



***INFORME ACTIVIDAD SÍSMICA GUAMUEZ (NARIÑO)  
AGOSTO-SEPTIEMBRE 2024***

**San Juan de Pasto, octubre de 2024**

**SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©**

Héctor Julio Fierro Morales

**Director General**

John Makario Londoño

**Director Técnico de Geoamenazas**

Roberto Torres Corredor

**Coordinador Grupo Trabajo Evaluación, Monitoreo y Diagnóstico de Dinámicas Geológicas**

Lourdes Narváez Medina

**Líder Técnica Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto**

**Autores**

Roberto Armando Torres Corredor

Víctor Rivera Lara

Patricia Ponce Villarreal

Oscar Cadena Ibarra

John Meneses Muñoz

Lourdes Narváez Medina

Diego Mauricio Gómez Martínez

Yenny Hache Timaná

Adriana Ortega Estupiñán

Leidy Solano Trullo

Ingrith Realpe Ordoñez

Angie Eraso Obando

Darío Arcos Guerrero

## Contenido

	Pág.
Introducción	1
1 Contexto Geológico	3
2 Antecedentes	5
3 Distribución hipocentral	11
4 Evolución espacio-temporal	15
5 Ocurrencia y magnitud	17
6 Otras mediciones	24
6.1 Deformación	24
6.2 Geoquímica	25
7 Acciones acometidas	27
8 Conclusiones	30
9 Referencias	32

## Índice de Figuras

Figura 1 Sismogramas registrados entre el 15 y el 20 de agosto de 2024, destacando con caracteres en rojo, uno de los sismos de mayor magnitud que ocurrió el 17 de agosto a las 8:21 am y otro el 20 de agosto a las 12:42 pm. ....	2
Figura 2 Mapa de fallas y lineamientos estructurales del campo volcánico monogenético Guamuez-Sibundoy. Nótese el lineamiento de las estructuras volcánicas (1 a 5, 16 - 17) en la parte centro oriental de la laguna de La Cocha. ....	4
Figura 3 . Mapa geológico del campo volcánico monogenético Guamuez-Sibundoy. ....	5
Figura 4. Epicentros de sismos históricos en el SO de Colombia y NO de Ecuador, destacando con la circunferencia el epicentro del sismo de 1834. ....	6
Figura 5. Intensidad sísmica del sismo del 20 de enero de 1834. Fuente: <a href="https://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAlInfoDetallada&amp;idSismo=28#">https://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAlInfoDetallada&amp;idSismo=28#</a> ....	6
Figura 6. Evolución temporal de ts-tp de la secuencia sísmica registrada en 2011 ....	8
Figura 7. Distribución espacial de las fuentes sísmicas que ocurrieron entre el 28 de septiembre y el 11 de octubre de 2011. ....	8
Figura 8. Evolución temporal de las profundidades, latitudes y longitudes de las fuentes sísmicas de los eventos localizados correspondientes a la secuencia sísmica del 2011. Las barras verticales muestran el error y los colores se asocian con la magnitud de los sismos. Para efectos comparativos, el eje de las ordenadas de la latitud y longitud muestra un rango de 0,4 grados. ....	9
Figura 9. Red de monitoreo del CVMGS, instalada en el 2022 y 2023. ....	9

Figura 10. Estaciones sismológicas y acelerómetros que se tuvieron en cuenta para localizar la secuencia sísmica registrada entre agosto y septiembre de 2024. El círculo indica el área de influencia del CVMGS definida por el SGC-OVSPA. ....	11
Figura 11 Evolución temporal de ts-tp de la secuencia sísmica registrada en 2024.....	11
Figura 12. Distribución de valores de Vp/Vs para la región Guamuez.....	12
Figura 13. Distribución espacial de las fuente sísmicas que ocurrieron entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre de 2024.....	13
Figura 14. Distribución espacial de localizaciones de las fuentes de sismos con magnitudes iguales o mayores a 2,5 ocurridos entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre de 2024. ....	14
Figura 15. Comparación de la distribución espacial de las fuentes sísmicas acontecidas en 2011 (puntos azules) y la de 2024 (puntos rojos). ....	14
Figura 16. Evolución temporal de las profundidades, latitudes y longitudes de las fuentes sísmicas de los eventos localizados. Las barras verticales muestran el error y los colores se asocian con la magnitud de los sismos. Para efectos comparativos, el eje de las ordenadas de la latitud y longitud muestra un rango de 0,3 grados.....	16
Figura 17. Distribución temporal de las profundidades de las fuentes sísmicas de la secuencia registrada entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre de 2024.....	17
Figura 18. Histogramas de ocurrencia diaria (panel superior) y de sismos localizados conjuntamente con los valores de sismos de magnitud mayor a 3,0 (panel inferior). ....	18
Figura 19. Decaimiento temporal de la secuencia de sismos acontecida entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre de 2024 según la Ley de Omori. ....	18
Figura 20. Histograma de magnitudes locales de la secuencia sísmica entre el 15 de agosto al 17 de septiembre de 2024. Se resaltan los sismos más grandes de la secuencia con valores de 3,8 y 3,7 el 16 y 21 de agosto respectivamente (estrellas amarillas). ....	19
Figura 21. Momento sísmico acumulado calculado a partir de la magnitud de los sismos (15 de agosto a 17 de septiembre de 2024).....	20
Figura 22. Distribución Gutenberg - Richter de la secuencia sísmica (15 de agosto a 17 de septiembre de 2024).....	21
Figura 23. Gráfico de Magnitud respecto al tiempo de la secuencia sísmica registrada entre el 28 de septiembre a 19 de octubre de 2011 .....	22
Figura 24. Gráfico de profundidad respecto al tiempo de la secuencia sísmica de 2011 (28 de septiembre a 19 de octubre).....	23
Figura 25 Momento sísmico acumulado calculado a partir de la magnitud de los sismos de la secuencia sísmica entre el 28 de septiembre a 19 de octubre de 2011.....	23
Figura 26 Distribución Gutenberg - Richter de la secuencia sísmica acontecida entre el 28 de septiembre y el 19 de octubre de 2011.....	24
Figura 27. Izquierda: Componentes de desplazamiento de la estación GNSS COLN, de propiedad del IGAC ubicada en el municipio de Colón, Putumayo, entre septiembre de	

2022 y marzo de 2024. Derecha: Desplazamientos obtenidos con imágenes Sentinel-1, procesados con software ISCE .....	25
Figura 28. Registro de temperatura en la estación de Danta. Julio 2022- septiembre 2024. ....	25
Figura 29. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de aguas, en área de influencia del campo volcánico Guamuez- Sibundoy y del Alto Putumayo. El rango de temperatura de los sitios de muestreo está indicado por el color y el tamaño de sus círculos. Los polígonos de color verde representan las estructuras que hacen parte del CVMGS y las líneas discontinuas representan los trazos de fallas definidos regionalmente asociados con el SFA.....	26
Figura 30. Posibles sitios de expansión de la red de monitoreo en la zona del CVMGS: Bordoncillo (Estación GNSS), Santa Lucia (Estación sismológica), Guayapungo (Estación sismológica y GNSS) .....	30

## Índice de Tablas

Tabla 1 Estaciones sismológicas y acelerómetros que se usaron para localizar la sismicidad registrada entre agosto y septiembre de 2024, que hacen parte de las redes del: CVADJ, volcán Galeras, CVMGS, CVC y la RSNC .....	10
Tabla 2. Modelo de velocidades de onda P ( $V_p$ ) para la zona de La Cocha.....	12
Tabla 3. Cronograma de Actividades de acciones acometidas .....	29

## Introducción

El 15 de agosto a las 7:34 pm (hora local=GMT - 5 horas) inició el registro de una secuencia sísmica ubicada alrededor de 25 km al ESE del volcán Galeras, al E del lago Guamuez conocido comúnmente laguna de La Cocha y a unos 14 km al SO de la población de Santiago (Putumayo), en un sector ubicado en el límite de los Departamentos de Nariño y Putumayo. En la Figura 1 se ilustra los registros de la evolución de esta sismicidad entre el 15 y 20 de agosto. Se resalta que el 17 de agosto a las 8:21 a.m. ocurrió un sismo de magnitud local (ML) de 3,8 que fue sentido en la región del Alto Putumayo y sectores del municipio de Pasto debido a su profundidad superficial (8 km con respecto al nivel del mar). Dentro de esta secuencia sísmica se resalta la ocurrencia de 6 sismos con ML > 3,0 destacándose el del 21 de agosto que también tuvo una ML de 3,7. Esta sismicidad que ha disminuido paulatinamente en su tasa de ocurrencia, aún se continúa registrando, totalizando 1551 con fecha de corte al 23 de septiembre.

Esta región del SO colombiano (límites de los Departamentos de Nariño y Putumayo) está influenciada por el denominado Sistema de Fallas de Algeciras (SFA), que se extiende desde la frontera con Ecuador hasta el piedemonte de la Cordillera Oriental de Colombia y que incluye importantes fallas como Afiladores, San Francisco, Yunguillo, Pitalito y Algeciras (Velandia et al., 2005).

Las localizaciones de las fuentes sísmicas registradas recientemente están situadas en el área de influencia de fallas y lineamientos del SFA y de la presencia del Campo Volcánico Monogenético Guamuez-Sibundoy (CVMGS; Rivera-Lara, 2021), el cual se conforma por 22 estructuras volcánicas de carácter monogenético. Los volcanes monogenéticos son la manifestación de vulcanismo más común en el mundo; estos se construyen por erupciones pequeñas, episódicas y de corta duración (días o años) que involucran volúmenes de magma comúnmente menor a 1 km<sup>3</sup> (Németh, 2010; De Silva & Lindsay, 2015; Németh & Kereszturi, 2015).

La distribución de las estructuras que hacen parte del CVMGS podría estar influenciada entonces por el Sistema de Fallas Algeciras (SFA). Discernir el tipo de secuencia sísmica, dentro del campo volcánico donde coexisten fallas, así como las posibles implicaciones asociadas con esta actividad sísmica resulta prioritario. Los enjambres de sismos son secuencias de eventos que carecen de un orden temporal aparente en términos de magnitud y de tasa de ocurrencia sísmica; es decir, que carecen de un claro patrón de sismo principal, en donde los eventos más grandes tienen magnitudes similares. Además, la tasa de sismicidad durante los enjambres fluctúa con el tiempo y los sismos más grandes generalmente se retrasan con respecto al inicio de la secuencia (Utsu, 2002; Hainzl, 2004; Vidale y Shearer, 2006; Passarelli et al., 2014, 2015, 2018).

---

### **Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

Se cree que los enjambres se originan en respuesta a historias de esfuerzos más complejas que las que se generan por un cambio repentino de esfuerzo, tal como acontece, por ejemplo, en la generación de un sismo principal que tiene la mayor magnitud, el cual produce secuencias de réplicas típicas (Mogi, 1967).

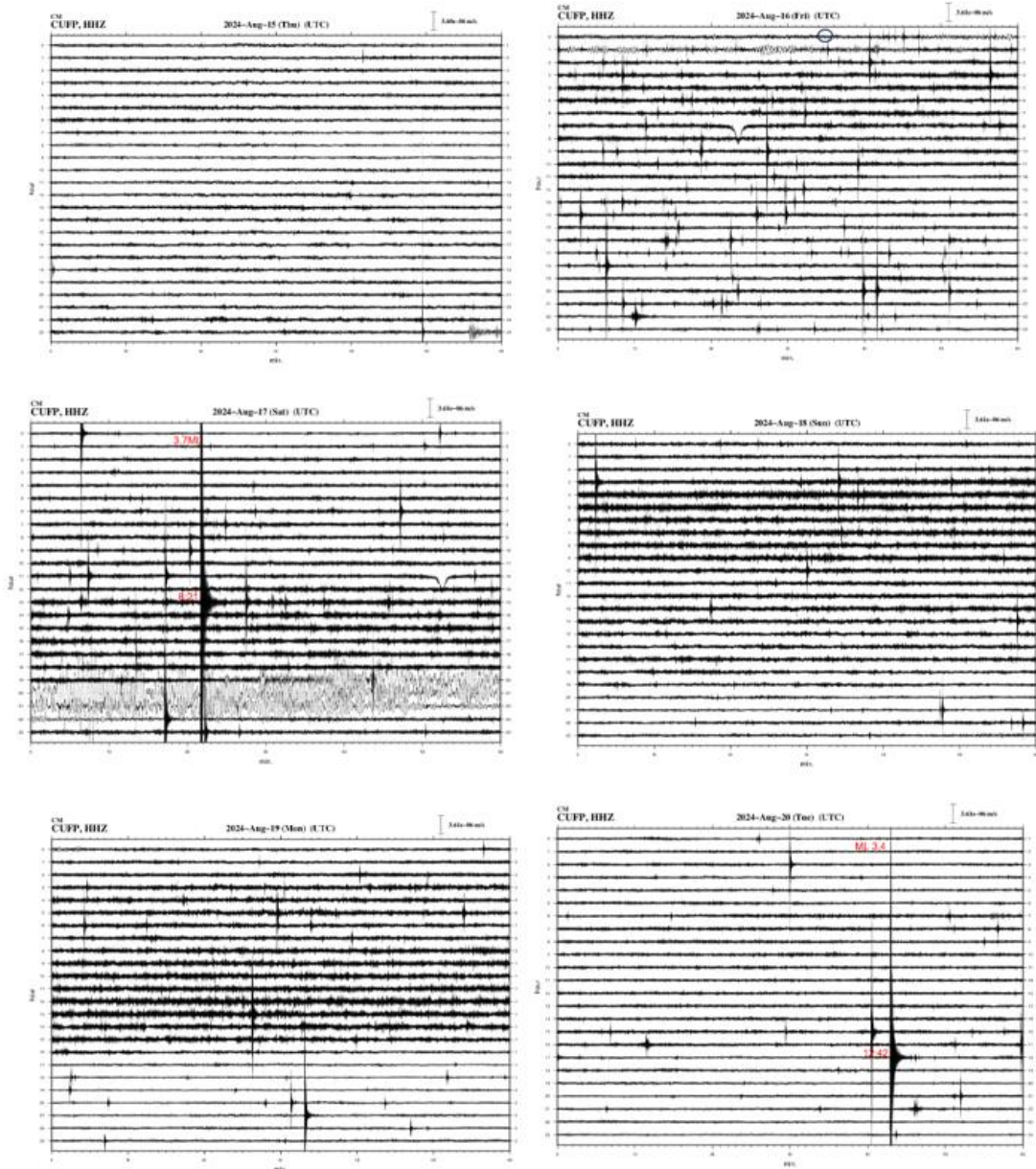


Figura 1 Sismogramas registrados entre el 15 y el 20 de agosto de 2024, destacando con caracteres en rojo, uno de los sismos de mayor magnitud que ocurrió el 17 de agosto a las 8:21 am y otro el 20 de agosto a las 12:42 pm.

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

Como mecanismos desencadenantes de enjambres sísmicos se han identificado:

- Difusión de alta presión de poro (Talwani y Acree, 1984),
- Presurización de reservorios llenos de fluido (Simpson et al., 1988), incluyendo intrusión magmática (diques magmáticos).
- Hidrofracturas artificiales o naturales (Dahm et al., 2010; Passarelli et al., 2015),
- Eventos de deslizamiento lento (Lohman y McGuire, 2007; Peng y Gomborg, 2010; Fukuda, 2018)
- 

Discernir la causa de un enjambre sísmico en un área volcánica puede ser un desafío ya que existe una amplia gama de mecanismos magmáticos y tectónicos plausibles; por lo tanto, determinar si un magma es el responsable y el activador no es tarea fácil. Los patrones de migración de los hipocentros y sus mecanismos focales han ayudado a discernir entre los diferentes procesos desencadenantes de enjambres como hidrofracturamiento, intrusión magmática, difusión de presión de poro y eventos de deslizamiento lento (Brandsdóttir y Einarsson, 1979; Wolfe et al., 2007; Roland y McGuire, 2009; Hainzl et al., 2012; Mattia et al., 2015; Gudmundsson et al. al., 2016).

