



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA
RED SISMOLÓGICA NACIONAL (RSN)
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS GEOLÓGICAS (CICG)
INFORME ANUAL SOBRE LA ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES ACTIVOS DE COSTA RICA



2013

**Gino González-Ilama, Raúl Mora-Amador, Yemerith Alpízar Segura, Carlos
Ramírez Umaña, Mauricio Mora & Waldo Taylor.**
Colaboraron: Diego Freni, Fabián Valverde, Hernán González, Adolfo García y Luis Espinoza



I. Actividad general de los volcanes

Durante el año 2013, algunos de los volcanes de Costa Rica mostraron cambios en su actividad durante ciertos períodos, como aumento de la sismicidad superficial, variaciones en la temperatura de fumarolas y de los lagos, aparición de nuevas fumarolas, cambios químicos e inclusive erupciones freáticas. En este informe se explicará cómo fue el comportamiento de cada uno de los volcanes activos de Costa Rica.

El volcán Turrialba mostró aumento en la temperatura de sus fumarolas, gran emisión de gases ácidos, con ciertos aumentos en su sismicidad principalmente del tipo híbrido, así como una erupción freática el 21 de mayo, con caída de ceniza en Cartago, San José y Alajuela. Al final del año, este volcán produjo un pequeño flujo de detritos conformado por lodo y rocas volcánicas, que forman un deslizamiento debido a la inestabilidad de sus laderas.

El volcán Irazú mantuvo una baja actividad sísmica y sus fumarolas continúan con una temperatura de ebullición del agua y poca emisión de gases ácidos. La descarga de su sistema hidrotermal continúa centrada en las distintas aguas termales que nacen en sus flancos. Desde febrero del 2013, no se ha vuelto a formar el lago frío que ocupaba el cráter principal.

El volcán Poás tuvo variaciones importantes en la temperatura de su lago y Domo donde se centra la actividad fumarólica. La sismicidad se ha mantenido constante y gracias a las observaciones de campo vs sismograma se han podido reconocer algunas señales sísmicas características de las erupciones. La actividad del Domo continua intensa, tal es así que el 8 de mayo se presenció una explosión dirigida, liberando bloques y formando “llamas” y densas capas de azufre en el lago. A finales de diciembre el Domo volvió a aumentar su temperatura, por lo que en las noches se puede observar incandescencia. Las erupciones freáticas continúan en el lago, con alturas desde los 2 hasta los 300 metros sobre el nivel del lago.

El volcán Arenal continúa con leve desgasificación y actividad sísmica de tipo volcano-tectónica.

El volcán Rincón de la Vieja mostró variaciones importantes en su sismicidad, con señales de tipo tremor y sismos asociados a erupciones freáticas. En la actividad superficial, el lago ha mostrado variaciones de nivel, temperatura y en su química, con periodos de mayor aporte de fluidos magmáticos. En ocasiones, las dificultades climatológicas han impedido la observación directa del lago, pero este continua muy activo y con ocasionales erupciones freáticas, lo cual puede ser un peligro importante ya que este volcán históricamente ha formado *lahares* o flujos de detritos y lodos en su flanco Norte.



II. Volcán Turrialba

Este volcán muestra desde inicios del 2000 una mayor actividad, luego de que su última erupción magmática fuese entre los años de 1864-1866, de la cual los productos eruptivos llegaron hasta Puntarenas (González et al., en prensa). En el año 2010, el volcán entra en un período de inestabilidad termodinámica lo cual se refleja en la aparición de erupciones freáticas (fig. 1). En 2012, vuelven las erupciones formando un nuevo Boquete en enero de ese mismo año. En el 2013 ocurre otra erupción freática en mayo, con salida de ceniza en ambos Boquetes, indicando que ambas fisuras tienen un sistema de alimentación común.



Figura 1: Salida de ceniza del Boquete 2010 el 6 de enero del 2010.
Fotografía Gino González.



Boquete 2010

Se han dado algunos cambios morfológicos en la parte alta de este Boquete durante el 2013. Esto se debe principalmente a la erosión que provoca las lluvias aumentando la inestabilidad de las laderas que ocasionalmente promueve la salida de ceniza como la reportada el 5 de junio. Asimismo, han aparecido nuevas grietas perpendiculares al Boquete 2010 con un ancho de 15 cm y una longitud de casi 15 m, con una dirección preferencial N40°W, y que están rellenas de minerales sulfatados y arcillosos (fig. 2).

Durante los primeros meses del año, la salida de gases desde este Boquete mantuvo una temperatura entre 300 a 450 °C, con un aumento importante en el mes de mayo luego de la



erupción freática del 21 de ese mismo mes (ver detalles luego). En el mes de julio aumenta su temperatura hasta los 600 °C, que coincide con un aumento en la sismicidad. Entre los meses de octubre y noviembre han aparecido nuevas fumarolas dentro del Boquete 2010, con una temperatura que alcanza los 500 °C.



Figura 2: Nuevas grietas de inestabilidad en el Boquete 2010. A la derecha un vulcanólogo de la RSN mide las grietas. Fotografía Gino González.



Boquete 2012

Al igual que el Boquete 2010, este ha tenido cambios en su morfología, aumentando su ancho. La desgasificación continua muy vigorosa, con salida de gases ácidos de coloración azulada, que probablemente se debe a la gran cantidad de SO_2 . La temperatura desde inicios del año hasta el mes de agosto fue de unos 750 °C y posteriormente baja a unos 550 °C (fig. 3). Estos cambios al igual que en el Boquete 2010, coinciden con aumentos en la sismicidad. La erupción freática del 21 de mayo generó salida de gases y ceniza en ambos boquetes (fig. 4 y 5).

