

INFORME EXTRAORDINARIO COMPLEJO VOLCÁNICO CHILES – CERRO NEGRO

Informe Técnico Conjunto: Incremento de la actividad sísmica y volcánica

Martes 26 de julio de 2022

Resumen

Desde el 27 de mayo de 2022 se registra un nuevo incremento en la actividad sísmica de la zona del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro y sus alrededores, que incluye la ocurrencia de sismos asociados con fallamiento frágil en la roca (sismos tipo volcano-tectónico) y con sismos relacionados con actividad de fluidos (sismos tipo largo-período). Estos últimos con profundidades más someras que las registradas en los años anteriores. Esta actividad alcanzó un pico en la mañana del 25 de Julio con un sismo de magnitud 5.6 Mw (magnitud momento) y sus réplicas. Adicionalmente, esta sismicidad ha estado acompañada de una deformación vertical del suelo y de cambios en las composiciones de los fluidos superficiales asociados al sistema hidrotermal. Estos cambios sugieren una fuente magmática probablemente más cercana a la superficie.

Anexo Técnico

Antecedentes

Desde el año 2013, en la zona aledaña al Complejo Volcánico Chiles - Cerro Negro (CVCCN) empezó una serie de manifestaciones sísmicas que desencadenaron una crisis con sismos que fueron sentidos por los residentes de las poblaciones de Chiles en Colombia y Tufiño en Ecuador. La sismicidad alcanzó su punto máximo el 20 de octubre de 2014 con la ocurrencia de un sismo de magnitud 5.6 Mw (magnitud de momento) y un conteo de más de 8000 sismos volcano-tectónicos (VT) por día. Este sismo, a pesar de ser relativamente grande, no causó daños de relevancia, pero fue sentido en zonas muy distales, como Quito, la Capital del Ecuador ubicada a más de 120 km de distancia, y la ciudad de Pasto, capital del departamento de Nariño, Colombia, ubicada a 90 km. Desde entonces, se han venido registrando varios enjambres de sismos en la zona, incluyendo eventos sentidos con magnitudes cercanas a 5. La compleja interacción entre el sistema magmático del CVCCN, las fallas tectónicas regionales y el sistema hidrotermal juegan un papel crucial para las interpretaciones de los procesos que ocurren en esta zona.

IG-EPN

Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igeepn.edu.ec geofisico@igeepn.edu.ec

OVSP-SGC

Calle 27 N.° 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co

Dada su localización en la zona fronteriza, perteneciente a la provincia del Carchi – Ecuador y al departamento de Nariño – Colombia, el CVCCN es vigilado de manera conjunta por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador) y el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (Colombia) (Figura 1).