A continuación, se describe la evolución de esta secuencia sísmica y se hace un análisis enfocado a partir de los hipocentros y su evolución temporal, teniendo en cuenta las características de la zona donde ocurre esta sismicidad.

## 1 Contexto Geológico

El Sistema de Fallas de Algeciras (SFA), con su desplazamiento dextral (lateral derecho) en dirección noreste-suroeste (NE-SO), se extiende desde la frontera con Ecuador hasta el piedemonte de la Cordillera Oriental de Colombia. Este sistema incluye importantes fallas como Afiladores, San Francisco, Yunguillo, Pitalito y Algeciras (Velandia et al., 2005), todas caracterizadas por trazos regionales rectilíneos y continuos (Velandia et al., 2001). El SFA se integra dentro del Sistema de Fallas Frontal del Oriente Andino, un importante límite de placa que genera el escape tectónico del Bloque Norte Andino (BNA) hacia el noreste (Velandia et al., 2005; Diederix et al., 2020).

A lo largo de su recorrido, el SFA exhibe un régimen tectónico transpresivo, en el que la interacción entre compresión y desplazamiento lateral da lugar a la formación de varias cuencas de tracción asociadas a zonas de distensión (Velandia et al., 2005). Entre estas cuencas destacan el Valle Estero y el Valle de Sibundoy, que se encuentran en el área de influencia del Campo Volcánico Monogenético Guamuez-Sibundoy (CVMGS; Figura 2). Estas áreas de distensión no solo han facilitado la formación de cuencas sedimentarias,

---

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666



sino también estaría facilitando el ascenso de magma, generando la aparición de volcanes monogenéticos (Velandia et al., 2005; Diederix et al., 2020), como los presentes en el CVMGS y otros más al norte, en el departamento del Huila (Monsalve et al., 2020).

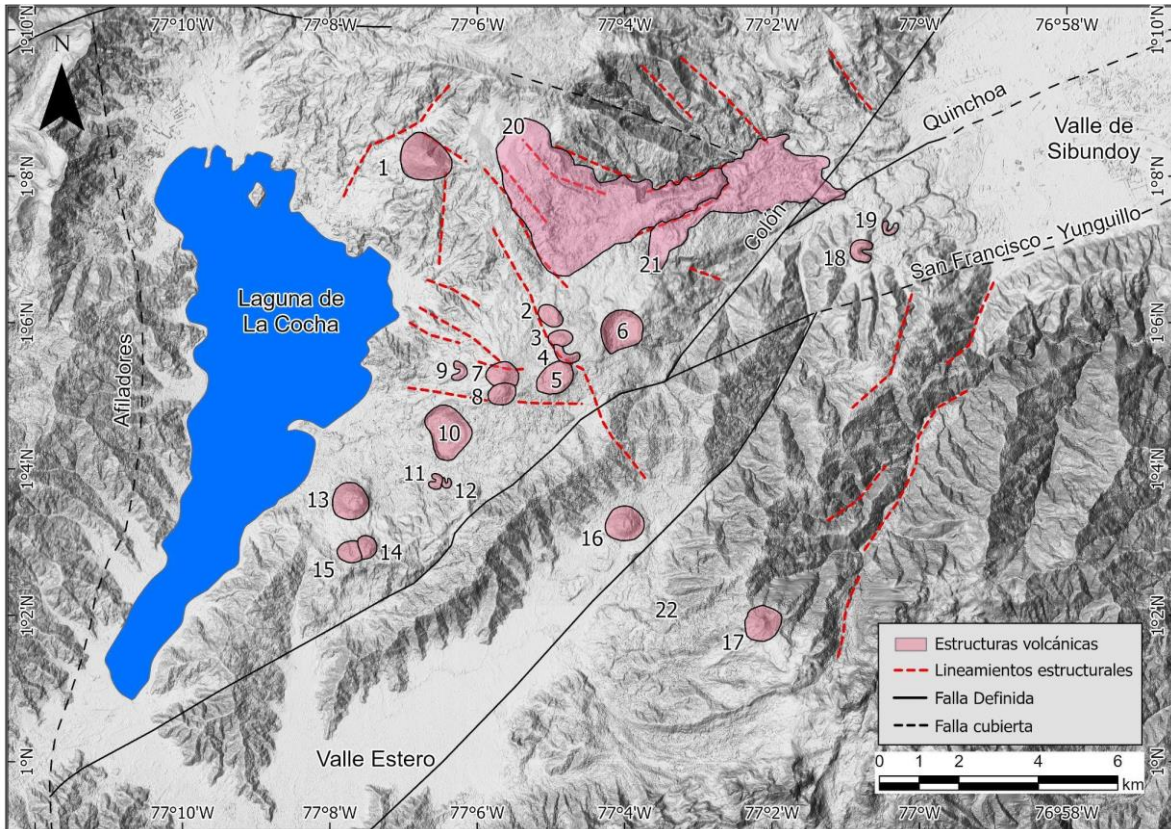


Figura 2 Mapa de fallas y lineamientos estructurales del campo volcánico monogenético Guamez-Sibundoy. Nótese el lineamiento de las estructuras volcánicas (1 a 5, 16 - 17) en la parte centro oriental de la laguna de La Cocha.

Los volcanes del Campo Volcánico Monogenético Guamez-Sibundoy (CVMGS) se han formado sobre un terreno compuesto por distintas rocas que varían en edad y tipo (Figura 3). Este terreno incluye el Complejo Migmatítico Precámbrico La Cocha – Río Téllez, una antigua formación de edad precámbrica, que ha sido subdividida en cinco tipos de rocas: los Neis de Sibundoy, los Esquistos de San Francisco, la Granodiorita de Motilón, la Tonalita y las Anfibolitas del río Téllez (Murcia & Cepeda, 1983, 1991; Núñez, 2003; Rodríguez-García & Sabrica, 2023). Sobre estas rocas más antiguas, se encuentran depósitos volcánicos recientes producto de la actividad volcánica de la región (Murcia & Cepeda, 1991).

El Campo Volcánico Monogenético Guamez-Sibundoy (CVMGS; Figura 2) está compuesto por 22 volcanes identificados hasta el momento como: 1. Campanero, 2. Victoria, 3. Manoy,

---

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

4. Mijoy, 5. Bijinchoy, 6. Fuisanoy, 7. Mujundinoy Norte, 8. Mujundinoy Sur, 9. Corota, 10. Bijiinchoy, 11. Laurel, 12. Santa Teresita, 13. Guayapungo, 14. Encano, 15. Guamuez, 16. Estero, 17. Patascoy del Putumayo, 18. Taita Muchivioy, 19. Mama Cuandashoy, 20. Lavas Santa Clara 1, 21. Lavas Santa Clara 2, y 22. Malu. Como se refirió antes, la distribución de estos volcanes está fuertemente influenciada por la actividad tectónica del SFA, el cual controla la ubicación de los volcanes, situados mayoritariamente al oriente de la Laguna de La Cocha, siguiendo su trazo principal.

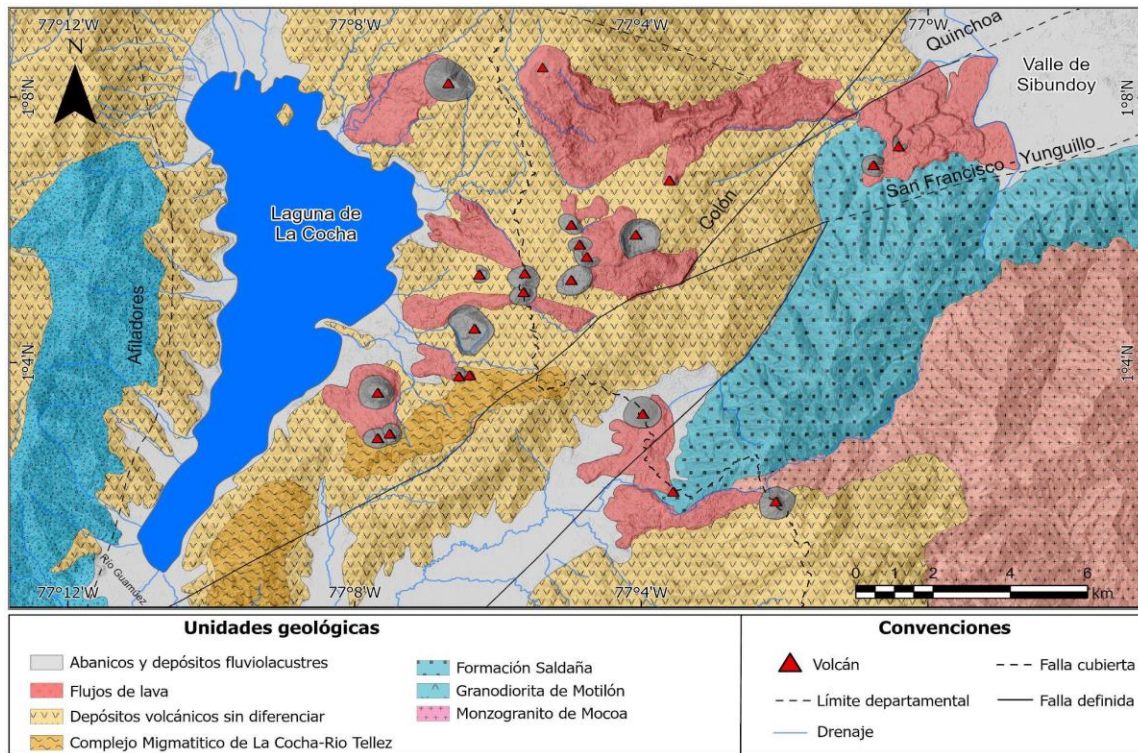


Figura 3 . Mapa geológico del campo volcánico monogenético Guamuez-Sibundoy.

## 2 Antecedentes

En el contexto de sismicidad histórica, con base en la recopilación realizada por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) del Servicio Geológico Colombiano (SGC), se tiene el registro de un sismo importante en la zona del Valle de Sibundoy (Putumayo) ocurrido a las 7:00 a.m. del 20 de enero de 1834, con magnitud de momento  $M_w$  de 6.7; ubicado en la latitud  $1,1^\circ N$  y longitud  $76,93^\circ O$  y a una profundidad de 15 km (Figura 4). Para la región epicentral, la intensidad máxima reportada para este sismo fue de IX en la Escala Macrosísmica europea de 1998 (EMS-98), valor considerado como daño destructivo (Figura 5). Este sismo severo tuvo reportes de sentido levemente en ciudades como Cali, Palmira, Tuluá y hasta en Bogotá a más de 530 km del origen de este terremoto.

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

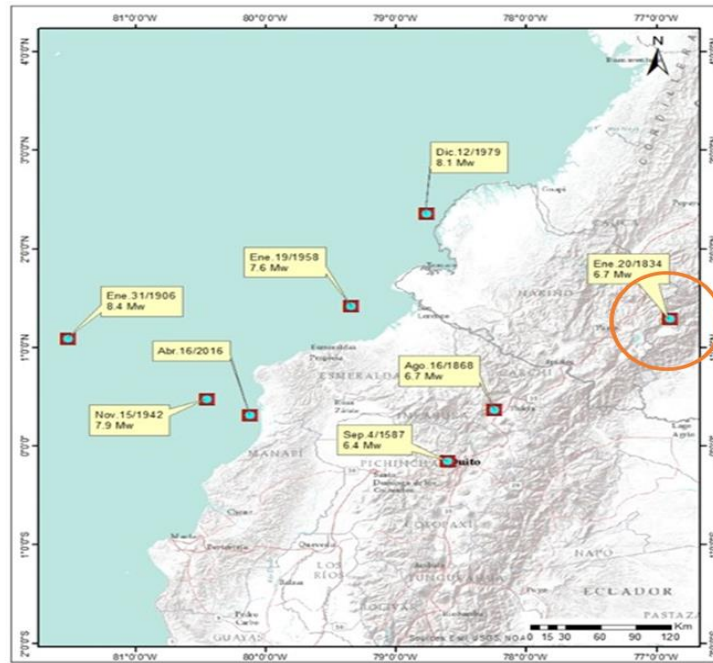


Figura 4. Epicentros de sismos históricos en el SO de Colombia y NO de Ecuador, destacando con la circunferencia el epicentro del sismo de 1834.

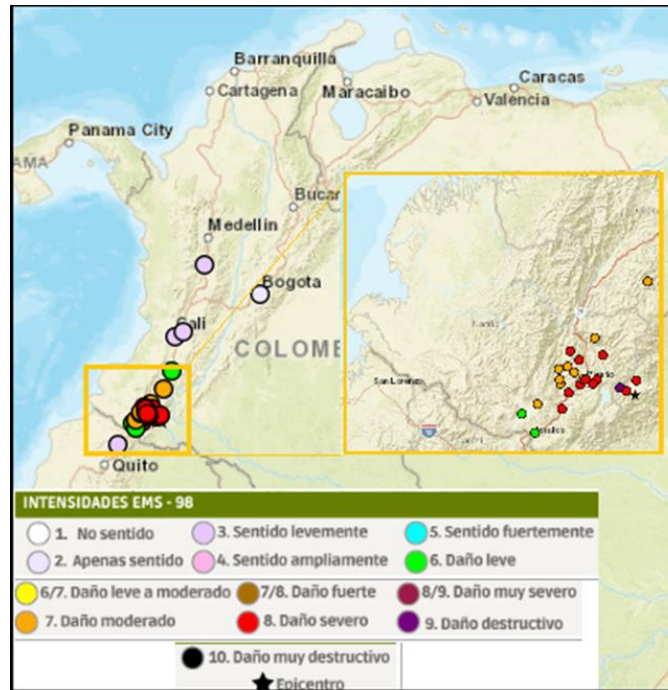


Figura 5. Intensidad sísmica del sismo del 20 de enero de 1834. Fuente: <https://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAlInfoDetallada&idSismo=28#>

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño  
 Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704  
 Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

En relación con las afectaciones ocasionadas por este sismo histórico, se tuvo el reporte de la muerte de 50 personas en Pasto, algunas bajo los escombros de la iglesia de San Sebastián y otras 50 más resultaron heridas. Para 1831, se estima para Pasto una población de 58.589 habitantes (DANE, Colombia estadística, consultado el 12 de julio de 2012). En el Valle de Sibundoy, el sacerdote de Santiago informó que se “echaban de menos a noventa indígenas”; sin embargo, esta información nunca se pudo verificar.

En cuanto a las afectaciones estructurales producto del sismo, se encontró que causó destrucción en las poblaciones del Valle de Sibundoy (Putumayo) y en Pasto (Nariño). El reporte en Sibundoy y Santiago (Putumayo) hace referencia a que las personas difícilmente se podían sostener de pie; en Santiago quedó destruida la iglesia, la casa cural y la mayoría de las casas, así como también en el corregimiento de San Andrés su iglesia colapsó; en Sibundoy la iglesia y diez casas también quedaron destruidas. En Pasto colapsó la iglesia y el convento de La Merced; las iglesias de San Sebastián, San Francisco, Santo Domingo y Santiago quedaron semidestruidas y cuatro más tuvieron daños graves al igual que la casa del cabildo, la cárcel y la carnicería, también varias casas quedaron inhabilitadas; debido al estado en que quedó la ciudad tuvo que ser reconstruida casi en su totalidad. Se destruyeron también las iglesias de algunos pueblos indígenas cercanos a Pasto como Mocondino, La Laguna y Gualmatán, al igual que las de municipios cercanos como las de Buesaco, El Tambo, Funes y Yacuanquer; en Almaguer colapsaron las iglesias y algunas casas pajizas y en Popayán se reportaron daños importantes en la Catedral, el Colegio de Misiones y el Convento de San Francisco y en el resto de sus edificaciones no se presentaron daños considerables.

Existe el reporte de la ocurrencia de varios deslizamientos de grandes dimensiones; uno de ellos fue el que se reportó para el Páramo de Bordoncillo, donde se informa que se abrieron grandes grietas en el terreno; este deslizamiento obstruyó el río Quinchoa que al destaparse provocó una inundación que terminó de destruir lo que quedaba de la población de Santiago, afectando casas y cultivos; debido a esta inundación los habitantes de Santiago se trasladaron a terrenos cercanos más elevados, donde se fundó la cabecera municipal que se conoce hoy en día. Se presentaron también varios deslizamientos en los cerros vecinos a la población de Santiago que arrasaron la cobertura vegetal de esta región. En la zona epicentral del sismo se tuvo el reporte de sismos sentidos hasta el primero de febrero de 1834.

