

**ANOMALIA TERMAL EN LA CIMA DEL VOLCAN TROMEN (37° S -70° O),
PROVINCIA DEL NEUQUEN, ARGENTINA.***Adriana Bermúdez¹, Daniel Delpino² y Christian Loscerbo³*¹CONICET - Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires 1400. (8300) Neuquén, Argentina.²REPSOL -YPF. Gerencia de Exploración Argentina Oeste. Talero 360. (8300) Neuquén, Argentina.³CONICET-Fundación YPF. Univ. Nac. del Comahue. Buenos Aires 1400. (8300) Neuquén, Argentina.
delpinus3@speedy.com.ar; dhdelpinos@repsolypf.com**RESUMEN**

A partir del año 2005 y hasta la actualidad se ha detectado por medidas de temperaturas y observaciones visuales directas una anomalía termal en uno de los conos piroclásticos que forman la cima del volcán Tromen. Las observaciones documentadas ratifican la categorización, de este volcán como un volcán activo del margen convergente andino.

La actividad descrita permitiría considerar como antecedentes de erupciones históricas las emisiones de piroclastos durante el mes de febrero de 1752 descritas por el Jesuita Havestadt y los comentarios de pobladores al Perito Moreno de explosiones ruidosas durante el año 1898.

La anomalía termal incluye dos conos, de los ocho conos alineados en fracturas de rumbo NE – SO que se encuentran en la cima, localizados en el extremo sur de la alineación más occidental. Tiene una expresión directa en la ladera interior del cráter de uno de los conos piroclásticos. En este lugar, se forman pequeñas nubes de vapor de agua y gases, que se elevan pocos metros por sobre la superficie y desaparecen rápidamente diluidas en la atmósfera. La temperatura medida sobre las rocas, 30 cm. por debajo de la superficie, en este punto fue de 70 °C (con corrección por altura).

La expresión indirecta de la anomalía es observable aproximadamente 750 metros hacia el noreste y está dada por la desaparición de un pequeño lago cratérico por evaporación permitiendo delimitar un área térmicamente anómala de 2 Km².

En la última década durante el invierno los sectores con cotas superiores a los 3000 m permanecían totalmente cubiertos por nieve y durante el verano se formaban pequeños lagos cratéricos, que se sumaban a aquellos que perduraban durante todo el año. Entre estos últimos algunos se mantenían congelados aún en el verano y otros se encontraban descongelados aún en invierno.

La actividad observada es compatible con un ascenso de magma o con la apertura de nuevas fracturas en subsuelo.

El Campo Volcánico Tromen está compuesto de productos emitidos a partir de varios centros volcánicos en forma de domos extrusivos, volcanes compuestos, y conos piroclásticos cada uno de ellos incluyendo múltiples unidades de erupción y conformando varios ciclos de actividad ígnea.

Palabras Clave: anomalía termal - volcán Tromen - Argentina

ABSTRACT

From the year 2005 and even to the present time a thermal anomaly has been detected, through temperature measurements and direct visual observations in one of the pyroclastic cones which form the top of the Tromen volcano. The observations documented confirm the categorization of this volcano as an active volcano in the Andean convergent margin.

This activity would allow us to consider as a historical eruption antecedent the pyroclastic emissions during the month of February of 1752 described by Jesuit Havestadt and the commentaries of noisy explosions from settlers to the Perito Moreno during year 1898.

The thermal anomaly includes two of the eight cones at the top, aligned along NE-SW fractures and located in the south extreme of the western most alignment.

Such anomaly has a direct expression in the interior slope of the crater of one of the pyroclastic cones. Here, small water-vapour and gas clouds are formed; they rise few meters above the surface and quickly disappear diluting in the atmosphere. The temperature measured on the rocks, 30 cm. below the surface, at this point was of 70 °C.

The indirect expression of the anomaly is observable approximately 750 meters to the northeast and it is manifested by the disappearance, due to evaporation, of the small crater lake; this permits the delimitation of a thermally anomalous area of 2 Km².