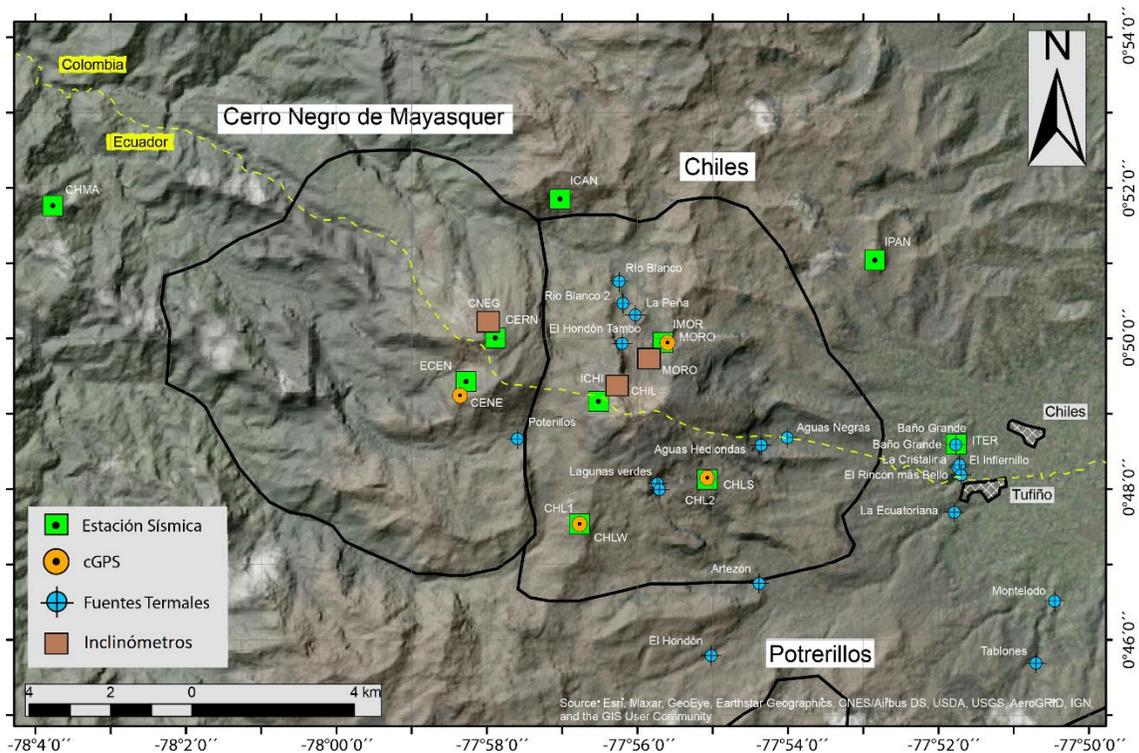


Figura 1. Localización de estaciones telemétricas (sismómetros, inclinómetros y cGPS) y sitios de muestreo en fuentes termales para la vigilancia volcánica del CVCCN.

Sismicidad

El CVCCN presenta un nuevo incremento de la actividad sísmica desde el 27 de mayo de 2022. En la Figura 2a se muestra el histograma con el número de eventos diarios desde la crisis sísmica que se empezó a destacar desde finales de 2013; en la Figura 2b se presenta una ventana ampliada del periodo actual, en la que se aprecia el incremento en número de sismos VT que en promedio superan los 1000 eventos por día. Esta sismicidad está caracterizada principalmente por sismos VT, que típicamente están relacionados con el fracturamiento de las

IG-EPN

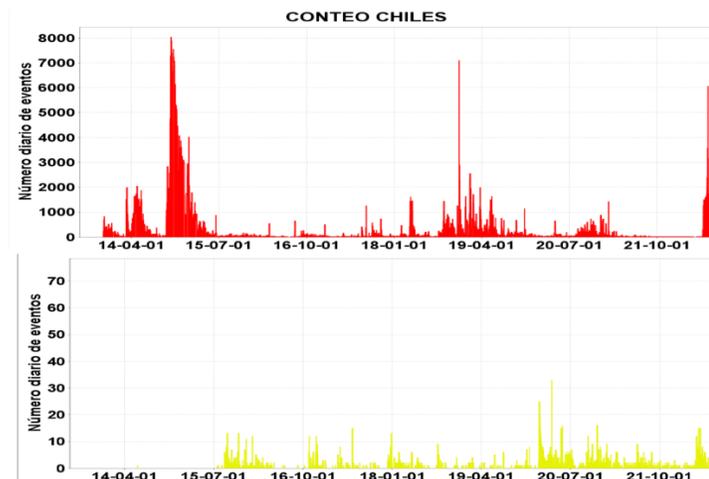
Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igeppn.edu.ec geofisico@igeppn.edu.ec

OVSP-SGC

Calles 27 N.º 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co

rocas. Sin embargo, en la última semana las redes de vigilancia sísmica de Ecuador y Colombia han detectado adicionalmente la presencia de eventos de largo periodo (LP) y de muy largo periodo (VLP), los cuales están típicamente relacionados a movimientos de fluidos magmáticos o hidrotermales en los sistemas volcánicos.

a)



b)

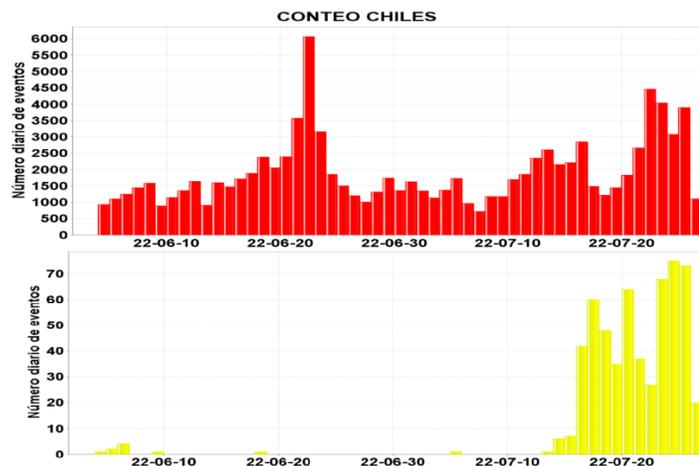


Figura 2. Ocurrencia diaria de eventos VT (barras rojas) y LP (barras amarillas) en el CVCCN a partir de la detección y conteo automático y asistido en su revisión por el Servicio Geológico Colombiano para los periodos: a) noviembre de 2013 a julio de 2022, y b) desde mayo al 26 de julio de 2022.

Un ejemplo de estos sismos LP ocurrió el 16 de julio a las 10:38 a.m, el cual alcanzó una magnitud de 3.3 y fue reportado como sentido en las poblaciones aledañas. En la Figura 3 se presenta la forma de onda y el espectro de

este evento en la estación CHL1, mostrando un contenido importante de bajas frecuencias con un pico máximo en 1 Hz. Este evento fue localizado en el flanco sur del volcán Chiles.

