otros parámetros geofísicos medidos (sismicidad, y contenido de gases magmáticos) no mostraron aportes significativos de magma fresco en el sistema volcánico, sino actividad superficial relacionada con la interacción del cuerpo de magma, que se emplazó entre el 2010 y el 2016 bajo la cima del volcán, y el sistema hidrotermal. Este cuerpo magmático se enfría y desgasifica lentamente. Los gases suelen acumularse dentro de grietas y cavidades superficiales que se rompen cuando la presión interna supera la resistencia de la roca, provocando explosiones y salida de fragmentos de roca en forma de ceniza, lapilli y/o roca. El mismo cuerpo magmático puede interactuar directamente con el sistema hidrotermal debido a la apertura de una grieta o falla, provocando una explosión hidrotermal o erupción freática.



Figura 6: Secuencia de imágenes de la erupción del Turrialba el 17 de enero a las 9:31 pm grabada por la cámara web del OVSICORI-UNA. La Luna llena permitió una observación de calidad a pesar de ocurrir de noche.



Figura 7: Depósitos de la erupción del 17 de enero 2022.

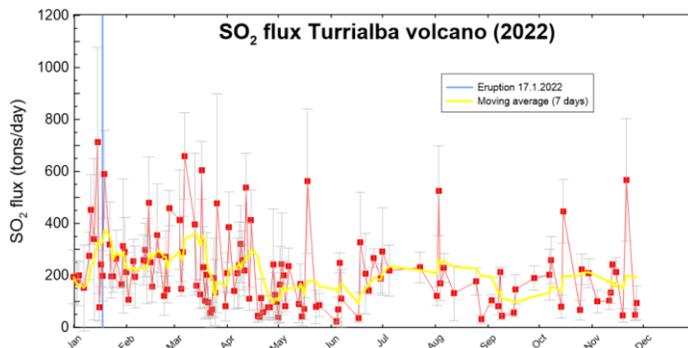


Figura 8: Flujo de SO₂ medido mediante DOAS (differential optical absorption spectroscopy) en el volcán Turrialba durante el 2022.

3.2 Volcán Poás

Tipo: macizo estratovolcánico complejo con varios cráteres y conos.

Lat: 10.2°N; **Long:** 84.233°W; **Altura:** 2687 m.s.n.m.

Área y volumen: 414 km² y 198 km³

Edad: 600 000 años

Petrografía: basaltos hasta andesitas, con escasas dacitas

Actividad prehistórica e histórica (1700-2020): erupciones de estromboleanas hasta plinianas y desde freáticas hasta freatomagmáticas en los últimos milenios. Actividad freatomagmática hasta estromboliana en 1834, 1910, 1952-1956 y 2017. Al menos 17 periodos de actividad freatosurtseyanas entre 1828 y 2019. Presencia de un lago hiperácido con actividad fumarólica en el cráter activo

Nivel máximo en el 2022: Advertencia

Peligros observados en el 2022: Erupción freática, emisión significativa de gases, derrumbes.

3.2.1 V.Poás: Actividad en el 2022

El volcán Poás presentó una actividad dominada por la actividad hidrotermal superficial (Figura 9). Se observó un crecimiento del lago (Figura 10) y se registró una erupción hidrotermal el 6 de abril a las 2:42 am. En agosto el volcán inició un aumento de actividad sísmica superficial la cual culminó el 4-6 de septiembre, poco antes de la primera observación (el 7 de septiembre) de una nueva fumarola subacuática al norte del lago.

La actividad sísmica en el volcán Poás se mantiene en bajos niveles desde octubre del 2019, acentuándose en este 2022. Los sismos volcánicos, aunque numerosos, son de muy baja amplitud y muy superficiales, lo que indica una dominación del sistema hidrotermal en su generación (Figura 11). La actividad volcano-tectónica está dominada por sismos distales, principalmente ubicados en el sistema de fallas asociadas al sismo de Cinchona del 8 de enero del 2009. Se registraron más de 40 sismos proximales ubicados en la cima del volcán, de pequeña magnitud y profundidad superficial, nuevamente, reflejando hidrofracturación dentro del sistema hidrotermal. El tremor de fondo que había prácticamente desaparecido desde el 2017, reapareció en agosto, con una frecuencia dominante de alrededor de 3.2 Hz, similar al tremor que se tiene documentado desde la instalación de una estación de banda ancha permanente en el 2011 hasta el 2017. Con el inicio de este tremor de fondo se documenta un incremento en la energía sísmica (RSEM), y un incremento en la razón entre energía a bajas frecuencias respecto a las energías de altas frecuencias (DSAR, Figura 11).

Durante este año 2022, las observaciones geodésicas basadas en datos GNSS mostraron poca deformación. La deformación horizontal promedio no supera los 3 mm. No hay un patrón de deformación claro entre las 4 estaciones, aunque se puede observar una ligera extensión entre el norte y el sur del cráter activo (~3mm, Figura 12). Verticalmente, la única estación que muestra una deformación significativa es la estación del norte del cráter (VPCR). Esta estación GNSS registra una subsidencia de 6 mm.

Las composiciones de gases medidas en la pluma por estación MultiGAS han demostrado variaciones sutiles durante 2022. En general, los gases son relativamente ricos en SO₂ y pobres en H₂S (Figura 9) sugiriendo una fuente magmática superficial con poca influencia del sistema hidrotermal ultra-ácido.

Luego de mostrar un período de estabilidad, el flujo de SO₂ aumentó hacia fines de mayo. No se observaron cambios significativos en respuesta a la erupción del 6 de abril del 2022 ni al aumento de la actividad sísmica entre agosto y septiembre. Actualmente el volcán Poás muestra un flujo relativamente estable de SO₂ de 200 t/d, lo cual representa un incremento de alrededor de 100 t/d con respecto a inicios del 2022. No existen otros criterios para fundamentar que el aumento del flujo de SO₂ observado hacia fines de mayo fue causado por la erupción del 6 de abril del 2022 (Figura 13).

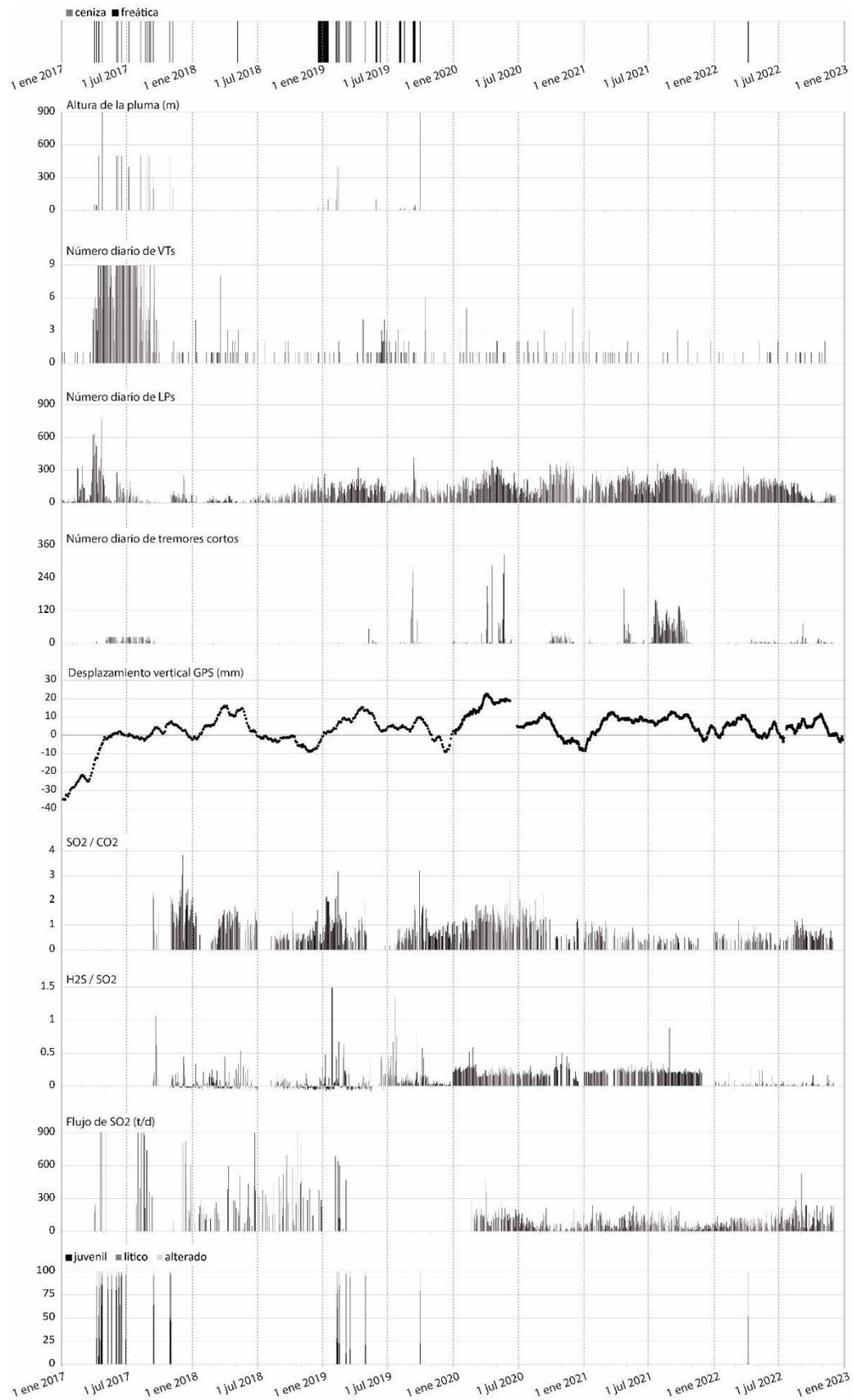


Figura 9: Evolución de algunos parámetros para la vigilancia del volcán Poás entre el 1 de enero del 2017 y el 31 de diciembre del 2022.