In the last decade, the sectors with elevations above the 3000 m remained totally covered with snow during the winter, and small crater lakes were formed during the summer, which added to those that subsist all year round. Some of these lakes remained frozen even in the summer, while others were still defrosting in the winter.

The observed activity is compatible with an ascent of magma or with the opening of new fractures.

The Tromen Volcanic Field is composed of products emitted from various volcanic centres as extrusive-domes, composite volcanoes, and pyroclastic cones, each of them including multiple units of eruption and conforming several cycles of igneous activity.

Key words: thermal anomaly - Tromen volcano - Argentina

INTRODUCCION

El Volcán Tromen (3979 m.s.n.m.) (37°08' S y 70° 02' W) constituye un rasgo geográfico destacado ya que se eleva 1850 metros sobre el relieve circundante, en el área extrandina del segmento sur de los Andes a la latitud de 37° (Zona Volcánica del Sur).

La particular localización del Volcán Tromen, en el sector más oriental del arco magmático, a más de 120 km. al este del frente volcánico actual, hace que su estudio cobre importancia a partir de la definición más ajustada de la relación entre actividad volcánica y el proceso de subducción, y específicamente el margen activo tipo andino.

El presente trabajo tiene como objetivo exponer la evidencia de actividad actual en el Volcán Tromen, resultado de las observaciones realizadas en la zona más alta del volcán.

Desde el punto de vista de la evaluación y posterior monitoreo de la actividad volcánica es necesario como paso inicial reconstruir su historia volcanológica.

Evolución paleovolcanológica del Campo Volcánico Tromen

El Campo Volcánico Tromen (CVT) comenzó su evolución sobre un sustrato formado por una sucesión sedimentaria marino-continental de edad jurásica-cretácica de la Cuenca Neuquina, que forma parte de la Faja Plegada y Corrida de los Andes. Específicamente en el área cercana al CVT cuando este comenzó a construirse durante el Plioceno Superior (Aproximadamente unos 2 Ma) los paleoaltos del relieve coincidían con los anticlinales y las zonas deprimidas con los sinclinales. Esto indica que el espacio de tiempo entre la última fase plegante y el comienzo del volcanismo no fue suficientemente largo como para generar la inversión morfológica de las estructuras.

La última fase plegante en el área se habría producido entonces, durante el Terciario Superior.

El CVT está compuesto de productos emitidos a partir de varios centros volcánicos en forma de domos extrusivos, volcanes com-

Anomalía termal en la cima del volcán Tromen (37° S -70° O)...

puestos y conos piroclásticos cada uno de ellos incluyendo múltiples unidades de erupción y conformando varios ciclos de actividad ígnea (Fig.1)

Los centros volcánicos han estado activos por varios millones de años, en consecuencia en términos de Unidades de Actividad Volcánica se puede considerar que el Campo Volcánico Tromen ha sido formado durante un Período Eruptivo que hemos denominado en esta investigación como Periodo Eruptivo

Tromenlitense, retomando el término original de Groeber (1929).

El Período Eruptivo Tromenlitense puede ser dividido en cuatro Épocas Eruptivas (Fig.1):
 Época Eruptiva Tromen I: Domos extrusivos agrupados litoestratigráficamente en la Formación Tilhue.

Época Eruptiva Tromen II: Construcción de un estratovolcán cuyos productos son agrupados en el Grupo Cerro Negro del Tromen.