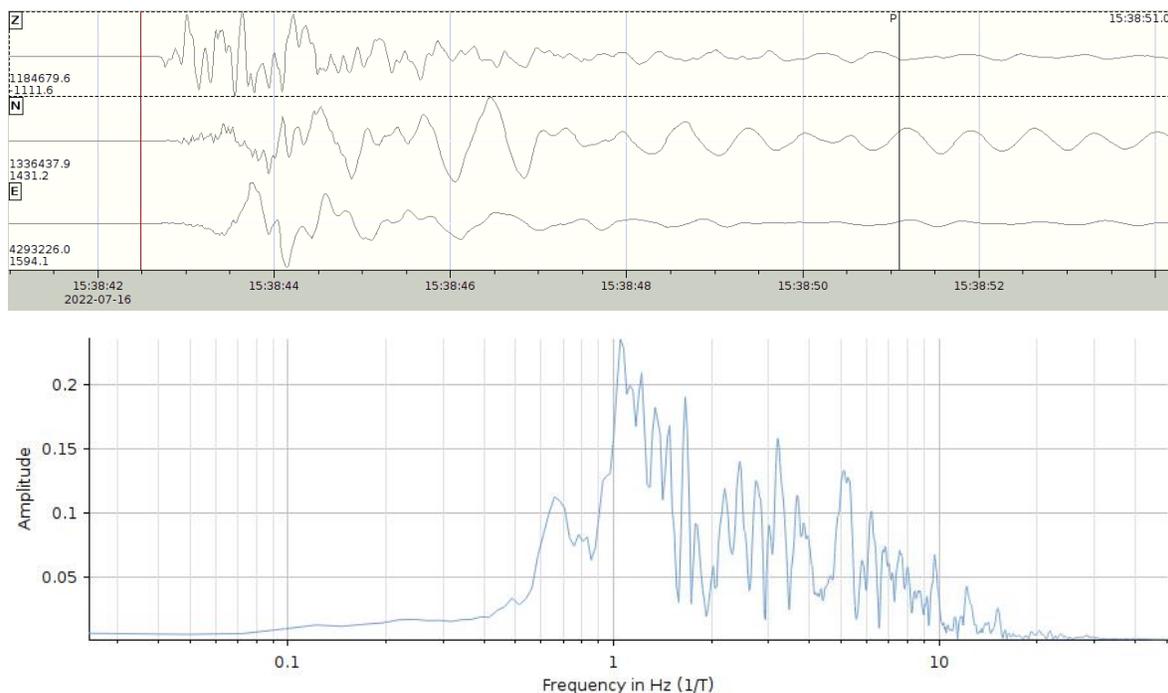


Figura 3. En el panel superior se muestra la forma de onda en la estación CHL1 del sismo de magnitud 3.3 registrado el 16 de julio de 2022 a las 10:38 a.m., y en el panel inferior se muestra el espectro de frecuencias del mismo evento.

Desde el 27 de mayo hasta la fecha de cierre de este boletín se localizaron alrededor de 17738 sismos (Figura 4). Hasta el 23 de julio en la tarde los focos sísmicos se concentran debajo de la cima del volcán Chiles y a unos 3.5 km al sur de la misma, con profundidades desde 4 km sobre el nivel del mar hasta 2 km debajo del mismo; mientras que los eventos LP y VLP se concentran a profundidades de entre 1 y 2 km sobre el nivel del mar. En horas de la tarde del día 23 de julio, reaparece una fuente más distal, actuando simultáneamente con la fuente proximal. Esta última con focos entre 7 y 11 km al SSE de la cima de Chiles y con profundidades entre 2 y 5 km debajo del nivel del mar, destacándose el sismo de magnitud 3.0 del 23 de julio a las 10:47 p.m. que fue reportado como sentido por habitantes de la zona vecina al volcán Chiles.

IG-EPN

Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igeppn.edu.ec geofisico@igeppn.edu.ec