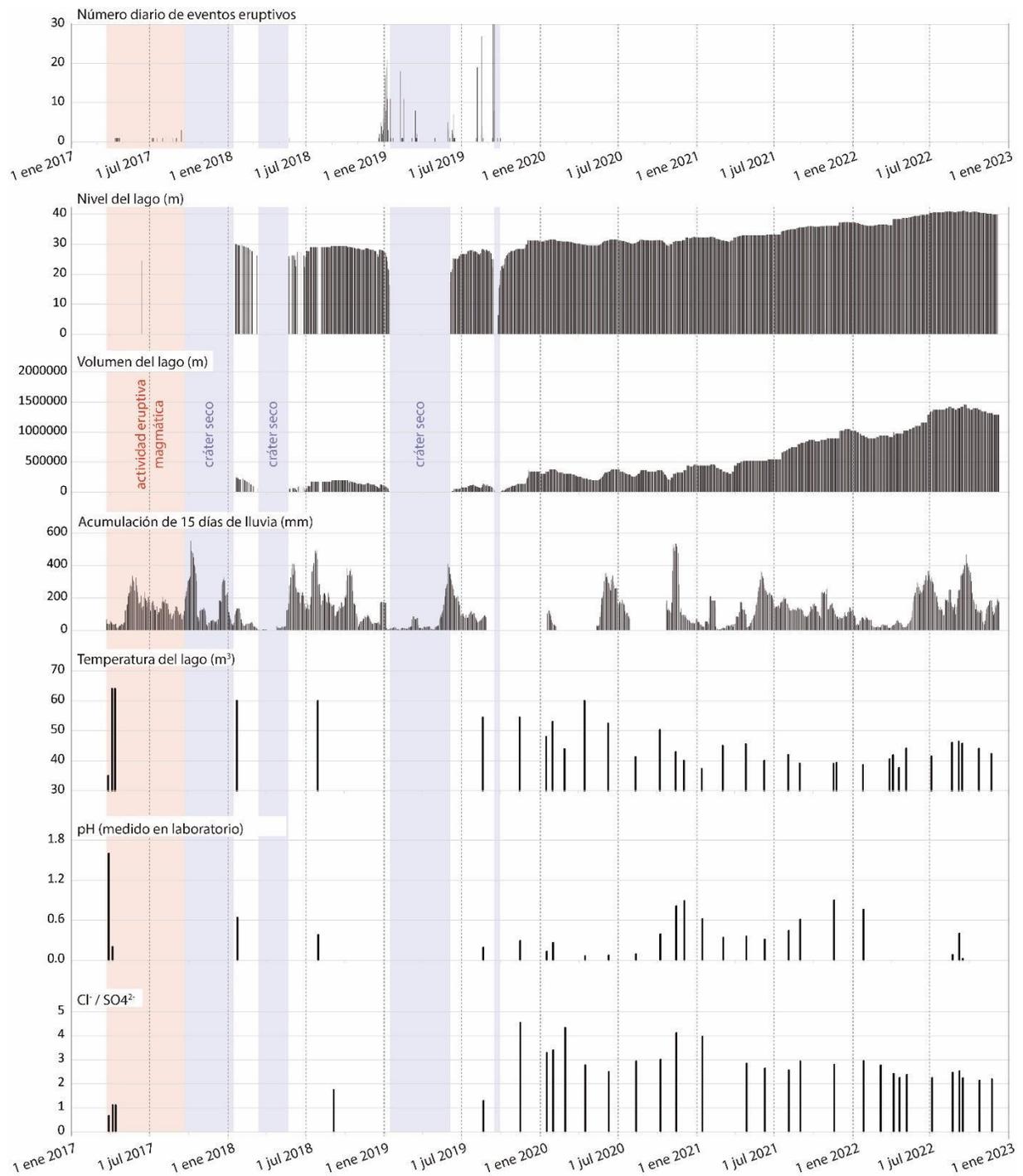


Figura 10: Evolución de algunos parámetros para la vigilancia del lago caliente ácido del volcán Poás entre el 1 de enero del 2017 y el 31 de diciembre del 2022.

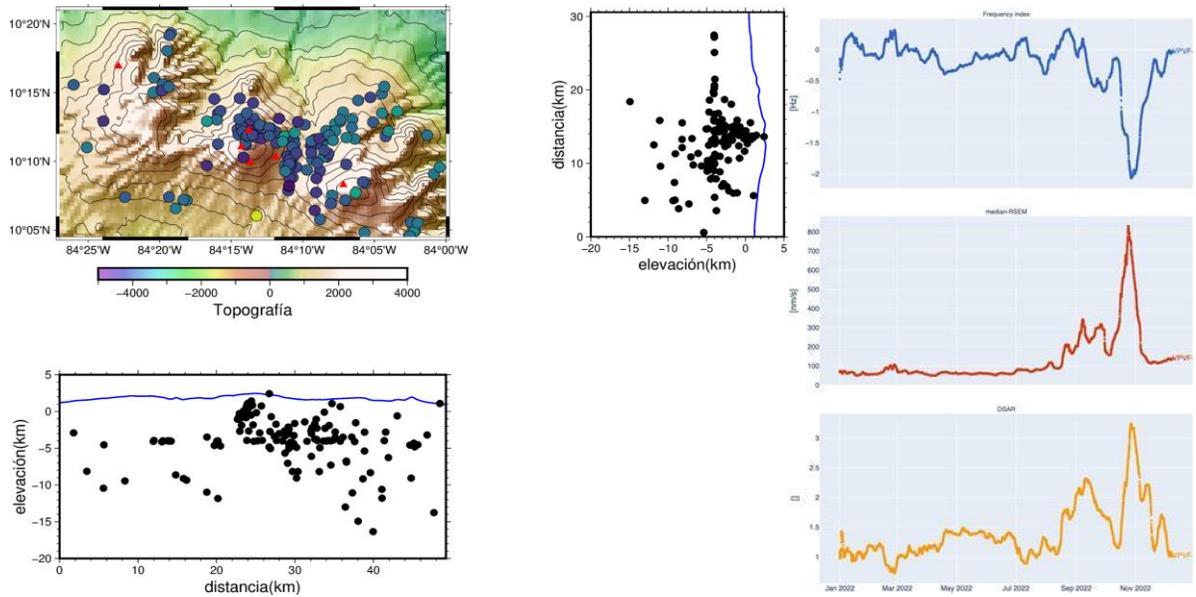


Figura 11: A la izquierda: Ubicación de los VTs registrados en el 2022 por la red sísmica del volcán Poás. A la derecha: Evolución de la frecuencia, del RSEM y del DSAR para el año 2022.

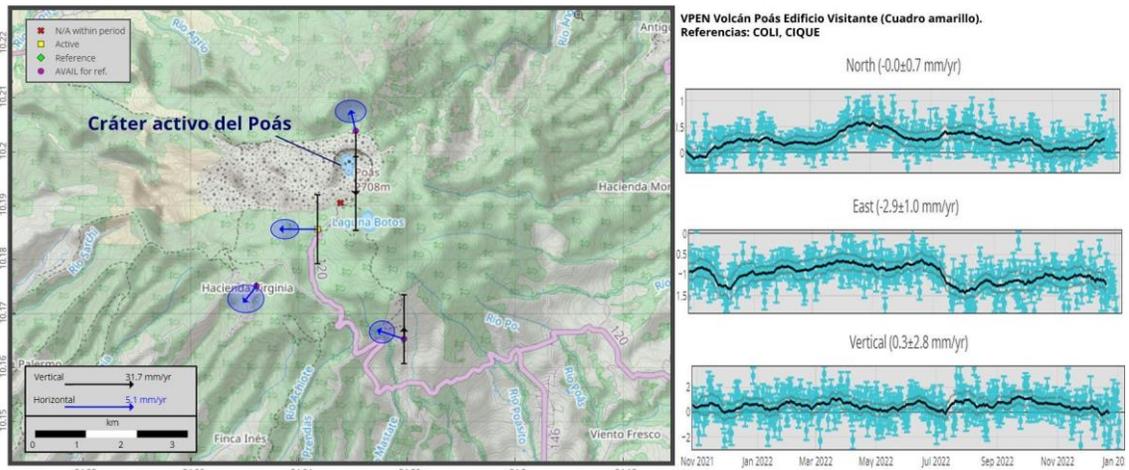


Figura 12: A la izquierda, los vectores de desplazamiento horizontales (azul) y verticales (negros) medidos con GNSS. Las elipses de confianza azules y las barras de error negras muestran las incertidumbres de los vectores horizontal y vertical, respectivamente. En la pestaña de la derecha se aprecia las series de tiempo en la componente norte, este y vertical de la estación de VEPN (cuadro amarillo) entre diciembre 2021 y diciembre 2022. Estos resultados son referenciados a las estaciones CIQE en Ciudad Quesada y RIDC en el Valle Central.

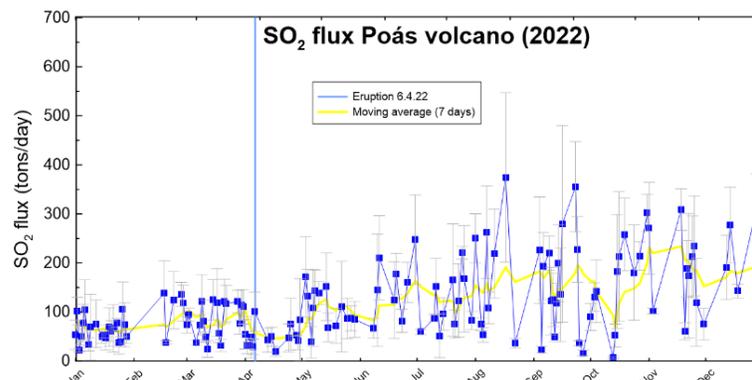


Figura 13: Flujo de SO₂ medido mediante DOAS (differential optical absorption spectroscopy) en el volcán Poás durante el 2022.

3.2.2 V.Poás: Erupción del 6 de abril del 2022

Se registró una erupción hidrotermal el 6 de abril a las 2:42 am (Figura 14). Esta erupción destruyó el campo fumarólico en la pared noreste del cráter (llamado en los años 90: "fumarola Naranja"). Ocurrió junto con un deslizamiento, moviendo alrededor de 160 000 m³ de material, ~100 000 de ellos entraron en el lago hasta más de 250 m de distancia (Figura 15).

Los datos geofísicos no mostraron cambios significativos desde la erupción previa el 30 de setiembre del 2019. El volcán se había mantenido estable, con bajos niveles de actividad, principalmente en la deformación y la concentración de gases magmáticos.

El evento ocurrido el 6 de abril fue producto de un deslizamiento en la pared noreste del cráter debido al debilitamiento de la roca por la alteración hidrotermal y movimientos de fluidos presurizados hacia la superficie. Este deslizamiento provocó una descompresión que dio origen a una explosión hidrotermal. El hecho de que no hayan variado los parámetros medidos (temperatura, razones de gases, sismicidad, deformación) después de la explosión confirma que la erupción se debió a un proceso localizado en la fumarola naranja, mientras el volcán, en general, se mantuvo estable.



Figura 14: Comparación de imágenes de la cámara web antes y después del evento eruptivo que ocurrió a las 2:42 am el 6 de abril del 2022.