En tiempos más recientes en la zona epicentral de la sismicidad de Guamuez-Sibundoy, también se tuvo la localización de otra secuencia sísmica acontecida entre el 28 de septiembre y el 11 de octubre de 2011, pero con menor cantidad de sismos y de menores magnitudes en comparación con la sismicidad que actualmente se está presentando en la zona. Considerando las diferencias de los tiempos de llegada de los ondas de cuerpo P y S

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

(ts-tp), y tomando en consideración los registros en una estación sísmica de la red de monitoreo del volcán Galeras (la estación Cobanegra), se obtuvo que la mayoría de estos sismos mostraron entre 4,0 y 4,6 s, con una diferencia más acentuada en 4,5 s (Figura 6). El comportamiento de la diferencia de tiempos de llegada a esta estación mostró una tendencia casi estacionaria lo que implica que las fuentes de estos sismos no fueron muy dispersas tal como pudo evidenciarse con las localizaciones (Figura 7). La distribución epicentral mostró principalmente que las fuentes se alinearon con una tendencia SE-NO con profundidades entre 2 y 20 km tomando como altura cero los 2700 m s.n.m, y donde la mayoría de ellos estuvieron alrededor de los 5 km de profundidad, aunque los sismos de mayor magnitud fueron ubicados en niveles más profundos (Figura 8, panel superior). Sin embargo, como puede apreciarse los errores se acentuaron mayormente en profundidad con los hipocentros más profundos a diferencia de los epicentros (latitudes y longitudes) que tuvieron valores de error más uniformes pero aceptables.

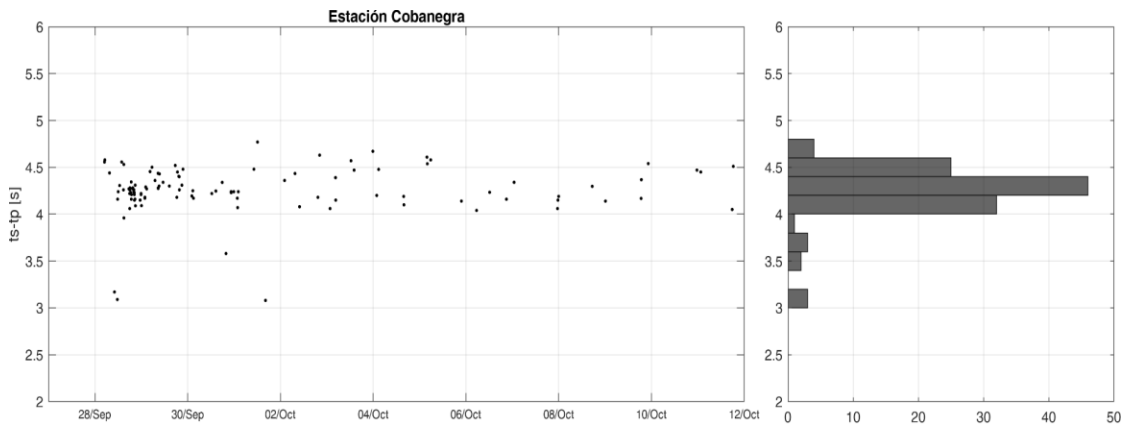


Figura 6. Evolución temporal de ts-tp de la secuencia sísmica registrada en 2011

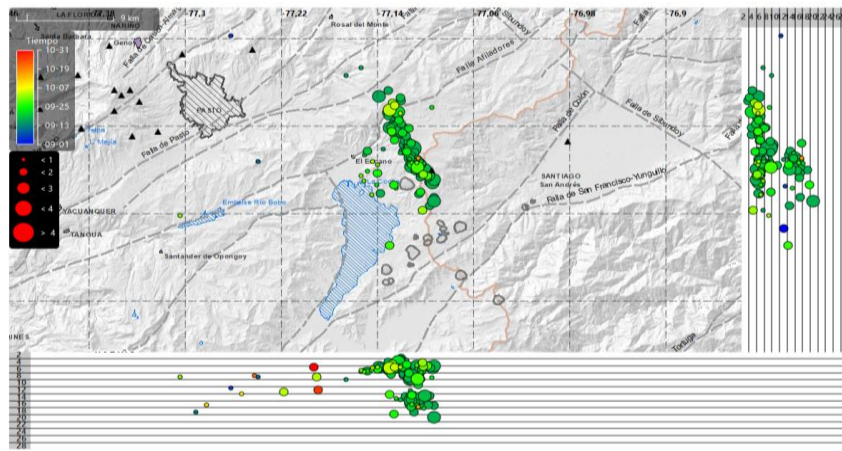


Figura 7. Distribución espacial de las fuentes sísmicas que ocurrieron entre el 28 de septiembre y el 11 de octubre de 2011.

---

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

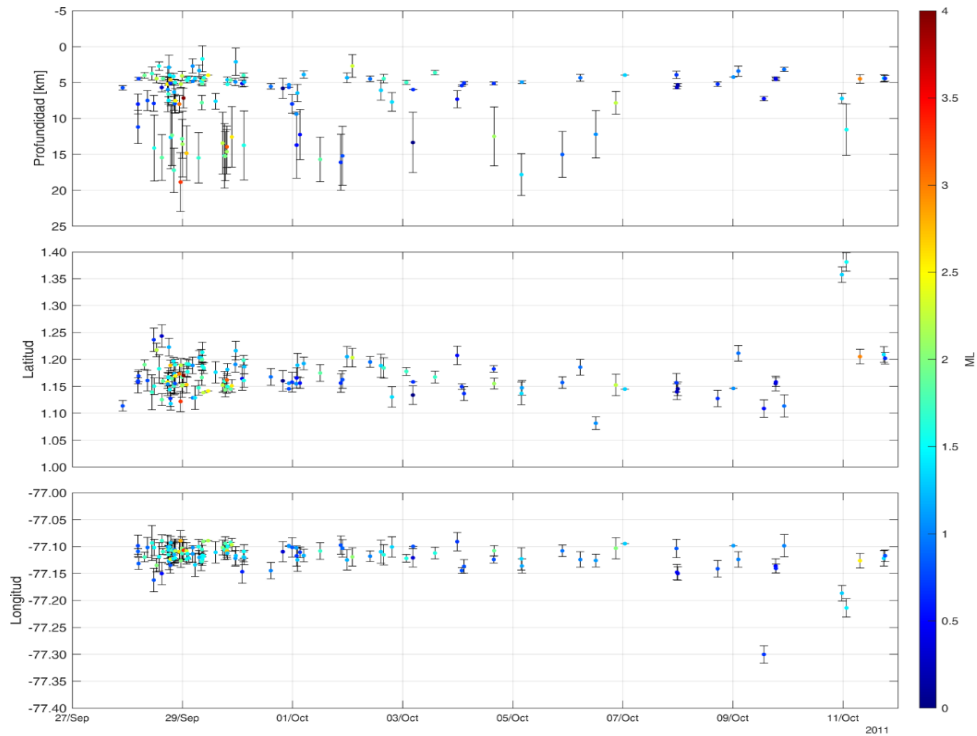


Figura 8. Evolución temporal de las profundidades, latitudes y longitudes de las fuentes sísmicas de los eventos localizados correspondientes a la secuencia sísmica del 2011. Las barras verticales muestran el error y los colores se asocian con la magnitud de los sismos. Para efectos comparativos, el eje de las ordenadas de la latitud y longitud muestra un rango de 0,4 grados.

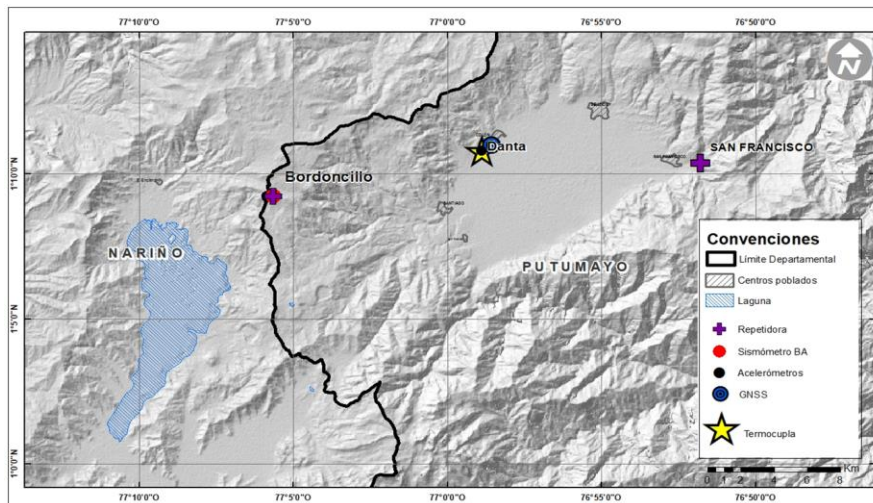


Figura 9. Red de monitoreo del CVMGS, instalada en el 2022 y 2023

La secuencia sísmica ocurrida entre agosto y septiembre de 2024, fue registrada por varias estaciones que están ubicadas en las subredes de los volcanes que se monitorean desde el SGC-OVSPA y otras de la RSNC. Para las localizaciones finales se utilizaron hasta 29

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

estaciones: al norte cinco que pertenecen al complejo volcánico Ánimas - Doña Juana (CVADJ), en el área del CVMGS un sismómetro y un acelerómetro, al oeste 18 estaciones sísmicas de la red del volcán Galeras, al suroeste una del Complejo Volcánico Cumbal (CVC) y al este dos de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC; Figura 10, tabla 1)

Tabla 1 Estaciones sismológicas y acelerómetros que se usaron para localizar la sismicidad registrada entre agosto y septiembre de 2024, que hacen parte de las redes del: CVADJ, volcán Galeras, CVMGS, CVC y la RSNC

No.	Estación	Nombre	Volcán
1	PETZBHZ	Petroglifo	CVADJ
2	FLVZHHZ	Florida	
3	PAVZBHZ	Páramo	
4	LAVZSHZ	Lavas	
5	ALTZBHZ	Altamira	
6	BORZBHZ	Bordoncillo	CVGS
7	DANZHNZ	Danta	
8	ANGVSHZ	Anganoy	Galeras
9	NAR2SHZ	Nariño	
10	VIVZBHZ	Viviana	
11	CR2ZBHZ	Cráter	
12	LOMZSHZ	Loma Larga	
13	CONZBHZ	Cóndor	
14	INGZBHZ	Ingenio	
15	CAVZBHZ	Calabozo	
17	ARLZBHZ	Arlés	
18	CRAZBHZ	Cráter	
19	OBVRBHZ	Obonuco	
20	TOSZBHZ	Tosoabí	
21	COBZBHZ	Coba Negra	
22	CUVZBHZ	Cufiño	
23	ACHZBHZ	Achalay	
24	URCRBHZ	Urcunina	
25	MORZHHZ	Morasuco	
26	NR2ZBHZ	Nariño	
27	MEVZSHZ	Mesa	CVC
28	MOCZHNZ	Mocoa	RSNC
29	PMCCHHZ	Piamonte	

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

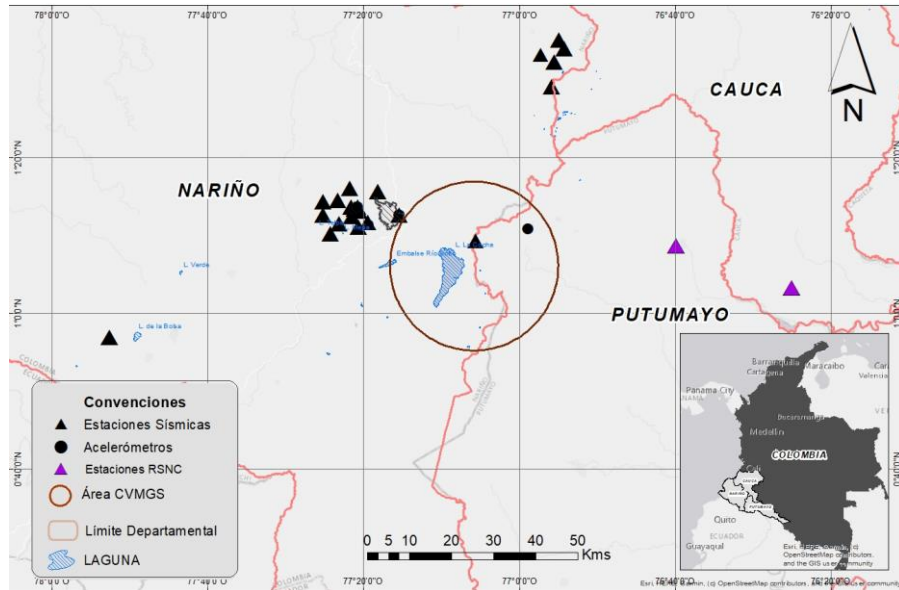


Figura 10. Estaciones sismológicas y acelerómetros que se tuvieron en cuenta para localizar la secuencia sísmica registrada entre agosto y septiembre de 2024. El círculo indica el área de influencia del CVMGS definida por el SGC-OVSPA.

### 3 Distribución hipocentral

Un referente de la distancia desde las estaciones a la fuente sísmica se puede estimar a partir de la diferencia de los tiempos de llegada de las ondas S con respecto a las P ( $t_s - t_p$ ). Este valor medido en los registros de cada sismo es independiente del modelo utilizado de velocidades por el que se propagan las ondas. En la Figura 11 se aprecia que la evolución de esta secuencia guarda un comportamiento relativamente estacionario en esas diferencias de tiempos lo que permite inferir que la fuente de estos sismos no está dispersa y, más bien, tiende a agruparse predominantemente con diferencias de tiempo de 4,4 s, bastante similar a lo obtenido para la secuencia sísmica de 2011 (Figura 6).

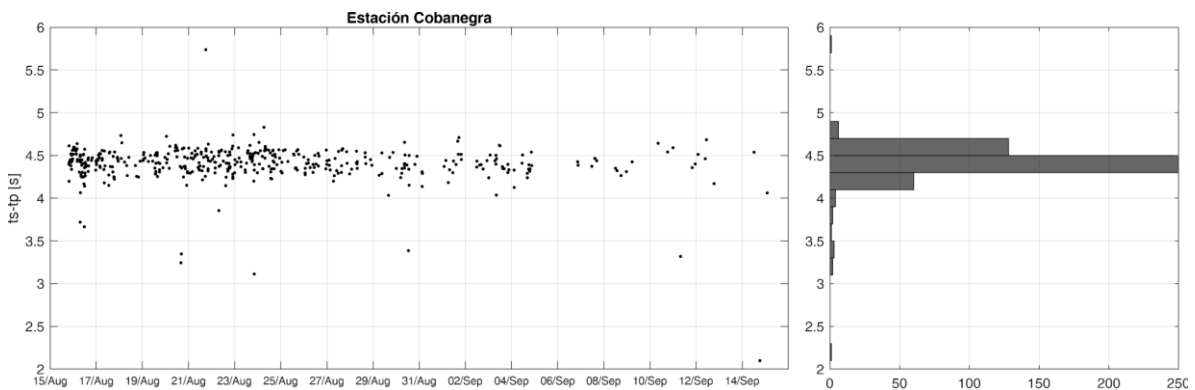


Figura 11 Evolución temporal de  $t_s - t_p$  de la secuencia sísmica registrada en 2024

#### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666



Para los cálculos de la localización de la sismicidad es necesario contar con una descripción de la corteza debajo de la zona de interés en términos de la velocidad con la que viajan las ondas sísmicas, esto es lo que se conoce como un modelo de velocidades. Para este caso, el modelo de velocidades considerado corresponde al estudio de Meissner et. al. (1977), en el cual se utilizó refracción sísmica profunda y datos gravimétricos de un perfil trazado entre Malpelo - Tumaco - La Cocha, donde se consignan los siguientes valores de velocidad para las ondas primarias, respecto a la profundidad (Tabla 2).

