



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA
COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

ACTIVIDAD DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL
2023

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
SUBDIRECCIÓN DE RIESGOS VOLCÁNICOS

AUTORES:

Alicia Martínez Bringas
Ángel Gómez Vázquez
Gema Victoria Caballero Jiménez
Sergio Valderrama Membrillo
María Guadalupe Hernández Bello



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Contenido

- Resumen
- Resumen mensual de la actividad
- Sismos volcanotectónicos
- Caída de ceniza
- Anomalías térmicas
- Monitoreo de gases
- Monitoreo hidrogeoquímico
- Pronóstico

Resumen

Con respecto del año 2022, durante el 2023 la actividad volcánica se vio intensificada, reflejándose con un incremento en la actividad explosiva durante el primer semestre del año, así como el aumento en el registro de tremor en dos periodos principales, de abril a julio y de octubre a diciembre. Con la ocurrencia de algunas explosiones se observó la emisión de balísticos que cayeron dentro del radio de seguridad de 12 km y columnas eruptivas con altura de menos de 3 km.

Durante la segunda quincena de mayo, el tremor volcánico fue casi continuo con amplitudes grandes a moderadas, estuvo acompañado por la emisión constante de ceniza y fragmentos incandescentes que caían a corta distancia sobre las laderas del volcán. Como consecuencia de este incremento en la actividad efusiva, el Comité Científico Asesor del Volcán Popocatepetl (CCA), se reunió en 22 ocasiones para evaluar este comportamiento. Derivado de estas reuniones el 21 de mayo el CCA recomendó elevar el Semáforo de Alerta Volcánica de Amarillo Fase 2 a Amarillo Fase 3, este cambio en el nivel del semáforo permaneció hasta el 6 de junio, regresando nuevamente al nivel previo (Amarillo Fase 2), a partir de esa fecha.

En cuanto a la sismicidad volcanotectónica, esta disminuyó en un 38% con respecto a 2022. De enero a julio de 2023, se registró una tasa de ocurrencia de 16 eventos por mes, con excepción del mes abril en el que solo se registraron 6 eventos. Y para el periodo de agosto a diciembre la tasa de ocurrencia disminuyó a 6 eventos por mes.

Con las plataformas MIROVA, MODVOL, Sentinel-2 y LanSat8, la detección de anomalías térmicas fue persistente durante todo el 2023. Los valores más altos de anomalía evidenciaron la presencia de magma cerca de la superficie, destacando los valores obtenidos durante la actividad de mayo y junio.

RESUMEN MENSUAL DE LA ACTIVIDAD EN 2022

Enero

Durante enero la actividad sísmica tuvo un incremento con respecto de diciembre de 2022. Se registraron 207 exhalaciones que produjeron columnas de gases y cenizas que no sobrepasaron los 1 500 m de altura sobre el cráter, además de 4 291 eventos de periodo largo. Se detectaron 66 explosiones que en ocasiones expulsaron balísticos que alcanzaron distancias menores a 2 km sobre los flancos del volcán, de estas 10 se catalogaron como moderadas, por su amplitud y energía sísmica y 56 como menores. La explosión con mayor energía sísmica liberada se registró el 31 de enero de tamaño moderado, misma que produjo



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

la eyección de balísticos sobre las laderas del volcán a una distancia máxima aproximada de 2 km (Figura 1). Además, se registraron 17 sismos volcanotectónicos y 79.6 horas de tremor de baja amplitud, de los cuales 57.35 h fueron de alta frecuencia y 22.24 h de tipo armónico.

El 27 de enero se llevó a cabo un sobrevuelo de reconocimiento del volcán con el que se identificó un pequeño domo con un diámetro aproximado de 30-40 metros y una altura de entre 5 y 10 metros (Figura 2). Así mismo, se identificaron dos zonas de emisión de gases en el piso.

Con las plataformas MIROVA, Modvolc y Sentinel-2, de manera persistente se observaron anomalías térmicas en el cráter interno, asociadas posiblemente con el pulso de crecimiento del domo observado durante el sobrevuelo. Por otra parte, en enero se obtuvieron siete lecturas de la emisión de flujo de SO_2 , cuyos valores fueron muy variables. La mayor medición se registró el día 31 con 5 895 toneladas, mientras que la menor fue de 194 ton, correspondiente al día 19.

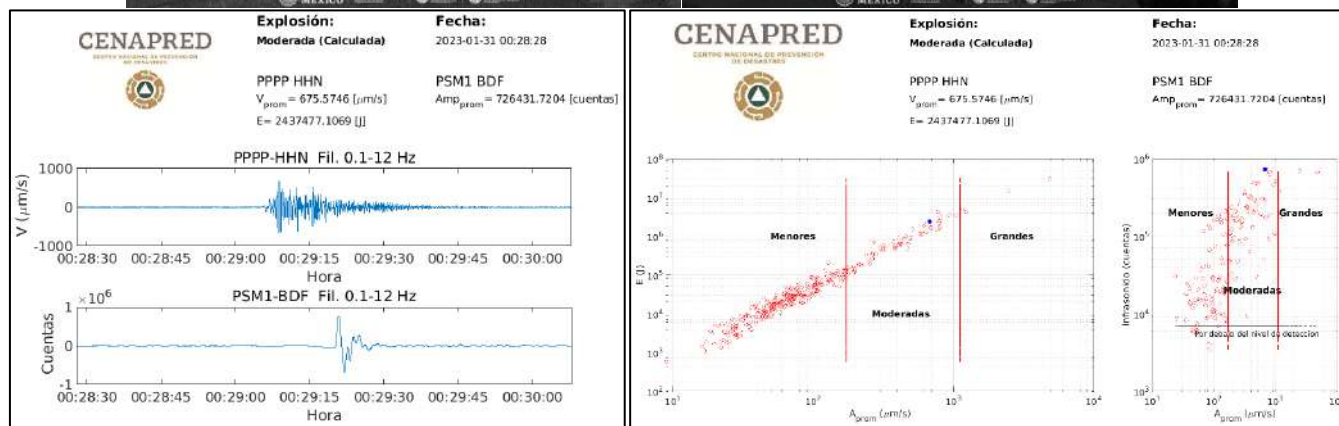


Figura 1 Arriba: Imágenes de la explosión moderada, registrada el 31 de enero a las 00:28 hora local. Izquierda: vista desde Alzomoni; derecha: vista desde Tlamacas. Abajo: Forma de onda, registro sísmico, energía y nivel de clasificación de la explosión



2023
AÑO DE
Francisco VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Figura 2 Imágenes del sobrevuelo realizado al volcán Popocatepetl el 27 de enero de 2023

Febrero

Se registraron 4 446 eventos de periodo largo y 113 exhalaciones que produjeron columnas de gases y cenizas que no sobrepasaron 1 500 m de altura sobre el cráter. También, ocurrieron 97 explosiones, la mayoría expulsaron balísticos incandescentes que alcanzaron una distancia máxima desde el borde del cráter de 2 km., sin una dirección preferencial de caída. Por amplitud y energía sísmica 13 se catalogaron como moderadas y 84 como menores. La explosión con mayor energía sísmica liberada se registró el 24 de febrero (Figura 3) de tamaño moderado. Por otro lado, los episodios de tremor registrados fueron de baja amplitud y acumularon un total de 42.22 horas, 37.38 h menos que en enero. Del total 32.39 h fueron de alta frecuencia y 9.82 h de tipo armónico. En este mes ocurrieron 15 sismos volcanotectónicos.

Con las plataformas MIROVA, Modvolc y Sentinel-2, durante febrero de manera persistente se observaron anomalías térmicas en el cráter interno; el 20 de febrero con una imagen de la plataforma Sentinel 2 se detectó la presencia de un pequeño domo emplazado en el piso del cráter interior, con un diámetro de entre 45 a 50 m y un volumen aproximado de 0.01 a 0.02 $\times 10^6 \text{ m}^3$ (Figura 4)

El 23 y 24 de febrero se realizó una campaña de monitoreo hidrogeoquímico en algunos de los manantiales situados al sureste del volcán, de acuerdo a los análisis realizados por el Laboratorio de Muestras Ambientales del CENAPRED y el Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica de la UNAM, se detectó boro en al menos tres sitios de muestreo con niveles de entre 0.2 y 0.3 mg/l.



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

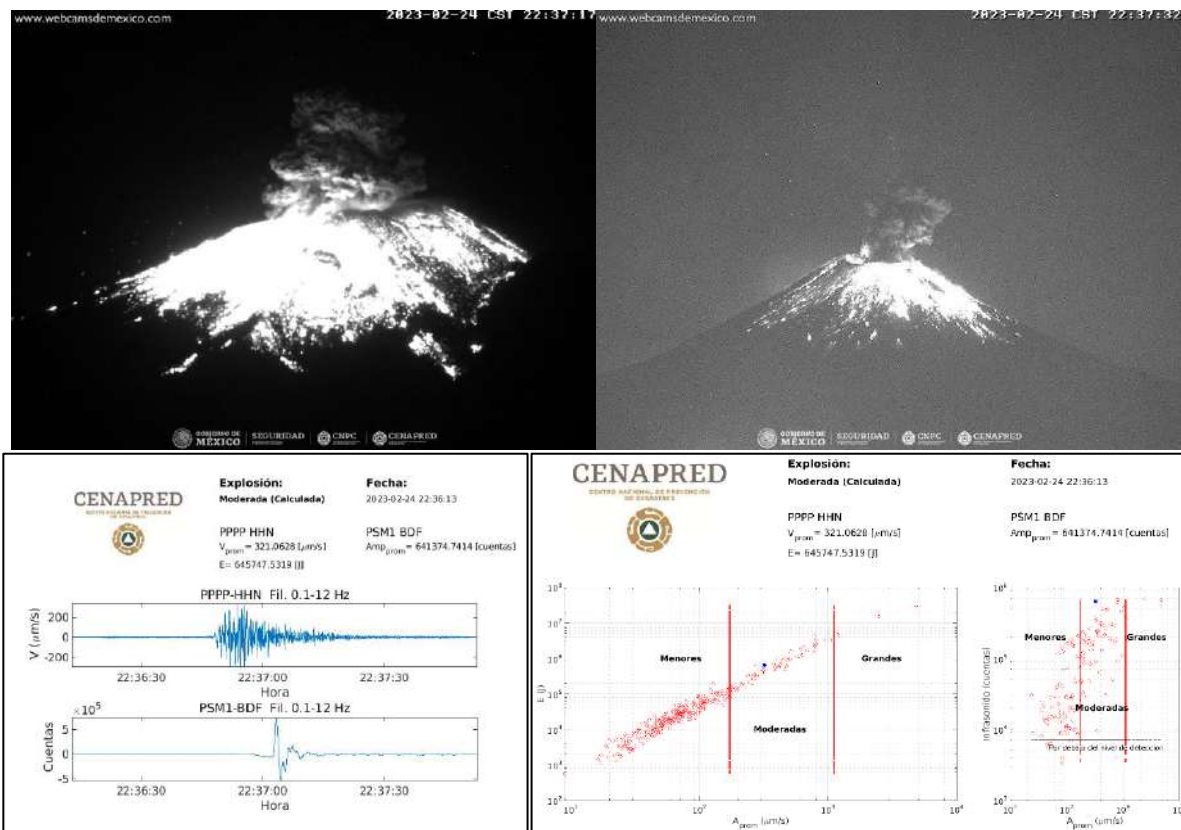


Figura 3 Arriba: Imágenes de la explosión moderada, registrada el 24 de febrero a las 22:36 hora local. Izquierda: vista desde Tlamacas; derecha: vista desde Tianguismanalco. Abajo: Forma de onda, registro sísmico, energía y nivel de clasificación de la explosión

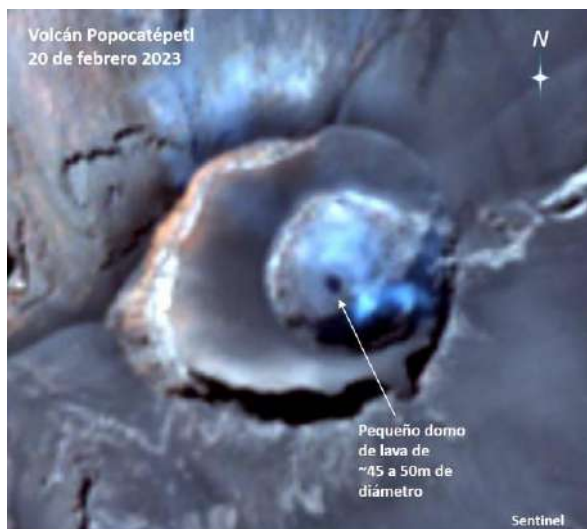


Figura 4 Imagen de satélite (Sentinel 2) del día 20 de febrero, se observa en color negro un pequeño domo emplazado en el fondo del cráter interno



2023
AÑO DE
Francisco VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



Marzo

En este mes ocurrieron 91 explosiones, seis eventos menos que en febrero pasado. Por amplitud y energía sísmica, 41 se catalogaron como moderadas y 50 como menores. La explosión con mayor energía sísmica liberada se registró el 6 de marzo de nivel moderado. Sin embargo, el día 9 ocurrió una explosión que expulsó balísticos incandescentes que alcanzaron una distancia máxima de aproximadamente 2.3 km, desde el borde del cráter, cayendo en casi todos los sectores del mismo (Figura 5).