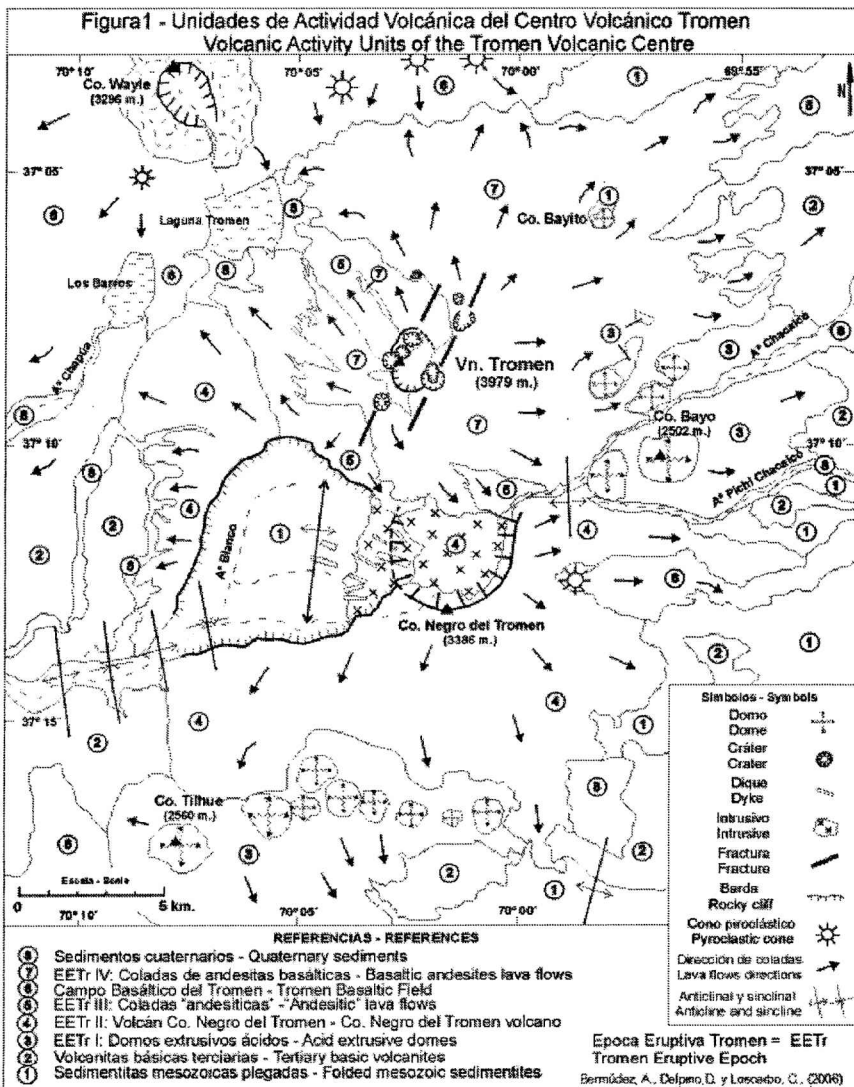


Figura 1. Unidades de actividad volcánica del Centro Volcánico Tromen Volcanic Activity Units of the Tromen Volcanic Centre.

Época Eruptiva Tromen III: Primera etapa en la construcción del Centro Volcánico que constituye el actual Volcán Tromen.

Época Eruptiva Tromen IV: Actividad relacionada con conos piroclásticos y coladas alineados a lo largo de una zona de fractura de rumbo NE-SO localizados en la cima del Volcán Tromen, incluyendo la actividad actual.

Epoca Eruptiva Tromen I

Este tiempo de actividad volcánica que se define preliminarmente en base a las relaciones geológicas de los productos que la componen se habría desarrollado durante el Plioceno Inferior entre los 5,3 y 3,6 Ma.

Consiste en la formación de un conjunto de Domos extrusivos traquíticos que son claramente individualizables en el área del Cerro Tilhue, lugar donde se toma el nombre litoestratigráfico de Formación Tilhue (Holmberg, 1973)

Los domos tienen en planta forma aproximadamente circular con diámetros entre 1 y 2 km. y sobresalen sobre el relieve circundante entre 100 y 500 metros. La mayoría de ellos tienen asociados coladas cortas de variadas decenas de metros de espesor y depósitos de lapillis y brechas pumíceas de caída en su entorno.

Se emplazaron aisladamente, como el que constituye el cerro Bayito, o controlados localmente por fracturas de rumbo E-O, como en el área del cerro Tilhue. (Fig. 2)

Las rocas de los domos clasifican geoquímicamente utilizando elementos minoritarios y trazas Zr/TiO_2 versus Nb/Y , como Traquitas.