OVSP-SGC

Calle 27 N.° 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co

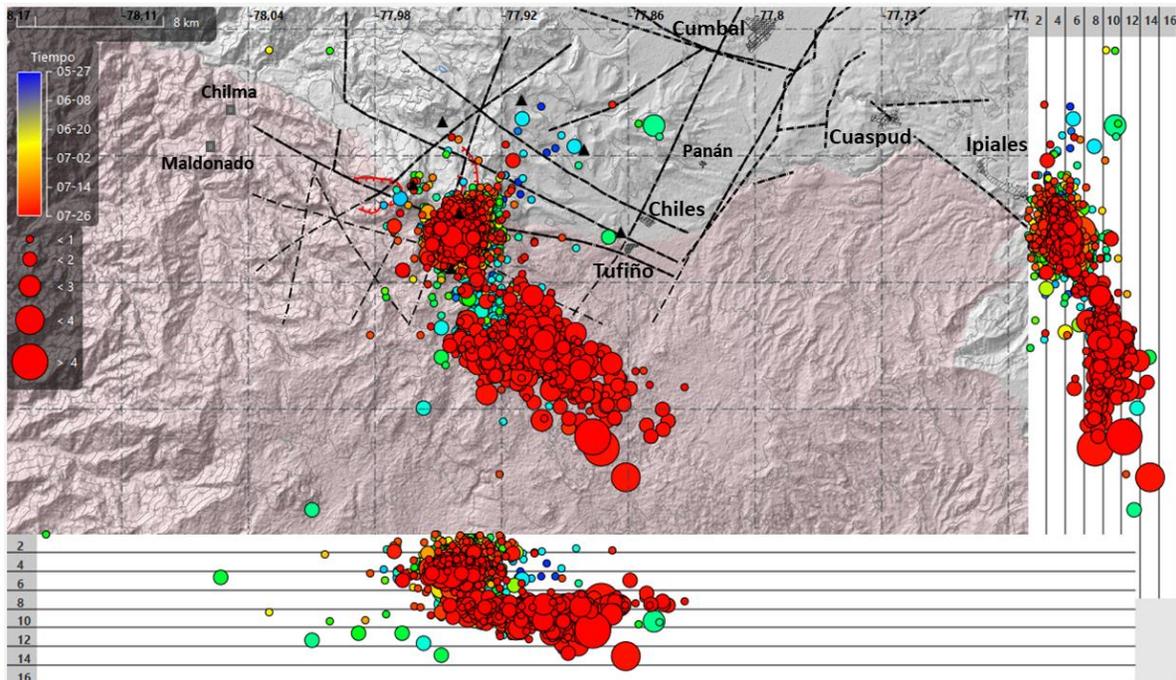


Figura 4. Mapa de localizaciones de los eventos sísmicos entre el 27 de mayo y el 26 de julio de 2022. La escala de color va de acuerdo con el registro temporal de los sismos y el tamaño de los círculos hacen referencia a la magnitud, teniéndose como valor máximo 5.6 Mw para el sismo del 25 de julio de 2022. Se incluyen fallas, lineamientos estructurales y principales poblados como referencia.

Comparativamente con otros enjambres, esta sismicidad se caracteriza por ser más proximal al edificio volcánico de Chiles con algunos hipocentros más someros. Adicionalmente, un análisis del decaimiento de la coda (la parte final de la forma de onda) de estos sismos, muestra una mayor atenuación con una tendencia a incrementar la tasa de decaimiento (Figura 5), lo que sugeriría un medio con un mayor aporte de fluidos.

IG-EPN

Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igeptn.edu.ec geofisico@igeptn.edu.ec