Así mismo, se registraron 196 exhalaciones que produjeron columnas de gases y cenizas con menos de 1 500 m de altura sobre el cráter y 5 107 eventos de periodo largo. Los episodios de tremor registrados fueron de baja amplitud y acumularon un total de 56.87 horas, 14.65 h menos que en febrero. Del total, 45.34 h fueron de alta frecuencia y 11.53 h de tipo armónico.

Con las plataformas MIROVA, Modvolc y Sentinel-2, se observaron anomalías térmicas en el cráter interno de manera persistente. En este mes se registraron 14 sismos volcanotectónicos.

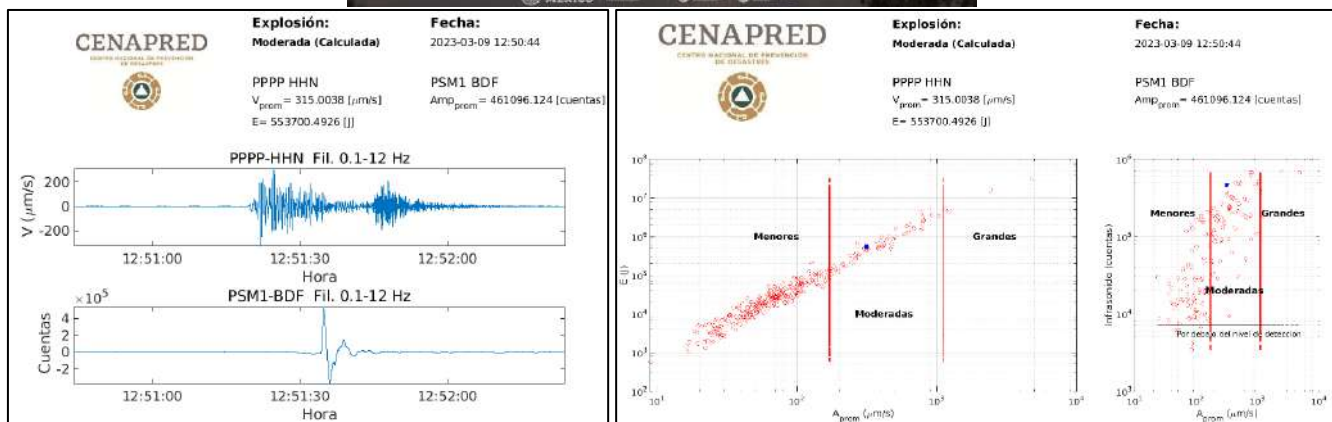


Figura 5 Arriba: Imagen de la explosión moderada, registrada el 9 de marzo a las 12:51 hora local, se observaron fragmentos hasta 2.3 km sobre el sector norte. Abajo: Forma de onda, registro sísmico, energía y nivel de clasificación de la explosión



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Abril

Se detectaron 110 explosiones, 19 más que en marzo pasado. Por amplitud y energía sísmica, se catalogaron 47 como moderadas, 62 como menores y una grande, ocurrida el 3 de abril. Cuando la visibilidad lo permitió, fue posible observar la expulsión de balísticos incandescentes que alcanzaron una distancia máxima, desde el borde del cráter, de aproximadamente 2.4 km (Figura 6). Así mismo, se registraron 285 exhalaciones que produjeron columnas de gases y cenizas con altura entre 400 y 2 000 m sobre el cráter y 4 943 eventos de periodo largo (LP).

Los episodios de tremor registrados fueron de baja amplitud y acumularon un total de 121.98 horas, 65.11 h más que en marzo. Del total, 117.01 h fueron de alta frecuencia y 4.96 h de tipo armónico. Entre el 1 y 13 de abril ocurrieron seis sismos volcanotectónicos, ocho eventos menos que en marzo.

Con las plataformas MIROVA, Modvolc, Sentinel-2 y Landsat 8 se observaron anomalías térmicas en el cráter interno de manera persistente. Por otra parte, los valores de emisión de SO_2 presentaron un incremento con respecto al mes anterior, ya que los días 3 y 19 se registraron 6 276 y 6 112 toneladas, respectivamente, siendo las dos mediciones más altas hasta ese momento del año.

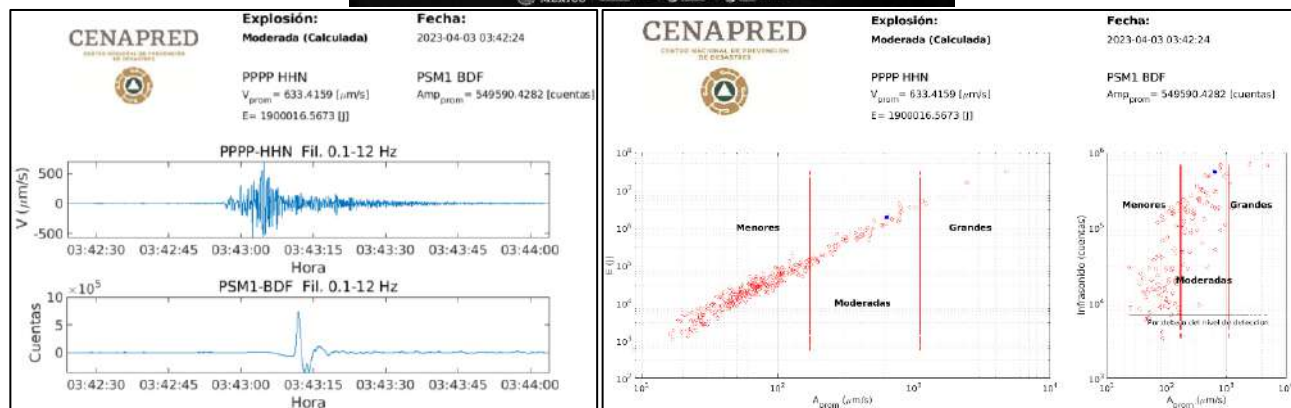


Figura 6 Arriba: Imagen de la explosión moderada, registrada el 3 de abril a las 03:42 hora local; se observaron fragmentos hasta 2.4 km sobre el sector norte. Abajo: Forma de onda, registro sónico, energía y nivel de clasificación de la explosión



2023
Año del
Francisco VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Mayo

En este mes se presentó un incremento en la actividad eruptiva, asociado posiblemente al ascenso de magma a partes más someras del edificio volcánico, evidenciado por el aumento en el tremor de alta frecuencia, explosiones, sismos volcanotectónicos, gases, anomalías térmicas, emisiones de ceniza y la expulsión de fragmentos incandescentes. En total se contabilizaron 3 756 eventos de periodo largo (LP), 111 explosiones, 374 exhalaciones, 15 sismos volcanotectónicos y 366.98 horas de tremor.

De las 111 explosiones, 43 se catalogaron como moderadas, 67 como menores y una grande, ocurrida el 4 de mayo. Los balísticos emitidos por algunas de las explosiones ocurridas en este período, tuvieron alcances de hasta 2.4 km, como la ocurrida el 10 de mayo a las 01:53 horas (Figura 7).

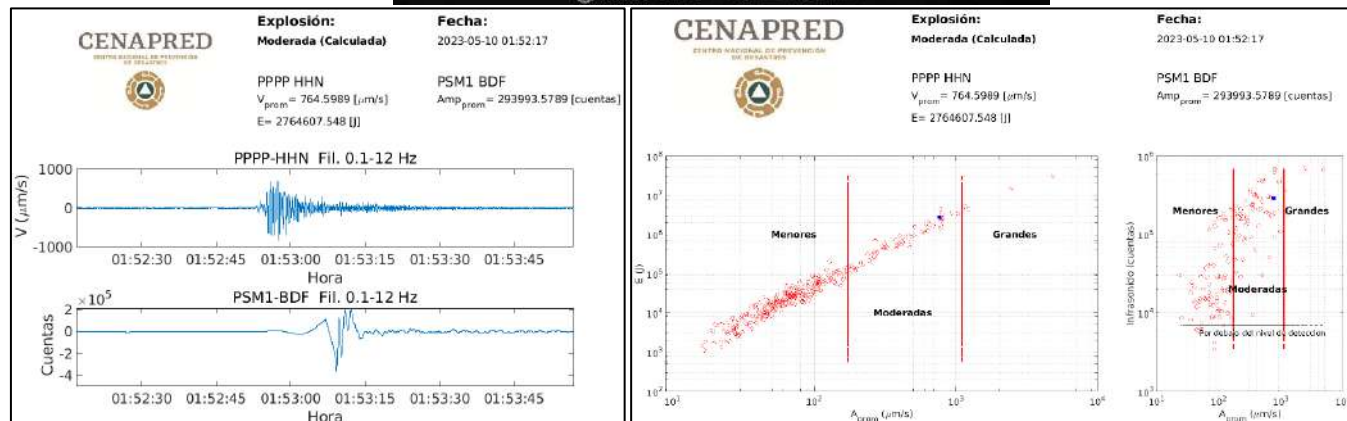
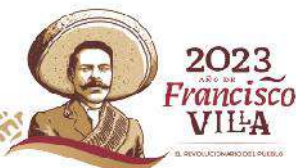


Figura 7 Arriba: Imagen de la explosión moderada, registrada el 10 de mayo a las 01:53 hora local; se observaron fragmentos hasta 2.4 km sobre el sector norte. Abajo: Forma de onda, registro sísmico, energía y nivel de clasificación de la explosión

Debido al incremento en la actividad se realizaron siete reuniones del Comité Científico Asesor del Sistema Nacional de Protección Civil para el volcán Popocatepetl (CCA), con el fin de evaluar y dar seguimiento a la actividad. Derivado de estas reuniones, el CCA recomendó cambiar el nivel del Semáforo de Alerta Volcánica de Amarillo Fase II a Amarillo Fase III.





SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Con las plataformas MIROVA, Modvolc, Sentinel-2 y Landsat 8 se observaron anomalías térmicas en el cráter interno de manera persistente. Por otra parte, los valores de emisión de SO_2 presentaron un incremento, los días los días 21 y 22 se registraron 20 506 y 11 215 toneladas, respectivamente; siendo las dos mediciones más altas desde agosto de 2020.

Por otro lado, el 2 y 3 de mayo se realizó una campaña de monitoreo hidrogeoquímico en seis manantiales situados principalmente al sureste del volcán. De acuerdo con los análisis realizados por el Laboratorio de Muestras Ambientales del CENAPRED y el Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica de la UNAM, se detectó boro en tres sitios de muestreo con niveles entre 0.15 y 0.27 mg/l.