Los diseños de los elementos normalizados a un Basalto de Cordillera Centro - oceánica, (Mid Ocean Ridge Basalt: MORB) corresponden claramente al de rocas pertenecientes a la Serie Alcalina con un relativamente alto grado de evolución petrológica indicado por

anomalías negativas del Estroncio, Bario, Fósforo y Titanio bien marcados.

Concordantemente los diseños de elementos de las Tierras Raras normalizados al Condrito muestran un enriquecimiento de hasta 100 veces el Condrito de las Tierras Raras Livianas y un diseño casi plano en las Tierras Raras Medianas y Pesadas con un enriquecimiento de 10 veces el Condrito.

Epoca Eruptiva Tromen II

Durante este tiempo de actividad volcánica desarrollado a partir de los 2 Ma. (Límite entre el Plioceno y el Pleistoceno) hasta el Pleistoceno Inferior (780.000 años) se construyó el Centro Volcánico Cerro Negro del Tromen (Fig. 2)

De acuerdo a la sucesión de los productos emitidos puede reconstruirse como un volcán compuesto o estratovolcán "andesítico". Las coladas y flujos piroclásticos se distribuyen en un área aproximadamente circular a partir de un cráter central de 1, 8 km. de diámetro

En el área del cráter afloran diques y cuerpos intrusivos que definen facies de conducto, mientras que las facies cercanas al conducto se caracterizan por sucesiones de flujos piroclásticos y coladas que incluyen brechas volcánicas.

En las facies intermedias y distales predominan las coladas y flujos piroclásticos con algunas intercalaciones de rocas clásticas de origen sedimentario.

Se interpreta que el volcán Cerro Negro del Tromen culminó su evolución posiblemente con la intrusión de un domo en su parte central que provocó el colapso de la ladera norte.

Las rocas que pertenecen a la Época Eruptiva Tromen II forman una asociación que incluye andesitas basálticas - andesitas, dacitas y riolitas de carácter subalcalino a transicional con distintos grados de evolución petrológica.

Las más evolucionadas cuando se normalizan al MORB muestran anomalías

Anomalía termal en la cima del volcán Tromen (37° S -70° O)...