Durante las noches se puede observar incandescencia, el cual se da por una reacción exotérmica entre los gases magmáticos y la entrada de oxígeno atmosférico, que hace que se libere calor.

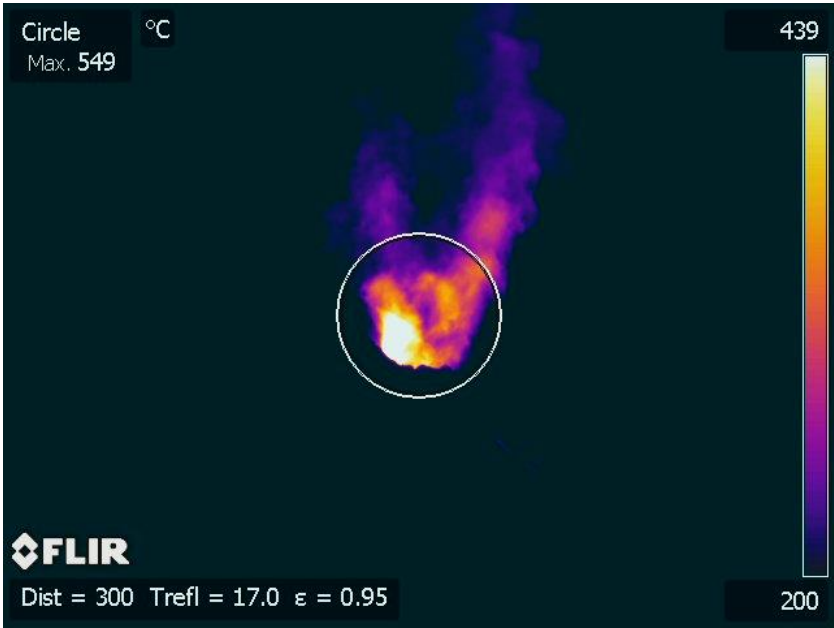


Figura 3: Imagen térmica del Boquete 2012.
Fotografía Carlos Ramírez.

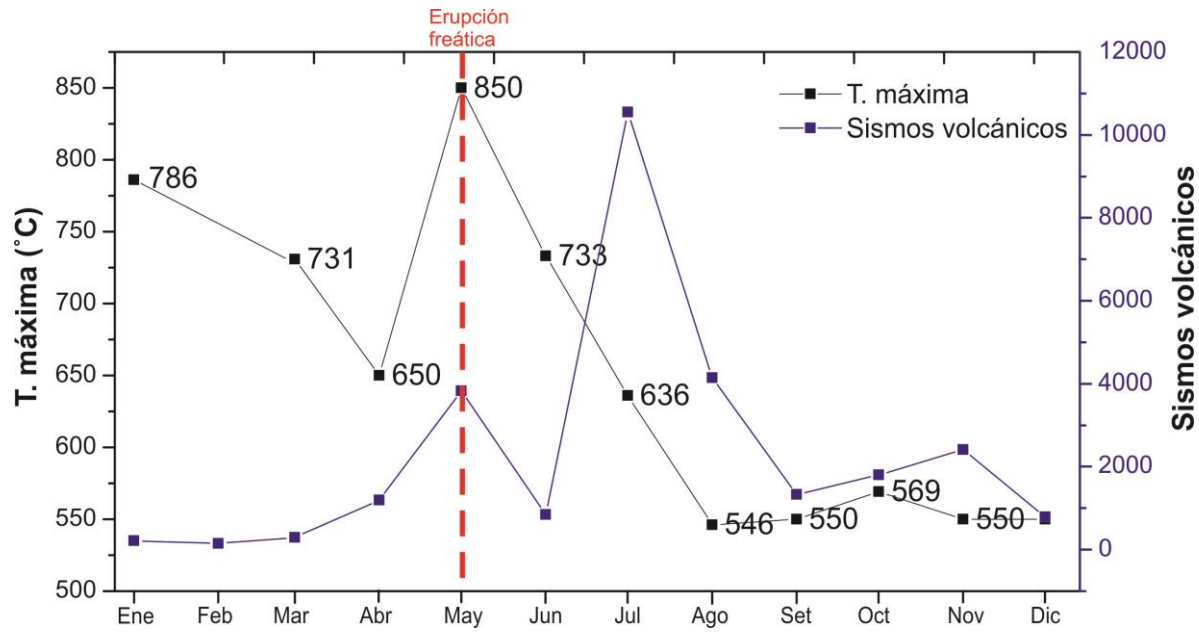


Figura 4: Temperatura del Boquete 2012 vs número de sismos registrados, durante el año 2013.



Sismicidad

5

Desde enero hasta la mitad de abril, la actividad sísmica generada por el sistema hidrotermal fue relativamente baja y no sobrepasó los 70 eventos volcánicos diarios, principalmente de tipo híbrido. A partir de la segunda mitad de abril, el número de sismos volcánicos aumentó hasta alcanzar más de 100 eventos (fig. 4). Asociado a este incremento, también aparecen otros tipos de señales sismo-volcánicas tales como: eventos de baja frecuencia en algunos casos con tremor armónico como espasmódico en la “coda” y eventos de tipo tornillo, los cuales aunque se habían observado algunos en enero, no es sino hasta finales de marzo que se tornan más frecuentes. Durante el mes de mayo se da un ulterior incremento en la cantidad de sismos, los cuales llegan a ser en más de 200 diarios, con algunas fluctuaciones.