Junio

Durante este mes la actividad eruptiva, estuvo caracterizada por el registro de tremor de alta frecuencia, explosiones, sismos volcanotectónicos, gases, anomalías térmicas, emisiones de ceniza y la expulsión de fragmentos incandescentes.

Se detectaron 18 sismos volcanotectónicos, 1 952 eventos de periodo largo, 37 señales asociadas a exhalaciones y 30 explosiones, que por amplitud y energía sísmica, se catalogaron 15 como moderadas, 14 como menores y una grande, ocurrida el 17 de junio, misma que produjo la eyección de balísticos sobre las laderas del volcán a una distancia aproximada de 2.5 km (Figura 8).

Los episodios de tremor registrados tuvieron amplitudes catalogadas de bajas a moderadas, acumulando un total de 109.91 horas, 257.07 h menos que en mayo pasado. Del total, 107.12 h fueron de alta frecuencia y 2.78 h de tipo armónico de baja amplitud. Asimismo, el tremor registrado durante este mes, ocurrió en 35 episodios con duraciones variables de entre 30 minutos y hasta 5 horas. Éstos se acompañaron por la emisión de ceniza, gases y balísticos que cayeron dentro del mismo cráter y a corta distancia sobre los flancos del volcán.

En seguimiento al incremento de la actividad, observada desde mayo, se realizaron cinco reuniones del Comité Científico Asesor del Sistema Nacional de Protección Civil para el volcán Popocatepetl (CCA), con el fin de evaluar y dar seguimiento a la actividad. Después de haber analizado la información disponible y obtenida con las diferentes técnicas de monitoreo para el Popocatepetl, concluyeron que el incremento de la actividad eruptiva observada en el mes de mayo estuvo asociada al ascenso de material magmático.

Debido a la disminución de la actividad el CCA recomendó, el día 5 de junio, cambiar el nivel del Semáforo de Alerta Volcánica de Amarillo Fase III a Amarillo Fase II.

La Secretaría de Marina (SEMAR) realizó dos sobrevuelos de reconocimiento al volcán Popocatepetl, empleando un vehículo aéreo no tripulado (dron). En el vuelo del día 19 se observó que había emplazado un domo de lava durante los últimos días de mayo y principios de junio, y en ese momento presentaba una subsidencia en su parte central (Figura 9).



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

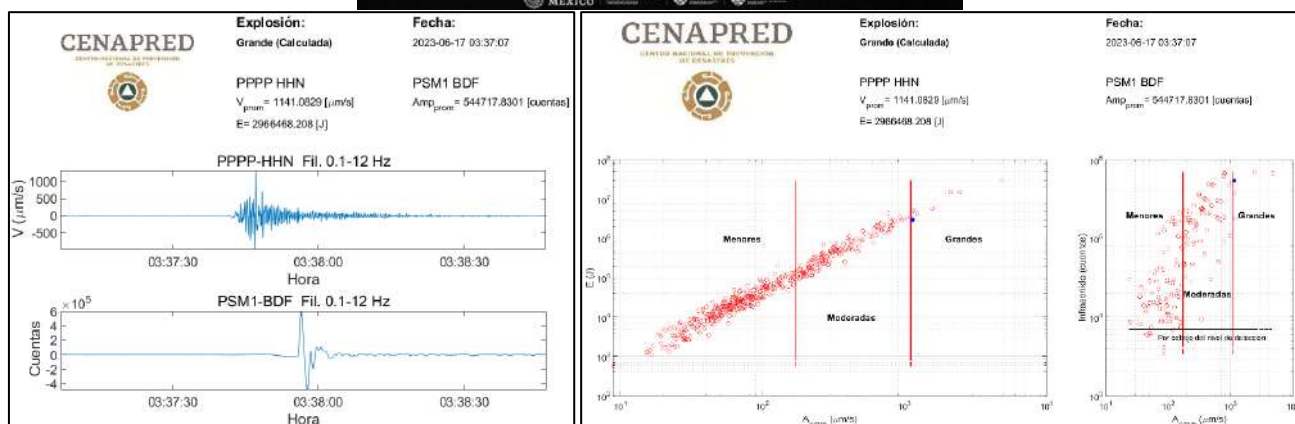
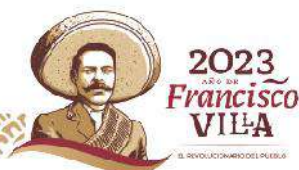


Figura 8 Arriba: Imagen de la explosión clasificada en función de la amplitud sísmica como grande, registrada el 17 de junio a las 03:37 horas, tiempo local. Abajo: Forma de onda, registro sónico, energía y nivel de clasificación de la explosión



Figura 9 Imágenes del sobrevuelo del 19 de junio de 2023 tomadas por la SEMAR

Este mes también se continuaron detectando anomalías térmicas con las plataformas MIROVA, Modvolc, Sentinel-2 y Landsat 8. Con respecto a la de flujo de SO_2 , nuevamente se registró una lectura elevada con 12 947 toneladas.





SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Durante el mes de junio se realizaron dos campañas de recolección y análisis de aguas en seis y siete manantiales alrededor del volcán los días del 1-2 y 26-27 de junio respectivamente. De acuerdo con los análisis realizados por el Laboratorio de Muestras Ambientales del CENAPRED y el Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica de la UNAM, se destaca se detectó boro en cuatro sitios de muestreo en niveles de entre 0.17 y 0.5 mg/l, siendo este segundo valor, uno de los más altos desde 2013.

Julio

En las dos primeras semanas fue persistente el registro de tremor de alta frecuencia, gases, anomalías térmicas y emisiones de ceniza. Los sismos volcanotectónicos mantuvieron la tasa de ocurrencia de un evento cada dos días. Durante las últimas dos semanas del mes la actividad disminuyó considerablemente.

Se contabilizaron 1 396 eventos de periodo largo y 19 señales asociadas a exhalaciones, 18 menos que el mes pasado; algunas de ellas produjeron columnas de ceniza que alcanzaron 1 400 m de altura sobre el cráter.

Se detectaron 30 explosiones que por amplitud y energía sísmica, se clasificaron 17 moderadas y 13 menores; destaca la ocurrida el 22 de julio que produjo una emisión de ceniza con una altura de columna de 2.5 km, que se dispersó principalmente hacia el NW (Figura 10).



Figura 10 Imagen de la explosión moderada, registrada el 22 de julio a las 03:09 horas (tiempo local), que produjo una emisión de ceniza con altura de columna de 2.5 km, dispersándose principalmente hacia el NW.

En cuanto a los episodios de tremor registrados, estos acumularon un total de 101.33 horas, 8.58 h menos que en junio. Del total, 86.61 h fueron de alta frecuencia y 14.72 h de tipo armónico, en ambos casos su amplitud fue de baja a media. Por otro lado, al igual que en el mes de junio, el tremor de alta frecuencia en su mayoría se presentó en 33 episodios, con duraciones variables entre 30 minutos y hasta 9.5 horas (Figura 11). Durante la ocurrencia del tremor se produjo la emisión de ceniza, gases y en ocasiones la eyección de balísticos que cayeron, en la mayoría de los casos, dentro del mismo cráter, y en algunos casos a corta distancia sobre los flancos del volcán (Figura 11).



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

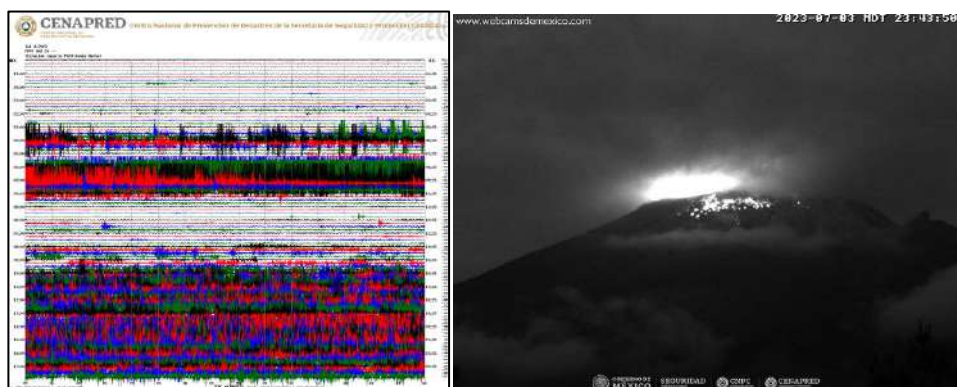


Figura 11 Izquierda: helígrama del día 4 de julio de 2023; se muestra el registro de episodios de tembor de alta frecuencia. Derecha: Foto del 3 de julio de 2023; entre la nubosidad se distingue la emisión de balísticos a corta distancia del cráter, durante un episodio de tembor



Figura 12 Captura de pantalla de la Reunión del CCA llevada a cabo el 31 de julio de 2023

El 31 de julio se realizó la Reunión Extraordinaria 82 del Comité Científico Asesor (Sesión Permanente), con el fin de analizar la evolución de la actividad de las últimas semanas (Figura 12).

En las plataformas Sentinel-2 y Landsat, se observaron anomalías térmicas en el cráter interno, que habían sido detectadas desde los meses anteriores. Con la imagen visible del 20 de julio, se observó que el diámetro del cráter interno es de 340-360 m y posiblemente se distingue un subcráter interior de 100 m de diámetro (Figura 13).



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Figura 13 Imagen Sentinel2 del 20 de julio, en color natural y SWIR (bandas 12, 8A y 04)

Agosto

Durante las tres primeras semanas del mes la actividad se mantuvo en niveles bajos. A partir del día 24 se observó un incremento, manifestado por la ocurrencia de secuencias de exhalaciones, así como por el aumento de tremor de alta frecuencia de baja a mediana amplitud. Los sismos volcanotectónicos mantuvieron la tasa de ocurrencia de un evento cada tres días.

Se contabilizaron 1 869 eventos de periodo largo y 23 señales asociadas a exhalaciones, la mayoría de amplitud baja a moderada. Algunas de ellas produjeron columnas de ceniza que alcanzaron 1 200 m de altura sobre el cráter.

También, se detectaron 31 explosiones, que por amplitud y energía sísmica, se clasificaron ocho moderadas y 23 menores. En comparación con el mes anterior los episodios de tremor disminuyeron, acumulando un total de 37.09 horas, 64.24 h menos que en julio pasado. La mayoría del tremor fue de alta frecuencia y ocurrió en diferentes episodios durante el período del 25 al 31 de agosto, con duraciones de 30 minutos a tres horas (Figura 14).



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres de la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana

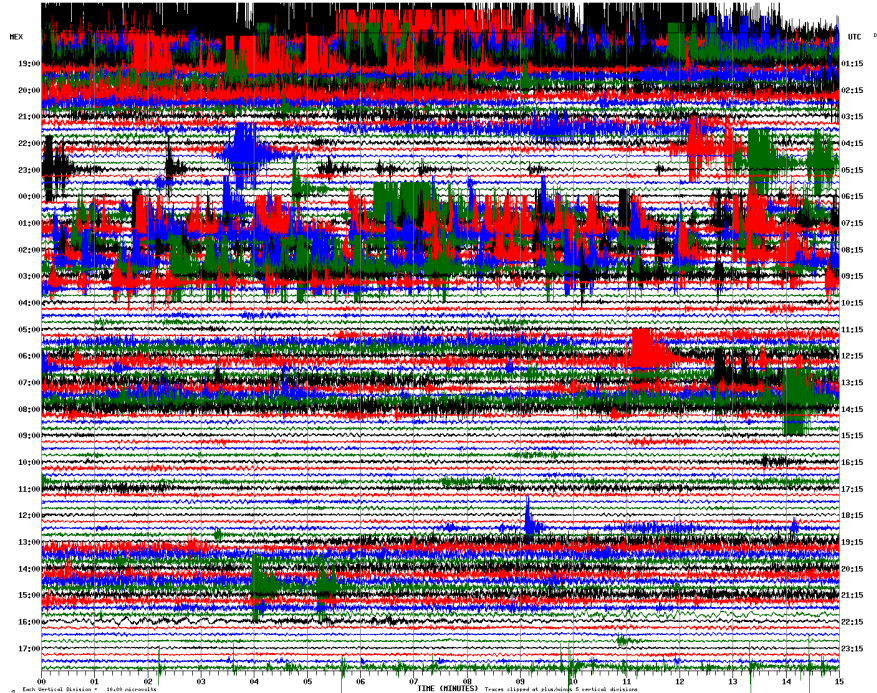


Figura 14 Imagen del sismograma del 26-27 de agosto de 2023; se muestra el registro de episodios de tembor de alta frecuencia y la secuencia de exhalaciones ocurrida el día 27

Por otro lado, durante los días 24, 25 y 27 de agosto se registraron secuencias de exhalaciones de baja a moderada amplitud (Figura 14), que en total sumaron 14.14 horas. La secuencia del día 25, tuvo una duración aproximada de cinco horas, después de lo cual se transformó en tembor que continuó por alrededor de tres horas.