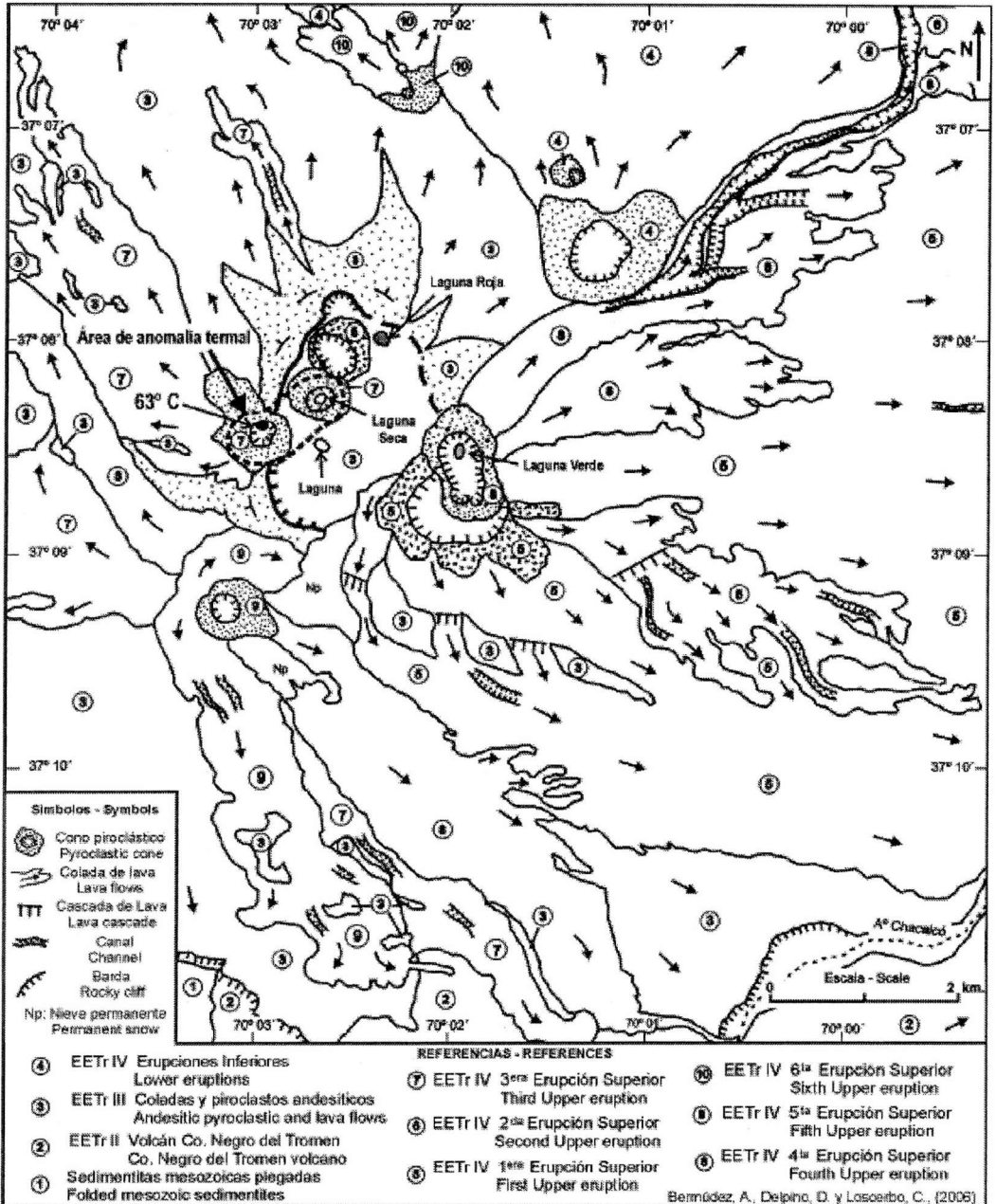


Figura 2. Unidades Volcánicas en la cima del Volcán Tromen Volcanic units on top of Tromen Volcano

negativas de Estroncio, Bario, Fósforo y Titanio. En éste diseño poseen anomalía negativa de Tantalio y Niobio es poco marcada en concordancia con su carácter transicional.

Los diseños de Elementos de Tierra Raras muestran enriquecimiento en Tierras Raras

Livianas entre 60 y 150 veces el Condrito y un diseño ligeramente descendente en Tierras Raras Medianas y Pesadas con enriquecimiento variable entre 7 y 20 veces el Condrito.

Las muestras más evolucionadas presentan claras anomalías negativas de Eu compatible

con fraccionamiento magmático de plagioclasa.

Epoca Eruptiva Tromen III

Este tiempo de actividad inicia la construcción del volcán Tromen aproximadamente 5 km al noroeste del estratovolcán del Cerro Negro del Tromen, en una zona de fractura de rumbo NE-SO durante el Pleistoceno Medio a Superior (Fig. 2)

En ésta unidad se agrupan los depósitos que forman parte del cono piroclástico localizado en la cima del actual volcán Tromen con un cráter parcialmente conservado de forma elipsoidal en planta, de 2,3 por 1,7 km. Las erupciones incluyen una sucesión de coladas de composición mesosilícica que han fluido radialmente alcanzando hasta 5 km desde el centro de misión.

Epoca Eruptiva Tromen IV

Este tiempo de actividad volcánica, durante el Holoceno hasta la actualidad se caracteriza por la construcción de varios conos piroclásticos a lo largo de una zona de fractura NO-SE en la cima del Volcán Tromen. Los conos piroclásticos alcanzan alturas de entre 100 y 300 metros por sobre el relieve circundante, y están formados por acumulaciones de brechas y lapillitas. Los cráteres están bien conservados y presentan depresiones en forma de embudo en la cima de cada uno de los conos (Fig. 2)

Las coladas se han emitido desde la base, las laderas o la cima de los conos.

Se han identificado, por la superposición parcial entre las coladas, hasta ocho erupciones sucesivas (Fig. 1)

Las rocas clasifican geoquímicamente como andesitas basálticas, andesitas y traquiandesitas con carácter transicional a subcalina.