OVSP-SGC

Calle 27 N.° 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co

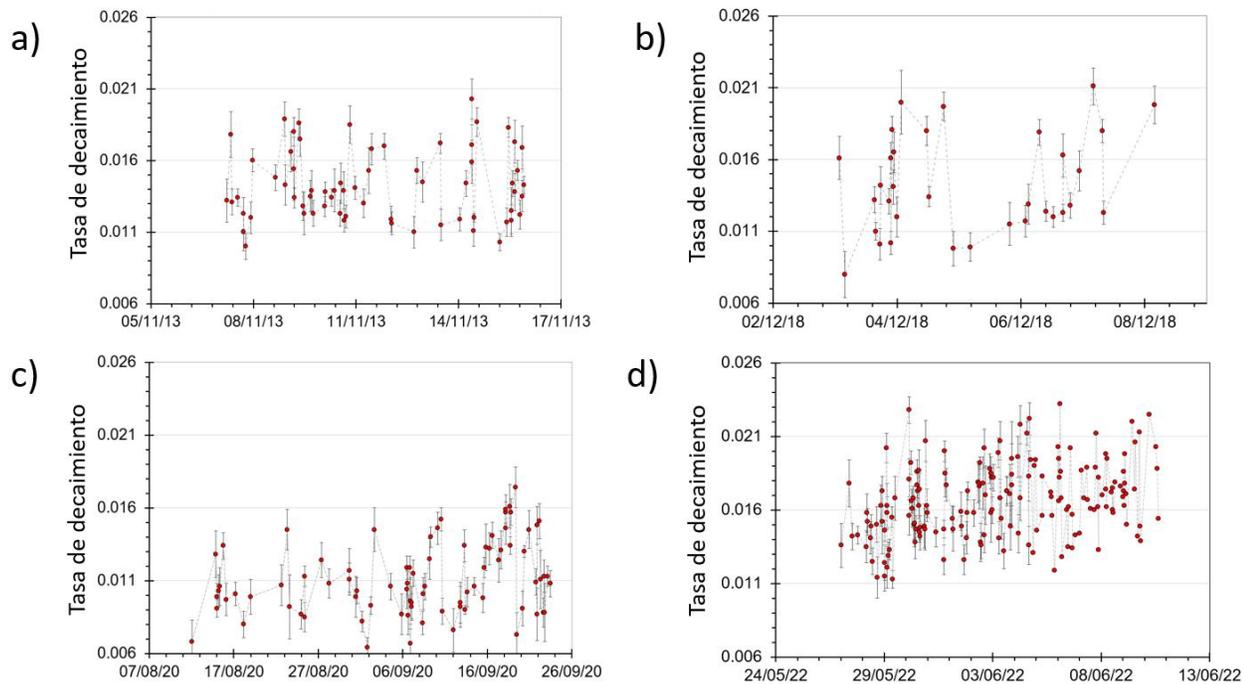


Figura 5. Atenuación de ondas coda de sismos VT en la componente vertical de la estación ICHI (ver Figura 1) para diferentes periodos a) 5 a 16 de noviembre de 2013, b) 2 a 9 de diciembre de 2018, c) 7 de agosto a 26 de septiembre de 2020 y d) 24 de mayo a 13 de junio de 2022.

El 25 de Julio a las 08h33 TL se registró un sismo de magnitud 5.6 Mw, con epicentro a unos 10 km al sur de Tufiño (provincia de Carchi, Ecuador), el cual fue seguido por una serie de réplicas de magnitudes menores. Se han reportado daños a edificaciones debido a este sismo en San Gabriel, Tulcán y El Ángel (Ecuador) y en los Municipios de Túquerres y Cumbal (Colombia).

Geodesia

Las bases geodésicas de cGPS ubicadas en las cercanías del volcán Chiles registran actualmente patrones de deformación en los flancos del volcán. En la Figura 6 se presenta la serie de datos de la componente Vertical, correspondiente a la base CHLW (ver Figura 1), ubicada en el flanco SW. La franja en color amarillo resalta el periodo entre abril y julio de 2022, en el cual se puede apreciar que los datos presentan una tendencia ascendente, describiendo un patrón de inflación. En comparación a la tasa o velocidad de ascenso registrado por CHLW entre 2016 y 2020 (aproximadamente 28 mm/año),

IG-EPN

Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igeppn.edu.ec geofisico@igeppn.edu.ec

OVSP-SGC

Calle 27 N.° 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co

actualmente alcanza una velocidad media de 106 mm/año, siendo esta la tasa de inflación más notable registrada desde el año 2014 en el complejo volcánico Chiles - Cerro Negro (Figura 6).

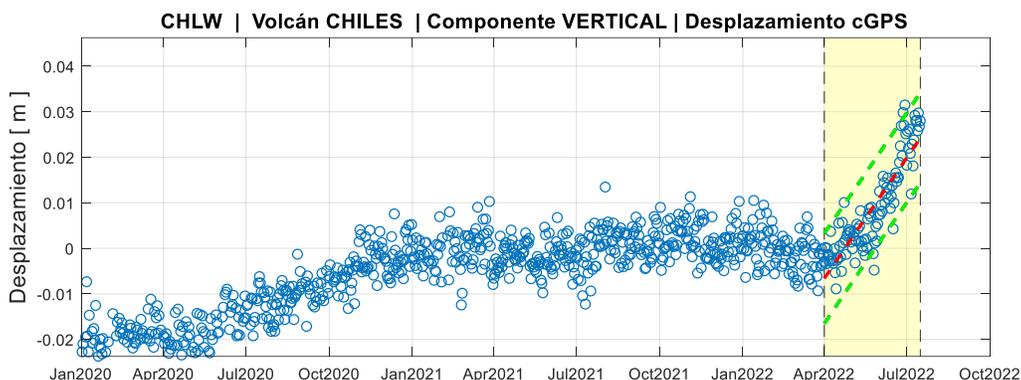


Figura 6. Serie temporal de datos de desplazamientos (deformación) registrados en dirección vertical por la base cGPS CHLW, ubicada en el flanco SW del volcán Chiles, entre enero de 2020 y julio de 2022. La línea segmentada en color rojo representa la tendencia de los datos desde abril 2022 y las líneas en color verde representan los márgenes de confiabilidad del modelo matemático que la describe.

Al graficar el vector resultante obtenido con las componentes horizontales de las bases geodésicas cGPS, se visualiza un patrón de inflación hacia al SSE del volcán Chiles concordante con muchos de los hipocentros localizados (Figura 7).



Figura 7. Orientación de los vectores resultantes calculados con las variaciones de las componentes horizontales de las estaciones cGPS ubicadas sobre el CVCCN para el periodo 1 de mayo y 2 de julio de 2022. Las proyecciones del origen de los vectores estarían indicando un proceso de deformación inflacionario al SSE de Chiles.