El día 28 se llevó a cabo la 83ª Reunión del CCA, con el fin de evaluar y dar seguimiento a la actividad (Figura 15).



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

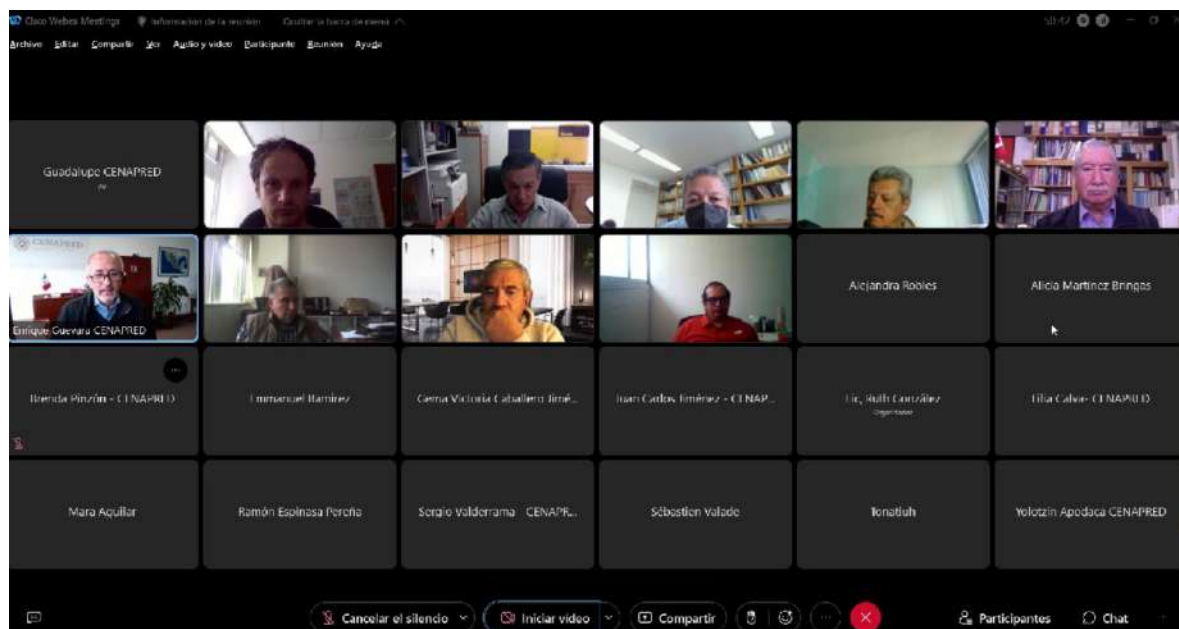


Figura 15 Captura de pantalla de la Reunión del CCA llevada a cabo el 28 de agosto de 2023
Septiembre

Durante la primera quincena del mes se registraron diversos episodios de tremor de alta frecuencia y baja a media amplitud. A partir del día 18 estos disminuyeron y aumentaron los eventos LP, siendo principalmente de baja amplitud. Los sismos volcanotectónicos mantuvieron la tasa de ocurrencia del mes anterior, aproximadamente un evento cada cuatro días.

Por otro lado, se registraron 4 730 eventos de periodo largo y 80 señales asociadas a exhalaciones, la mayoría de amplitud sísmica de baja a moderada. Cuando fue posible observarlas, algunas de ellas produjeron columnas de ceniza que no sobrepasaron 1 200 m de altura sobre el cráter. Así mismo se detectaron 27 explosiones, cuatro eventos menos que en agosto. Por amplitud y energía sísmica, se clasificaron 12 moderadas y 15 menores (Figura 16).

Los episodios de tremor registrados acumularon un total de 70.76 horas, 33.28 h más que en agosto pasado. Del total, 66.44 h fueron de alta frecuencia y 4.31 h de tipo armónico; en ambos casos su amplitud fue de baja a media.

El tremor de alta frecuencia, ocurrió principalmente en el período del 1 al 17 y el 25 de septiembre, con duraciones de 30 minutos a cuatro horas (Figura 17). Durante la ocurrencia del tremor y cuando las condiciones climáticas lo permitieron, se pudieron distinguir emisiones de ceniza, gases y en ocasiones la eyección de balísticos que cayeron, en la mayoría de los casos dentro del mismo cráter, y en algunos otros a distancias que no sobrepasaron 500 m a partir del cráter, sin presentar una dirección preferencial (Figura 17).



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Figura 16 Imagen de la explosión menor registrada el 5 de septiembre a las 07:58 horas (tiempo local), vista desde el sureste (San Juan Tianguismanalco), produjo una emisión de ceniza con altura de columna aproximada de 1.5 km, dispersándose principalmente hacia el SW

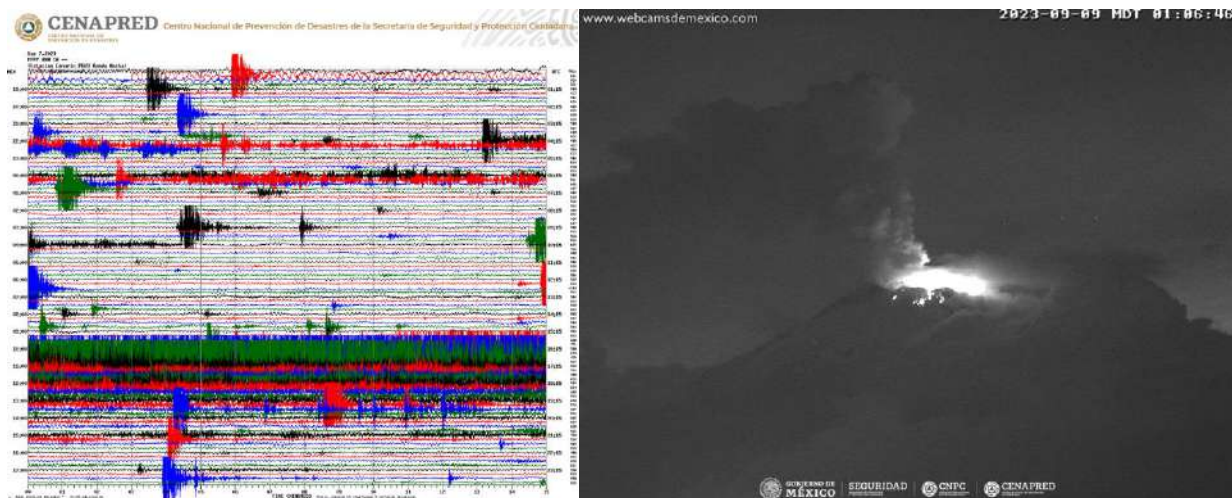


Figura 17 Izquierda: Imagen del sismograma del 7-8 de septiembre de 2023; se muestra el registro de algunos episodios de tembor de alta frecuencia; Derecha: Imagen desde el sector norte del 9 de septiembre de 2023, durante un episodio de tembor de alta frecuencia, en la que se distingue la emisión de balísticos que caen a corta distancia del cráter

Este mes también se tuvieron anomalías térmicas detectadas con las plataformas Sentinel-2, Landsat y MIROVA (Figura 18). En cuanto a la emisión de flujo de SO_2 , el día 2 se tuvo el valor más significativo del mes con 17 092 toneladas, siendo el segundo valor más alto del año.

El 7 y 8 de septiembre se realizó una campaña de monitoreo hidrogeoquímico en siete manantiales, situados principalmente al sureste del volcán. De acuerdo con los análisis realizados por el Laboratorio de Muestras Ambientales del CENAPRED y el Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica de la UNAM, se detectó boro en tres sitios de



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

muestreo en niveles de entre 0.10 y 0.18 mg/l.

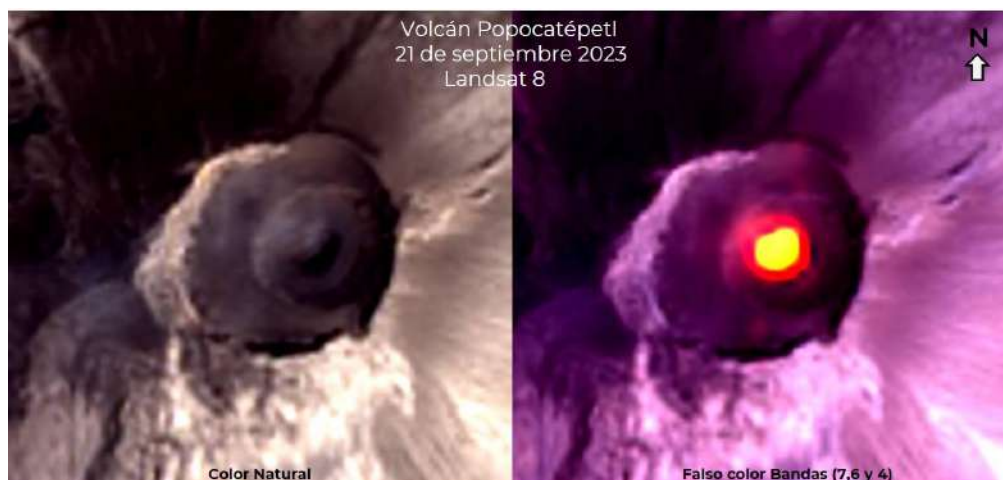


Figura 18 Imagen Landsat8 del 21 de septiembre, en color natural y SWIR (bandas 12, 8A y 04)

Octubre

Durante este mes se registraron 5 444 eventos de periodo largo (LP) y 59 señales asociadas a exhalaciones, 21 eventos menos que el mes pasado, la mayoría de amplitud baja a moderada. Una de las más sobresalientes ocurrió el día 14, generando una columna de ceniza cuya altura alcanzó 2 800 m de altura sobre el cráter (Figura 19). Por otro lado, sólo se registró una explosión, la cual por amplitud y energía sísmica se clasificó como menor. La altura de columna asociada a esta explosión fue de 1.8 km de altura.

De los episodios de tremor registrados en este mes, acumularon un total de 120.47 horas, 49.71 h más que en septiembre. Del total, 120.37 h fueron de alta frecuencia y cinco minutos de tipo armónico; en ambos casos su amplitud fue de baja a media.

El tremor de alta frecuencia ocurrió principalmente en el período del 12 al 24 de octubre, en episodios con duraciones de 30 minutos a 10 horas (Figura 20). Durante la detección del tremor, y cuando las condiciones climáticas lo permitieron, se distinguieron emisiones de ceniza, gases y en ocasiones la eyección de balísticos que cayeron dentro del mismo cráter (Figura 20).

La tasa de ocurrencia de los sismos volcanotectónicos descendió, aproximadamente un evento cada quince días. Por otro lado, continuaron las anomalías térmicas en la zona del cráter, observadas con la plataforma Sentinel-2 (Figura 21). Asimismo, se observó que el flujo de SO_2 presentó una disminución.