Tabla 2. Modelo de velocidades de onda P (Vp) para la zona de La Cocha.

Prof (Km)	Vp (km/s)
0	4.0
8	6.0
26	6.8
44	8.0

Adicionalmente, un elemento primordial y que depende de la zona donde se origina la sismicidad es el valor correspondiente a la relación entre las velocidades de la onda P y la onda S (Vp/Vs). Este valor se obtuvo teniendo en cuenta los tiempos de arribo de las ondas P y S a los sismómetros de la red sísmica utilizada en la zona. Dado que los tiempos de arribo no dependen del modelo inferido o estimado de velocidades, el resultado de Vp/Vs (Figura 12) está libre de sesgos y solo depende del tiempo de llegada de las ondas P y S medido en los sismogramas. El valor estimado fue de 1.72 en promedio, con una desviación estándar de 0.07. Cabe destacar que el resultado de este valor está más acorde a la corteza promedio. En lo que compete a estructuras volcánicas, generalmente el valor promedio es un poco más alto debido a la presencia de material no consolidado, alterado o fracturado.

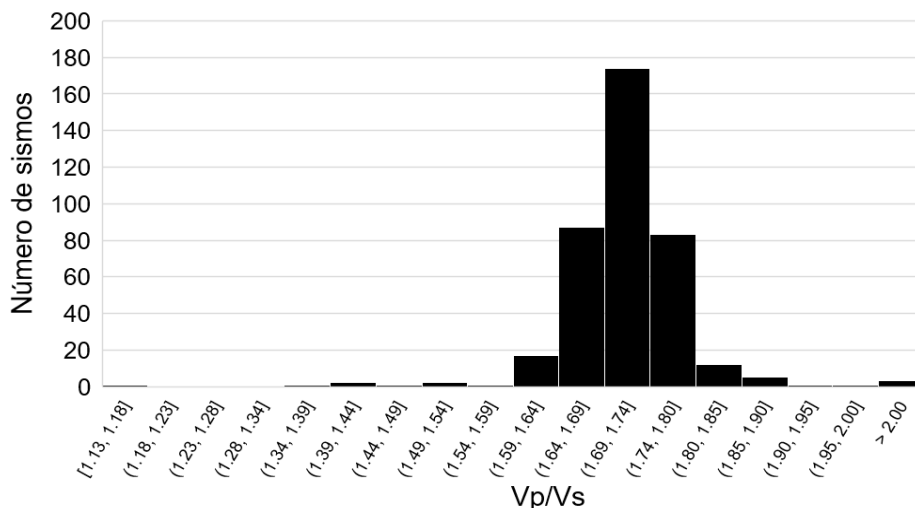


Figura 12 Distribución de valores de Vp/Vs para la región Guamuez.

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

Tomando como altura de referencia 2700 m s.n.m (que corresponde a la altura media de la laguna de La Cocha), y teniendo en cuenta los elementos descritos anteriormente, se obtuvo una solución de localización para 447 sismos entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre de 2024 (Figura 13). En general, la distribución epicentral de la mayoría de los sismos muestra un alineamiento con orientación SE - NO, con algunos sismos que tienen como epicentro el lago Guamuez. La profundidad de esta sismicidad oscila entre los 2 y los 18 km, con una tendencia a superficializarse hacia el NO para el grupo mayoritario. Los sismos que se ubican debajo de la laguna exhiben profundidades someras que están entre los 2 y 6 km.

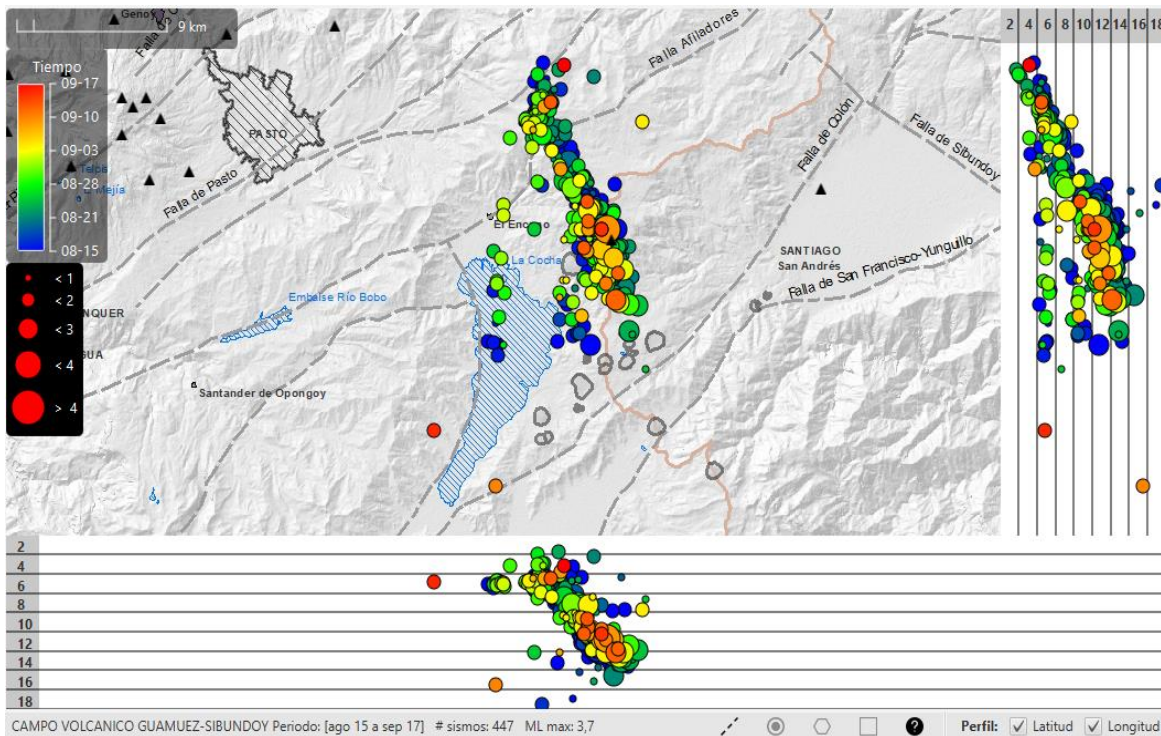


Figura 13. Distribución espacial de las fuente sísmica que ocurrieron entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre de 2024.

Se destaca que desde el 15 de agosto se han registrado 68 sismos con magnitud mayor o igual a 2, 25 de los cuales fueron reportados como sentidos por habitantes de la zona y de municipios aledaños. En la Figura 14 se muestran las localizaciones de los sismos con reporte de sentidos. Los epicentros de estos sismos mantienen la tendencia SE - NO del total de sismicidad y en su mayoría están constreñidos a profundidades entre los 10 y los 16 km. Igualmente, los hipocentros muestran una tendencia a superficializarse hacia el NO.

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

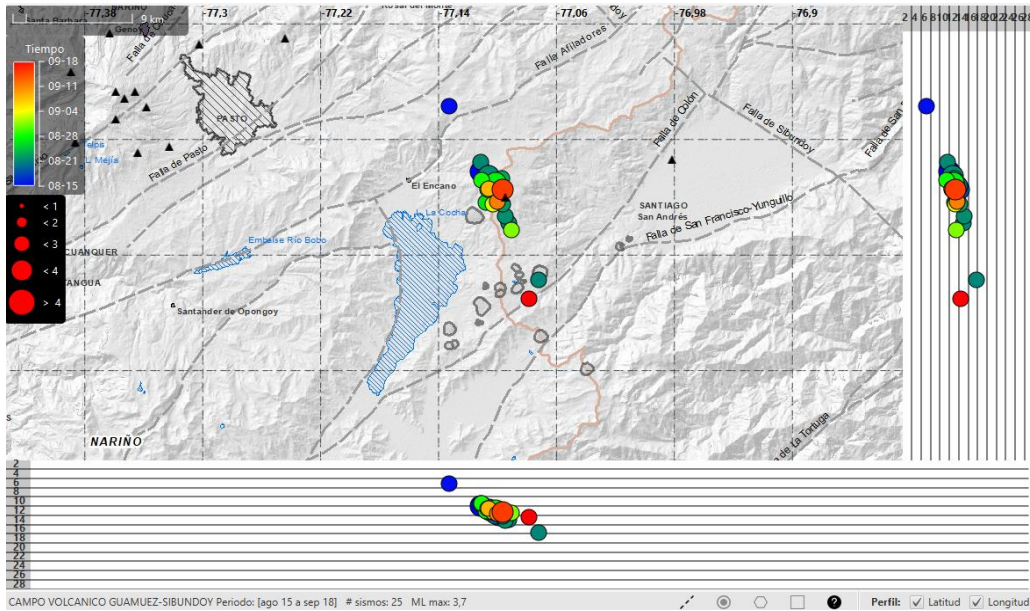


Figura 14. Distribución espacial de localizaciones de las fuentes de sismos con magnitudes iguales o mayores a 2,5 ocurridos entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre de 2024.

En general, se destaca que la localización epicentral de las fuentes sísmicas es bastante similar a la tendencia de la secuencia sísmica del 2011, y se corresponde con los resultados obtenidos de ts-tp. En relación con las profundidades, las dos secuencias se superficializan hacia las fuentes ubicadas al NNO del alineamiento mostrado en la tendencia (Figura 15).

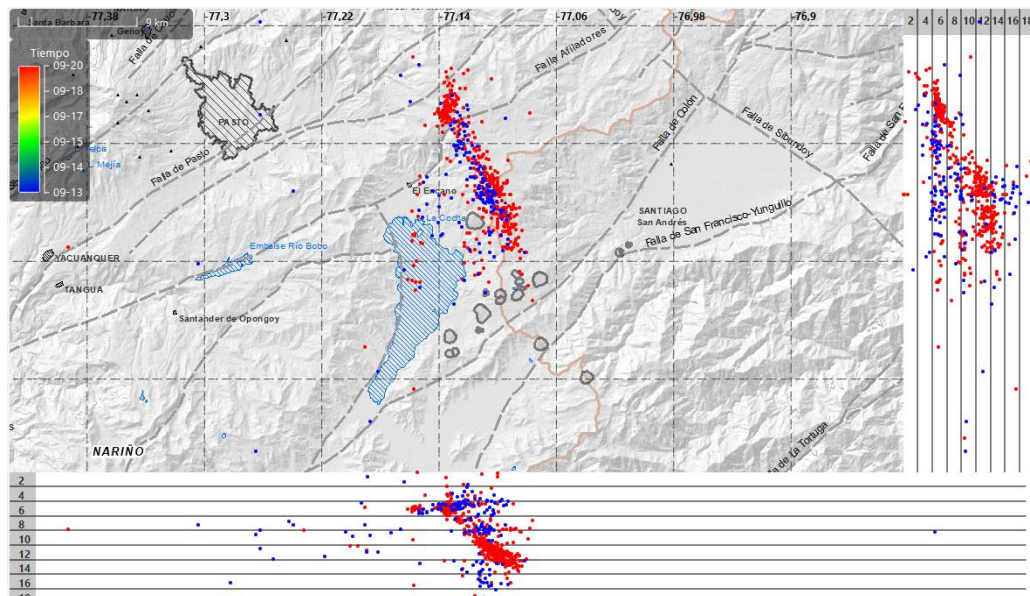


Figura 15. Comparación de la distribución espacial de las fuentes sísmicas acontecidas en 2011 (puntos azules) y la de 2024 (puntos rojos).

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

Respecto a la tendencia SE - NO de la localización de los sismos, se resalta el hecho de que no coincide con el rasgo principal del sistema de fallas Algeciras, el cual tiene dirección SO-NE que, en la región, está conformado por importantes fallas con trazos rectilíneos regionales tales como Afiladores, San Francisco y Colón entre otras (Figura 2). Por otro lado, en la Figura 2 también se presentan varios lineamientos estructurales casi perpendiculares a la dirección principal del trazo del SFA. La dirección de estos lineamientos coincide con la tendencia de la ubicación epicentral de la sismicidad registrada en la zona, tanto para la secuencia de 2011 como para la del 2024. Adicionalmente, los sistemas de fallas transcurrentes, tal como es el caso de Algeciras, tienden a presentar estructuras secundarias en forma de cizallas Riedel (<https://www.files.ethz.ch/structuralgeology/jpb/files/english/5wrench.pdf>). Al no existir fuentes sísmicas sobre los trazos de fallas cartografiados, la posibilidad de tales estructuras secundarias de cizalla se abre paso entre las explicaciones plausibles de la génesis de esta sismicidad ya que como se hizo referencia, su tendencia coincide con la orientación de esos rasgos secundarios. Estas estructuras podrían estar fosilizadas por depósitos volcánicos cenozoicos y por donde puede posibilitar movimiento de fluidos.

#### 4 Evolución espacio-temporal

Con base en una muestra de sismos entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre del 2024, seleccionada por buena calidad de las localizaciones y completando 447 focos, se procede a hacer un seguimiento temporal del desarrollo de la secuencia sísmica (Figura 16). En cuanto a la profundidad de las fuentes sísmicas, y teniendo en cuenta los errores estimados en la localización, se observó que los eventos se ubican en un rango entre 2 y 13 km, considerando el nivel de referencia a los 2700 m s.n.m (Figuras 16 y 17). Hipocentralmente la secuencia inicia con fuentes distribuidas entre 2 y 13 km, luego se definen dos niveles de profundidad donde se concentran los sismos, alrededor de 5 y 12 km hasta el 27 de agosto. La gran mayoría de sismos presentó profundidades entre 10 y 14 km incluyendo los sismos de mayor magnitud que se ubicaron alrededor de los 11 km. Epicentralmente, se puede reconocer que esta sismicidad inicia hacia el SE y luego se acentúa siguiendo la alineación mostrada en las Figuras 13 y 14, siendo evidente una mayor apertura en la latitud. Comparando la evolución de esta secuencia con la del 2011, se encuentran algunas semejanzas en la distribución espacial particularmente en los epicentros, y en profundidad con la fuente de profundidades alrededor de los 5 km, lo que puede sugerir un proceso de generación similar, pero que en 2024 ha sido más intenso por el número de sismos y la energía sísmica liberada como se detalla más adelante.