Son rocas poco evolucionadas y con anomalías de Niobio - Tantalio poco marcadas en los diseños normalizados al MORB. Los diseños normalizados al Condrito, muestran

enriquecimiento de Tierras Raras Livianas de 100 veces el Condrito y las Tierras Raras Medianas y Pesadas ligeramente descendente con enriquecimiento entre 10 y 15 veces el Condrito.

ACTIVIDAD VOLCANICA HISTORICA

El documento histórico más antiguo con referencia al área del Volcán Tromen de que se tenga conocimiento, corresponde al diario de viaje del jesuita Bernardo Havestadt realizado en el año 1752. Dicho diario suministra importantes datos etnológicos y abundantes referencias geográficas del área y menciona una probable erupción del volcán Tromen sucedida en Febrero de 1752 (En San Martín, 1930)

Este misionero describe que al pie del Tromen, junto a la laguna homónima que *"Sin duda alguna, el humo que a veces arroja es tan espeso, negro y abundante, que aún a mediodía entenebrece el lugar y transforma el día en noche..."*

Otro de los registros existentes pertenece al Perito Moreno, (1898) quien manifiesta en sus apuntes de viaje, que a su llegada a la zona de la Laguna Tromen los pobladores estaban retirando sus haciendas del entorno del Volcán Tromen, debido a que éste había tenido explosiones ruidosas poco antes y tenían temor de que el mismo entrara en actividad.

Estas menciones de actividad volcánica histórica del Tromen que además están documentadas en registros escritos, son de suma importancia teniendo en cuenta que en el área circundante del volcán Tromen existen asentamientos poblacionales de escasa antigüedad relativa.

ANOMALIA TERMAL EN LA CIMA DEL VOLCAN TROMEN

Cuando en un área volcánica se producen lecturas en suelo, roca o aguas de temperaturas

superficiales anormalmente altas se dice que se está en presencia de una anomalía termal, la cual representa indicios de actividad ígnea y debe ser convenientemente monitoreada.

En general lo más frecuente es la observación de variaciones o incrementos de la actividad fumarólica a través de lagos cratéricos o de campos de fumarolas.

Sin embargo algunas anomalías térmicas no están aparentemente asociadas a procesos hidrotermales, puesto que están localizadas en zonas de baja pluviosidad y ausencia total de aguas superficiales.

En estos casos se recurre a medidas directas de la temperatura de la roca o del suelo con métodos que van desde la medida sencilla con el termómetro de mercurio de graduación especial hasta métodos mas complejos (termocuplas, potencial espontáneo etc).

En la mayoría de los volcanes activos debido a la inaccesibilidad del área o a su peligrosidad volcánica las mediciones de temperatura se realizan por medio de satélites.

Las imágenes que se utilizan para los monitoreos termales corresponden al GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), así como las provenientes del ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) a bordo del satélite Terra desde 1999. Este instrumento es capaz de capturar anomalías térmicas de muy pequeño tamaño hasta 1 km.

A partir del año 2005 y hasta la actualidad se ha detectado por observaciones visuales directas y mediciones de temperatura una anomalía termal en uno de los conos piroclásticos que forman la cima del volcán Tromen.

Sin embargo la anomalía termal incluye en realidad dos conos, de los ocho conos piroclásticos mayores alineados en fracturas de rumbo NE - SO presentes en la cima.

Tiene una expresión directa en la ladera interior del cráter de uno de los conos piroclásticos mayor cota (3979 m.) ubicado en la alineación más occidental de la cima. En este lugar, se ha observado la formación de pequeñas nubes de vapor de agua y gases, que se elevan pocos metros por sobre la superficie en el material piroclástico inconsolidado -lapillis- y desaparecen rápidamente diluidas en la atmósfera. La temperatura medida sobre las rocas, 30 cm por debajo de la superficie, en este punto fue de 63 °C (Temperatura medida = 70 °C , con corrección por altura según un modelo lineal de caída de un grado cada 600 m) (Marzo de 2005) y 59 °C (Febrero de 2006). En la interpretación de los resultados se debe tener en cuenta la influencia de la luz solar, ya que dependiendo de la hora del día y el tiempo de exposición a la luz del sol, los resultados pueden verse incrementados en varios grados. Sin embargo las medidas habituales para zonas de similar altura, en condiciones semejantes, durante el verano en rocas y suelos son de 4 a 10 grados centígrados.