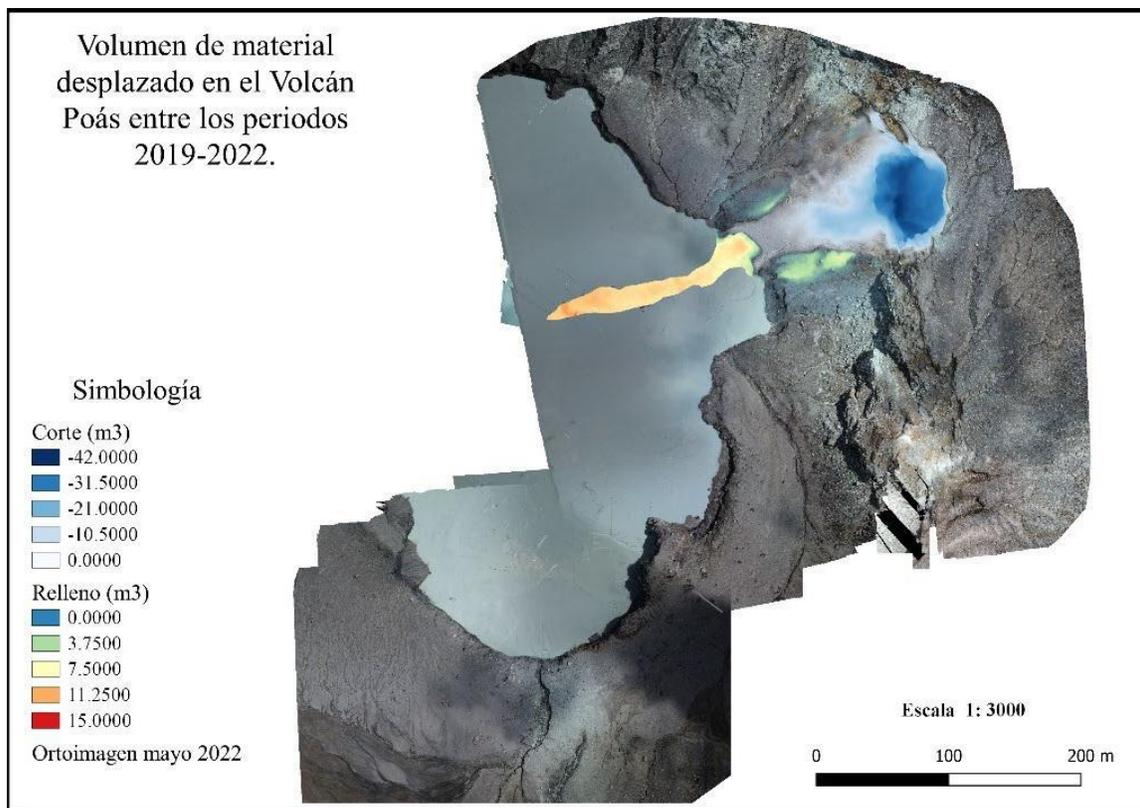


Figura 15: Volumen de material desplazado entre los periodos 2019-2022 (resultado de la práctica profesional de los estudiantes Lorenzo Aguilar Elizondo y Sergio Quirós Arce).

3.2.3 V.Poás: “Crisis” de agosto-septiembre del 2022

A partir de mediados de agosto del 2022, la actividad sísmica mostró un aumento importante (Figura 16) mientras que las perturbaciones de los parámetros geoquímicos y geodésicos, aunque significativos, eran de menor magnitud. Los parámetros monitoreados apuntaron a una perturbación superficial del sistema hidrotermal, (< 2 km de profundidad), sin aporte significativo de fluidos del sistema magmático profundo. Este cambio se interpretó por un aumento de la presión superficial, la cual logró ser evacuada por las fumarolas aéreas y subacuáticas durante el mes de septiembre.

La crisis sísmica que ocurrió en agosto-noviembre 2022 (Figura 16) fue acompañado por un aumento significativo en la razón SO_2/CO_2 (Figura 17) que salió de la línea base de ~0.5 hasta valores arriba de 1, pero no llegaron hasta valores asociados con erupciones grabadas antes, cuales son generalmente arriba de 2. Se nota también que la erupción de abril 2022 no se asociaba con ninguna anomalía de SO_2/CO_2 , sugiriendo que la explosión no fue generada por una perturbación significativa del sistema magmático-hidrotermal.



Figura 16: A la izquierda: Promedio móvil semanal de la energía sísmica liberada (RSEM arriba), y DSAR (abajo) medida en la estación sísmica más cercana al cráter activo del volcán Poás entre el 1 de enero y el 23 de septiembre del 2022. A la derecha: Celda de convección por la fumarola subacuática norte que apareció al inicio de septiembre.

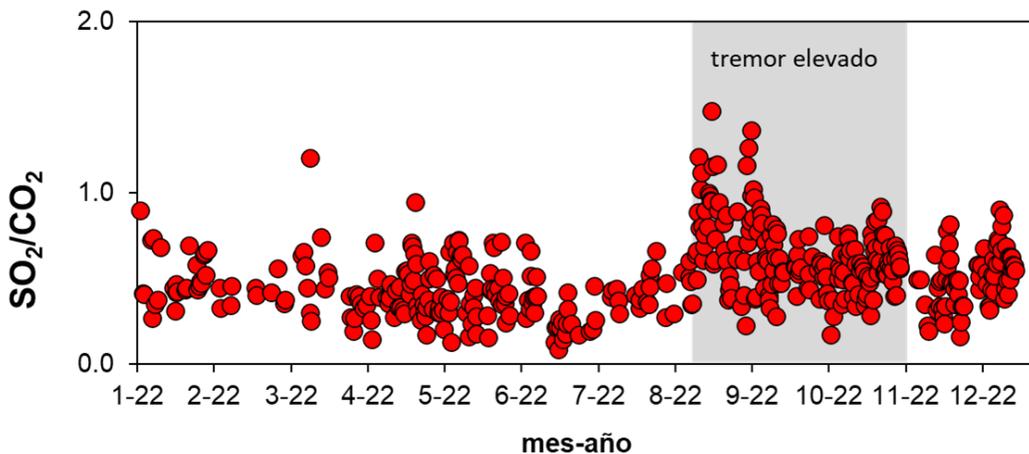


Figura 17: La evolución de la razón SO_2-CO_2 en la pluma del Poás durante 2022.

3.3 Volcán Rincón de la Vieja

Tipo: macizo estratovolcánico complejo con nueve cráteres.

Lat: 10.83°N; **Long:** 85.324°W; **Altura:** 1916 m.s.n.m.

Área y volumen: 400 km² y 118 km³

Edad: 564 000 años

Petrografía: andesitas basálticas hasta andesitas, con escasas dacitas

Actividad prehistórica e histórica (1700-2020): erupciones freáticas y freatomagmáticas, subplinianas y plinianas en los últimos milenios. Posiblemente 19 períodos de actividad freatomagmática entre 1765 y 2020, frecuente actividad de freática a freatomagmática durante los últimos años. Presencia de un lago hiperácido con actividad fumarólica en el cráter activo.

Nivel máximo en el 2022: Advertencia

Peligros observados en el 2022: Erupciones a dominación freática, material incandescente, emisión significativa de gases, lahares

3.3.1 V. Rincón de la Vieja: Actividad en el 2022

En el 2022, se registraron 212 erupciones o exhalaciones por la red sísmica del OVSICORI-UNA, comparado con las 24 en el 2021 y más de 1400 en el 2020 (Figura 18).

En este 2022 se registraron cerca de 45 sismos volcano-tectónicos próximos al cráter y más de 400 sismos volcano-tectónicos distales. Pocos sismos volcano-tectónicos pudieron ser localizados debido a su pequeña magnitud, los susceptibles de ser localizados se muestran en la Figura 19. Se identificaron 929 sismos volcánicos de baja frecuencia y 212 erupciones asociadas a explosiones hidrotermales. Se contabilizaron 254 días con tremor prolongado de baja frecuencia y 4118 temores de corta duración. Además, se cuantificaron 385 sismos tipo tornillo. En la Figura 20 se muestran las frecuencias dominantes de estos tornillos, aquí se observa un cambio importante en las características de estos eventos, después de registrarse una frecuencia dominante menor a 8 Hz, a partir de mayo, se empieza a dividir la frecuencia dominante en dos, una de 6 Hz y otra cerca de 9 Hz.

Durante este año 2022, las observaciones geodésicas basadas en datos GNSS mostraron un leve levantamiento y poco de deformación horizontal (Figura 21). El levantamiento es sobre todo visible sobre las estaciones GNSS del norte

(VRFI) y del suroeste (VRBO) con una magnitud de hasta 12 mm. Aunque se detecta también un movimiento vertical positivo en las estaciones de la cumbre y del noroeste del volcán, el movimiento tiene una magnitud menor (<6 mm). A lo largo del año el levantamiento parece que ocurrió principalmente entre marzo y junio con un pico en junio y en septiembre. Este movimiento podría indicar la inyección de magma en profundidad lo que es coherente con las señales de temores observadas a lo largo del año. Horizontalmente no se destaca un patrón de deformación claro.

Desde mayo de este año se cuenta con registros diarios del flujo de SO₂ emitido por el volcán Rincón de La Vieja, gracias a 2 estaciones DOAS instaladas en Borinquen y cerca de la quebrada Escondida. La Figura 22 muestra que por varios meses el flujo promedio diario de SO₂ fue cercano a 50 t/d. Posteriormente aumentó hasta 250 t/d en respuesta al aumento en las erupciones y finalmente disminuyó hasta 150 t/d cuando la frecuencia de las erupciones decayó hacia fines del 2022. Durante todos estos meses de observación, se infiere que a diferencia de los volcanes Turrialba y Poás, el Rincón de La Vieja exhibe un estilo de desgasificación menos constante y más pulsátil, debido a que probablemente los conductos por donde ascienden los fluidos se encuentran parcialmente sellado.