IG-EPN

Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igeppn.edu.ec geofisico@igeppn.edu.ec

OVSP-SGC

Calle 27 N.º 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co

En los inclinómetros electrónicos se observan cambios en sus componentes desde marzo de 2022. En la Figura 8a se muestra el registro de las componentes de inclinación de CNEG, ascenso en la componente Este y descenso en la Norte donde se aprecia el salto en la componente Este, provocado por el sismo de magnitud 4.3 ocurrido el 21 de junio de 2022. De igual forma, se muestran las variaciones en las componentes del inclinómetro CHIL (Figura 8b), descendente en la Este y ascendente en la Norte; posterior al sismo del 21 de junio, se aprecia un cambio de tendencia en la componente Este.

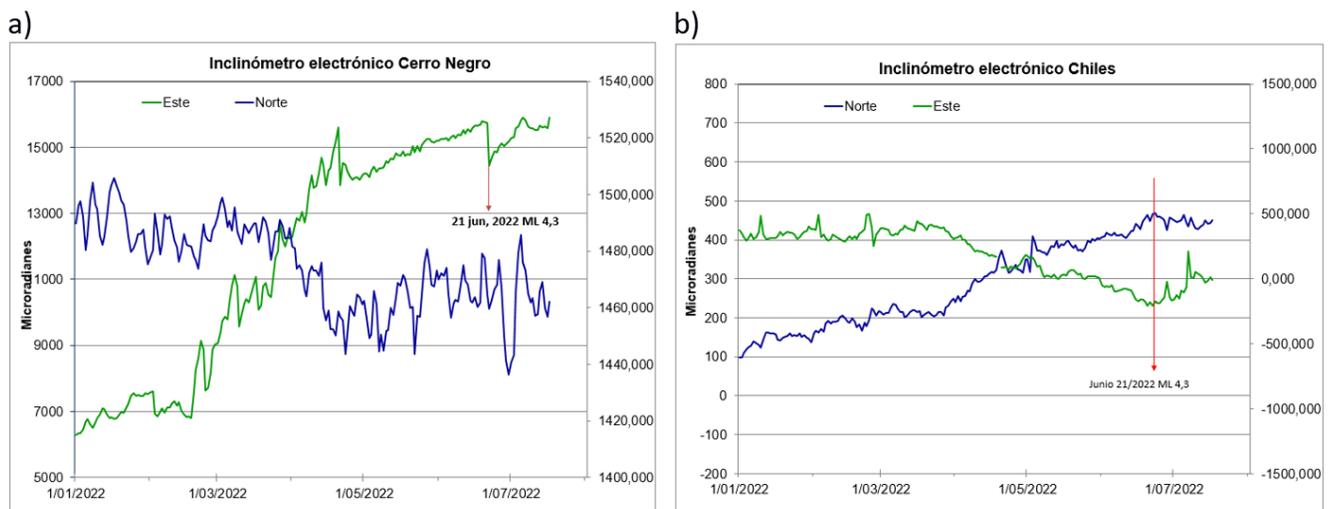


Figura 8. Componentes Este y Norte de los inclinómetros electrónicos a) CNEG instalado sobre el volcán Cerro Negro, para el periodo 1 de enero y el 18 de julio de 2022, mostrando el salto provocado por el sismo de magnitud 4.3. b) CHIL instalado sobre el volcán Chiles, para el mismo periodo, donde la flecha indica la ocurrencia del sismo de magnitud 4.3.

La figura 9 representa un interferograma obtenido en base a imágenes Sentinel1 (ESA) de la Reserva Ecológica El Ángel que incluye el CVCCN; los colores que van de amarillo a violeta muestran zonas de inflación coincidentes con las observaciones de cGPS. La imagen muestra la ocurrencia de al menos dos zonas de deformación, una al sur del Chiles y otra en la caldera de Potrerillos. La compleja interacción entre estas dos regiones que presentan inflación y fallas regionales de la fuente sismogénica “El Angel” (Yepes et al., 2016), pudo ser el mecanismo disparador del sismo de magnitud 5.6 Mw que se registró la mañana del 25 de julio.