---

#### **Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

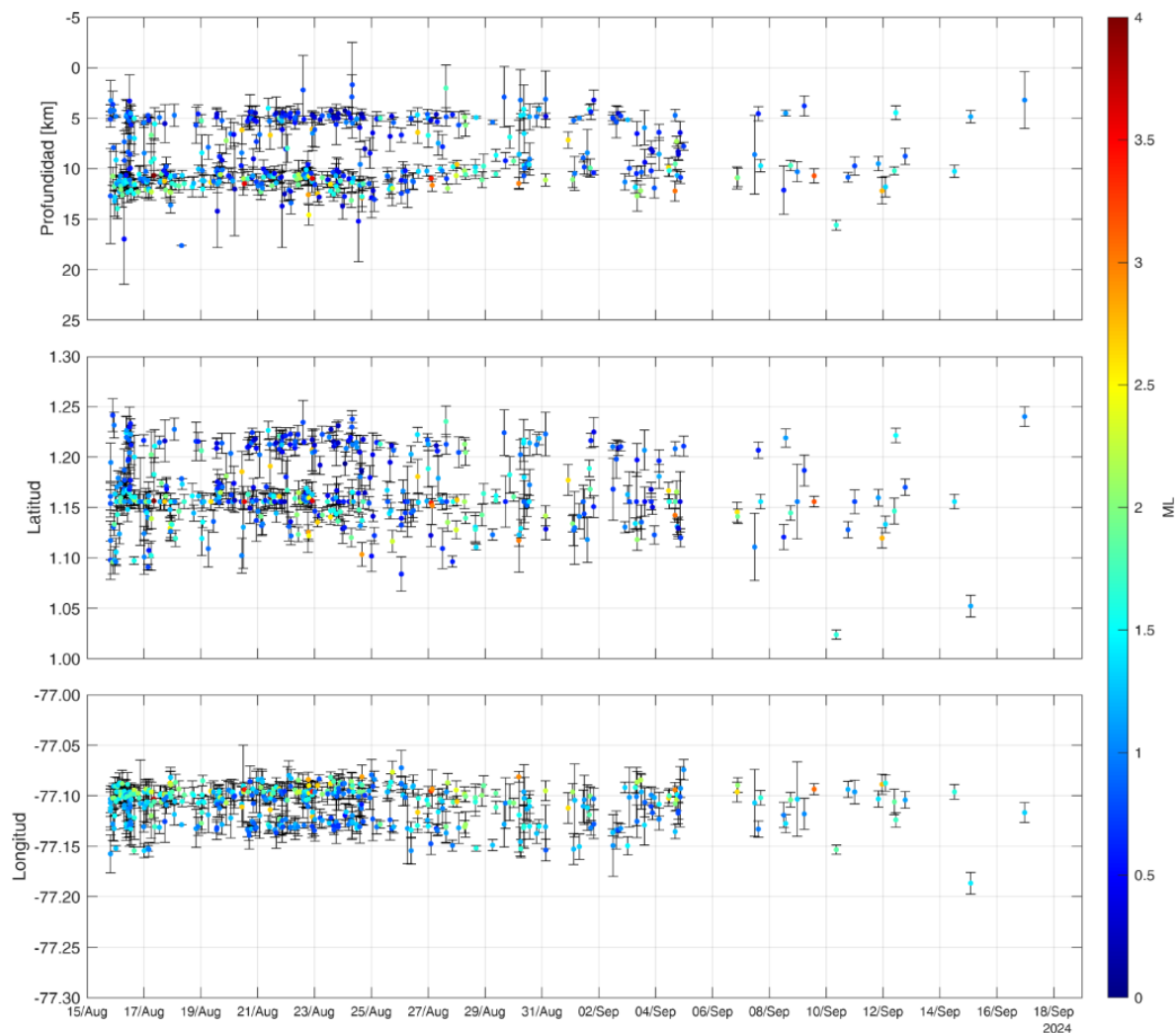


Figura 16. Evolución temporal de las profundidades, latitudes y longitudes de las fuentes sísmicas de los eventos localizados. Las barras verticales muestran el error y los colores se asocian con la magnitud de los sismos. Para efectos comparativos, el eje de las ordenadas de la latitud y longitud muestra un rango de 0,3 grados.

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

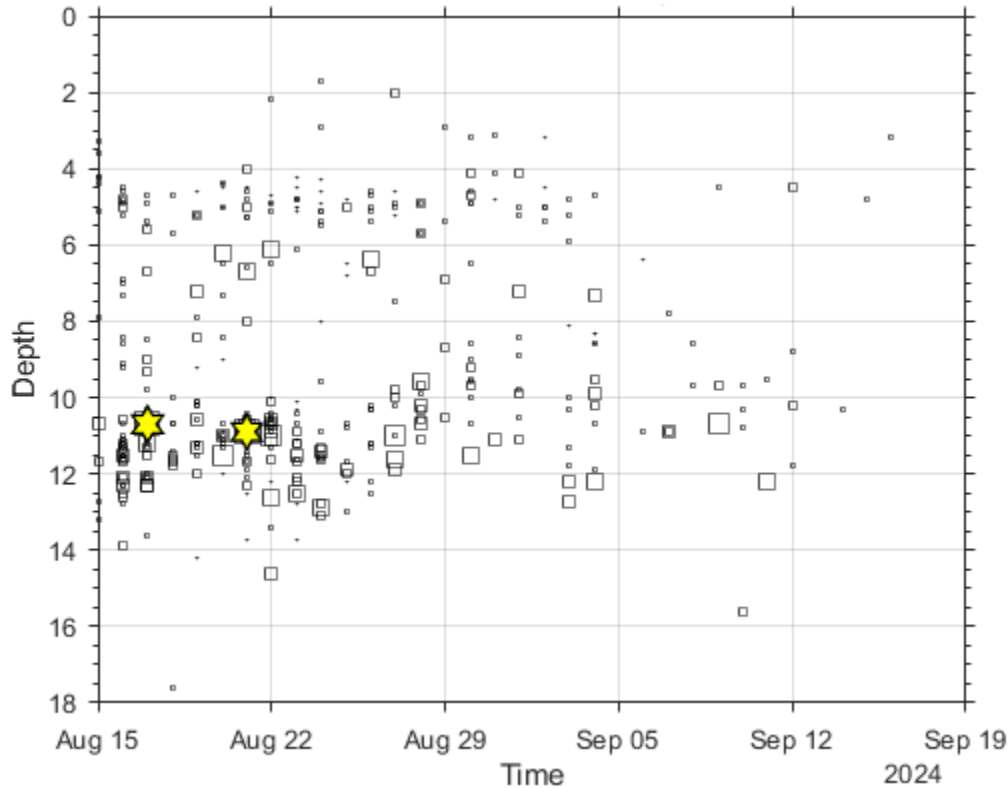


Figura 17. Distribución temporal de las profundidades de las fuentes sísmicas de la secuencia registrada entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre de 2024.

## 5 Ocurrencia y magnitud

El sismo que aconteció el 17 de agosto fue precedido por una serie de eventos menores que se desencadenaron a partir de la noche del 15 de agosto (Figura 18). De acuerdo con la evolución temporal de la ocurrencia, la mayoría de los sismos se registraron en los tres primeros días del 15 al 17 de agosto y la mayor tasa de ocurrencia se presentó el 17 de agosto con un número de eventos diarios mayor al 50 % respecto a los demás días. Después de esta fecha, la tasa de ocurrencia baja levemente, mostrando fluctuaciones, y a partir del 23 de agosto se tiene un descenso acelerado que se hace más notorio después del 4 de septiembre siguiendo la ley de Omori, como se muestra en la Figura 19. De acuerdo con la distribución de ocurrencia, la secuencia pareciera responder a la de un sismo principal y réplicas; sin embargo, de acuerdo con la distribución de la energía sísmica liberada, vista en términos de la magnitud (Figura 20), no se observa una magnitud sobresaliente que caracterice a un evento principal ajustándose más a la secuencia de un enjambre. Se distinguen, entre los eventos mayores de esta secuencia, seis sismos con magnitudes entre 3,0 y 3,8, valores típicos de sismos de menor tamaño. El hecho de que estos sismos e incluso otros con magnitudes pequeñas, fueran sentidos en la población de El Encano y la ciudad de Pasto, obedecen a su cercanía y carácter superficial de la fuente.

---

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

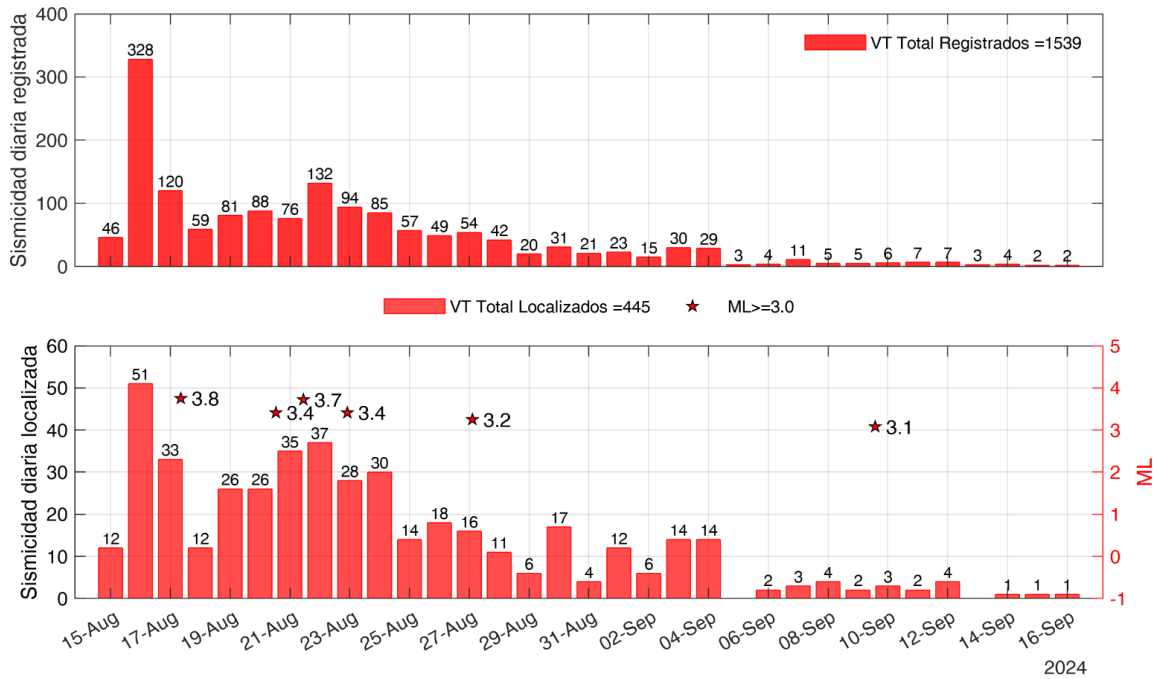


Figura 18. Histogramas de ocurrencia diaria (panel superior) y de sismos localizados conjuntamente con los valores de sismos de magnitud mayor a 3,0 (panel inferior).

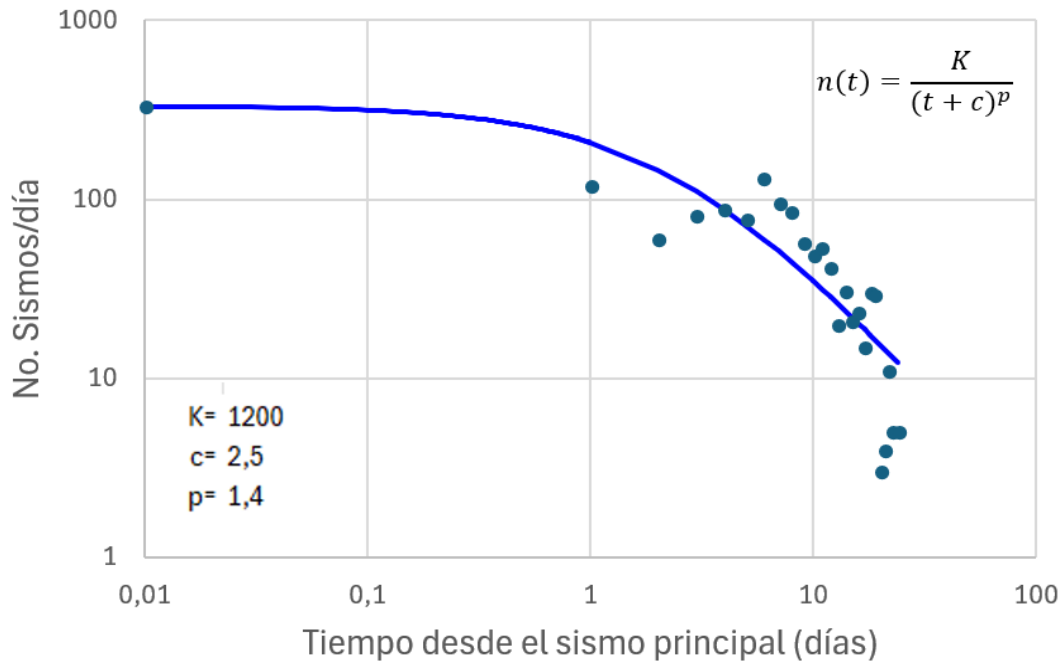


Figura 19. Decaimiento temporal de la secuencia de sismos acontecida entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre de 2024 según la Ley de Omori.

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

Para describir la distribución del tamaño de los sismos de la secuencia originada el 15 de agosto, se remite a la ley identificada por Ishimoto e Ida (1939) y que posteriormente se ha generalizado como la relación de Gutenberg y Richter (1944). Teniendo en cuenta el catálogo de 447 sismos localizados, la secuencia inició con sismos de magnitudes menores de 2,3. El sismo de mayor magnitud local con 3,8 se produjo el 17 de agosto, seguido por muchos sismos, siendo el de mayor magnitud de 3,7, registrado el 21 de agosto (Figura 20). La gran mayoría de sismos presentaron magnitudes menores de 2,0 y 74 de ellos, con magnitudes entre 2,0 y 3,8, incluyendo el evento más grande, donde la mayor cantidad de sismos se registraron el 16 de agosto. Como se mencionó, con el transcurso del tiempo la tasa de ocurrencia y la magnitud de los sismos fue disminuyendo, como se observa en la Figura 18, sin decaer muy drásticamente las magnitudes. Considerando la sismicidad registrada hasta el 17 de septiembre, la energía sísmica liberada total es equivalente a un sismo de magnitud 4,2.

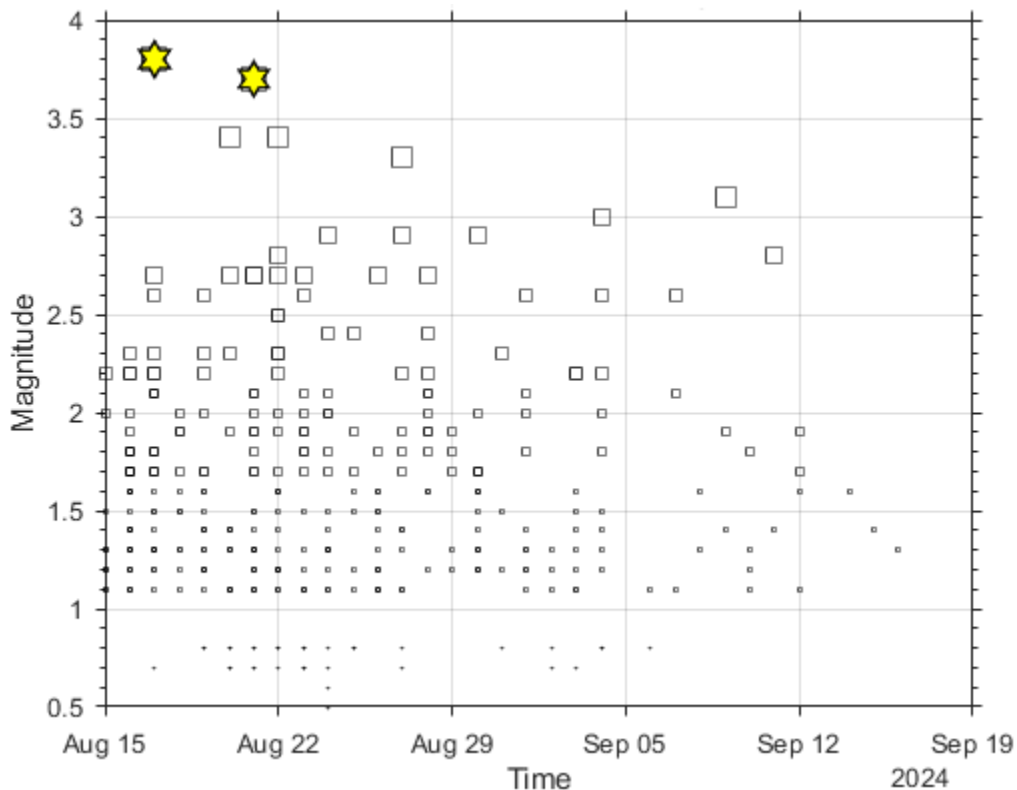


Figura 20. Histograma de magnitudes locales de la secuencia sísmica entre el 15 de agosto al 17 de septiembre de 2024. Se resaltan los sismos más grandes de la secuencia con valores de 3,8 y 3,7 el 16 y 21 de agosto respectivamente (estrellas amarillas).