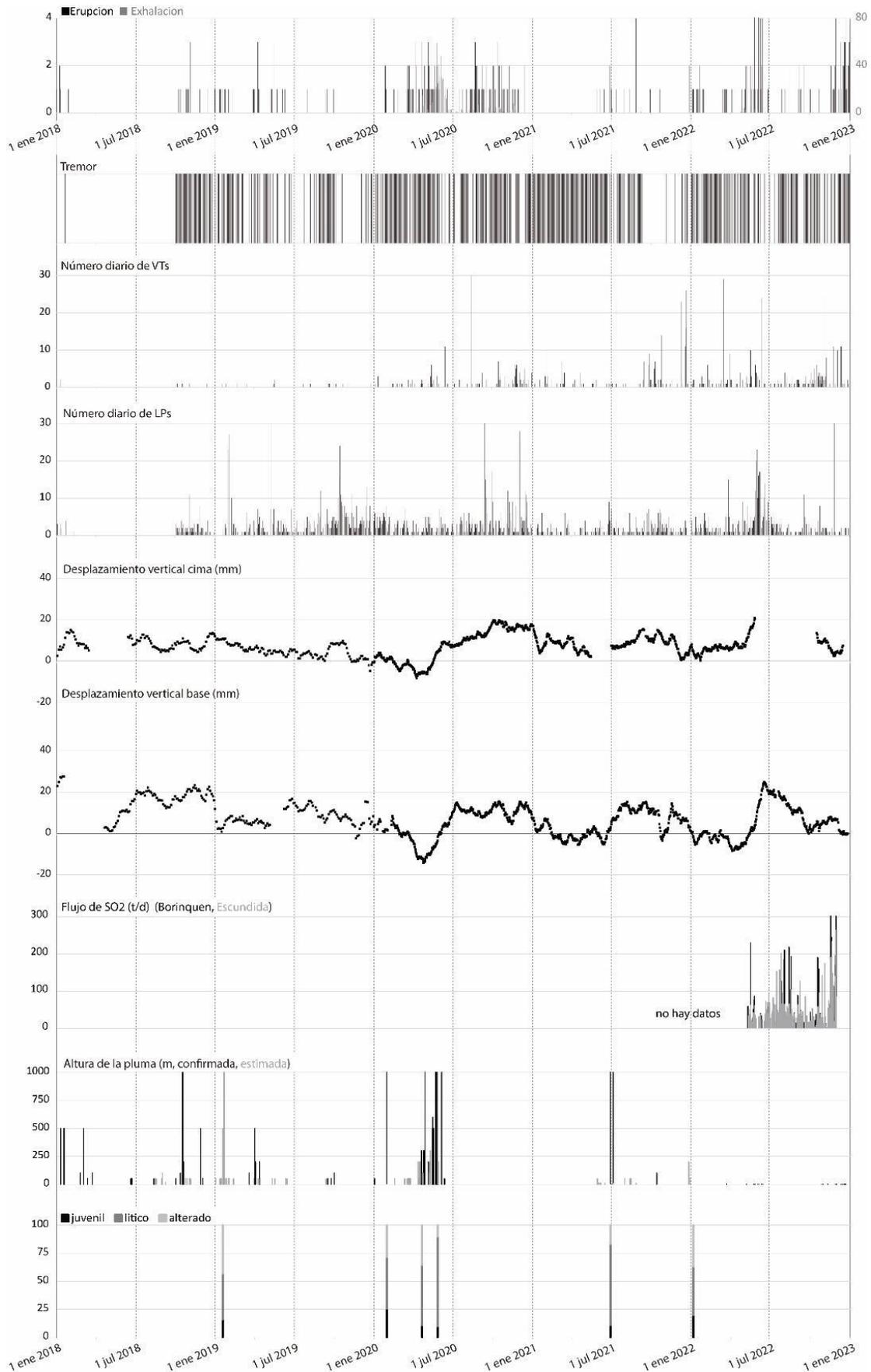


Figura 18: Evolución de algunos parámetros para la vigilancia del volcán Rincón de la Vieja entre el 1 de enero del 2018 y el 31 de diciembre del 2022.

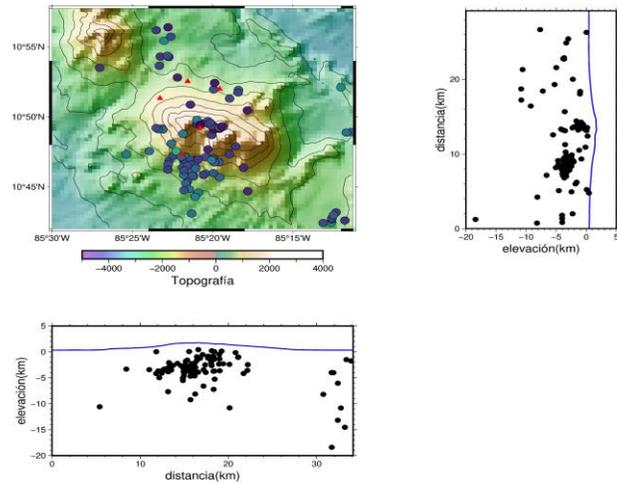


Figura 19: Ubicación de los VTs registrados en el 2022 por la red sísmica del volcán Rincón de la Vieja.

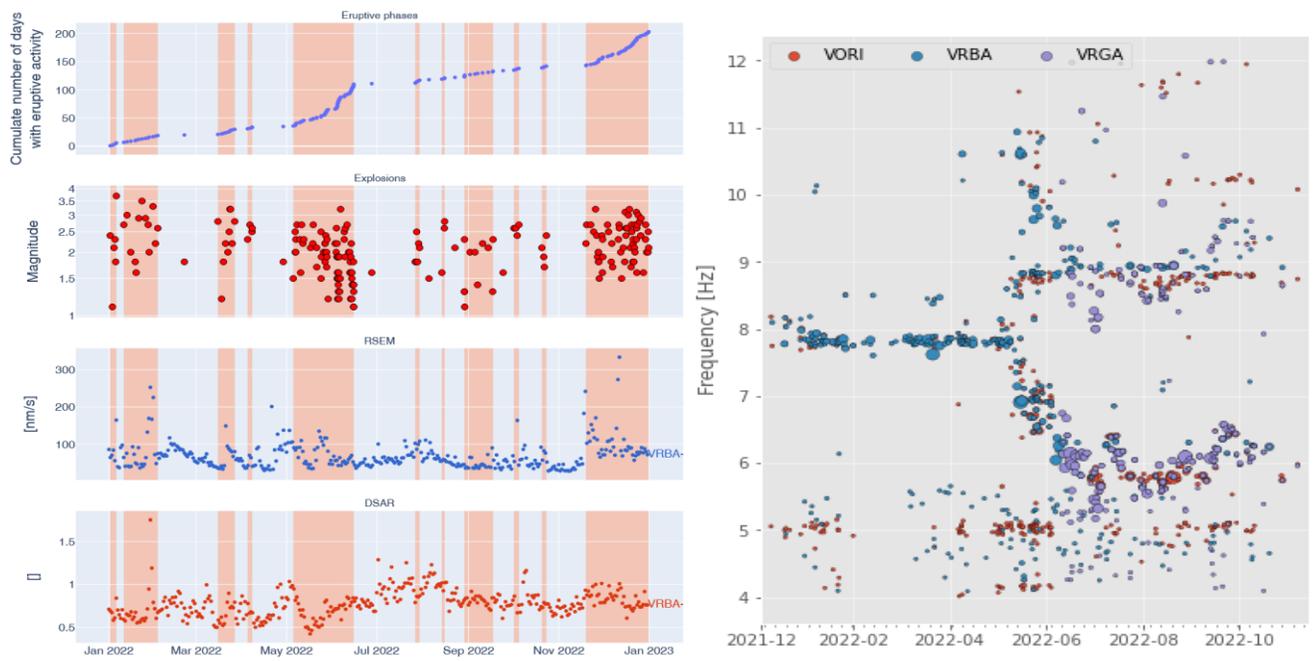


Figura 20: A la izquierda: Actividad eruptiva (o exhalativa) y energía sísmica asociada (arriba), y actividad sísmica RSEM y DSAR para el año 2022 (abajo). A la derecha: frecuencia dominante de la señal para el año 2022.

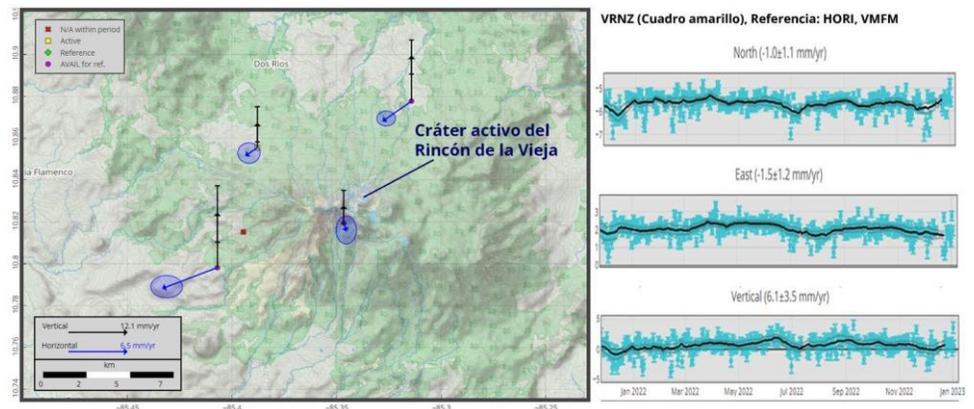


Figura 21: A la izquierda, los vectores de desplazamiento horizontales (azul) y verticales (negros) medidos con GNSS. Las elipses de confianza azules y las barras de error negras muestran las incertidumbres de los vectores horizontal y vertical, respectivamente. En la pestaña de la derecha se aprecia las series de tiempo en la componente norte, este y vertical de la estación de VEPN (cuadro amarillo) entre enero y diciembre 2022. Estos resultados son referenciados a las estaciones HORI en el parque nacional de Guanacaste y VMFM en la Fila Mogote.

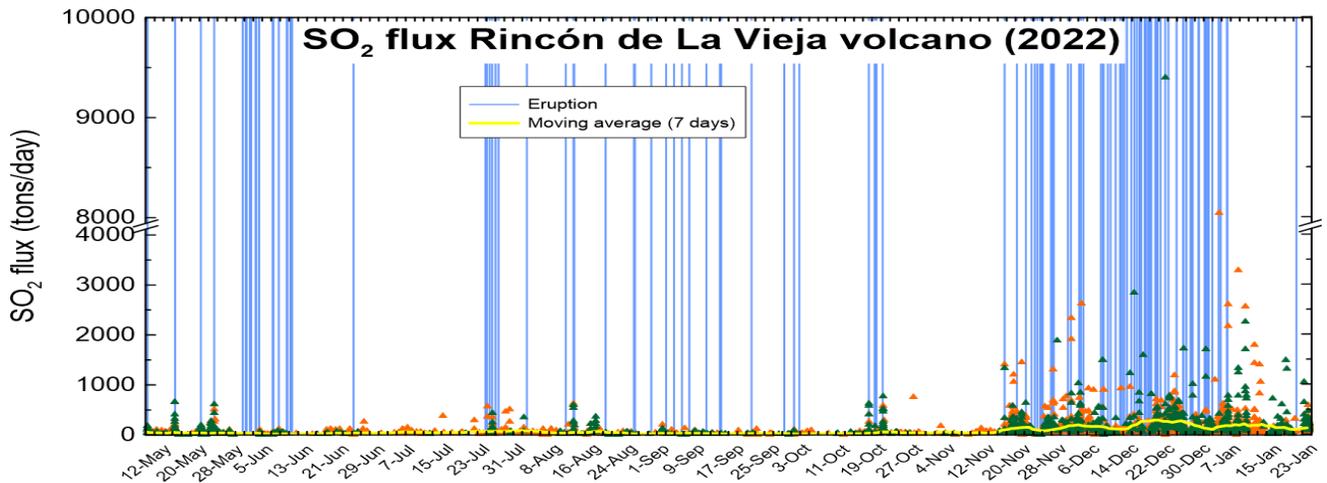


Figura 22: Flujo de SO₂ medido mediante DOAS (differential optical absorption spectroscopy) en el volcán Rincón de La Vieja durante el 2022. Nótese que en diciembre del 2022 se midieron flujos de cercanos a 9500 t/d.

3.3.2 V. Rincón de la Vieja: Erupción del 5 de enero del 2022

La erupción más energética ocurrió el 5 de enero de noche a las 6:33 pm con una magnitud de energía sónica de 3.7 (Figura 23). A pesar de ocurrir de noche, las webcams registraron material incandescente bajando por las laderas del volcán, es decir material con una temperatura

probablemente superior a 300°C (cámara en infrarrojo cerca). Esta erupción inició un periodo de intensificación de la actividad eruptiva del volcán después de un año 2021 marcado por la erupción del 28 de junio del 2021.