Posteriormente en el mes de julio ocurre otro incremento importante en la actividad sísmica, el cual, sin embargo, no tuvo ninguna crisis freática asociada. Esta actividad tuvo características particulares en comparación con lo ocurrido en mayo y junio, las cuales son:

1. Episodios de tremor espasmódico que inician con un evento tipo VLP (“Very Long Period event”) con duraciones características entre los 2 y 4 minutos y amplitudes entre las 1000 y 4000 cuentas. Estos episodios ocurren repetidamente espaciados a intervalos de algunas horas hasta días y se acompañan de eventos híbridos de gran amplitud que ocurren antes y durante el proceso. Luego de cada episodio se puede observar que la amplitud y cantidad de los eventos híbridos y de largo período disminuye paulatinamente hasta la ocurrencia del próximo.
2. Episodios de tremor armónico de corta (algunos minutos) y larga duración (hasta más de una hora) y frecuencia variable en el tiempo. La frecuencia fundamental de los temores de larga duración está entre los 1,5 y 2 Hz.
3. Eventos de tipo tornillo con frecuencias entre los 4 y 9 Hz.

Durante el mes de agosto la actividad sísmica mantuvo una tendencia decreciente hasta alcanzar un nivel inferior (en algunos momento ligeramente superior) a los 100 eventos volcánicos diarios, el cual se mantuvo hasta finales del 2013.



Erupción del 21 de mayo

A las 4:33 am inicia un período de descompresión del sistema hidrotermal, el cual culmina con una erupción freática a eso de las 9 am de ese mismo día. Al momento de inspeccionar el cráter, se constató la salida de ceniza en los Boquetes 2010 y 2012, por lo que se considera están alimentados por una fisura común. Esto provocó aumento en las temperaturas de ambos Boquetes así como algunos cambios morfológicos.



Se hicieron mediciones de campo para determinar el volumen de material eruptado, el cual fue de unos 350 m³, que en su mayoría se depositó en los alrededores de los Boquetes, aunque hubo caída de material fino en Cartago, San José y Alajuela. Se recolectaron muestras de esta ceniza para determinar en el laboratorio su composición y origen. Se determinó en conjunto con vulcanólogos de la UNAM (México) y de la Universidad de Barcelona (España) que la ceniza eruptada no era juvenil, es decir no contenía material magmático fresco, por lo que se trató de una erupción freática.



Figura 5: Salida de ceniza de los Boquetes 2010 y 2012.
Fotografía Marvin Picado.



Conclusiones

El Turrialba tuvo repuntes importantes que mostraron cambios en la sismicidad y temperaturas desde el mes de abril debido posiblemente a un mejor flujo de calor magmático en el sistema hidrotermal, que produce una sobre-presión de los gases sobre las rocas. Posteriormente abren fracturas, y con ello su ascenso acompañado de ceniza no juvenil que sube por una fisura común, luego conecta con los Boquetes 2010 y 2012, provocando la liberación de ceniza y gases ácidos a la atmósfera. Finalmente fue acarreado por los vientos con una dirección predominante hacia el Oeste. De ahí el hecho de que se hayan visto afectadas las provincias de San José y Alajuela.

El sistema parece ser inestable y dinámico, por lo que en el 2014 es posible que ocurran nuevos episodios de erupciones freáticas ya que el sistema continúa en desequilibrio. Cabe destacar que han aparecido nuevas grietas en los boquetes, que indican inestabilidad de las laderas, lo que en el futuro podría ocasionar un colapso de las paredes y con ello la liberación de ceniza. Tal es así que



recientemente han ocurrido flujos de detritos de 100 m^3 que se dan por la pérdida de la cohesión de los piroclastos y que colapsa gravitacionalmente gracias al incremento en la presión de poro por el agua meteórica? o ¿hidrotermal? liberando un flujo rico en arcillas con bloques y minerales sulfatados (fig. 6).



Figura 6: Vista desde el mirador hacia la zona de cráteres y el flujo de lodo; a) en línea amarilla punteada morfología del flujo de detritos; b) flujo de detritos aún fresco producto de la alta concentración de agua en las arcillas (en azul un tubo de ensayo de escala)

Fotografías Gino González.



III. Volcán Irazú

Irazú es uno de los volcanes con mayor cantidad de erupciones históricas en el país. Su última erupción ocurrió entre los años de 1963-1965. Hace 50 años la mezcla de ceniza producida por el Irazú junto con la lluvia provocó una serie de avalanchas que afectaron Taras de Cartago, con pérdidas humanas y económicas. Para ese momento el gobierno de los Estados Unidos de América colaboró en la creación de unos diques de retención para impedir que estas avalanchas afectaran los poblados circundantes, paradójicamente, hoy en día muchas personas viven sobre estos diques, lo que es de gran peligro en caso de una futura erupción de este volcán.

Era común observar al volcán Irazú con un lago en el cráter activo, pero desde febrero del 2013, este ha desaparecido a pesar de las lluvias (fig. 7).

Su actividad hidrotermal se centra en la parte Norte, con emisión de gases a temperatura de ebullición, con algunas nacientes de agua, producto del condensado de sus fumarolas mezclado con agua meteórica. La mayor liberación de su sistema hidrotermal, se da en las aguas termales que nacen en el sector Norte-Noreste del volcán. Se conocen al menos 3 nacientes que se llaman Santa Teresa (temp. 36.3 C y pH=4.5), Ojo de Agua (temp. 28.7 C y pH=2.5) y San Cayetano (temp. 39.7 C y pH=2.5). Estas aguas se pueden clasificar como ricas en sulfato para Santa Teresa y Ojo de Agua; rica en cloruro para San Cayetano, lo que indica que las dos primeras son parte de la oxidación del H_2S en un acuífero superficial hidrotermal y San Cayetano de un acuífero de origen más profundo y maduro (Rouwet et al., 2010).



Figura 7: Vista del cráter activo, en el cual no se forma un lago desde febrero del 2013. En colores rojizos, deslizamiento activo.

Fotografía Raúl Mora-Amador.