Los sismos del 17 y 21 de agosto de esta secuencia liberaron la mayor energía lo que se refleja en el acumulado del momento sísmico calculado a partir de la magnitud de los sismos (Figura 21). El momento sísmico define la cantidad de fuerza que se necesita para

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666



generar las ondas registradas y es proporcional al área de ruptura y al deslizamiento ocurrido en una falla. Entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre la secuencia sísmica produjo un momento sísmico acumulado de  $1,9 \times 10^{15}$  N m (Figura 21). Mediante el programa ZMap (Wiemer S., 2001), se analizó la distribución frecuencia versus magnitud del catálogo de los sismos localizados entre el 15 de agosto y el 17 de septiembre, siguiendo la ley de Gutenberg - Richter, encontrándose que la magnitud de completitud es de 1,3, calculada con el método de máxima curvatura y el valor  $b$  es de 0,8, considerado como intermedio (Figura 22). El valor  $b$  es un parámetro físico que representa la proporción relativa entre sismos pequeños y grandes, y estadísticamente describe la relación entre el número de sismos y sus magnitudes. El valor  $b$  es utilizado para pronosticar la ocurrencia de sismos importantes con base en el análisis de las secuencias sísmicas, pero varía en el tiempo y en el espacio debido a la calidad y cantidad de los datos del catálogo aunado a la ubicación, la extensión y el fallamiento de la zona donde están ocurriendo los sismos. Un bajo valor  $b$  podría indicar la probabilidad de ocurrencia de un sismo mayor.

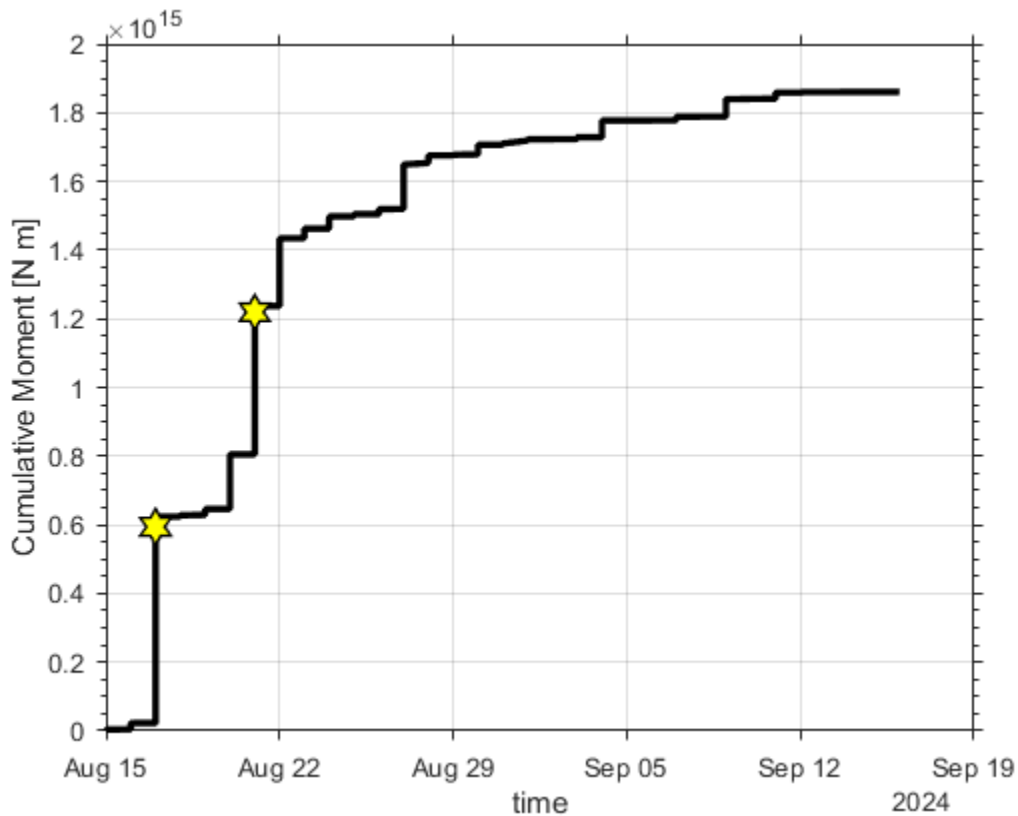


Figura 21. Momento sísmico acumulado calculado a partir de la magnitud de los sismos (15 de agosto a 17 de septiembre de 2024)

A menudo, los enjambres muestran una gran desviación de  $b \sim 1$ . A veces  $b$  es tan grande como 2,5, es decir, ocurrencia de pocos sismos grandes que están acompañados con la

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

ocurrencia de sismos de pequeña magnitud. También pueden suceder enjambres con la ocurrencia de varios sismos con magnitudes relativamente grandes que arrojen valores bajos de  $b$ . En el caso de esta secuencia, el valor de  $b$  se estimó a partir de los 447 sismos localizados a los que se les computó la magnitud, sin embargo, la secuencia totaliza 1539 sismos, de los cuales a aquellos de magnitudes más pequeñas no se localizaron y no hicieron parte del catálogo.

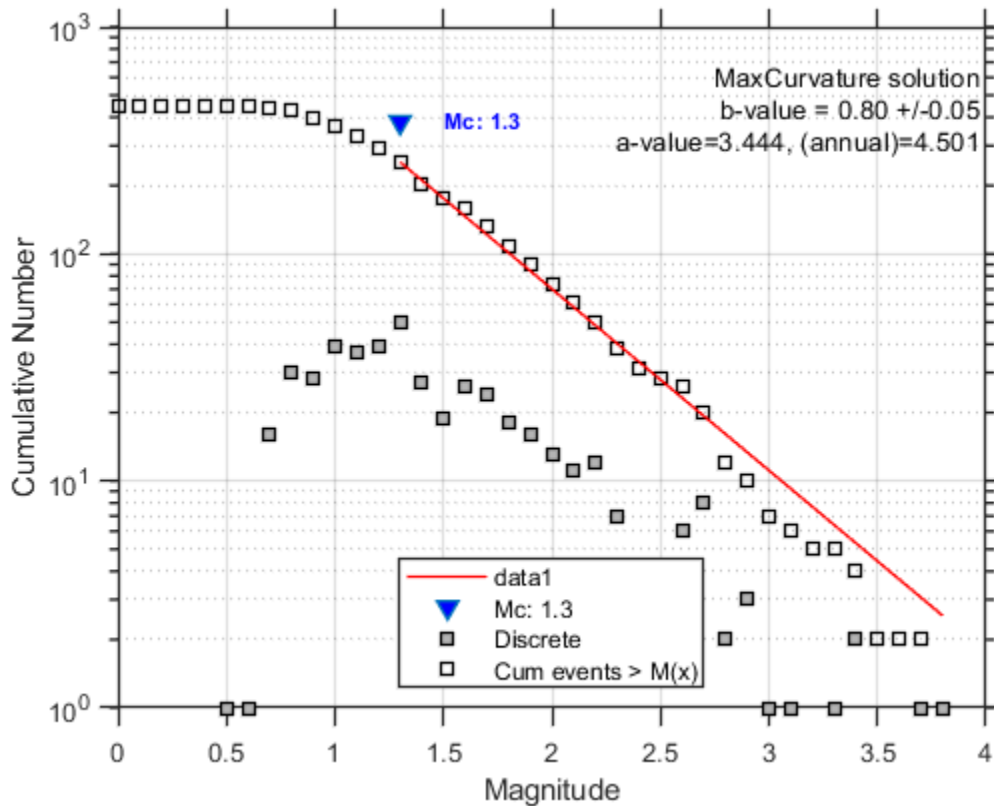


Figura 22. Distribución Gutenberg - Richter de la secuencia sísmica (15 de agosto a 17 de septiembre de 2024)

En 2011 y en comparación con lo del 2024, se registró una secuencia sísmica de menor tamaño tanto en magnitud como en número de sismos en la zona de La Cocha y el campo volcánico monogenético Guamuez - Sibundoy. Entre el 28 de septiembre y el 19 de octubre de 2011 se localizaron 118 sismos y de acuerdo con la distribución temporal de esta secuencia, ocurrieron eventos precursoros con magnitudes menores de 2,8. El sismo principal con magnitud de 3,3 ocurrido el 29 de septiembre fue seguido por decenas de réplicas cuya mayor magnitud fue de 2,7, registrada también el 29 de septiembre (Figura 23). La gran mayoría de sismos presentó magnitudes menores de 2,0 y 18 sismos presentaron magnitudes entre 2,0 y 3,3 incluyendo el evento más grande. La mayor

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

cantidad de sismos y las mayores magnitudes se registraron el 28 y el 29 de septiembre (Figura 23). Los eventos de esta secuencia mostraron dos rangos de profundidad preferenciales; el primero entre 2 y 8 km, incluyendo la mayoría de los sismos donde se ubicó también el más grande, y el otro grupo de sismos se ubicó en un rango de profundidad entre 12 y 16 km como se muestra en la Figura 24. Esta secuencia duró 22 días en los cuales la mayor tasa de ocurrencia se registró el 28 y el 29 de septiembre, luego fue disminuyendo la magnitud de manera gradual como se observa en la Figura 24.

La mayor energía de la secuencia de 2011 expresada como momento sísmico y calculada a partir de la magnitud de los sismos, fue liberada en los días 28 y 29 de septiembre, incluyendo los sismos iniciales con magnitudes de 2,6 y 2,8. Los eventos más grandes tuvieron magnitudes de 3,3 y 2,7, como se muestra en la Figura 23. Entre el 28 de septiembre y el 19 de octubre de 2011 la secuencia sísmica produjo un momento sísmico acumulado de  $1,91 \times 10^{14}$  N m (Figura 25). La distribución frecuencia versus magnitud del catálogo de los sismos localizados entre el 28 de septiembre y el 19 de octubre de 2011, siguiendo la ley de Gutenberg - Richter indica que la magnitud de completitud fue de 0,8 calculada con el método de máxima curvatura, con un valor  $b$  de 0.6 considerado como bajo (Figura 26).

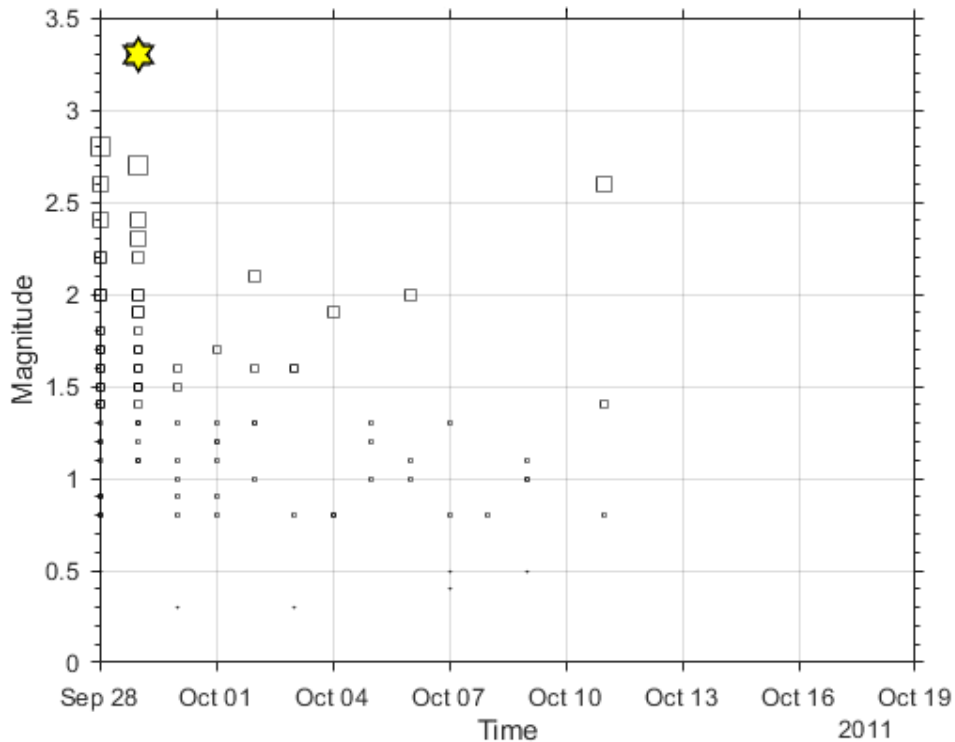


Figura 23. Gráfico de Magnitud respecto al tiempo de la secuencia sísmica registrada entre el 28 de septiembre a 19 de octubre de 2011

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

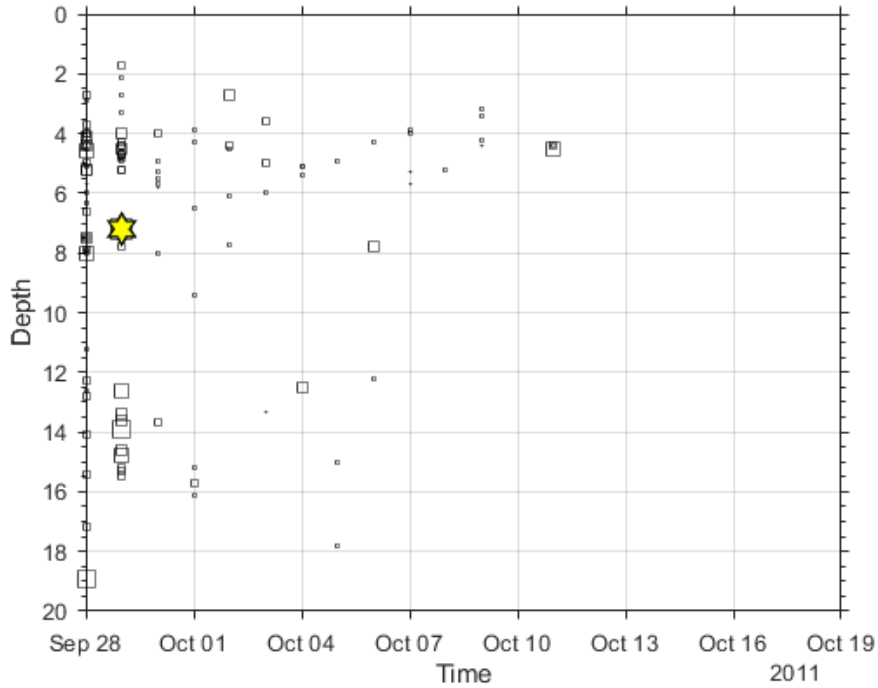


Figura 24. Gráfico de profundidad respecto al tiempo de la secuencia sísmica de 2011 (28 de septiembre a 19 de octubre)

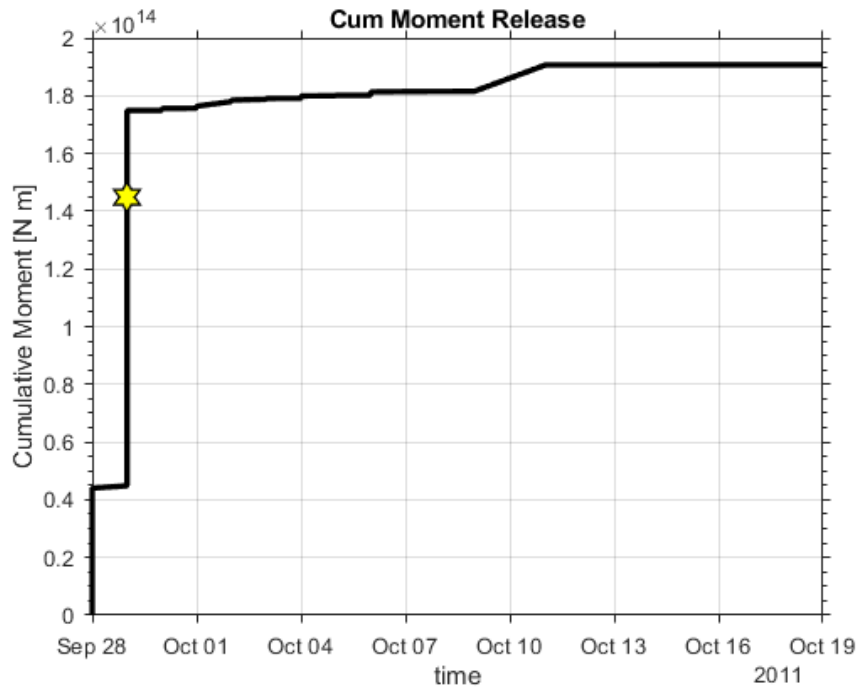


Figura 25 Momento sísmico acumulado calculado a partir de la magnitud de los sismos de la secuencia sísmica entre el 28 de septiembre a 19 de octubre de 2011