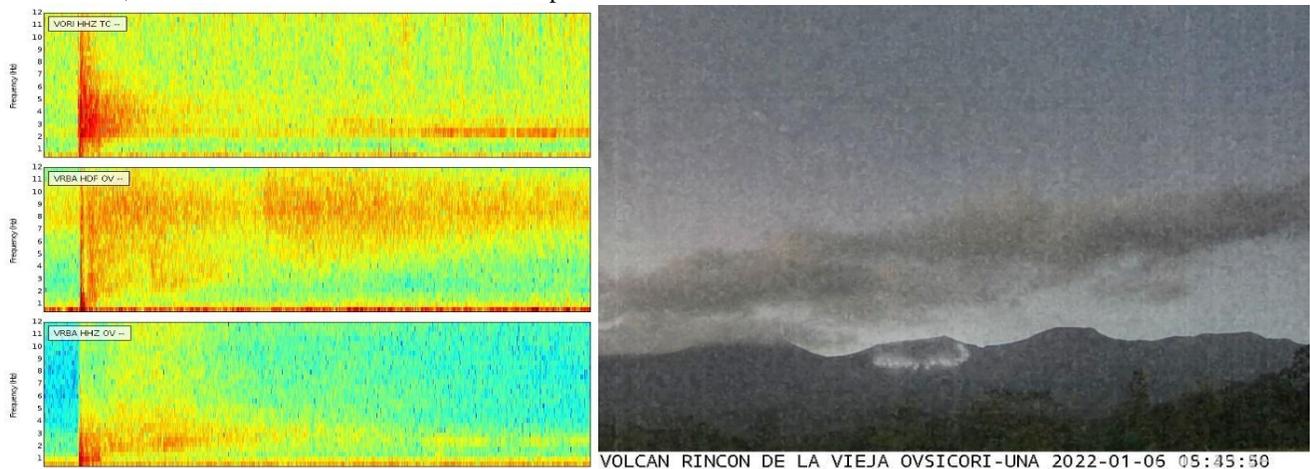


Figura 23: A la izquierda: señales sísmicas y de infrasonido de la erupción registradas por las estaciones más cercana del cráter (RSN y OVSICORI-UNA). A la derecha: superposición de una imagen de la erupción donde se ve el material incandescente y de una imagen de día para permitir la ubicación del material. No se observa la pluma generada porque no se pudo ver de noche.

3.4 Volcán Irazú

Tipo: macizo estratovolcánico complejo andesítico con una docena de conos piroclásticos cuspidales y adventicios

Lat: 9.979°N; **Long:** 83.852°W; **Altitud:** 3427 m.s.n.m.

Área y volumen: 700 km² y 359 km³

Edad: 600 000 años

Petrografía: basaltos hasta andesitas, con escasas dacitas

Actividad prehistórica e histórica (1700-2020): erupciones de estromboleanas hasta vulcanianas en los últimos milenios. Al menos 7 períodos de actividad magmática entre 1723 y 1965.

Nivel máximo en el 2022: Calma

Peligros observados en el 2022: Deslizamientos, emisiones débiles de gases.

En el 2022 se registraron 130 sismos volcano-tectónicos proximales y 173 distales asociados a la actividad de fallas dentro del edificio volcánico del Irazú (Figura 24). Además, se identificaron 40 episodios de deslizamiento, tanto en las cercanías del cráter activo, como en el sector de las antenas.

La deformación observada por las estaciones GNSS del volcán Irazú es principalmente controlada con la deflación siguiendo el pico eruptivo (2014-2016) del volcán Turrialba. Sin embargo, desde 2015, el OVSICORI sigue el deslizamiento del sector de las Torres, al oeste de la cumbre del volcán. Durante este año, el deslizamiento ha mostrado un movimiento continuo, pero sin aceleración significativa a pesar de las fuertes lluvias que ocurrieron durante el invierno. En total, la gran parte del deslizamiento subsidió unos 3 cm y tuvo un movimiento hacia al oeste de 5 cm (209). La parte directamente adyacente a los acantilados tuvo un movimiento mayor con 14 cm en la vertical y 10 cm en la horizontal (Figura 25). Este contraste de velocidades indica que el bloque entre los acantilados y las dos grietas principales, incluyendo las antiguas infraestructuras de Teleplus y Canal 13 (Figura 26), se está separando del bloque principal (ver bloque al oeste, a la izquierda de la línea amarilla de la 20). A pesar de ser alto, el movimiento de este sub-bloque muestra una disminución de su velocidad entre el final de 2020 y 2022. Por ejemplo, la velocidad vertical del

VI31 entre agosto y diciembre del 2020 era de -55 cm/año. En 2021, era de -18 cm/año y en 2022 de -14 cm/año.

Las instalaciones de Teletica, Extra y Repretel se encuentran en una zona más estable. Las infraestructuras de Canal 50 están globalmente en una zona estable, sin embargo, uno de los soportes de la torre se encuentra en otra zona menos estable. No obstante, el ingeniero a cargo indica que no ha observado una sobre tensión en los cables amarrados a este soporte. En dirección al oeste el movimiento aumenta progresivamente.

El monitoreo de gases en el volcán Irazú por estación permanente de MultiGAS indica que las emisiones del flanco norte del volcán son ricos en CO₂, con un componente moderado de H₂S, y una ausencia de SO₂. Estos gases son típicos de emisiones fuertemente afectados por procesos hidrotermales. El CO₂ en este caso es magmático y el H₂S está producido por la interacción entre SO₂ y el sistema hidrotermal. Durante el 2022 no se registraron cambios significativos en las composiciones de gases, pero se notó un aumento significativo en las concentraciones máximas de CO₂ (Figura 22). Este cambio no fue correlacionado con otros parámetros de monitoreo entonces podría ser debido a un cambio local en el flanco norte del volcán sin implicaciones para la actividad del volcán.

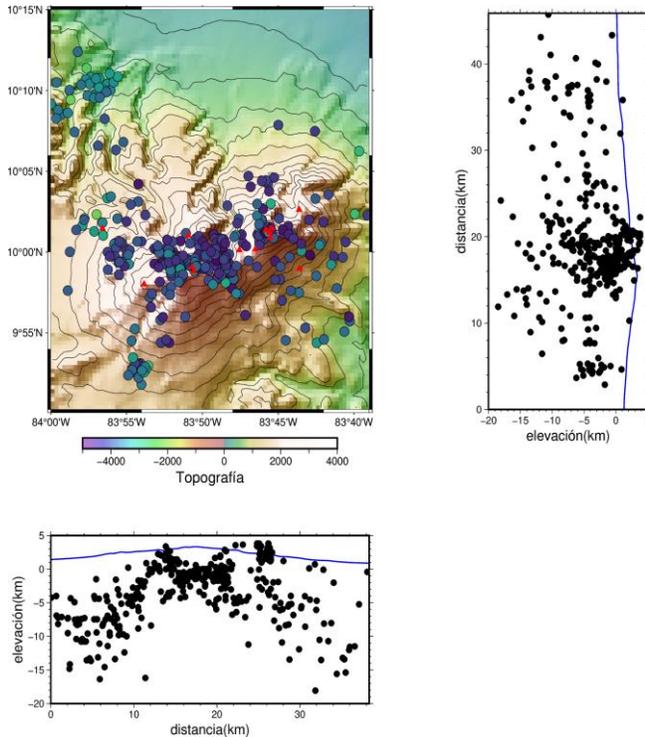


Figura 24: Ubicación de los VTs registrados por la red sísmica de los volcanes Irazú y Turrialba para el año 2022.

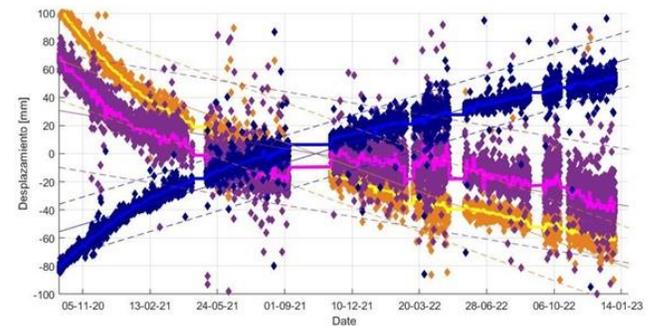


Figura 25: Desplazamiento del sitio GNSS VI53 entre noviembre 2020 y enero 2023. Los puntos y la línea morado clara muestra las posiciones verticales horarias (puntos) y una media móvil (línea). Los puntos anaranjados y la línea amarilla muestra la misma información por el componente este. Los puntos azules oscuro y la línea azul muestra la misma información por la componente Norte.

Velocidades sector de las Torres volcán Irazú (12 de febrero 2022 hasta el 08 de diciembre 2022)

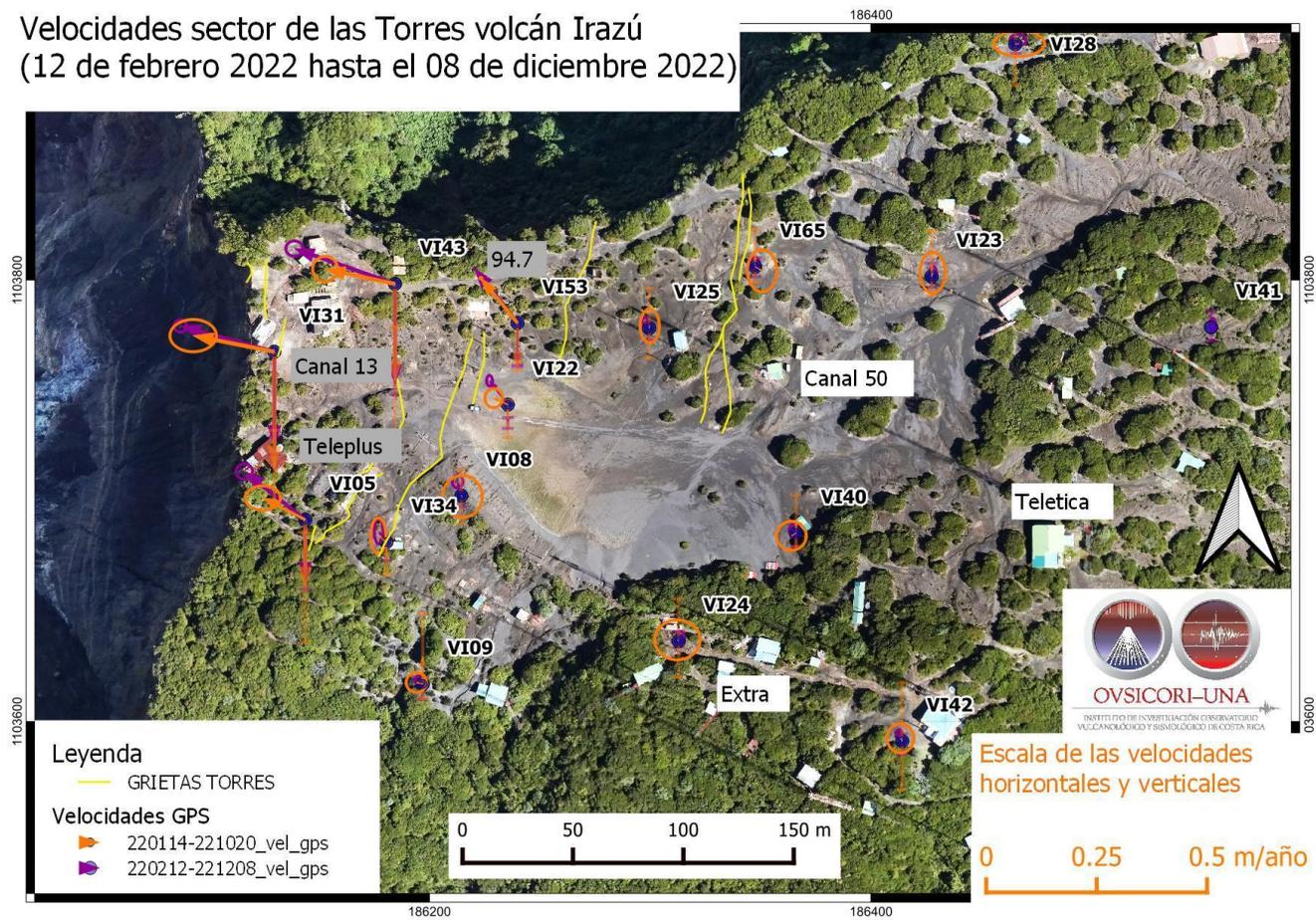


Figura 26: En anaranjado se observa las velocidades entre el 12 de febrero 2022 y el 8 de diciembre 2022, mientras que las flechas de color morado muestran las velocidades entre 14 de enero 2022 y el 20 de octubre 2022. Los círculos a la punta de las flechas representan la incertidumbre de la velocidad (más grande círculo más grande incertidumbre sobre la velocidad).