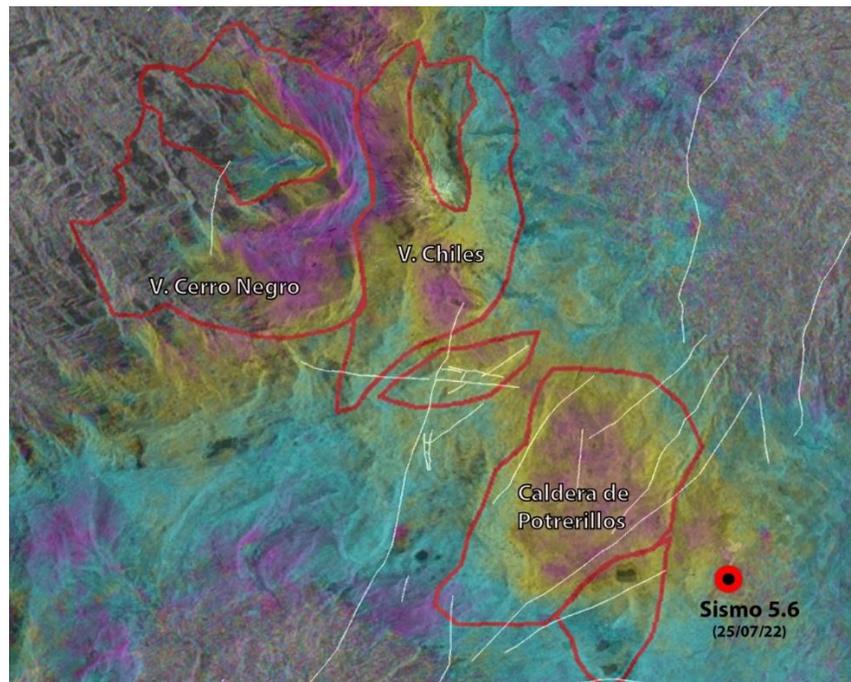


Figura 9. Interferograma de la zona de la Reserva Ecológica El Ángel, que incluye el complejo volcánico Chiles Cerro Negro, así como la caldera de Potrerillos. Interferograma obtenido en base a imágenes inSAR de la misión Sentinel1 (ESA) de órbita descendente, entre el 24 de abril y el 17 de julio de 2022. Nota: Además de la deformación, la imagen puede presentar perturbaciones de origen atmosférico; no es una imagen georeferenciada.

Geoquímica

Desde el año 2014 se llevan a cabo mediciones de parámetros físico-químicos y razones de especies gaseosas mayoritarias en las fuentes termales asociadas al CVCCN. Entre las fuentes que cuentan con este seguimiento se tiene: El Hondón, Aguas Hediondas Aguas Negras y Lagunas Verdes (ver Figura 1).

En cuanto a los parámetros físico-químicos, no se observa cambios, excepto un leve incremento en la temperatura y conductividad para la fuente de Aguas Hediondas.

Las razones de $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$, medidas desde el año 2019, muestran un descenso en todas las fuentes, esto se traduce como el aumento de H_2S en los gases emitidos por las fuentes (Figura 10). Esto, de manera general, indica posiblemente un mayor aporte de fluidos desde el sistema magmático-hidrotermal. Sin

IG-EPN

Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igeepn.edu.ec geofisico@igeepn.edu.ec

OVSP-SGC

Calle 27 N.° 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co

embargo, debido a que estas medidas son periódicas y no permanentes, se debe continuar con el seguimiento para tener interpretaciones más consistentes.

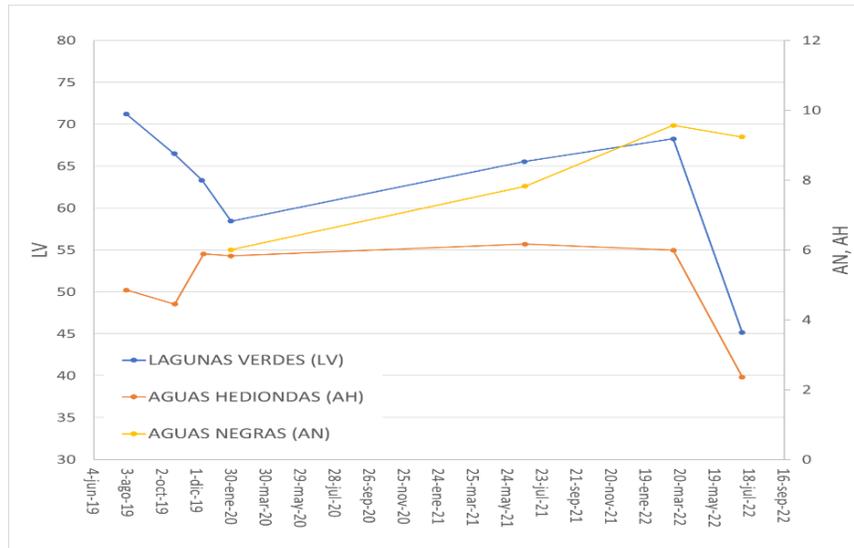


Figura 10.-. Gráfico de la razón $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ obtenida en la pluma de gas de los campos fumarólicos de Lagunas Verdes (Azul) cuyos valores se ven en el eje Y izquierdo. Además, Aguas Hediondas (Anaranjado) y Aguas Negras (Amarillo) cuyos valores se leen en el eje Y derecho.

Cambios Morfológicos

Los cambios morfológicos se han presentado típicamente en la fuente de El Hondón. Luego de la visita realizada en marzo de 2022, se pudieron constatar importantes cambios en la morfología (Figura 1), entre ellos, el más importante está asociado a la aparición de una nueva fuente de agua con un área $>15 \text{ m}^2$ y una profundidad de 1.2 a 1.5 m, mayor a lo observado previamente entre octubre de 2019 y marzo de 2022. Se ha podido constatar, además, la formación de nuevos drenajes abiertos hacia el W de esta nueva fuente.