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Figura 19 Columna de ceniza de 2.8 km de altura, asociada a la exhalación del 14 de octubre de 2023 a las 14:19 horas, tiempo local

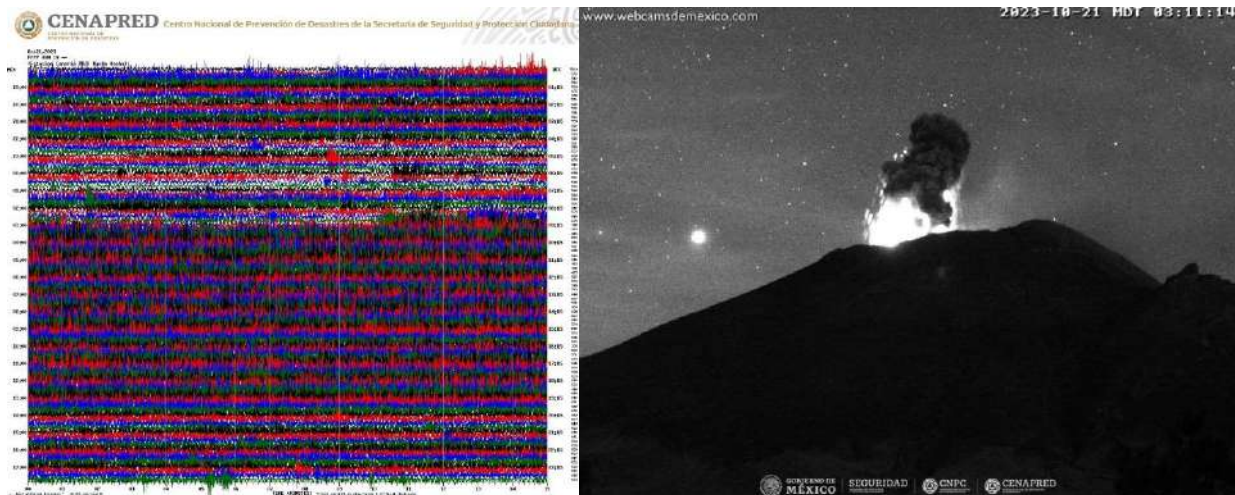


Figura 20 Izquierda: Imagen del sismograma del 20-21 de octubre de 2023; se muestra el registro de algunos episodios de tremor de alta frecuencia; Derecha Imagen desde el sector norte del 21 de octubre de 2023, durante un episodio de tremor de alta frecuencia, en la que se distingue la emisión de balísticos con trayectoria parabólica, que caen en su mayoría dentro del cráter



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Figura 21 Imagen Sentinel2 del 28 de octubre, en color natural y SWIR (bandas 12, 11 y 04)

Noviembre

En noviembre disminuyó la ocurrencia de eventos LP y aumentaron los episodios de tremor de alta frecuencia. Con respecto a los VTs, estos se incrementaron ligeramente; sin embargo, persiste una tasa baja en su ocurrencia, con un evento cada cinco días.

Se registraron 2 147 eventos de periodo largo (LP) y 36 señales asociadas a exhalaciones, 23 eventos menos que el mes pasado, la mayoría de amplitud baja a moderada. Por otro lado, sólo se registró una explosión, la cual por amplitud y energía sísmica se clasificó como menor; la altura de columna asociada fue de 1.8 km (Figura 22).

Los episodios de tremor registrados en este mes acumularon un total de 350.11 horas, cantidad significativamente mayor a la del mes de octubre, cuando se registraron 120.47 h. Del total, 349.92 h fueron de alta frecuencia y únicamente 10 minutos de tipo armónico; en ambos casos su amplitud fue de baja a muy baja.

El tremor de alta frecuencia ocurrió a lo largo de todo el mes, en episodios con duraciones de 10 minutos a 23 horas. Como ejemplo se muestra el registro de un heligrama del 16-17 de noviembre (Figura 23). Es importante destacar que prácticamente durante toda la detección del tremor, y cuando las condiciones climáticas lo permitieron, se distinguieron emisiones asociadas de ceniza y gases (Figura 23).

Al igual que el mes anterior, continuaron las anomalías térmicas en la zona del cráter. Asimismo, se observó que el flujo de SO_2 presentó un pequeño incremento con respecto al mes de octubre.



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Figura 22 Imagen de la explosión menor, vista desde Altomoni. El evento se registró el 4 de noviembre a las 21:05 horas (tiempo local), produjo una emisión de ceniza con altura de columna aproximada de 1.8 km, dispersándose principalmente hacia el NE. Imagen de la exhalación del 6 de noviembre de 2023 a las 18:50 horas, tiempo local

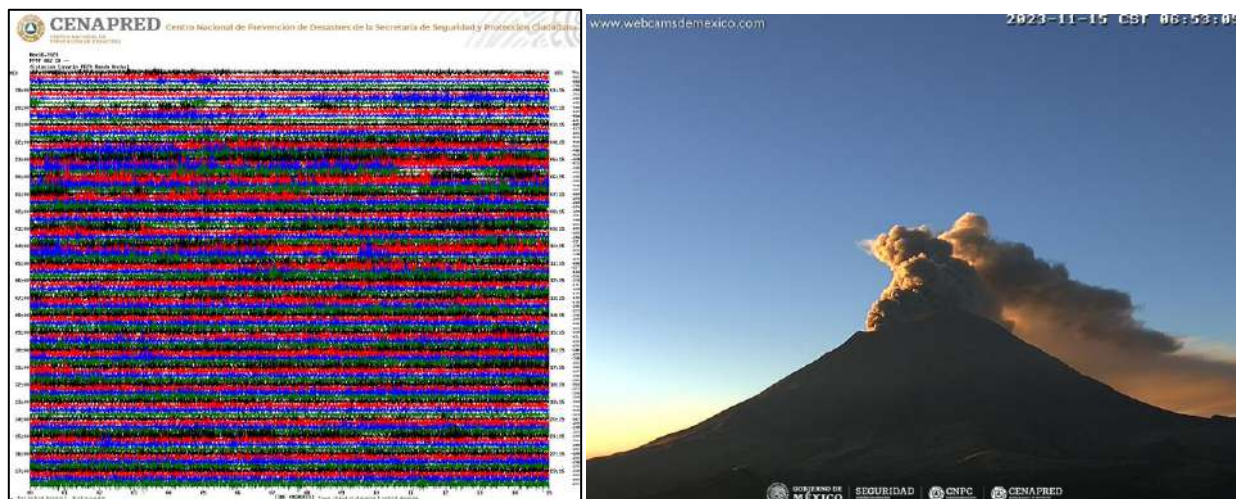


Figura 23 Izquierda: Imagen del sismograma del 16-17 de noviembre de 2023; se muestra el registro de algunos episodios de tremor de alta frecuencia. Derecha: Imagen desde el sector norte (izquierda del 15 de noviembre de 2023, durante un episodio de tremor de alta frecuencia, en la que se observa la emisión de ceniza

Diciembre

Durante el mes de diciembre disminuyó la ocurrencia de eventos LP respecto a noviembre y se mantuvo el registro de la señal de tremor de alta frecuencia. La tasa de detección de VT fue similar al mes anterior, manteniéndose en un evento cada cinco días.

Se registraron 1 669 eventos de periodo largo (LP) y 28 señales asociadas a exhalaciones, ocho eventos menos que el mes pasado, la mayoría de baja amplitud. Un ejemplo de este tipo de eventos ocurrió el día 18, con una columna de altura aproximada de 1.5 km y cuya



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

dispersión fue preferentemente hacia el noreste (Figuras 24). En este mes no se registraron explosiones.



Figura 24 Imagen de la exhalación del 18 de diciembre de 2023 a las 08:15 horas, tiempo local

Los episodios de tremor registrados en este mes acumularon un total de 352.79 horas, valor similar al mes de noviembre. La totalidad del tremor fue de muy baja a baja amplitud y de alta frecuencia, registrado a lo largo de todo el mes, en episodios con duraciones de unas cuantas horas, hasta un máximo de 23. Como ejemplo de las características del tremor de alta frecuencia detectado este mes, se muestra el registro de un heligrama del 5-6 de diciembre (Figura 25). Durante la detección del tremor, y cuando las condiciones climáticas lo permitieron, se distinguieron emisiones de ceniza y gases volcánicos asociadas (Figura 25).

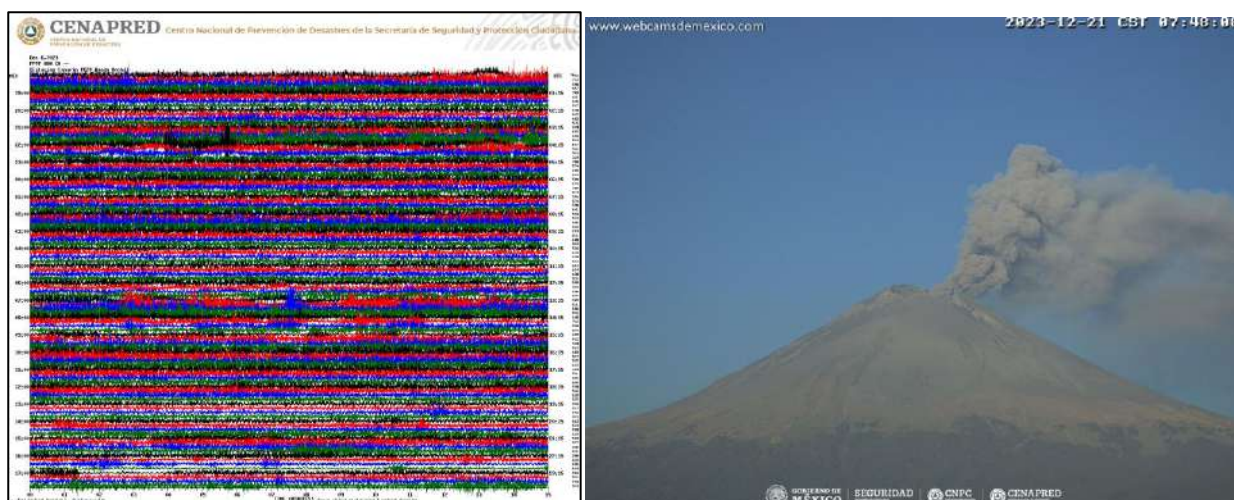


Figura 25 Izquierda: Imagen del heligrama del 5-6 de diciembre de 2023; se muestra el registro de algunos episodios de tremor de alta frecuencia. Derecha: Imagen en la que se observa la emisión de ceniza durante el episodio de tremor de alta frecuencia el 21 de diciembre de 2023, el sector SE



Asimismo, continuó, aunque en menor número, la detección de anomalías térmicas en la zona del cráter. Se observó que el flujo de SO_2 presentó un decremento con respecto al mes de noviembre.

Resumen de la actividad durante 2023

Durante el 2023 la actividad sísmica asociada al movimiento de fluidos (LP, explosiones y tremor) registraron un incremento con respecto del año anterior, por otro lado los eventos asociados al fracturamiento de roca (sismos volcanotectónicos, VT) tuvieron un decremento (Tabla 1, Figura 26).