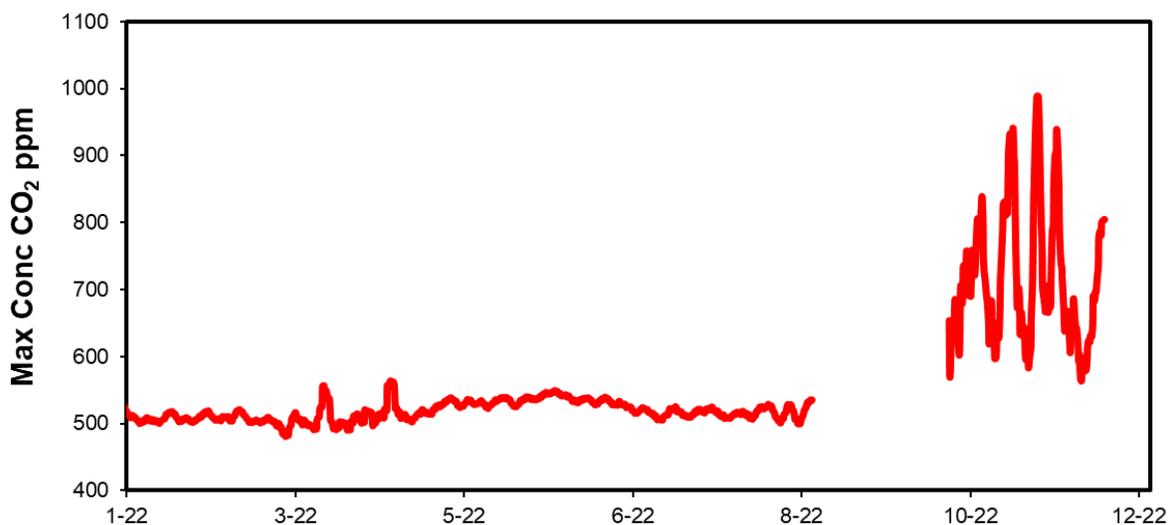


Figura 27: La estación MultiGAS ubicado en el flanco norte del volcán Irazú grabó un aumento significativo en las emisiones de CO₂ a partir de octubre 2022.

3.5 Volcán Arenal

Tipo: estratovolcán cónico asimétrico.

Lat: 10.463°N; **Long:** 84.703°W; **Altitud:** 1755 m.s.n.m.

Área y volumen: 33 km² y 9 km³

Edad: 7000 años

Petrografía: basaltos hasta dacitas, coladas de andesitas basálticas.

Actividad prehistórica e histórica (1700-2020): erupciones estromboleas violentas, vulcanianas, subplinianas y plinianas. Actividad eruptiva desde julio de 1968 hasta enero de 2010.

Nivel máximo en el 2022: Calma

Peligros observados en el 2022: Deslizamientos, emisiones débiles de gases.

El volcán Arenal presentó algunos eventos sísmicos debajo de la cima en el 2022 (Figura 28), pero en general se observa una actividad de fondo a un nivel bastante bajo (Figura 29).

Durante este año 2022, las observaciones geodésicas basadas en datos GNSS mostraron una leve contracción del volcán. La contracción entre el norte y el sur del volcán representa 4 mm en un año y fue también observada durante los años precedentes (Figura 30). Aunque una subsidencia de la base de volcán podría existir está dentro del rango de incertidumbre de las mediciones GNSS. Esta subsidencia sería del orden de algunos milímetros por año.

Alrededor de la cumbre, la subsidencia es un orden de magnitud más importante. Las observaciones InSAR con base al satélite Sentinel-1 muestran que la cumbre tiene un movimiento hacia al satélite negativo (~subsidencia), hasta 7 cm entre 2017 y 2022 (Figura 31). Este movimiento es principalmente visible a 1 km alrededor de la cumbre. Patrones de deformación secundarios indica la presencia de deslizamientos como detectado entre 2011 y 2013 (Ebmeier et al. 2014).

Durante el año, se hicieron 2 campañas de mediciones, permitiendo generar un modelo digital de terreno (Figura 32), y hacer un mapeo fotogramétrico mediante dron y mediciones de gases mediante equipos portátiles. Se encontraron salida de gases todavía a mínimo 184°C. Casi no se detectaron gases magmáticos (Figura 33).

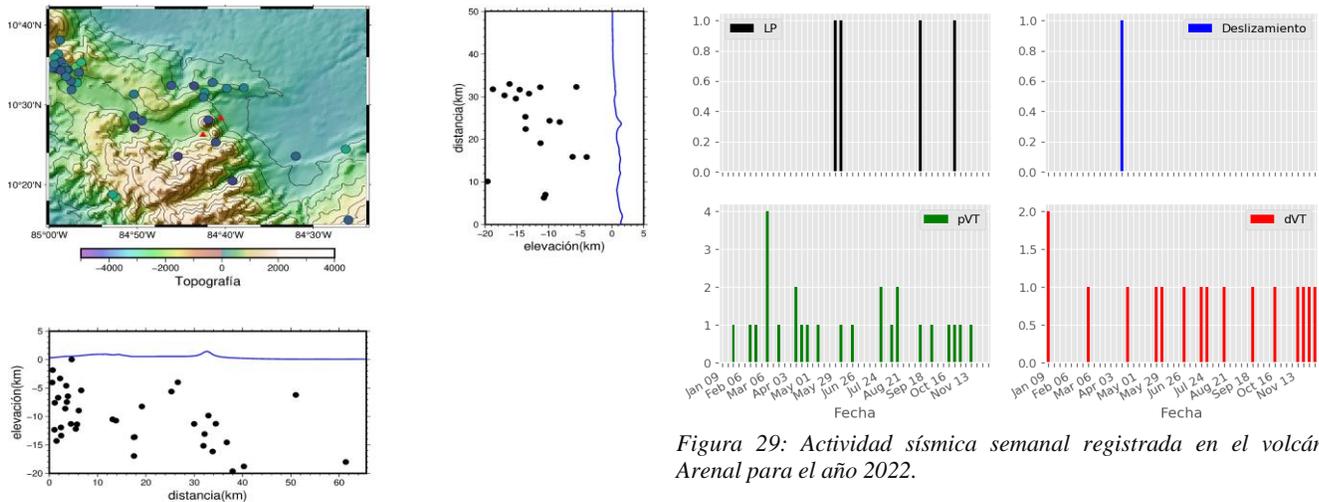


Figura 28: Ubicación de los VTs registros por la red sísmica del volcán Arenal (al centro) en el 2022.

Figura 29: Actividad sísmica semanal registrada en el volcán Arenal para el año 2022.

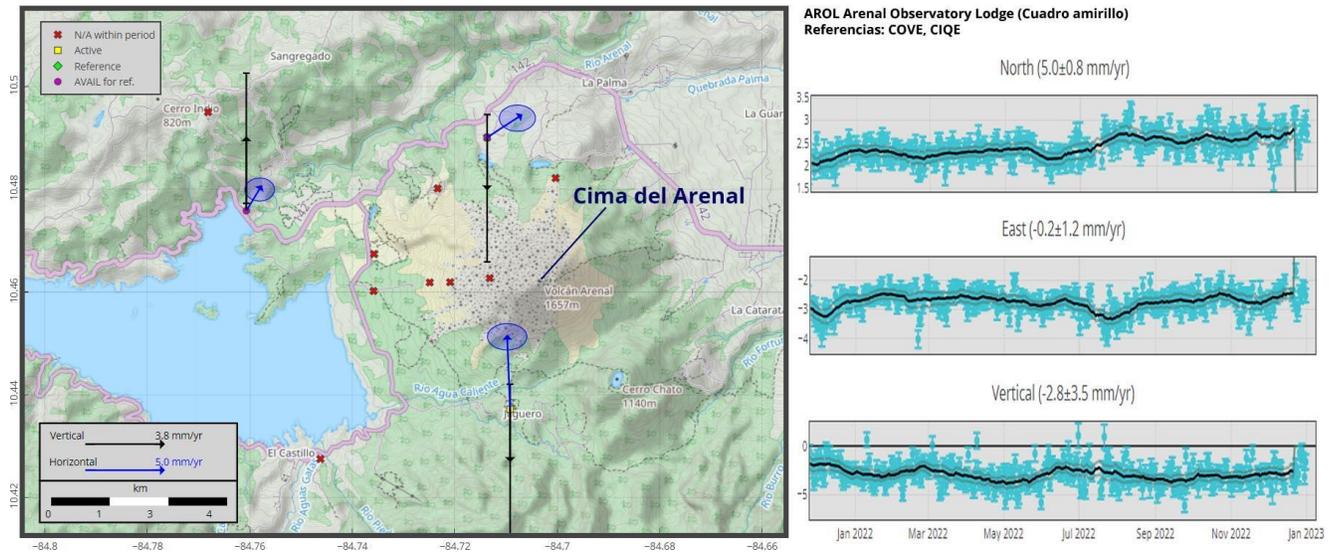


Figura 30: A la izquierda, los vectores de desplazamiento horizontales (azul) y verticales (negros) medidos con GNSS. Las elipses de confianza azules y las barras de error negras muestran las incertidumbres de los vectores horizontal y vertical, respectivamente. En la pestaña de la derecha se aprecia las series de tiempo en la componente norte, este y vertical de la estación de AROL (cuadro amarillo) entre enero y diciembre 2022. Estos resultados son referenciados a las estaciones de COVE y CIQE en la llanura caribeña.