Figura 11. A la izquierda se observa el campo termal El Hondón en marzo de 2022, a la derecha se puede observar el mismo campo en julio de 2022. Note las letras amarillas que referencian las ubicaciones de los diferentes sitios con manifestaciones hidrotermales. En la foto izquierda se ha colocado una línea amarilla para referenciar la extensión de la fuente activa actual.

Conclusiones

De acuerdo con los indicadores derivados de la vigilancia volcánica, se evidencia una evolución en la actividad en la región de CVCCN caracterizada por:

1. Un incremento en la deformación a partir de abril de 2022 con un patrón inflacionario en el flanco sur del Chiles y Caldera de Potrerillos.
2. Incremento en la ocurrencia de sismos asociados a fracturamiento de roca (VT) desde finales de mayo de 2022, destacándose la presencia de fuentes sísmicas más cercanas al volcán Chiles, con hipocentros más superficiales. Esto aunado a una mayor atenuación de las ondas de coda, que sugiere un medio con mayor aporte de fluidos, y que también se ve reflejado en la ocurrencia de sismos asociados a una dinámica de fluidos (LP).
3. Cambios físico-químicos en fuentes termales: emisiones gaseosas, altas temperaturas y cambios morfológicos (El Hondón) indicando una perturbación del sistema hidrotermal causada por la sismicidad y la interacción con el sistema magmático.

Escenarios Posibles

Es importante indicar que los escenarios, así como su orden de probabilidad de ocurrencia pueden verse modificados en función de los cambios que se observen en los parámetros geofísicos y geoquímicos que

IG-EPN

Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igepon.edu.ec geofisico@igepon.edu.ec

OVSP-SGC

Calle 27 N.° 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co

tanto el IGEPN como el SGS-Observatorio Vulcanológico de Pasto registran de manera permanente gracias a la red de vigilancia conjunta que opera desde el año 2013. En función de su probabilidad de ocurrencia se considera al momento tres posibles escenarios:

1. Que continúen fluctuaciones en la actividad como ha venido ocurriendo desde 2013. En este caso, es posible que se desencadenen incrementos en la sismicidad con eventos de mayor magnitud, como lo ocurrido en la mañana del 25 de Julio. Debido al carácter fluctuante de la actividad es posible retornar posteriormente a niveles de actividad sísmica más baja, esto es, disminución en el número de eventos y magnitudes.
2. Incremento de la actividad volcano-tectónica: mayor cantidad de sismos de tipo LP u ocurrencia de tremores volcánicos con localizaciones más someras, mayor deformación e incremento de especies gaseosas asociadas al sistema magmático. Esto indicaría procesos relacionados con el sistema hidrotermal, con manifestaciones en superficie como: incrementos de temperatura en las fuentes termales, formación de grietas y posibles explosiones freáticas. Es posible que se presenten sismos de mayor magnitud.
3. Evolución de los parámetros de monitoreo que muestren una actividad más superficial lo que podría progresar hacia un proceso eruptivo, el mismo que puede ser inicialmente de tipo freático, eventualmente evolucionando a actividad freato-magmática y en último término a una actividad magmática.

Nota: La ocurrencia de sismos de mayor magnitud puede generar inestabilidad en laderas, deslizamientos, así como daños estructurales en edificaciones.

Recomendaciones

1. Se recomienda a la población mantenerse informada únicamente por los canales oficiales y estar pendientes de la evolución de la actividad del CVCCN.
2. Con el fin de alimentar los planes de respuesta ante posible erupción del CVCCN se recomienda a las autoridades de la protección civil y administración de gestión de riesgos tomar en consideración la información cartográfica correspondiente a los peligros o amenazas volcánicas asociadas para la definición y difusión de zonas seguras y exclusión de zonas potencialmente peligrosas.

IG-EPN

Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igeptn.edu.ec geofisico@igeptn.edu.ec

OVSP-SGC

Calle 27 N.º 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co

3. Mantenerse alejados de las surgentes de agua, asociadas a las fuentes termales descritas en el informe pues cambios en las tasas de emisión o composición de los gases pueden ser perjudiciales para la salud. Además, por ser zonas inestables y con altas temperaturas pudieran representar un riesgo para la integridad física de las personas.
4. Revisar las edificaciones vulnerables ante la posibilidad de ocurrencia de nuevos sismos de mayor magnitud.
5. A las autoridades competentes, contemplar la posibilidad de un simulacro binacional por erupción volcánica como medida de preparación.

Elaborado por:

OVSP-SGC, IG-EPN

IG-EPN

Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253 Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: www.igepn.edu.ec geofisico@igepn.edu.ec

OVSP-SGC

Calle 27 N.º 9E-25 Barrio La Carolina
+57(602)7302593 y 7320752
sgc-pasto@sgc.gov.co