Tabla 1 Resumen de la actividad sísmica del volcán Popocatepetl durante 2023

Sismicidad del Popocatepetl durante 2023					
Mes	LP		Explosiones	VT	Tremor (horas)
	$\geq 5\,000$ cuentas	$< 5\,000$ cuentas (pulgas)			
Enero	2 336	1 955	66	17	79.6
Febrero	2 517	1 929	97	15	42.22
Marzo	3 789	1 318	91	14	56.87
Abril	4 207	736	110	6	121.98
Mayo	3 452	304	111	15	366.98
Junio	1 166	786	30	18	109.91
Julio	752	644	30	15	101.33
Agosto	718	1 151	31	9	37.09
Septiembre	2 361	2 369	27	8	70.76
Octubre	3 410	2 034	1	2	120.47
Noviembre	1 443	704	1	6	350.11
Diciembre	1 188	481	0	6	352.79
Total	27 338	14 411	595	131	1810.11

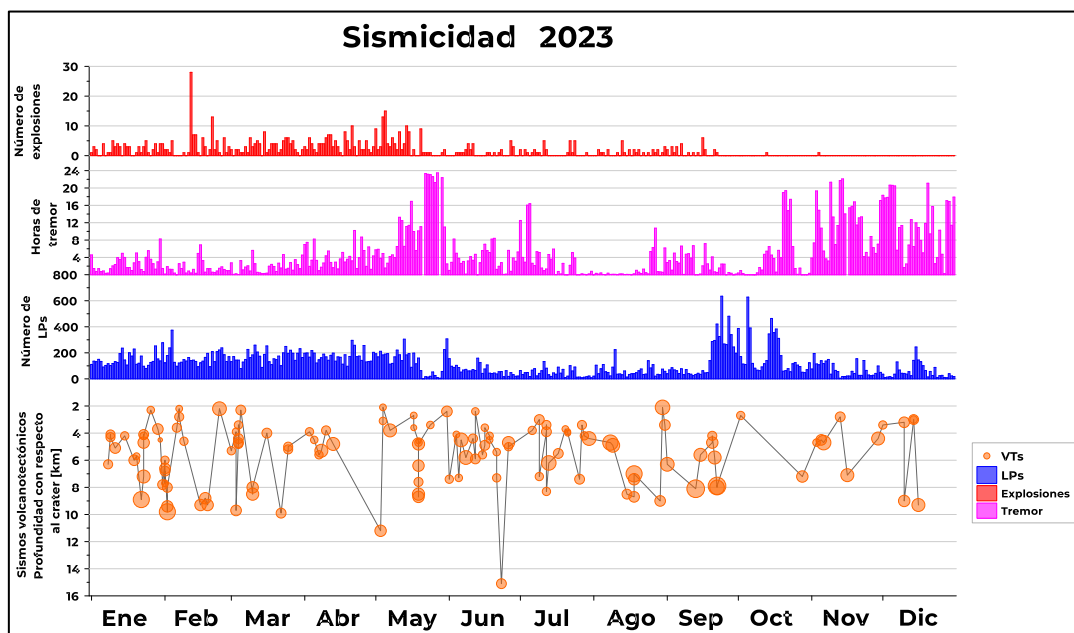


Figura 26 Resumen anual de la actividad sísmica registrada en el volcán Popocatepetl durante 2023

Sismos volcanotectónicos.

La sismicidad volcanotectónica asociada al Popocatepetl tuvo un decremento con respecto al año anterior, en total se registraron y localizaron 131 sismos (Figuras 27-28).

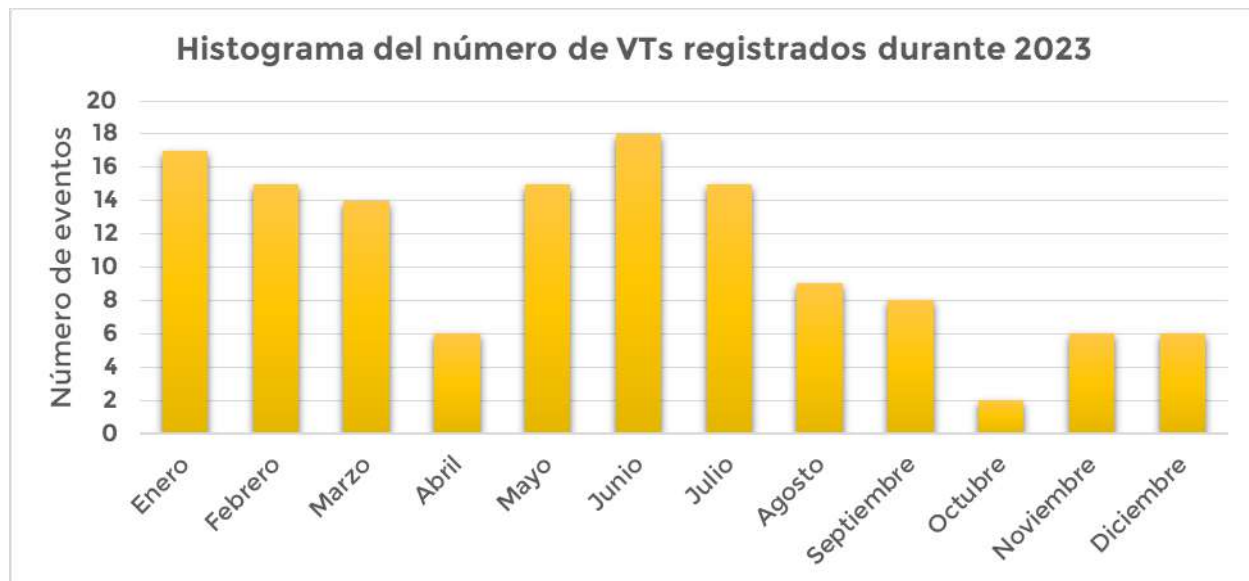


Figura 27 Grafica del número de eventos volcanotectónicos registrados mensualmente durante el 2023



En promedio se registraron 11 sismos por mes, sin embargo, en el mes de junio se registró el mayor número de eventos con 18.

En general, la profundidad de los sismos fue menor a 10 km con respecto al nivel medio del cráter (Figura 28) y solo dos eventos se ubicaron a una profundidad entre 11 y 15 km. En cuanto a la magnitud calculada el rango estuvo entre 0.8 y 2.5, y la magnitud más recurrente fue de 1.5 (Figura 29).

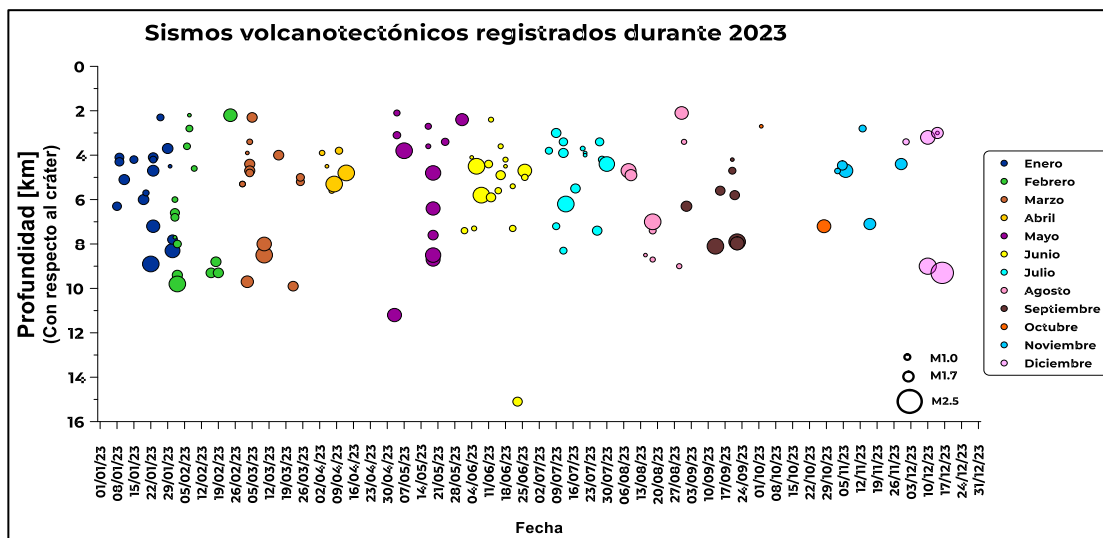


Figura 28 Variación en profundidad y magnitud de los sismos volcanotectónicos de 2022 Los colores representan los meses, el cero corresponde al nivel del cráter

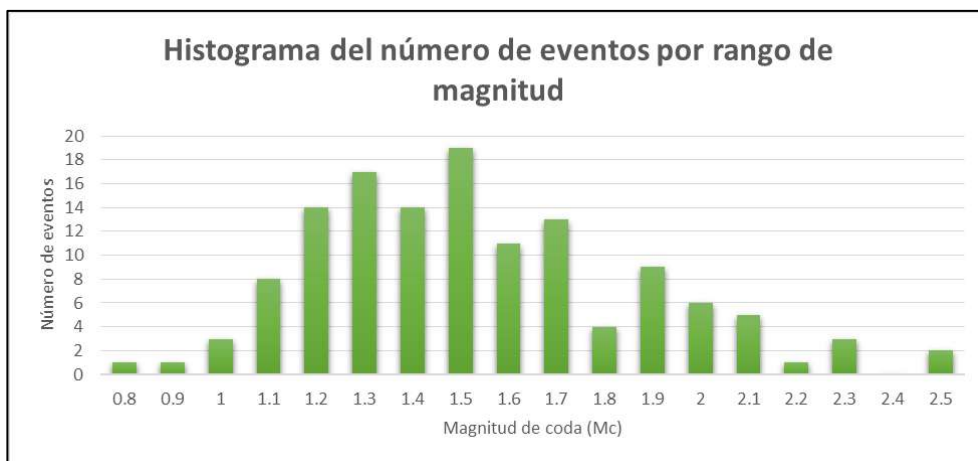


Figura 29 Histograma del número de eventos por rango de magnitud calculada

En la Figura 30 se muestra la distribución de los epicentros, vista en planta, así como dos perfiles N-S y E-W.

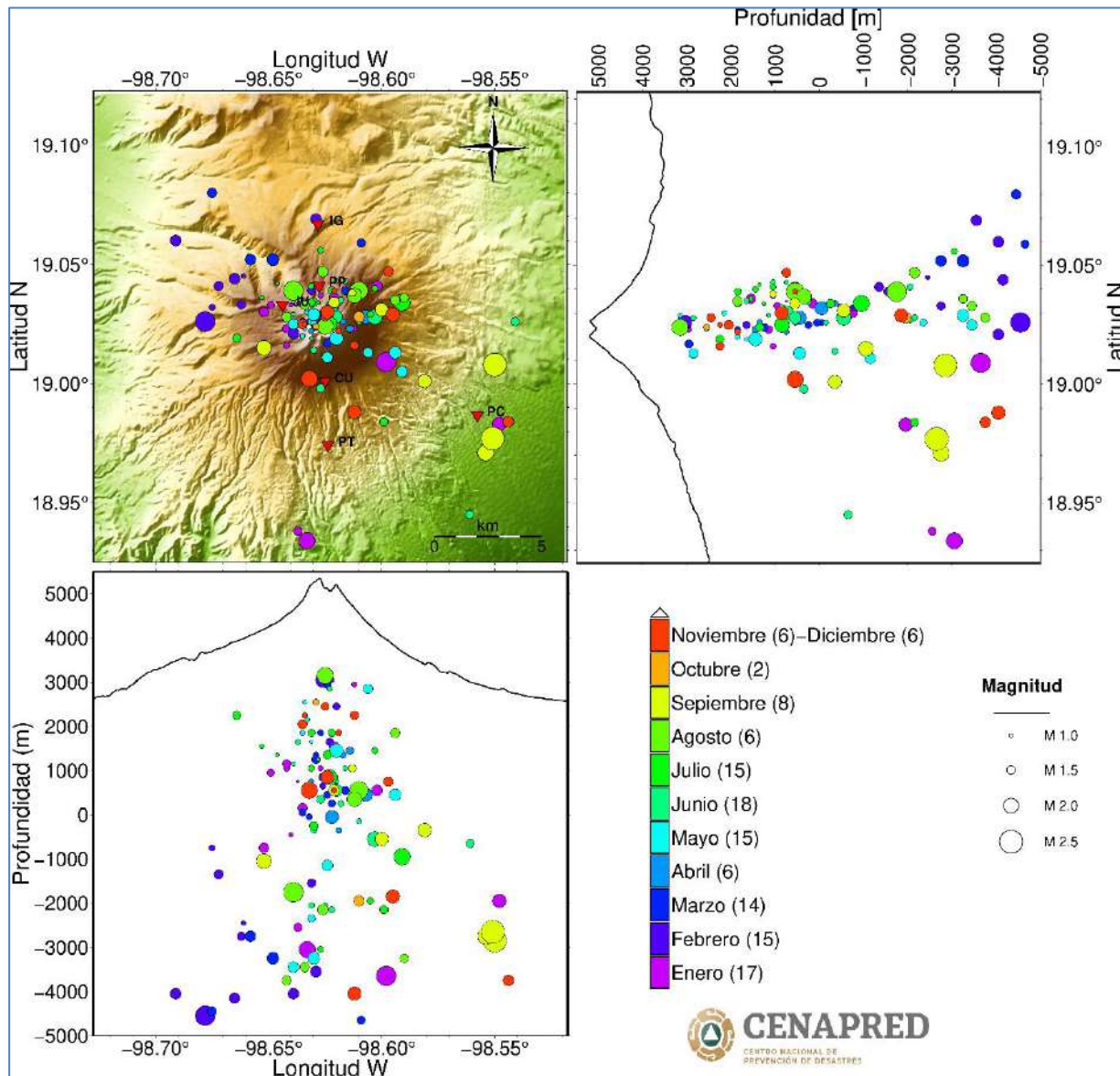


Figura 30 Distribución de las localizaciones de los sismos volcanotectónicos registrados durante 2023

La energía acumulada por los sismos volcanotectónicos que se registraron del 1° de enero al 31 de diciembre de 2023 es de 3.69×10^9 J (Figura 31). Los ligeros cambios en la pendiente de la energía acumulada corresponden con sismos de magnitud igual a 2.5. Durante 2023 se registraron dos sismos volcanotectónicos con magnitud de coda igual a 2.5. Es importante mencionar que de 1995 a la fecha han ocurrido cambios en la calidad y evolución instrumental de la red de monitoreo, así como en los criterios



técnicos de localización y cálculo de magnitud que podrían afectar los valores de energía aquí reportados.