Sismicidad

Se ha caracterizado por microsismos tectónicos que frecuentemente generan enjambres efímeros, con duración de horas (enero 2012) a pocos días (finales de julio de 2012). Esto se acompaña por sismos de baja frecuencia y gran amplitud, prácticamente a una tasa de un evento diario (Mora et al., 2012), el cual se ha mantenido durante el 2013 con variaciones de amplitud y frecuencia de ocurrencia. Posterior al Terremoto de Sámara (2012) el nivel de actividad sísmica decayó rápidamente a los niveles previos a ese evento (menos de 10 eventos diarios) con excepción de algunos incrementos efímeros entre el 18 y 19 de octubre y entre el 5 y 8 de diciembre. Los eventos se concentran en un eje NE-SW y en el flanco norte del Volcán Irazú, a profundidades que no sobrepasan los 20 km y magnitudes locales con base en la duración (M_c) entre los 2.5 y 3.5 (Mora et al., 2012). Durante el 2013 la actividad tectónica en el macizo del Irazú se mantuvo en niveles bajos.



Conclusiones

El volcán Irazú ha tenido una actividad baja tanto superficialmente en la emisión de gases a través de sus fumarolas, así como en su parte sísmica, pero que aún muestra signos de actividad. La medición de las aguas termales es fundamental ya que parte de la energía de su sistema hidrotermal es liberado a través de estas, que eventualmente podría ayudar a evaluar signos futuros de mayor actividad volcánica. Se está evaluando por qué no se ha vuelto a regenerar el lago en su cráter activo mediante trabajos hidrogeológicos.



IV. Volcán Poás

Este volcán se caracteriza por hospedar la Laguna Caliente, la cual además es ultraácida ($\text{pH} \geq 0.5$). Su última erupción magmática ocurrió entre los años de 1953-1955, la cual formó un Domo en la parte Sur del actual lago (Mora-Amador, 2010). Después de 12 años sin actividad freática importante, en el año 2006 el Poás inicia un período de erupciones freáticas, que se intensificó entre los años 2010-2011, con más de 1000 erupciones. Químicamente, la Laguna Caliente aumentó su tendencia en la relación SO_4/Cl , que podría ser por una mejor alimentación del SO_2 al sistema y/o por la volatilización del HCl (González et al., 2013a), lo cual es común en sistemas de bajo pH y alta temperatura (Rouwet & Ohba, 2014). En mayo se presencié por primera vez una erupción freática en la parte del Domo (ver más detalles abajo).



Lago

La Laguna Caliente del volcán Poás se mantiene muy activa, su nivel se ve fuertemente influenciado por la lluvia, temperatura propia del lago e inclusive del aire, lo que conlleva a momentos de mayor evaporación (Rouwet & Ohba, 2014). En la época seca el nivel disminuyó en casi 3 metros, pero en los meses finales del 2013 tuvo una recuperación de casi 2 metros.

La coloración del lago tuvo cambios, en ocasiones se observó un color verde esmeralda, pero en la mayoría de los meses fue de color grisáceo (fig. 8). Estos cambios se deben a factores como recarga del lago por lluvia, mayor actividad hidrotermal y a erupciones freáticas. La temperatura del lago durante el año tuvo ligeras variaciones, sin que el aumento de temperatura en el Domo lo afecte significativamente (fig. 9).

El pH de la Laguna Caliente se calculó en el laboratorio de la Universidad de Bologna (Italia), utilizando una metodología recientemente desarrollada por Capaccioni & Rouwet (comun. escrita). Esto se debe a que en aguas tan ácidas ($\text{pH} \leq 0.5$) los equipos convencionales no pueden medir con exactitud la cantidad de H^+ libres, ya que estos se enmascaran en fluidos ácidos como SO_4 y Cl y en algunos metales, por lo que el pH real es subestimado mediante electrodos (fig. 9).

Durante el año continuaron las erupciones freáticas, con alturas desde los 2 hasta los 300 metros de altura sobre el nivel del lago, como la ocurrida el 31 de octubre. Estas erupciones ocurren principalmente por un aumento de la presión en el fondo del lago, debido a que los gases magmáticos-hidrotermales como el SO_2 y H_2S al entrar en el sistema hidrotermal reaccionan entre sí y provocan que precipite azufre elemental y minerales sulfatados. Esto ocasiona que sellen las fracturas, aumentando la presión y cuando esta llega a un estado crítico se da la erupción (Rouwet et al, 2014).



Figura 8: Vista de la Laguna Caliente, segundos después de una erupción freática en setiembre del 2013. Fotografía Raúl Mora-Amador.