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

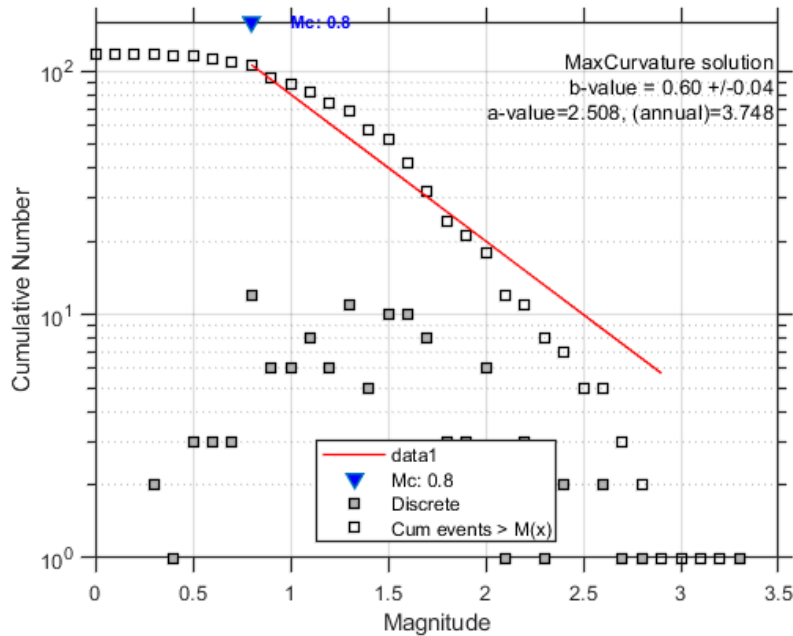


Figura 26 Distribución Gutenberg - Richter de la secuencia sísmica acontecida entre el 28 de septiembre y el 19 de octubre de 2011

## 6 Otras mediciones

### 6.1 Deformación

En el municipio de Colón el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), tiene instalada desde septiembre del 2022, una estación de GNSS, desafortunadamente para el periodo de evaluación (agosto a octubre del 2024) el equipo no estaba en funcionamiento; sin embargo, se procesó la información disponible hasta el 3 de marzo de 2024 mostrando estabilidad en las series de datos. Por otra parte, usando imágenes satelitales Sentinel-1 y empleando la técnica D-InSAR no se observó deformación en la zona (Figura 27). Debido a que el terreno en la zona cercana al CVMGS tiene mucha vegetación, se resalta que con esta técnica no se obtiene una buena coherencia, por lo que las imágenes utilizadas no son las mejores para observar cambios deformacionales.

---

#### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

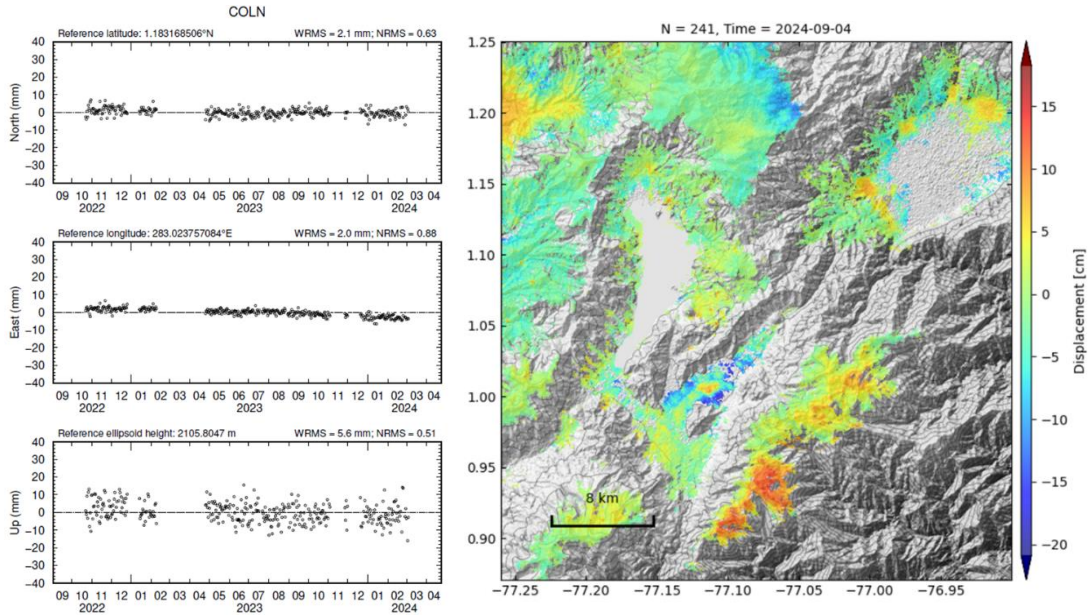


Figura 27. Izquierda: Componentes de desplazamiento de la estación GNSS COLN, de propiedad del IGAC ubicada en el municipio de Colón, Putumayo, entre septiembre de 2022 y marzo de 2024. Derecha: Desplazamientos obtenidos con imágenes Sentinel-1, procesados con software ISCE

## 6.2 Geoquímica

Con la termocupla instalada en la reserva DantaKunapa (Fundación Kindicocha), localizada en la vereda La Josefina, municipio de Colón, Putumayo, se realiza seguimiento de la temperatura de agua en inmediaciones de la fuente termal (DantaKunapa), que registra 34 °C de temperatura promedio. En la figura 28, se muestra el registro temporal desde su instalación; se observan oscilaciones entre 32,1 y 35,3 °C, las cuales responden a variaciones día - noche. Se aplica una media móvil de 24 horas para eliminar ese efecto, con lo cual, es posible evidenciar que se presenta estabilidad en los registros de este parámetro.

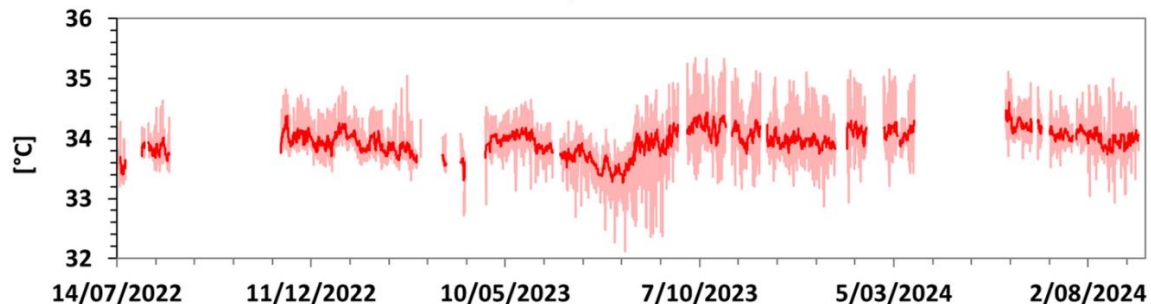


Figura 28. Registro de temperatura en la estación de Danta. Julio 2022- septiembre 2024.

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

Por otro lado, el seguimiento de aguas en el área cercana al complejo volcánico Guamuez-Sibundoy y en el Alto Putumayo, muestra variedad de tipo cloruradas, bicarbonatadas, sulfatadas, así como mezcla entre ellas; sus valores de pH oscilan entre 5,5 y 10,0; conductividades entre 0,1 y 3,0 mS/cm y temperaturas desde 20 hasta 83°C, características que obtienen posiblemente por su interacción con el ambiente geológico de fallamiento y la presencia del campo volcánico. En la Figura 29 se muestra la ubicación geográfica de las diferentes fuentes de agua que se vienen muestreando desde hace algunos años por parte del SGC, en donde la mayoría de ellas se ubican en cercanías de los trazos de fallas cartografiados.

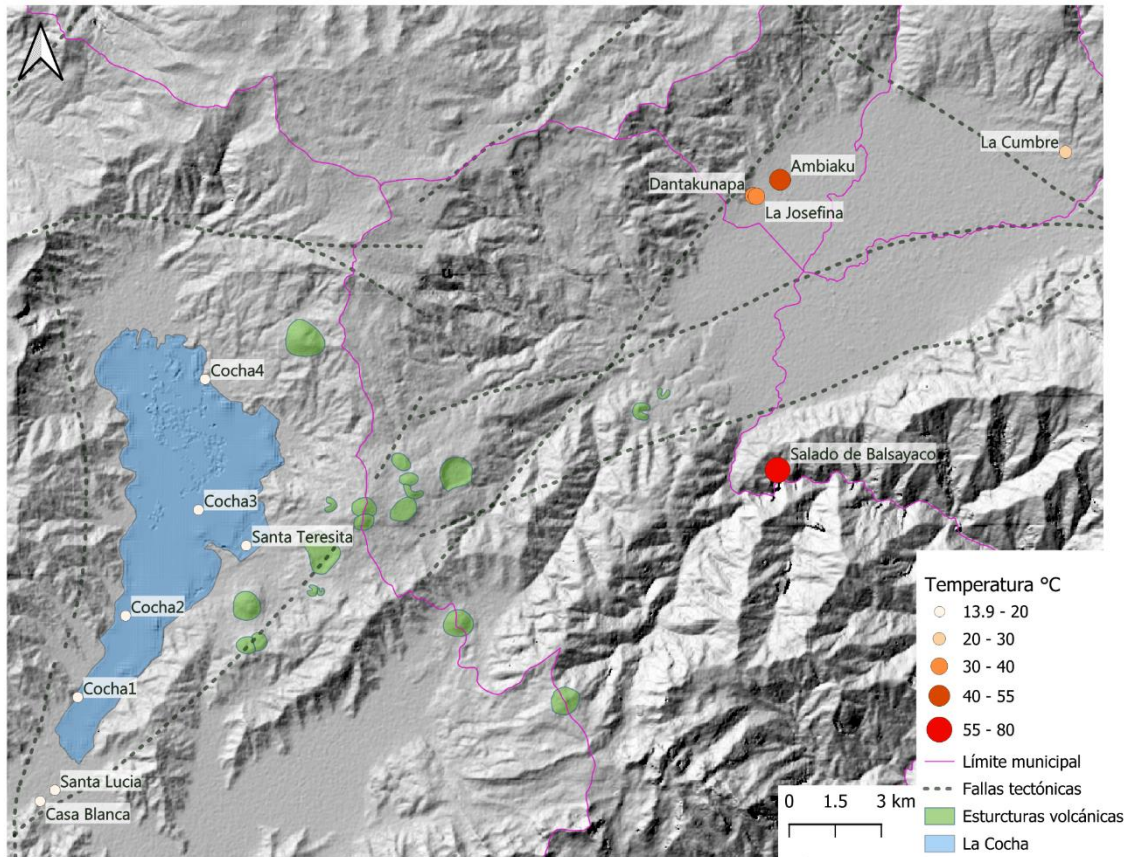


Figura 29. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de aguas, en área de influencia del campo volcánico Guamuez- Sibundoy y del Alto Putumayo. El rango de temperatura de los sitios de muestreo está indicado por el color y el tamaño de sus círculos. Los polígonos de color verde representan las estructuras que hacen parte del CVMGS y las líneas discontinuas representan los trazos de fallas definidos regionalmente asociados con el SFA.

A continuación, se resaltan algunos manantiales con características importantes:

---

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

- *Salado de Balsayaco*: tiene la temperatura más alta de la zona con valores que han oscilado entre 80 a 83 °C, alta conductividad eléctrica, pH neutro y elevadas concentraciones de cloruros, las cuales son características típicas de ambientes de circulación profunda, donde el agua asciende a través de fracturas y fallas, cargándose de minerales disueltos. Cabe mencionar también que, en esta zona, desde el 2021 que se retomaron los muestreos por parte del SGC-OVSPA, se han observado deslizamientos constantes del terreno, reportados también por habitantes cercanos a esta región.
- *Santa Teresita*: aunque presenta baja temperatura y baja mineralización, el agua es clorurada, ácida (pH 5,5) y presenta burbujeo. Este burbujeo indica emisión de gas difuso, que generalmente es dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), emisión que se favorece también por la presencia de fallas tectónicas. En 2022 se realizaron mediciones con cámara de acumulación y se midieron valores hasta de 15.000 g/m<sup>2</sup>/día (en áreas donde no hay influencia de fallas o vulcanismo los valores medidos de este gas usualmente son menos a 100 g/m<sup>2</sup>/día).
- *La Cumbre*: el ión mayoritario es el carbonato, haciendo que sus aguas sean carbonatadas, e indica que estas aguas están expuestas a rocas calizas que liberan este ión y su ascenso a la superficie está favorecido por grietas o fallas.
- 

Finalmente, los análisis realizados a la Laguna de La Cocha con 4 lugares de muestreo, (Figura 30), indican que sus aguas son neutras (pH 7), con temperaturas bajas (<15 °C) y baja mineralización, similares al agua lluvia.

Por las características químicas y fisicoquímicas anteriormente mencionadas de los sitios donde se ha realizado el monitoreo de aguas, es posible esperar que perturbaciones en el sistema de fallas y de campo volcánico se vean reflejados en cambios en estas manifestaciones superficiales, de ahí la importancia del monitoreo geoquímico de estas aguas.

## 7 Acciones acometidas

Con base en el temor que infunde en los seres humanos el hecho de estar sintiendo frecuentemente sismos y en coherencia con la relevancia que tiene para el SGC el estar presente en los territorios y socializar sus conocimientos, una comisión del SGC-OVSPA se desplazó entre el 27 y 29 de agosto para reunirse con diferentes autoridades, comunidades e instituciones, así como también para adelantar labores relacionadas con pruebas de sitio para la ampliación de la red actual de monitoreo, resultando en una gestión altamente productiva.

---

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666



Las actividades programadas culminaron el 29 de agosto con la participación de un Consejo Municipal de gestión del riesgo de desastres ampliado en Santiago (Putumayo), que fue presidido por su Alcalde Franklin Benavides y que tuvo también la asistencia de la Alcaldesa de Colón (Valentina Torres) y del Alcalde de Sibundoy (Camilo Pabón), junto con miembros de la fuerza pública, defensa civil, bomberos, Cruz Roja y otras personalidades de las Alcaldías del Alto Putumayo, así como también con presencia de representantes del Cabildo indígena de Santiago, de Corpoamazonia y de una representante de la Dirección Administrativa de Gestión del Riesgo del Departamento del Putumayo.

En el desarrollo de la agenda propuesta en este consejo, el SGC-OVSPA realizó la socialización ante los asistentes, del contexto y desarrollo de la sismicidad que se viene presentando desde agosto 15, de las generalidades del CVMGS y se ilustró también sobre la red de monitoreo que se utiliza para localizar estos sismos. Se presentó la propuesta inicial de ampliación de la red con el equipo con el que cuenta en este momento el OVSPA, que básicamente está compuesto por dos sensores sísmicos y dos GNSS, que se planean instalar hacia finales de septiembre de 2024.

Algunos de los datos relacionados con las actividades de socialización relacionadas con la actividad sísmica en ese territorio y las características principales de los volcanes que hacen parte del CVMGS, son los siguientes:

La propuesta de ampliación de la red se indica en la Figura 30 y tiene como objetivo cubrir el área de influencia del CVMGS y mejorar la localización de los sismos que se están registrando en esta zona, disminuyendo las incertidumbres, principalmente en profundidad, que se da en una red que no cuenta con suficientes estaciones. Se propone tener en el corto y mediano plazo, una red compuesta por al menos doce estaciones sismológicas y seis sensores de deformación GNSS. De estas estaciones, dos pertenecen a la red del volcán Galeras (Cobanegra con un sismómetro y OVSPA con un GNSS), una del volcán Doña Juana (con sismómetro y GNSS), dos ya están instaladas en la zona (Bordoncillo con sismómetro y Danta con acelerómetro).