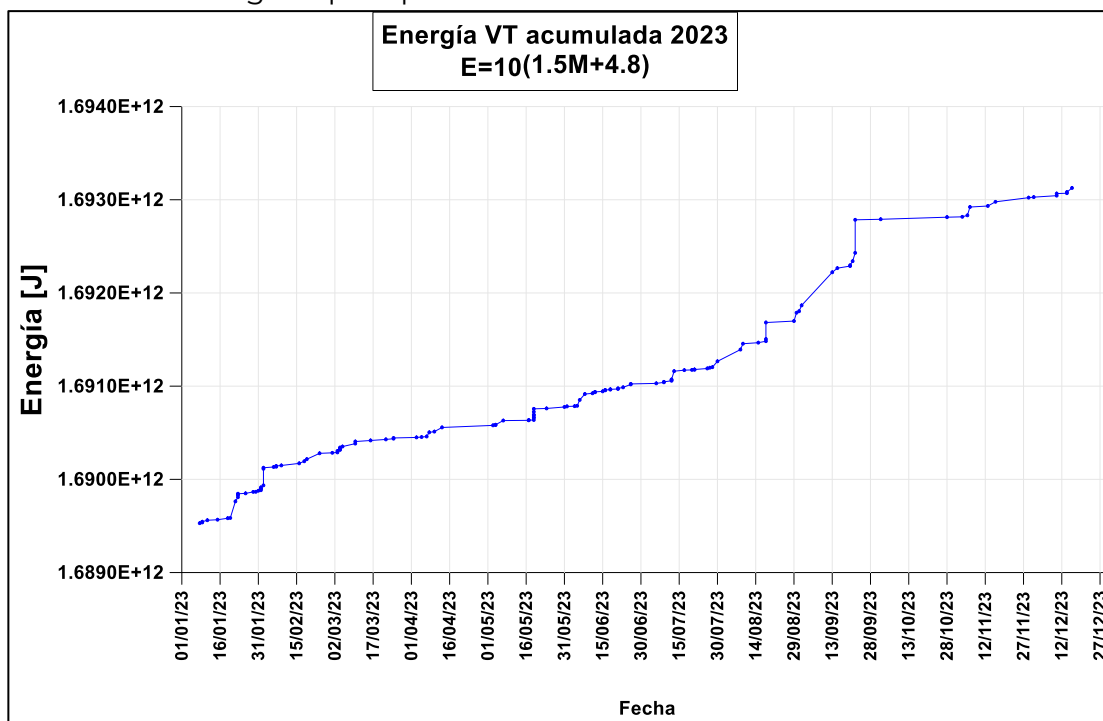


Figura 31 Energía VT acumulada desde el 1° de enero al 31 de diciembre de 2023

Caída de ceniza

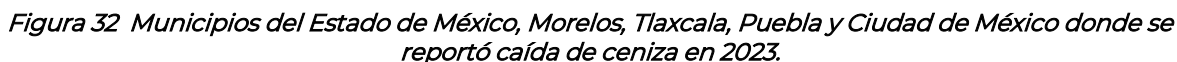
En este 2023 y debido a las emisiones de ceniza, principalmente asociadas a los episodios de tremor de alta frecuencia y exhalaciones, y como resultado de la dirección e intensidad de los vientos cambiantes durante el año se recibieron reportes de caída de ceniza en algunos municipios del Estado de México, Morelos, Tlaxcala, Puebla y algunas alcaldías de la Ciudad de México (Figura 32).

Anomalías térmicas

El sistema MODVOLC de la Universidad de Hawai, basado en el análisis de imágenes MODIS (resolución de 1 km) emitió durante 2023, 64 reportes de anomalías térmicas en el cráter del Popocatepetl (Figura 33). El valor NTI más importante del 2023 corresponde al mes de mayo y junio. De octubre a diciembre no se registraron anomalías.

El Volcanic Radiative Power (VRP) de la Universidad de Turín y Florencia, Italia, a través del Middle InfraRed Method (MIR), detectó durante 2023, 230 anomalías térmicas (Figura 33). Las anomalías más importantes registradas por el VPR ocurrieron en mayo y junio.

Para ambos sistemas, las anomalías más importantes registradas, estuvieron principalmente asociadas a la emisión de gases, fragmentos incandescentes y magma cerca de la superficie.



Los valores de emisión de SO₂, medidos con el sistema OMI durante el transcurso del año, oscilaron entre 194 y 20 506 toneladas por día, la mayor emisión se observó en mayo, durante el mayor incremento de actividad del 2023 (Figura 34).

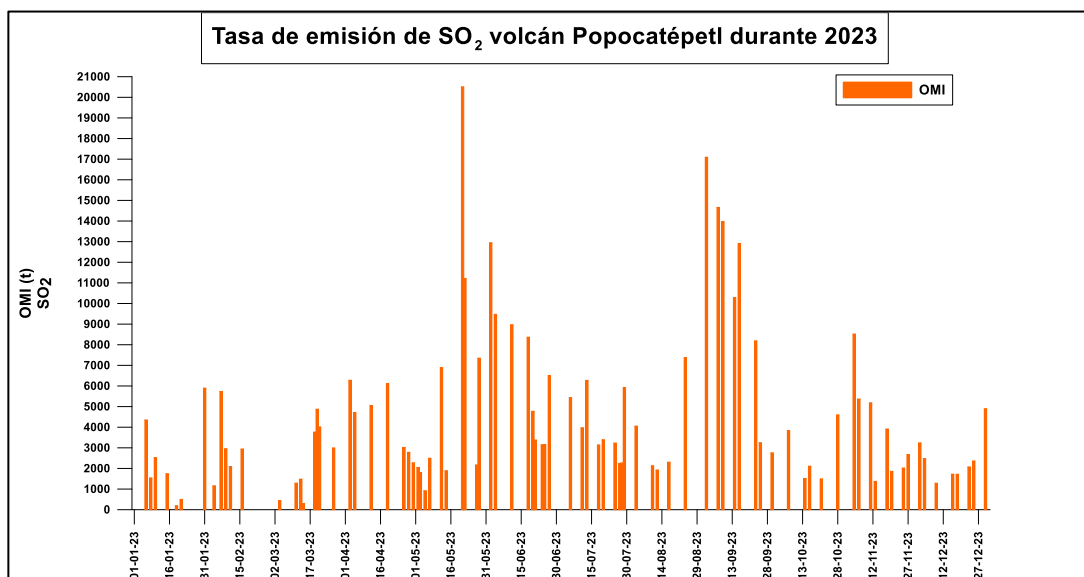


Figura 34 Tasa de emisión de SO₂ durante 2023

Monitoreo hidrogeoquímico

Durante el 2023, la Subdirección de Riesgos Volcánicos de la Dirección de Investigación, realizó cinco campañas de monitoreo hidrogeoquímico; el 23 y 24 de febrero, 2 y 3 de mayo, 1-2 y 26-27 de junio y 7-8 de septiembre, consistentes en el muestreo de tres a seis nacimientos de agua alrededor del volcán (Figura 35). En cada toma de muestras, se capturan directamente en campo mediciones de temperatura, pH y conductividad. El análisis de las muestras de agua se realiza en el Laboratorio de Química Analítica (LQA) del Instituto de Geofísica de la UNAM y en el Laboratorio de Muestras Ambientales (LMA) de la Subdirección de Riesgos Sanitarios y Toxicología de la Dirección de Gestión de Riesgo del Cenapred.

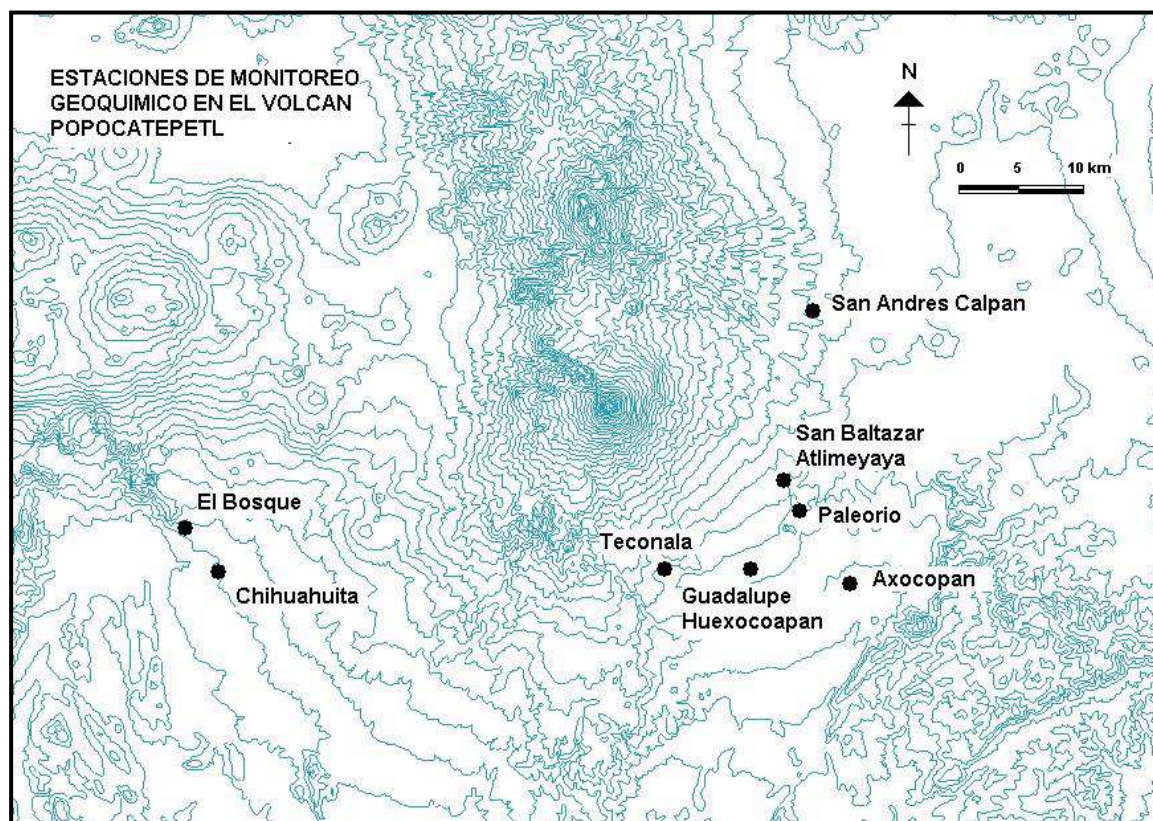


Figura 35 Sitios de muestreo geoquímico en el volcán Popocatepetl. El lugar denominado en esta imagen Teconala corresponde al sitio Tochimilco

En casi todos los sitios de muestreo los datos indicaron un aumento en los sulfatos desde 2014 hasta mediados de 2022, donde los valores presentaron un marcando descenso, mostrando en los últimos meses una estabilidad (Figura 36).