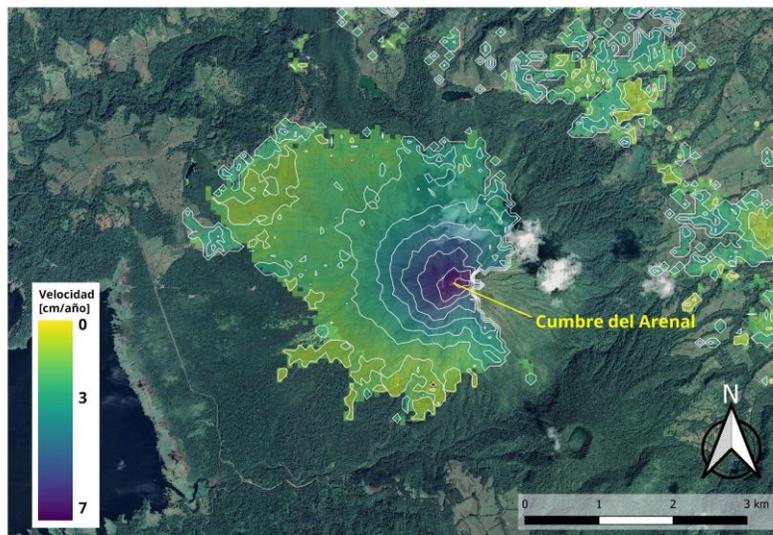


Figura 31: Velocidad promedio del edificio volcánico de Arenal a partir de mediciones InSAR. El degradado de colores indica las velocidades en la línea de vista del satélite. Las curvas representan el movimiento del volcán cada 1 cm/año. El movimiento máximo está en la cumbre del volcán.



Figura 32: Modelo Digital de Terreno en 3D de la cima del Arenal (cráter C a la izquierda, cráter D a la derecha) reconstituido a partir de ortofotogrametría mediante dron. Trabajo gracias al apoyo de Ian Godfrey, Universidad de South Florida.

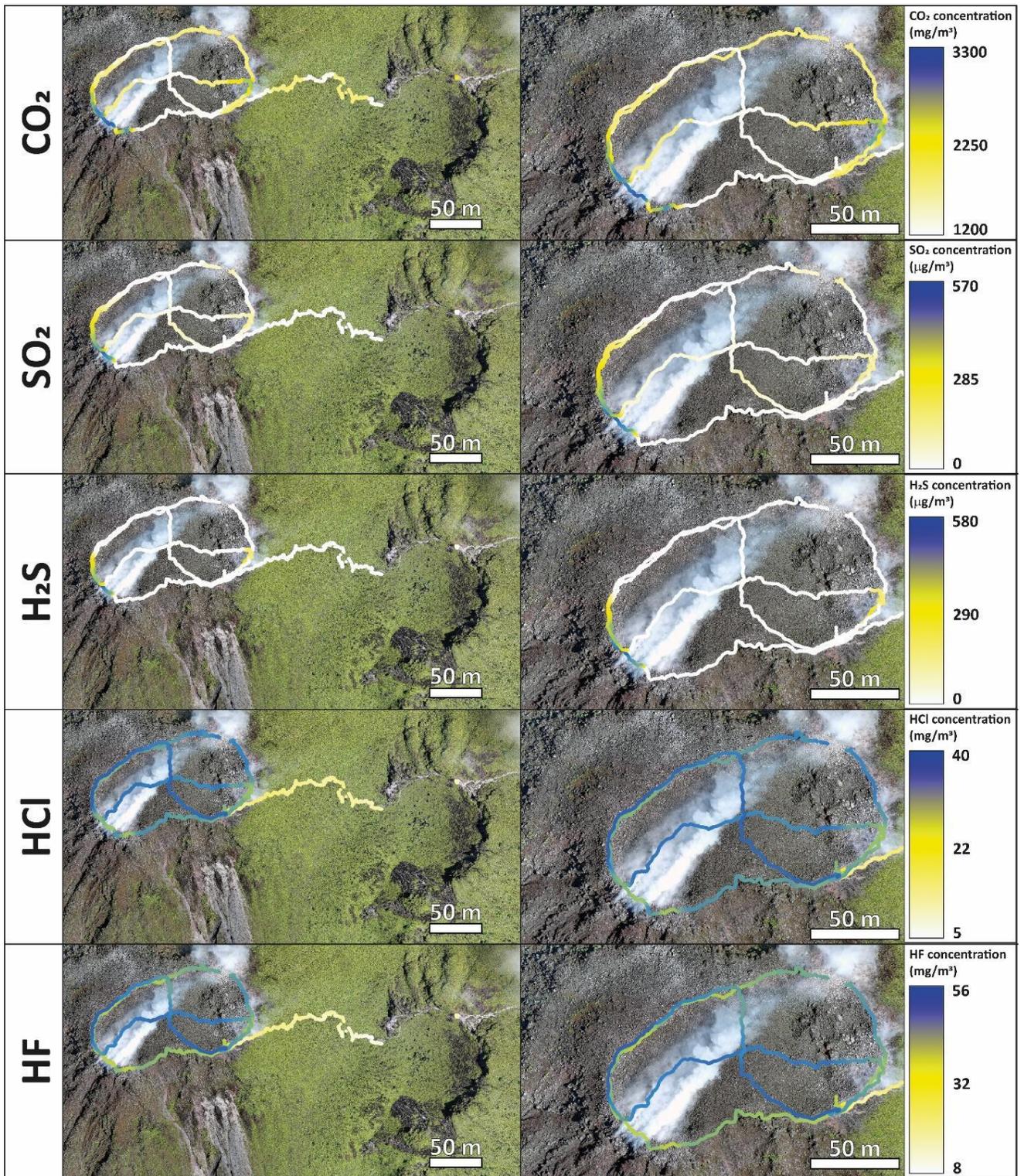


Figura 33: Mediciones de la concentración de varios gases mediante equipos portátiles (cuidado, valores erróneos debido a una mala calibración). Trabajo gracias al apoyo de Ian Godfrey, Universidad de South Florida.

3.6 Volcanes Tenorio y Miravalles

Tenorio:

Tipo: macizo estratovolcánico complejo con cráteres de explosión, domos y conos.

Lat: 10.673°N; **Long:** 85.015°W; **Altitud:** 1916 m.s.n.m.

Área y volumen: 223 km² y 62 km³

Edad: 740 000 años

Petrografía: andesitas y andesitas basálticas con escasos basaltos y raras dacitas.

Actividad prehistórica e histórica (1700-2020): coladas de lava, domos, cráteres de explosión, megadeslizamientos volcánicos. No hay actividad histórica debidamente comprobada.

Miravalles:

Tipo: macizo estratovolcánico complejo con cinco focos eruptivos y calderas de avalancha.

Lat: 10.44°N; **Long:** 85.09°W; **Altitud:** 2028 m.s.n.m.

Área y volumen: 187 km² y 85 km³

Edad: 550 000 años

Petrografía: andesitas y andesitas basálticas hasta andesitas.

Actividad prehistórica e histórica (1700-2020): coladas de lava, depósitos de corrientes de densidad piroclástica y caída de pómez, lahares, avalancha volcánica de escombros. Una pequeña explosión hidrotermal en 1946 en el campo fumarólico de Las Hornillas.

Nivel máximo en el 2022: Calma

Peligros observados en el 2022: Emisiones débiles de gases.

Los volcanes Tenorio y Miravalles presentan una actividad que no es siempre posible de diferenciar entre los 2 volcanes, por esta razón se presentan en conjunto. En general la actividad sísmica estuvo baja, principalmente asociada a la extracción geotérmica (Figura 34).

Durante este año 2022, las observaciones geodésicas basadas en datos GNSS mostraron una leve contracción del volcán. La estación del norte del volcán muestra un movimiento hacia el cráter de uno 7 mm sin movimientos vertical significativo. La estación el suroeste en el borde de la caldera de Guayabo

(VMFM) no muestran movimiento horizontal significativo y una ligera subsidencia (-5 mm).

En los últimos 4 años, la tendencia de contracción del Miravalles es la misma (Figura 35). en el volcán Tenorio no hay un patrón claro de deformación, aunque la diferencia de movimientos sureste-noroeste (5 mm/año), entre la estación del norte y las dos estaciones del sur podría evidenciar que una falla de las fallas del sistema dextral empezando en Costa Rica y terminando en Guatemala (“*sliver motion*”) cruza el volcán Tenorio. (Figura 35).

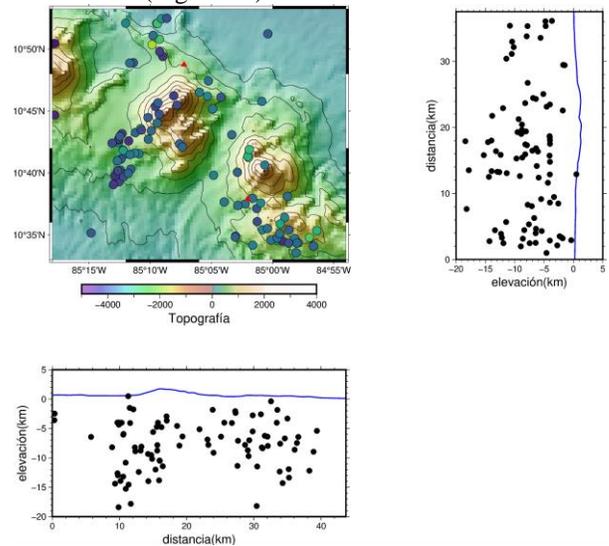
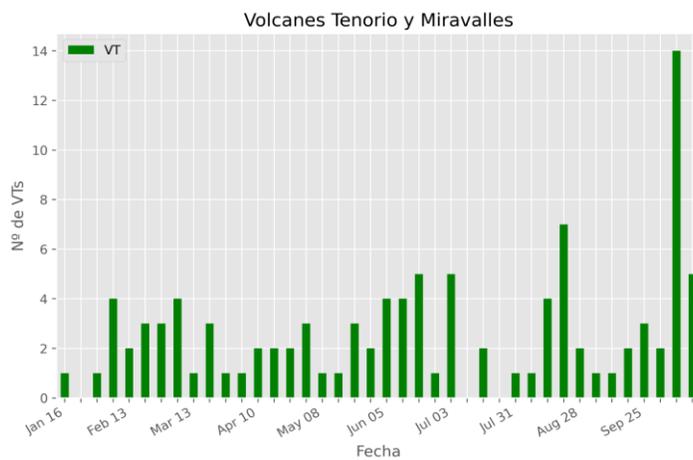


Figura 34: Número semanal de VTs en los volcanes Tenorio (a la derecha) y Miravalles (a la izquierda) para el año 2022, y ubicación de los eventos.