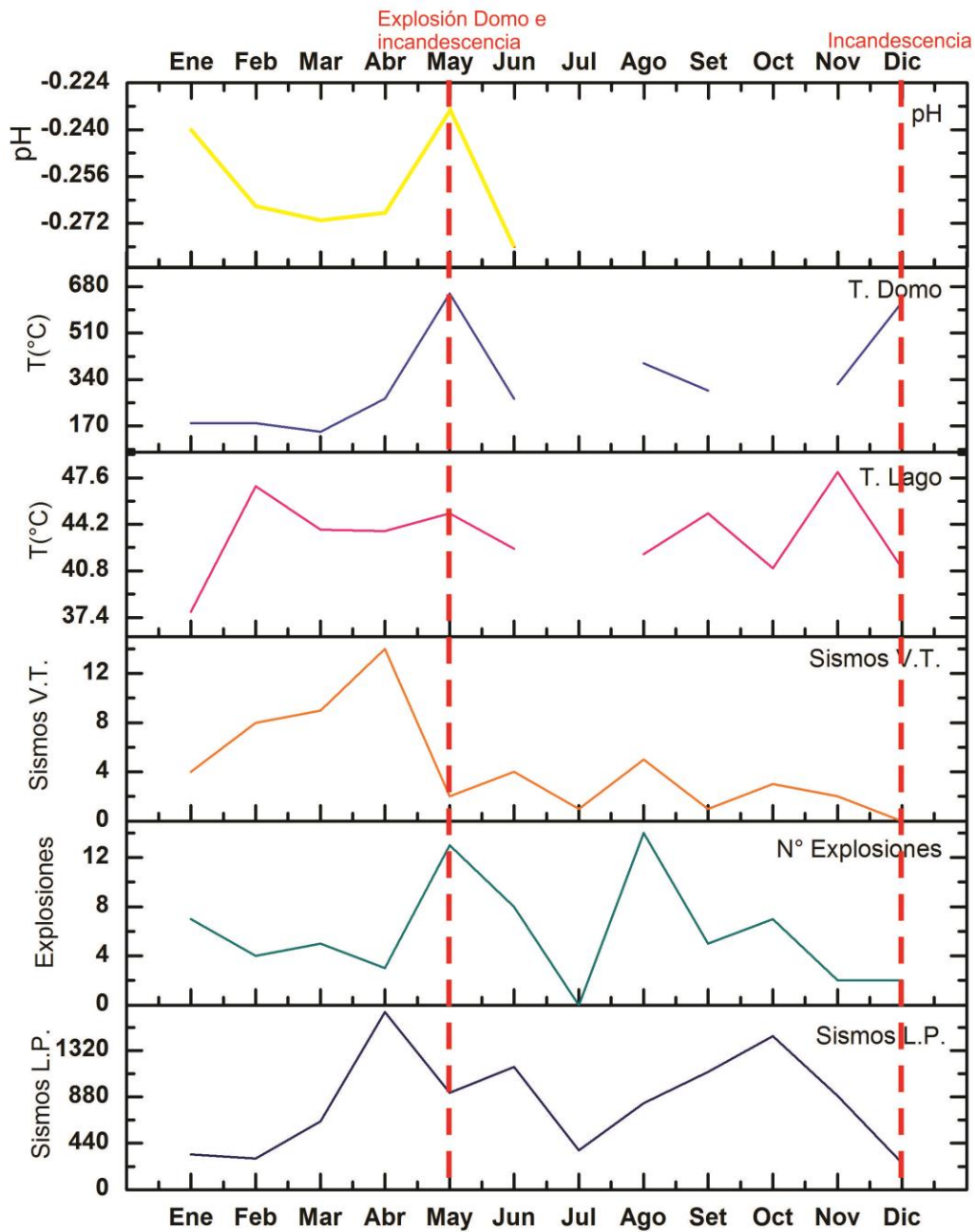


Figura 9: Datos de pH, temperaturas del domo y lago, sismos volcano tectónicos, explosiones registradas y sismos de largo período en el año 2013.



Fumarolas

El Domo ha tenido grandes fluctuaciones en su desgasificación y temperatura. Durante los primeros 4 meses su temperatura fue de unos 170 °C (fig. 9), pero a inicios de mayo se da un aumento considerable en la temperatura (600°C) que produce incandescencia y una posterior explosión freática en el Domo. La temperatura volvió a descender en los meses posteriores pero a finales de diciembre hay un aumento considerable en su temperatura, que genera nuevamente incandescencia en parte del Domo. En volcanes con lagos activos como Aso (Japón) y Santa Ana (El Salvador) se ha observado incandescencia, en ocasiones con fluctuaciones en el nivel del lago y su temperatura. En el caso del Poás es un sistema diferente ya que el nivel se mantiene estable al igual que su temperatura. Para explicar este fenómeno los conductos o fisuras que alimentan los sistemas (Domo y Lago) son independientes entre sí, ya que uno tiene una mayor interacción con el sistema hidrotermal (lago) y otro con el cuerpo magmático en profundidad. El hecho de que aparezca incandescencia en cortos periodos de tiempo (semanas a pocos meses), se debe a que las fumarolas se pueden mezclar con el lago, contaminando las fumarolas y posterior enfriamiento. Otro factor, es que la alimentación profunda de fluidos de alta entalpía se puede ver obstruido por precipitación de minerales ya sea en las fisuras o en el techo de la cámara magmática que dificultan el ascenso de los fluidos y con ello disminuye su presión permitiendo la interacción con el sistema hidrotermal más profundo.

Asimismo, ha sido constante la aparición de nuevos puntos fumarólicos, debido a los cambios en la temperatura y presión de los gases magmáticos e inestabilidad del macizo rocoso del Domo, que debilita la roca por lo que se da la caída de bloques, formando nuevos puntos de emisión.



Sismicidad

Durante el 2013 la actividad sísmica se mantuvo en general fluctuante y por debajo de los 100 eventos/día de baja frecuencia, con algunos incrementos esporádicos de corta duración pero que no representaron ninguna crisis en particular. Por otra parte la actividad freática se mantuvo a una tasa que no superó la decena de explosiones al mes, con excepción del mes de mayo cuando se contabilizaron al menos 15 episodios (fig. 9). Entre los meses de agosto y octubre se registraron eventos de tipo híbrido de gran amplitud e impulsivos (fig. 9). La actividad volcano-tectónica fue escasa en el volcán Poas, sobretodo en la segunda mitad del año (fig. 9).



Erupción del 8 de mayo

En visita al fondo del cráter activo, a eso de las 5:35 pm mientras se recolectaba muestras del lago, se generó una explosión con salida de bloques. Posteriormente al descompensarse el sistema y con una mayor interacción con el oxígeno atmosférico, ocurre con explosión con salida de azufre que levantó una "llama" color rosa-naranja de unos 40 metros de alto, que se expandió al hacer contacto con el lago, consumiendo parte del azufre que flota en la laguna. Esta combustión duró unos 30 segundos y tuvo una temperatura de 700 °C. Generalmente las erupciones freáticas



ocurren en el lago, pero con base en lo observado, se infiere que han ocurrido varias erupciones freáticas en el Domo (fig. 10).