Por lo tanto las medidas de temperaturas confirman la presencia de una anomalía térmica en el cono y el cráter, sumada a vapor de agua que se desprende a través del terreno.

La expresión indirecta de la anomalía es observable aproximadamente 750 metros hacia el noreste de este punto y está dada por la desaparición de un pequeño lago cratérico de 200 metros de diámetro por evaporación permitiendo delimitar un área térmicamente anómala de 2 Km².

Hasta el año 2005 durante el invierno los sectores con cotas superiores a los 3000 m permanecían totalmente cubiertos por nieve y durante el verano se formaban pequeños lagos cratéricos, que se sumaban a aquellos que perduraban durante todo el año. Entre estos últimos algunos se mantenían congelados aún en el verano y otros se encontraban descongelados aún en invierno.

La fusión anómala de la laguna cratérica que permanecía congelada aún durante el verano, así como el secado de otra laguna cratérica no pueden ser atribuidos exclusivamente a cuestiones climáticas debidas a un supuesto calentamiento global.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la historia volcanológica descrita y a la evolución geoquímica de las rocas que integran el CVT, se concluye que los eventos más modernos del volcán se corresponden con un ambiente geotectónico de arco volcánico a pesar de encontrarse a 120 km del arco volcánico actual.

Los signos de actividad observada en los años 2005 y 2006, sumadas a las menciones escritas de actividad en tiempos históricos, son compatibles con un ascenso de magma o con la apertura de nuevas fracturas en el subsuelo.

Las acciones posteriores a la detección de una anomalía termal corresponderían a un monitoreo sísmico permanente o semipermanente de acuerdo a las recomendaciones de UNESCO (1985) y la construcción de un mapa de peligros potenciales.

Agradecimientos: Este trabajo fue financiado por el CONICET a través del PIP 02603. La Empresa Repsol ha financiado dos de los cuatro trabajos realizados en el terreno. EL Lic. G. Zamora y el Sr. C. Delpino han colaborado en los trabajos de campo. Los autores expresan su agradecimiento al 1er. Teniente Héctor Carabajal, Jefe de la Oficina de Vigilancia Meteorológica de Comodoro Rivadavia, Servicio Meteorológico Nacional, quien ha monitoreado y se encuentra haciéndolo en el momento de redacción de éste trabajo a través del GOES y Sensores Remotos en el satélite NOAA Polar el área del volcán Tromen.

REFERENCIAS

- Groeber, P., 1929. Líneas fundamentales de la Geología del Neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. DIR. Gral. Minas, Geol. E Hidrol., n° 58, serie F, Buenos Aires. pp.110
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. I. Hoja Chos Malal. Rev. Soc. Geol. Arg. - Serie C. Reimpresiones N° 1-Buenos Aires (1980), pp. 174.
- Havestadt, B., 1752. Chilidugu. Parte Séptima - Mapa Geográfico y Diario (Itinerario). En: San Martín, F., 1930. "Neuquén". Rodríguez Giles (Ed.), Buenos Aires. p: 179-209
- Holmberg, E., 1973. Descripción Geológica de la Hoja 32c, Buta Ranquil (Provincia del Neuquén). Servicio Geológico Nacional. Boletín 152, Buenos Aires. pp. 88.
- Moreno, F. P., 1898. Notes Préliminaires sur une Excursion aux territoires du Neuquén, Río Negro, Chubut et Santa Cruz. Reconnaissance de la Région Andine de la République Argentine. Ateliers de Publications du Musée du La Plata, La Plata. p: 26-28.
- UNESCO, 1985. Volcanic Emergency managment. Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (UNDRO), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), United Nations, New York, pp. 86.