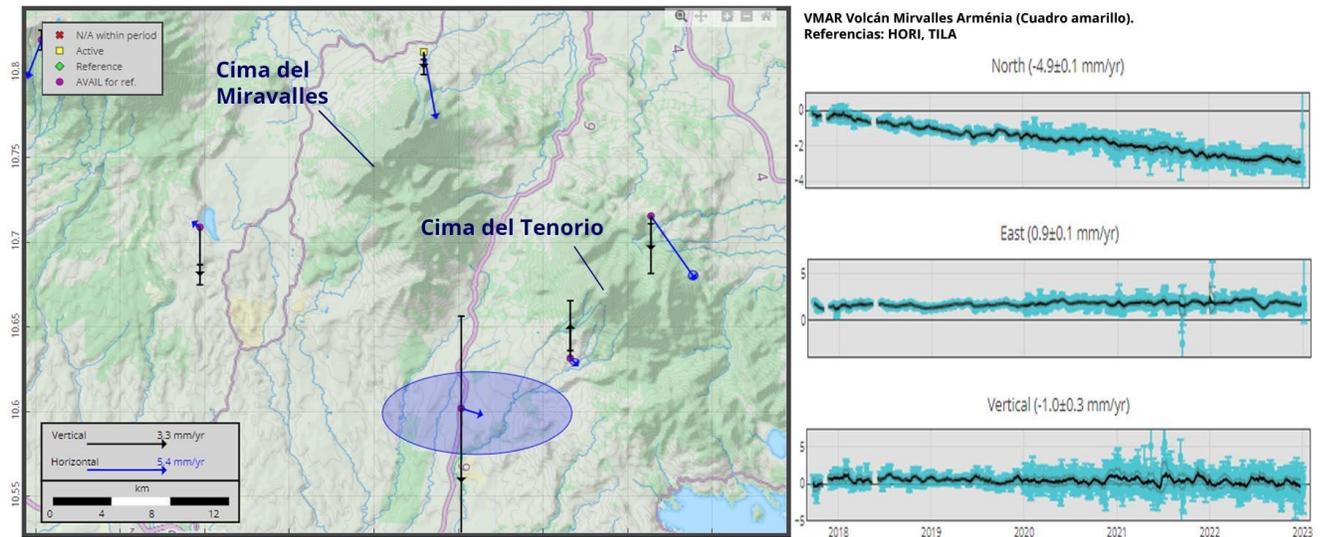


Figura 35: A la izquierda, los vectores de desplazamientos horizontales (azul) y verticales (negros) medidos con GNSS. Las elipses de confianza azules y las barras de error muestran las incertidumbres de los vectores horizontal y vertical, respectivamente. En la pestaña de la derecha se aprecia las series de tiempo en la componente norte, este y vertical de la estación de AROL (cuadro amarillo) entre enero y diciembre 2022. Estos resultados son referenciados a las estaciones de COVE y CIQE en la llanura caribeña.

3.7 Volcán Barva

Tipo: escudo andesítico complejo con múltiples conos y cráteres cuspidales y adventicios con varias calderas.

Lat: 10.135°N; **Long:** 84.1°W; **Altitud:** 2906 m.s.n.m.

Área y volumen: 1129 km² y 427 km³

Edad: 570 000 años

Petrografía: andesitas y andesitas basálticas; en menor cantidad basaltos y escasas dacitas.

Actividad prehistórica e histórica (1700-2020): alrededor de 8 erupciones estrombolicas hasta plinianas durante los últimos 11 000 años. La última erupción fue estromboliciana hace unos 500 años. Ninguna actividad histórica.

Nivel máximo en el 2022: Calma

Peligros observados en el 2022: Ninguno

En el 2022, el volcán Barva presentó un nivel sísmico de fondo bajo. La gran mayoría de los eventos se ubicaron en fallas locales entre el Barva y el Poás (Figura 36).

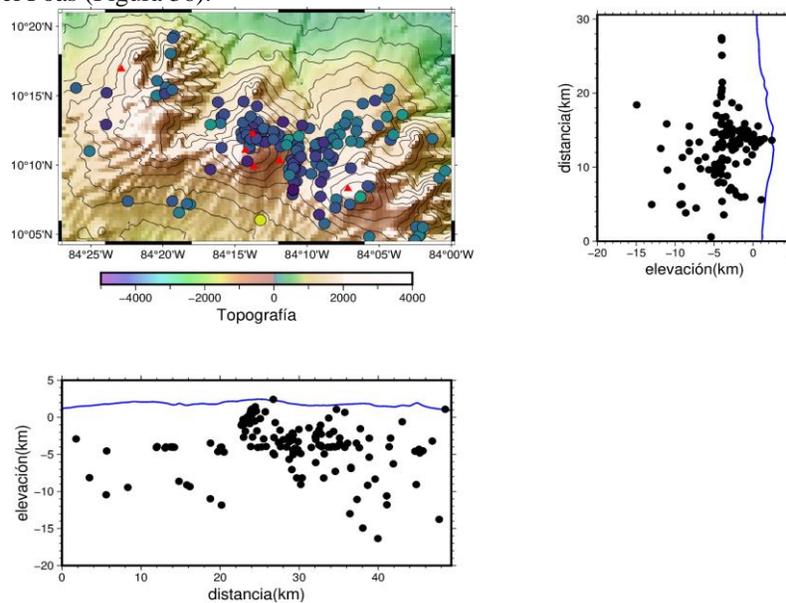


Figura 36: Ubicación de los VTS para los volcanes Barva (a la derecha) y Poás (a la izquierda) registrados por la red sísmica en el 2022.

4. Investigación publicada en el 2022

4.1 Algunos artículos científicos

D'Arcy, F., **de Moor, J.M.**, Stix, J., Alan, A., Bogue, R., Corrales, E., Diaz, J.A., Mick, E., Salas-Navarro, J. and Lauzeral, R., 2022. New insights into carbon isotope systematics at Poás volcano, Costa Rica. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 431, p.107639.

Kern, C., Aiuppa, A. and **de Moor, J.M.**, 2022. A golden era for volcanic gas geochemistry?. *Bulletin of Volcanology*, 84(5), p.43.

Mahsa Afra, Mitchell Hastings, Surui Xie, **Esteban Chaves, Cyril Müller, Marino Protti**, Rocco Malservisi, Alvaro Alvarez Calderón, and Timothy H. Dixon (2022). Slow Slip Prior to an Earthquake: An Example from Costa Rica, and Forecasting Implications, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*

Montanaro, C., Mick, E., Salas-Navarro, J., Caudron, C., Cronin, S.J., **de Moor, J.M.**, Scheu, B., Stix, J. and Strehlow, K., 2022. Phreatic and Hydrothermal Eruptions: From Overlooked to Looking Over. *Bulletin of Volcanology*, 84(6), p.64.

Salas-Navarro, J., Stix, J. and **de Moor, J.M.**, 2022. A new Multi-GAS system for continuous monitoring of CO₂/CH₄ ratios at active volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 426, p.107533.

Wand, J.L., Dragone, N.B., **Avard, G.**, Hynek, B.M., 2022. Microbial survival in an extreme Martian analog ecosystem: Poás volcano, Costa Rica. *Front. Astron. Space Sci.*, 9, p.817900.

4.2 Algunas conferencias científicas

Afra M., Hastings M., Xie S., **Chaves E, Müller C, Protti M**, Rocco Malservisi, Alvaro Alvarez Calderón, and Timothy H. Dixon (2022). Earthquake – Slow Slip Interactions and Forecasting Implications: A 2017 Example from Costa Rica, GAGE/SAGE 2022 Community Science worksop UNAVCO

Afra, M., Hastings, M., Xie, S., **Müller, C., Chaves, E., Protti, M.**, Malservisi, R., ... & Dixon, T. (2021, December). Slow Slip Events and Earthquake Triggering; A study in Northwestern Costa Rica. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2021, pp. MR35B-30).

Afra, M., Hastings, M., Xie, S., Voss N., **Chaves, E., Müller, C., Protti, M.**, Malservisi, R., ... & Dixon, T. (2022, December). Earthquake – Slow Slip Interactions and Forecasting Implications: A 2017 Example from Costa Rica, AGU Fall Meeting.

Chavarría N., Chaves E., Müller C., Nuñez E. Migración e interacción sísmica a lo largo de la Zona de Fractura de Panamá durante la secuencia del terremoto de julio 2021, XIV Congreso Geológico de América Central & VII Congreso Geológico Nacional San José - Costa Rica, 2022

Chaves E., Pacheco J., Müller C., Chavarría N, Sánchez Víquez C. Evolución geodinámica del deslizamiento en el flanco Suroeste del Volcán Irazú y su relación con los procesos de subducción en Costa Rica, XIV Congreso Geológico de América Central & VII Congreso Geológico Nacional San José - Costa Rica, 2022

Cluzan M., Müller C., , Angarita M, Deslizamiento de Santiago de Puriscal: evolución de 2017 a 2021a partir del procesamiento de imágenes InSAR, XIV Congreso Geológico de América Central & VII Congreso Geológico Nacional San José - Costa Rica, 2022

de Moor, M., Aiuppa, A., Kern, C., Kelly, P.J., Stix, J., Fischer, T.P., Rodríguez, A., Avard, G., Mick, E. and Barry, P.H., 2022, July. Monitoring Magmatic-Hydrothermal Eruptive Degassing at Costa Rican Volcanoes. 2022 Goldschmidt Conference. Abstract #11438.

Müller C., Cluzan M., Angarita M., Alvarado G.E., Avard G. (2022) Mega-deslizamiento del 2022 en el volcán Irazú (Costa Rica): un caso de alerta temprana acertada basada en mediciones geodésicas. XIV Congreso Geológico de América Central & VII Congreso Geológico Nacional San José - Costa Rica, 2022

Müller C., Cluzan M., Angarita M., Alvarado G.E., Avard G. (2022) Mega-deslizamiento del 2022 en el volcán Irazú (Costa Rica): un caso de alerta temprana acertada basada en mediciones geodésicas. Congreso Internacional de Topografía, Catastro Geodesia y Geomatica 2022, Costa Rica

Müller C., Cluzan M., Angarita M., Alvarado G.E., Avard G. (2022) Mega-deslizamiento en el volcán Irazú (Costa Rica): un caso de alerta temprana acertada basada en mediciones geodésicas. Reunión operativa de la Asociación Latinoamericana de Geodesia Volcánica, GEOVOL, Quito en Ecuador.

Perry M., **Müller C., Protti M.**, Feng L., Hill E (2022). Identification of Shallow Slow Slip Events at the Osa Peninsula, Costa Rica. LACS Meeting Quito Ecuador.

Perry, **M., Müller, C., Protti, M.**, Feng, L., & Hill, E. (2022, December). Shallow Slow Slip Events Identified around the Osa Peninsula in Costa Rica from GNSS Time Series. In Fall Meeting 2022. AGU.

5. Bibliografía

Ebmeier, S. K., Biggs, J., Muller, C., & Avard, G. (2014). Thin-skinned mass-wasting responsible for widespread deformation at Arenal volcano. *Frontiers in Earth Science*, 2, 35.

Muller, C. (2018). Volumen de magma almacenado y eruptivo del volcán Turrialba. Memoria IV Congreso Nacional de Gestión del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático, 10-11 de octubre, p. 99-100.

Stix, J. and de Moor, J.M., 2018. Understanding and forecasting phreatic eruptions driven by magmatic degassing. *Earth, Planets and Space*, 70, pp.1-19.

Nota de los autores: En el 2022, el grupo de Vigilancia Volcánica está constituido por (orden alfabético) G.Avard, M.Cluzan, M.de Moor, M.Martínez, C.Muller, J.Pacheco, A.Rodríguez y C.Sánchez. Pero no harían datos sin el apoyo activo del personal técnico y administrativo del OVSICORI-UNA, así que el grupo les presenta su gratitud por su entusiasmo y buen espíritu.

PARA INFORMAR, NO PARA ALARMAR
CIENCIA PARA LA SOCIEDAD.