14



Figura 10: Explosión freática en el Domo el 8 de mayo, se observa una llama saliendo del Domo, la cual comenzó a consumir el azufre flotante del lago. Fotografía Yemerith Alpizar.



Conclusiones

El volcán Poás ha tenido una actividad fluctuante en el 2013 producto de la inestabilidad de su sistema magmático-hidrotermal. En algunos períodos el aporte de fluidos magmáticos al sistema hidrotermal se refleja en un aumento en la sismicidad, erupciones freáticas y temperatura. Es posible que los periodos de menor actividad se deban a una mejor entrada de fluidos de baja entalpía, que inclusive aumentan el nivel del lago.

Históricamente, se ha observado incandescencia en el Domo sin que esto desencadene en erupciones magmáticas. Asimismo, la aparición de incandescencia refleja un sistema muy activo con fluidos de alta presión y temperatura, que posiblemente tengan un alto aporte del sistema magmático más que hidrotermal.

Es posible que continúen las erupciones freáticas y su intensidad dependerá de factores como entrada de fluidos magmáticos, la infiltración, recarga y evaporación del lago. El lago tiene la función de ser un radiador de los gases ácidos que se encuentran bajo el lago. Si este llega a desaparecer, aumentará la lluvia ácida y caída de ceniza después de las erupciones freáticas en las comunidades que se ubican en los alrededores del volcán Poás.



V. Volcán Arenal

El Arenal es uno de los volcanes más activos de Costa Rica luego de que despertara en 1968, ocasionando la muerte de casi 100 personas producto de sus erupciones con flujos piroclásticos. A finales del año 2010, el volcán dejó de emitir material magmático, entrando en un nuevo periodo de reposo.

En el 2013, el Arenal continuó con una leve desgasificación en su cima, en ocasiones se observa una pluma de mayor intensidad. Se sugiere que se debe en su mayoría a factores atmosféricos. La medición de la temperatura se realizó por termografía. Los gases se emiten a baja temperatura y presión, los cuales se deben en su mayoría a la recarga por las lluvias (fig. 11).

El volcán no ha dado signos de un nuevo despertar, ya que la sismicidad se mantiene en niveles muy bajos, dominados primordialmente por sismicidad tectónica (fig. 12). Anteriormente, este volcán ha tenido periodos de calma, por lo que es normal que ocurran estos episodios para el Arenal.



Figura 11: Leve desgasificación en la cima del volcán Arenal. Fotografía Raúl Mora-Amador.

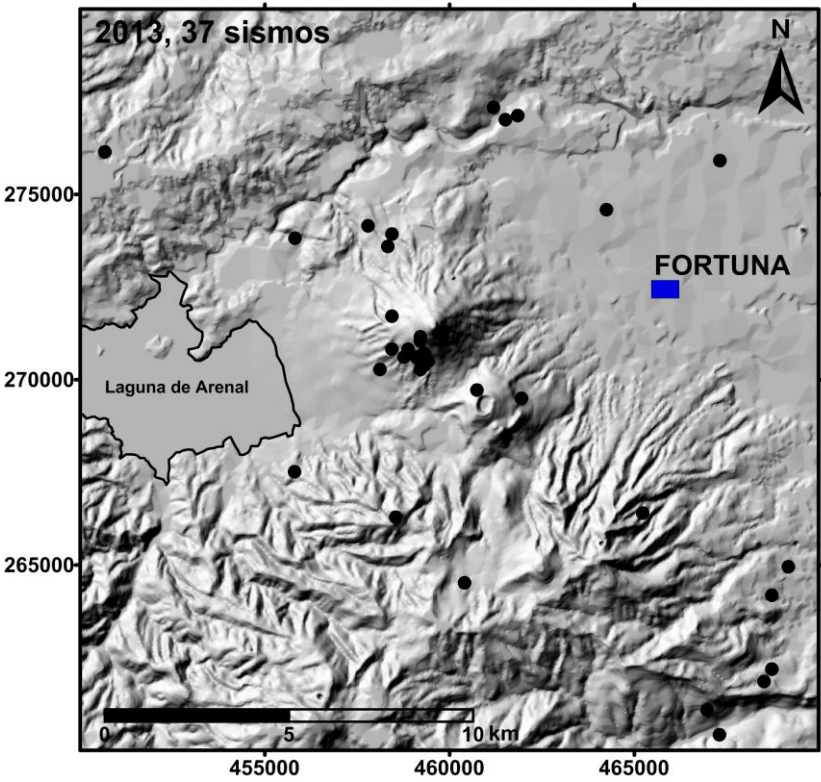


Figura 12: Ubicación de la sismicidad del volcán Arenal en el 2013.



VI. Volcán Tenorio

Poco se conoce de la actividad eruptiva de este volcán. En el 2011 el Tenorio tuvo un incremento en su actividad sísmica, con una dominancia de sismos volcano-tectónicos.

La vigilancia de este volcán se hace por medio de seguimiento sísmico. En el 2013 se localizaron 157 sismos en los alrededores del volcán Tenorio (fig. 13). La ubicación espacial de la sismicidad indica que la mayoría de los sismos se localizan entre el cráter y el flanco sureste, hacia la laguna Cote y Tierras Morenas de Tilarán (fig. 14). Esta sismicidad se asocia con la activación de algunas fallas locales y se descarta que el volcán entre en erupción en un futuro cercano.