Usando el equipo disponible se decidió instalar dos estaciones sísmicas y dos GNSS. Se realizaron pruebas de transmisión de señales entre diferentes sitios localizados sobre el costado sur y oriental de la laguna de La Cocha y la repetidora localizada en el páramo del Bordoncillo, obteniendo resultados favorables para la transmisión. Con estas pruebas se adelantó la preparación de equipos y el trámite administrativo correspondiente para instalar estos sensores en septiembre de 2024. De los sitios seleccionados por ahora solo se tiene permiso de instalación en el sector de Gauyapungo para un sismómetro y un GNSS. En la estación de Bordoncillo se instalará adicionalmente un GNSS (Figura 30). Por otra parte, se cuenta con la voluntad de dos propietarios de la región para instalar otras

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

estaciones en el futuro cercano; la primera al oriente de la Cocha, sector El Salado, municipio de Santiago (propietaria Señora Adriana Buesaquillo) y la segunda en la vereda Muchivioy, Municipio de Santiago (propietario Taita Luis Guillermo Jacanamijoy), aunque esta última, requiere de un trabajo previo de socialización con las comunidades indígenas que residen en esta vereda y que incluye el traer a líderes y representantes a la sede del SGC-OVSPA para una visita guiada y posteriormente, una socialización más amplia en territorio

Para las estaciones restantes es necesario gestionar también los recursos para adquirir los equipos, los sistemas de transmisión, sistema de alimentación, construcción de sistemas de protección y posteriormente el mantenimiento de dichos componentes

Tabla 3. Cronograma de Actividades de acciones acometidas

Fecha	Actividad	# participantes
Agosto 27	Encuentro con estudiantes y docentes de la Institución Educativa Municipal de El Encano (Corregimiento de El Encano, Departamento de Nariño)	55
	Encuentro con ASOLANCHEROS lancheros asociados de La Cocha (Corregimiento de El Encano, Departamento de Nariño)	112
	Encuentro con Gobernadora del Resguardo Indígena Quillasinga Refugio del Sol (Corregimiento de El Encano, Departamento de Nariño)	5
	Difusión a través de la radio indígena comunitaria Quillasinga 106,1 FM y por su Facebook (Corregimiento de El Encano, Departamento de Nariño)	~3000 – 4000 (radio oyentes) + 48 por el FB de la emisora
Agosto 28	Encuentro con autoridades civiles e indígenas, comunidades, profesores, bomberos, ponal, etc. del Municipio de Santiago (Departamento del Putumayo), encabezadas por el Señor alcalde municipal	218 presenciales + 109 por el FB de la Alcaldía
	Encuentro con el Taita Luis Guillermo Jacanamijoy del Resguardo Indígena de Muchivioy (Municipio de Santiago – Departamento del Putumayo)	1
Agosto 29	Encuentro con estudiantes y docentes de la Institución Educativa Santa Teresita (Corregimiento de El Encano, Departamento de Nariño) y 3 contratistas de Parques Nacionales del Santuario de Flora y Fauna La Corota.	36
	Participación en CMGRD_ampliado con la presencia de autoridades civiles e indígenas, de los municipios del Alto Putumayo (Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco), junto con una representante de la DAGRD departamental (Departamento del Putumayo).	47

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

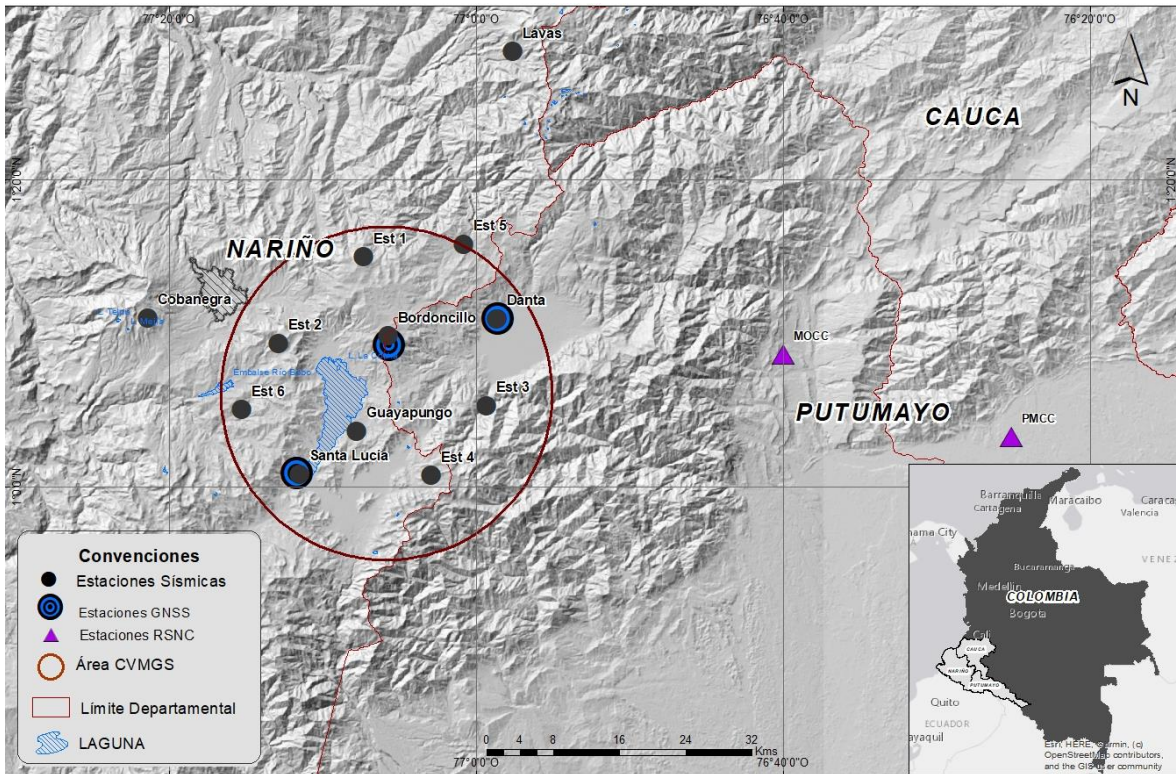


Figura 30. Posibles sitios de expansión de la red de monitoreo en la zona del CVMGS: Bordoncillo (Estación GNSS), Santa Lucía (Estación sísmológica), Guayapungo (Estación sísmológica y GNSS)

## 8 Conclusiones

El 15 de agosto se desencadenó una secuencia sísmica ubicada principalmente al E de la laguna de La Cocha en un sector ubicado en el límite de los Departamentos de Nariño y Putumayo. La evolución temporal de la secuencia está acorde a la de un enjambre, dado que no se distingue un sismo principal. Seis eventos tuvieron magnitudes entre 3,0 y 3,8, siendo eventos menores, pero dado su carácter superficial y cercanía a centros poblados, estos sismos fueron reportados como sentidos.

Epicentralmente la mayoría de estos sismos muestran un alineamiento en dirección SE-NO. En 2011, entre el 28 de septiembre al 19 de octubre ocurrió otra secuencia de sismos, ubicada epicentralmente en un sector muy similar.

La zona de los epicentros en vecindades al cuerpo de agua de la laguna de la Cocha se caracteriza por la presencia de fallas y lineamientos asociados al sistema de Fallas Algeciras que tienen una fuerte componente de rumbo dextral. Además, ese sistema tiene

---

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

una dirección principal SO-NE, que corresponde a una estructura evolucionada con una geometría anastomosada, la cual crece de manera lateral a través de la unión de estructuras secundarias con lineamientos aproximadamente perpendicular a la dirección principal.

Por otra parte, las localizaciones de las fuentes sísmicas están situadas en el área en el Campo Volcánico Monogenético Guamuez-Sibundoy que hasta la fecha se tiene inventariado con 22 estructuras volcánicas monogenéticas.

Discernir la causa de un enjambre sísmico en un área con influencia de fallas y lineamientos con la presencia de un campo volcánico resulta ser un desafío ya que existe una amplia gama de mecanismos magmáticos y tectónicos factibles. Mecanismos como difusión de alta presión de poros, presurización de reservorios llenos de fluido, procesos de intrusiones magmáticas, hidrofracturamientos o eventos de deslizamiento lento pueden desencadenar un enjambre.

Con base en los patrones de distribución de los hipocentros y al hecho de que no se han detectado cambios en: la deformación, algunos parámetros geoquímicos y en otro tipo de manifestaciones en superficie; además que no se tienen novedades en el contexto volcánico, sugiere que el enjambre tiene por ahora más características de tipo tectónico asociado a la actividad de las fallas. No se descarta la interacción de fluidos modificando la presión de poros o un proceso derivado de deslizamiento lento. Tampoco se desecha que en un futuro se suscite un proceso volcánico resultante de una intrusión magmática con las condiciones que determinan el vulcanismo monogenético de la zona.

## 9 Referencias

Brandsdóttir, B., and Einarsson, P. (1979). Seismic activity associated with the September 1977 deflation of the Krafla central volcano in NE-Iceland. *J. Volc. Geotherm. Res.* 6, 197–212. doi: 10.1016/0377-0273(79)90001-5

Dahm T, Hainzl S and Fischer T (2010) Bidirectional and unidirectional fracture growth during hydrofracturing: role of driving stress gradients. *Journal of Geophysical Research* 115, B12322.

DANE, Colombia Estadística. [Censo de población, años de 1835 y 1843](#). Archivado desde [el original](#) el 24 de diciembre de 2013. Consultado el 12 de julio de 2012.

Diederix, H., Bohórquez, O. P., Páez, H. M., Peláez, J. R., Cardona, L., Corchuelo, Y., Ramírez, J., & Mila, F. D. (2020). The Algeciras Fault System of the Upper Magdalena Valley, Huila Department. *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, *Publicaciones Geológicas Especiales* 38, P. 423–452. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.12>

Fukuda, J. (2018). Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2014. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 732–760. <https://doi.org/10.1002/2017JB014709>.

Gudmundsson, M.T., Jónsdóttir, K., Hooper, A., Holohan, E.P., Halldórsson, S.A., Ófeigsson, B.G., Cesca, S., Vogförd, K.S., Sigmundsson, F., Högnadóttir, T., Einarsson, P., Sigmarsson, O., Jarosh, A.H., Jónasson, K., Magnússon, E., Hreinsdóttir, S., Bagnardi, M., Parks, M.M., Hjörleifsdóttir, V., Pálsson, F., Walter, T.R., Schöpfer, M.P.J., Heimann, S., Reynolds, H.I., Dumont, S., Bali, E., Gudfinnsson, G.H., Dahm, T., Roberts, M.J., Hensch, M., Belart, J.M.C., Spaans, K., Jakobsson, S., Gudmundsson, G.B., Fridriksdóttir, H.M., Drouin, V., Dürig, T., Aðalgeirsdóttir, G., Riishuus, M., Pedersen, G.B.M., van Boeckel, T., Oddsson, B., Pfeffer, M., Barsotti, S., Bergsson, B., Donovan, A., Burton, M.R., Aiuppa, A., 2016. Gradual caldera collapse at Bárðarbunga volcano, Iceland, regulated by lateral magma outflow. *Science* 353, 6926. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8988>.

Gutenberg, B. and Richter, C.F. (1944) Frequency of Earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185-188.

Hainzl, S., 2004. Seismicity patterns of earthquake swarms due to fluid intrusion and stress triggering. *Geophys. J. Int.* (2004) 159, 1090–1096. doi: 10.1111/j.1365-246X.2004.02463.x.

---

### Servicio Geológico Colombiano

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

Hainzl, S., Fischer, T. & Dahm, T., 2012. Seismicity-based estimation of the driving fluid pressure in the case of swarm activity in Western Bohemia. *Geophys J Int*, 191(1), 271-281, doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05610.

Ishimoto, M. and Iida, K. (1939) Observations of Earthquakes Registered with the Micro Seismograph Constructed Recently. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 17, 443-478.

Lohman, R. B., and J. J. McGuire (2007), Earthquake swarms driven by aseismic creep in the Salton Trough, California, *J. Geophys. Res.*, 112, B04405, doi:10.1029/2006JB004596.

Mattia, M., Bruno, V., Caltabiano, T., Cannata, A., Cannavò, F., D'Alessandro, W., et al. (2015). A comprehensive interpretative model of slow slip events on Mt. Etna's eastern flank. *Geochem. Geophys. Geosy.* 16, 635–658. doi: 10.1002/2014GC005585

Mogi, K., 1967. Earthquakes and fractures, *Tectonophysics*, 5, 35–55

Monsalve–Bustamante, M.L., Gómez, J. & Núñez–Tello, A. (2020). Rear arc small-scale basaltic volcanism in Colombia. In: Gómez, J. & Pinilla–Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, p. 407–443. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.10>

Murcia, A., & Cepeda, H. (1983). Estudio geológico del complejo migmatítico de la Cocha-Rio Tellez, parte más SW del escudo de Guyana en Colombia. *Ingeominas*, 15p. Bogotá.

Murcia, A., & Cepeda, H. (1991). Memoria explicativa: Geología de la plancha 429 - Pasto, Escala 1: 100,000, *Ingeominas*, 17 p. Bogotá.

Passarelli, L., Rivalta, E., & Shuler A., 2014. Dike intrusions during rifting episodes obey scaling relationships similar to earthquakes, *Sci. Rep.*, 4, 3886, doi:10.1038/srep03886.

Passarelli, L., Hainzl S., Cesca, S., Maccaferri, F., Mucciarelli M., Roessler, D., Corbi F., Dahm T. & Rivalta E., 2015. Aseismic transient forcing driving the swarm-like seismic sequence in the Pollino range, Southern Italy, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1093/gji/ggv111.

Peng, Z., and Gomberg, J., 2010. An integrated perspective of the continuum between earthquakes and slow-slip phenomena. *Natural Geoscience*. 599 – 607, doi: 10.1038/ngeo940-

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

Rivera-Lara, V. C. (2021). Estudio morfométrico y geomorfológico del Campo Volcánico Monogenético Guamuez-Sibundoy, Colombia. Tesis, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 88 p

Rodríguez-García, G. y Sabrica, C., (2023). Redefinición del Complejo Migmatítico de La Cocha - Río Téllez, con base en nuevos datos de campo, petrografía, litogeoquímica y geocronología. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 54, pp. 7 - 26. <https://doi.org/10.15446/rbct.n54.108075>

Roland, E., and McGuire, J.J., 2009. Earthquake swarms on transform faults. *Geophysical Journal International*, V 178, 3 1677-1690. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04214.x>

Simpson, D.W., Leith, W.S., and Scholz, C.H., 1988. Two types of reservoir-induced seismicity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 78, No. 6, pp. 2025-2040

Talwani, P., and Acree, S., 1984. Pore pressure diffusion and the mechanism of reservoir induced seismicity, *Pure Appl. Geophys.* 122, 947 – 965.

Toro, R.A. y Osorio, J.A., 2005. Determinación de los tensores de esfuerzos actuales para el segmento Norte de los Andes calculados a partir de mecanismos focales de sismos mayores. *Boletín de Geología*, Vol. 27, No. 44, 24 p. Bogotá, Colombia.

Utsu, T., 2002. Statistical features of seismicity. *International Geophysics* 81: 719 -732. DOI: 10.1016/S0074-6142(02)80246-7

Vidale, J. E., and P. M. Shearer (2006), A survey of 71 earthquake bursts across southern California: Exploring the role of pore fluid pressure fluctuations and aseismic slip as drivers, *J. Geophys. Res.*, 111, B05312, doi:10.1029/2005JB004034.

Velandia, F., Terraza, R., & Villegas, H. (2001). El sistema de fallas de Algeciras hacia el suroeste de Colombia y la actual transpresión de los andes del norte. VIII Congreso Colombiano de Geología, August, 11.

Velandia, F., Acosta, J., Terraza, R., & Villegas, H. (2005). The current tectonic motion of the Northern Andes along the Algeciras Fault System in SW Colombia. *Tectonophysics*, 399, 313–329. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.028>

Wiemer, S., 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72(3), pp.373-382 <https://doi.org/10.1785/gssrl.72.3.373>

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666

Wolfe, C.J., Brooks, B.A., Foster, J.H., Okubo, P.G., 2007. Microearthquake streaks and seismicity triggered by slow earthquakes on the mobile south flank of Kilauea Volcano, Hawaii. *Geophys. Res. Lett.* 34, L23306. doi:10.1029/2007GL031625.

---

**Servicio Geológico Colombiano**

Dirección: Calle 27 No. 9 este-25, Barrio La Carolina. Pasto - Nariño

Conmutador: (601) 220 0200 extensión 8704

Línea gratuita: (+57) 01 8000 913666