Respecto al sílice, de 2014 a finales de 2019, en la mayoría de sitios indicaban una estabilidad, sin embargo a partir de inicios de 2019, en casi todos los análisis se observó una tendencia a disminuir hasta inicios de 2023, donde aparentemente hay una estabilidad en los registros y en algún caso reversibilidad (Figura 37).

En todos los casos de muestreo de 2023, se detectó la presencia de boro de manera sistemática en al menos dos sitios, lo cual no se apreciaba desde 2014, esto posiblemente estuvo asociado con el incremento en el nivel de actividad observado en mayo de este año (Figura 38).

En ocasiones durante el año se detectaron sulfuros.

En términos generales los resultados nos indican que aún existe una interacción o aporte de este o algunos otros gases volcánicos con las aguas subterráneas y que en ocasiones se pueden distinguir por los análisis de laboratorio en los cuerpos de agua monitoreados.



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

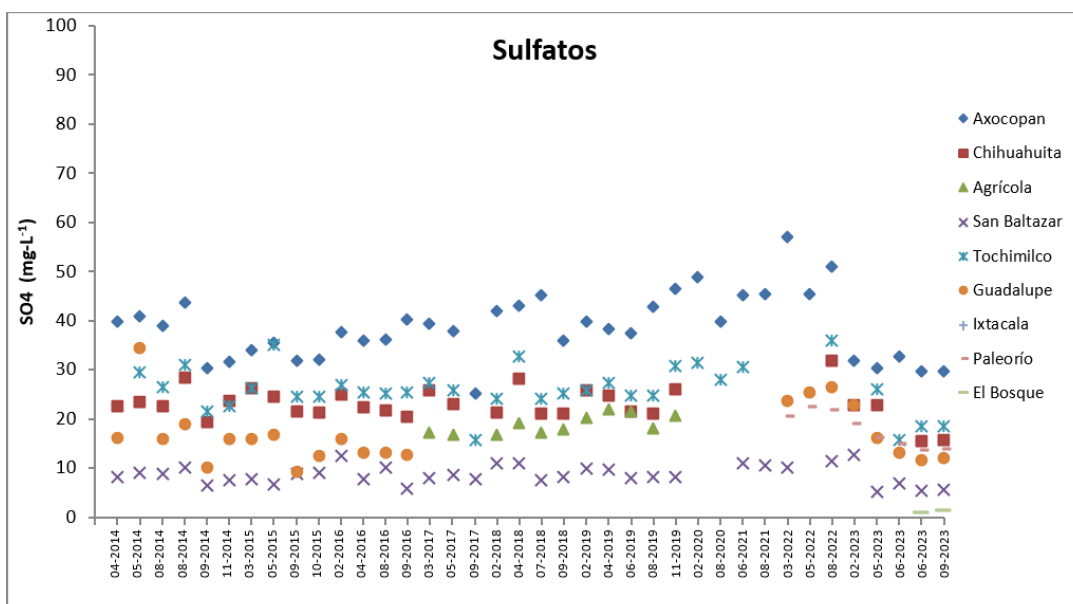


Figura 36 Niveles de sulfatos en los sitios de muestreo geoquímico en el volcán Popocatepetl, de abril de 2014 a septiembre de 2023 (Datos del Laboratorio de Muestras Ambientales, CENAPRED)

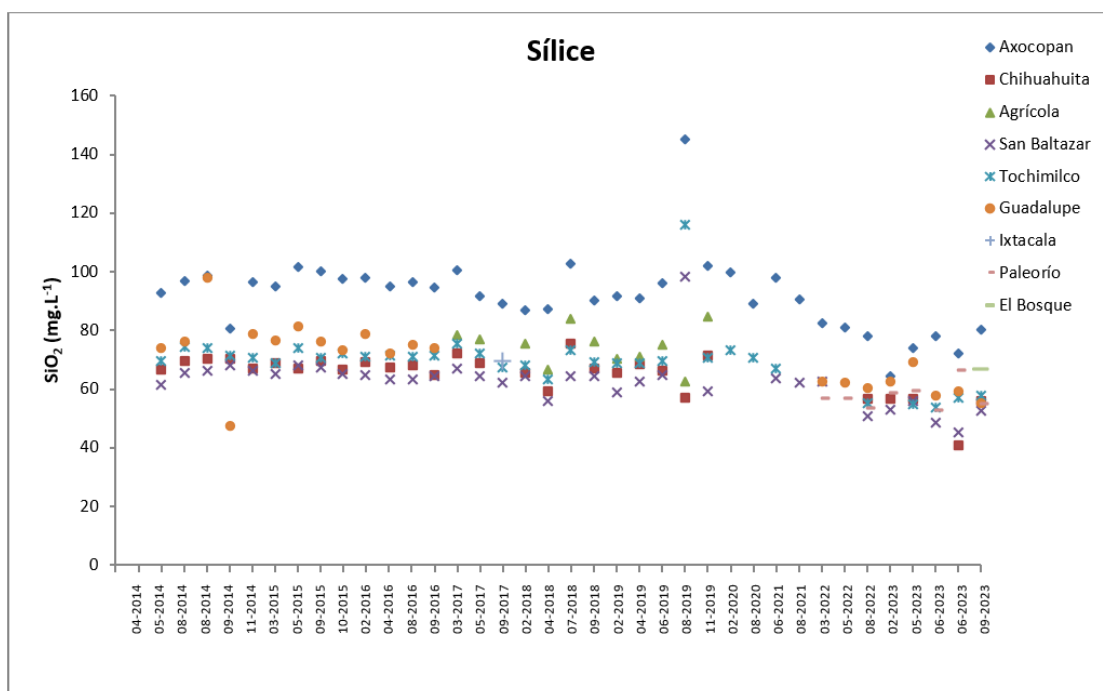


Figura 37 Niveles de sílice en los sitios de muestreo geoquímico en el volcán Popocatepetl, de abril de 2014 a septiembre de 2023 (Datos del Laboratorio de Muestras Ambientales, CENAPRED)

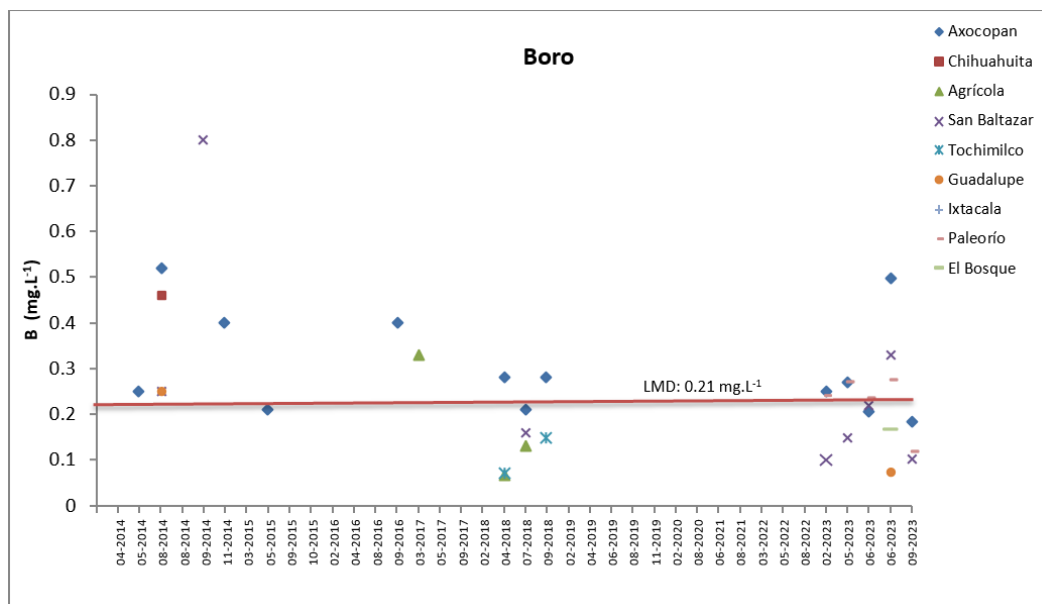


Figura 38 Niveles de boro en los sitios de muestreo geoquímico en el volcán Popocatepetl, de mayo de 2014 a septiembre de 2023 (Datos del Laboratorio de Muestras Ambientales, CENAPRED)

De acuerdo con el Diagrama de Piper se observa que las aguas de los manantiales de Axocopan, Chihuahuita, Guadalupe, San Baltazar, El Bosque y Tochimilco, pertenecen al tipo de agua bicarbonatada, mientras que la de Paleorio pertenece al tipo bicarbonatada sódica (Figura 39).

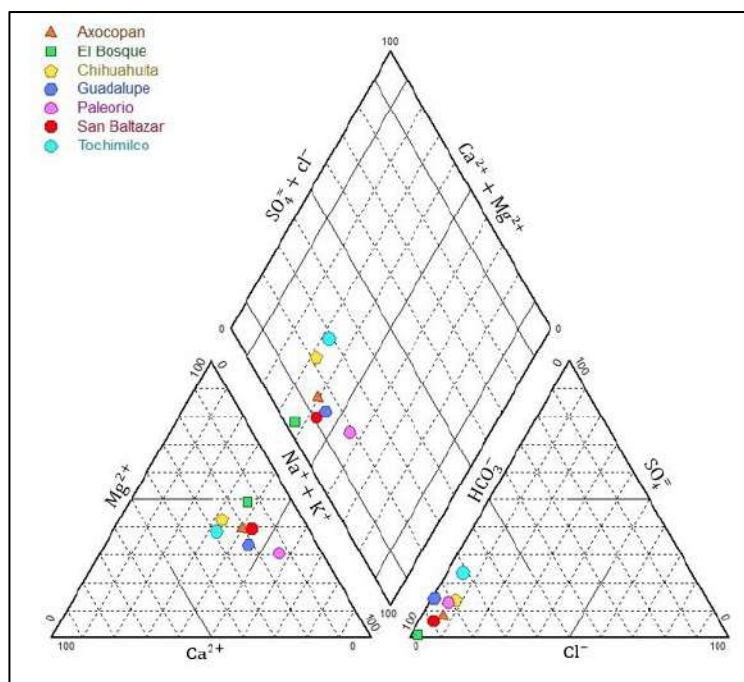


Figura 39 Diagrama de Piper de las muestras analizadas



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Pronostico

De acuerdo con la actividad registrada a fin del año 2023, es posible que continúe el registro de tremor de alta frecuencia y baja amplitud, así como esporádicas explosiones. Por otra parte no se descarta que ocurra el emplazamiento y destrucción de uno o varios pequeños domos, como los observados en años pasados, sin que excedan los detectados en el actual episodio eruptivo. Asimismo, es posible que, en términos generales durante el 2024 la actividad del Popocatepetl no presente variaciones significativas respecto a lo que se ha presentado en el actual proceso eruptivo iniciado en 1994, y no exceda los niveles máximos vistos en las crisis eruptivas de junio de 1997, diciembre de 2000 y los años 2012-2013.

Notas

El contenido de este informe se elaboró con datos proporcionados por los sistemas de monitoreo del CENAPRED, el Sistema MODVOLC de la Universidad de Hawái, el *Atmospheric Chemistry and Dynamics Laboratory* del *Goddard Space Flight Center* de la NASA e información proporcionada por el *United States Geological Survey*.

Este informe ha sido elaborado como herramienta para la discusión interna del estado de actividad del volcán Popocatepetl, entre los miembros del Comité Científico Asesor y el equipo del CENAPRED. La información y datos contenidos en el mismo no pueden ser reproducidos sin previa autorización de los especialistas que elaboraron este informe.