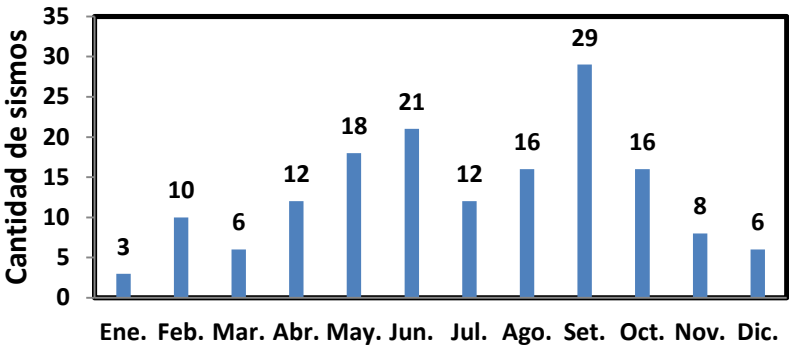


Figura 13: Distribución de la sismicidad mensual durante el 2013 del volcán Tenorio.

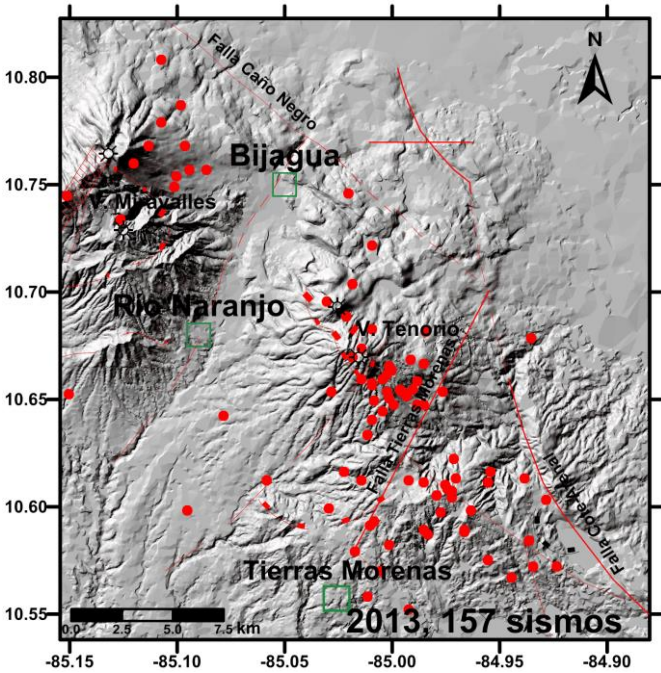


Figura 14: Ubicación espacial de la sismicidad del volcán Tenorio en el 2013.



VII. Volcán Rincón de la Vieja

Similar al volcán Poás, el Rincón de la Vieja tiene una laguna ultraácida y caliente, históricamente se han dado erupciones freatomagmáticas como la ocurrida en 1996. Además, la ubicación de esta laguna contribuye a la formación de lahares (flujos de detritos y agua) que bajan por la ladera Norte del cráter. Cabe destacar que esa misma pared puede presentar inestabilidad (30 m. sobre el nivel del lago), está muy hidrotermalizada y junto con el aumento en la presión de poro por el agua, hace que esta sea vulnerable a un colapso y en caso de que ocurra, podría generar un drenaje del lago formando *lahares* calientes (fig. 15).

Luego de casi 10 años de calma, en el 2011 este volcán comenzó un nuevo período de erupciones freáticas. Posterior al terremoto de Sámara del 2012, el volcán incrementó su actividad magmática hidrotermal y sísmica, posiblemente debido a que hubo una dilatación en el sistema, apertura de fracturas y con ello una mejor alimentación del sistema magmático (González et al, 2013b).



Figura 15: Vista de la pared Norte del cráter activo, la cual tiene 30 metros de altura.

Fotografía Raúl Mora-Amador



Lago

El lago ácido se mantiene muy activo, con ligeras variaciones en su nivel, hasta ahora es desconocida su profundidad. Hacia el este del lago se mantiene una celda convectiva, la cual en momentos de mayor flujo muestra cambios de coloración y aumenta la temperatura en más de 10 °C con respecto a la temperatura media del lago (fig. 16).

El color de la laguna es turquesa con tonalidades verdes y grises, lo que hace que se resalte las celdas convectivas (fig. 16). En ocasiones se observan pequeñas erupciones freáticas que no sobrepasan los 5 metros de altura con respecto al nivel del lago. El mecanismo eruptivo de estas erupciones es similar a las del volcán Poás, donde la fuerza de empuje de gases y fluidos vencen la



presión hidrostática, en ocasiones se generan oleajes provenientes del centro de la celda que se mantienen hasta por 1 minuto.

El lago ha mantenido una temperatura con tendencia estable desde inicios de año al igual que su acidez disminuyendo ligeramente al final del año. En algunos periodos se observa una relación entre la temperatura del lago y su pH, pequeños aumentos de temperatura coinciden con un aumento en la acidez. La medición de la acidez se hizo de manera similar al volcán Poás.

Las concentraciones de los aniones mayores (SO_4 , Cl y F) muestran una tendencia similar entre ellas al aumento. Como se explicó anteriormente, luego del Terremoto de Sámara del 2012 ($M_w=7.6$) ocurre un aumento en la actividad magmática-hidrotermal del volcán en que la temperatura, acidez, concentración y relación de los iones aumenta (González et al., 2013b). En abril del 2013, hay un incremento en la concentración de los aniones mayores, pero cabe destacar que hay un incremento en las relaciones de F/Cl y una disminución de SO_4/Cl , posiblemente sea por un mejor aporte de volátiles provenientes del magma, ya que estos se liberan a presiones menores o sea el punto emisor podría estar a una menor profundidad. Para julio del 2013, decaen las concentraciones de los iones y hay un aumento en el pH, esto puede ser debido a una mayor volatilización del Cl, pero esta muestra fue tomada bajo un intenso aguacero por lo que la concentración de los iones pudo haber sido afectada en el momento de la recolección (fig. 17).



Figura 16: Vista una de las celdas convectivas que se forman en el lago ácido. Abajo izquierda una imagen térmica de las celdas convectivas en la cámara térmica.

Fotografía Raúl Mora-Amador

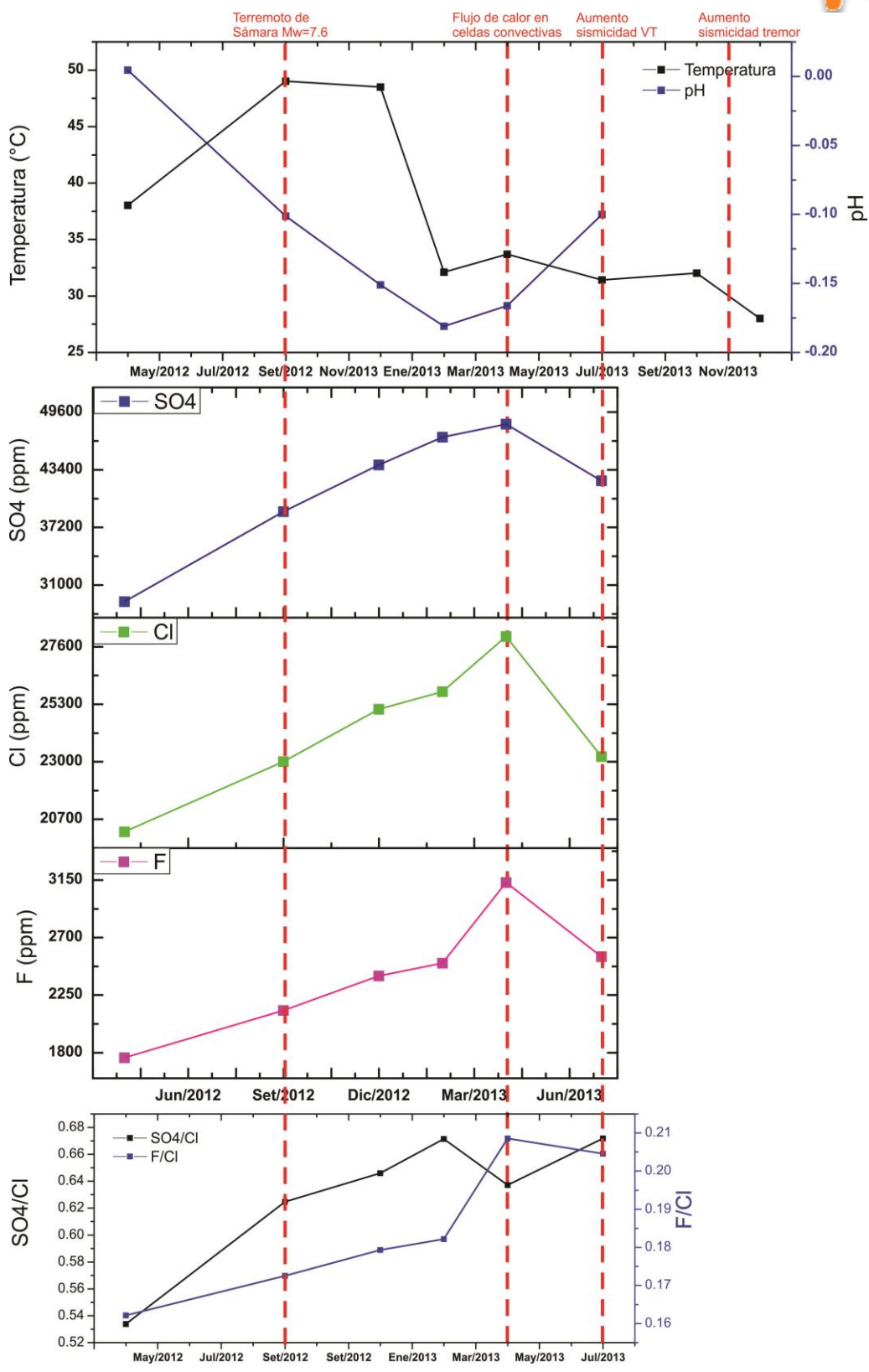


Figura 17: Comparación de la temperatura, acidez, concentración de aniones mayores (SO4, Cl Y F) y relaciones de SO4/Cl y F/Cl.



Fumarolas

La salida de gases se mantiene en el sector Oeste del cráter activo. La emisión se ha mantenido baja, con temperaturas que no sobrepasan los 150 °C medidas con la cámara térmica. En ocasiones por el aumento en el nivel del lago, algunas de las fumarolas quedan tapadas por el lago, lo cual podría reducir su emisión. El difícil y riesgoso el acceso a esta zona, lo que impide un muestreo directo.

21



Sismicidad

Después de la erupción de setiembre de 2011, se inició en octubre el control sismológico del volcán Rincón de la Vieja. Basados en las estadísticas de dos años de registro (2011 al 2013), se definió un nivel numérico (1,2 en este caso) para la amplitud máxima de las señales provocadas por el movimiento de fluidos, por debajo de ese valor se considera que la actividad es normal. Por encima de ese valor, se considera que el volcán ha entrado en una etapa de mayor actividad. Así las cosas, en la figura 18 se observa que desde mediados de octubre y hasta mediados de noviembre de 2013, la actividad del volcán se incrementó de manera importante, presentó degasificaciones intensas pero no tuvo ninguna erupción y la actividad regreso a la normalidad durante el mes de diciembre.

En total se localizaron 104 sismos volcano tectónicos con una tendencia hacia el noreste, pasando por encima del cráter del volcán (figura 19). En julio fue el de mayor actividad con un total de 45 microsismos, seguido de noviembre (figura 20).

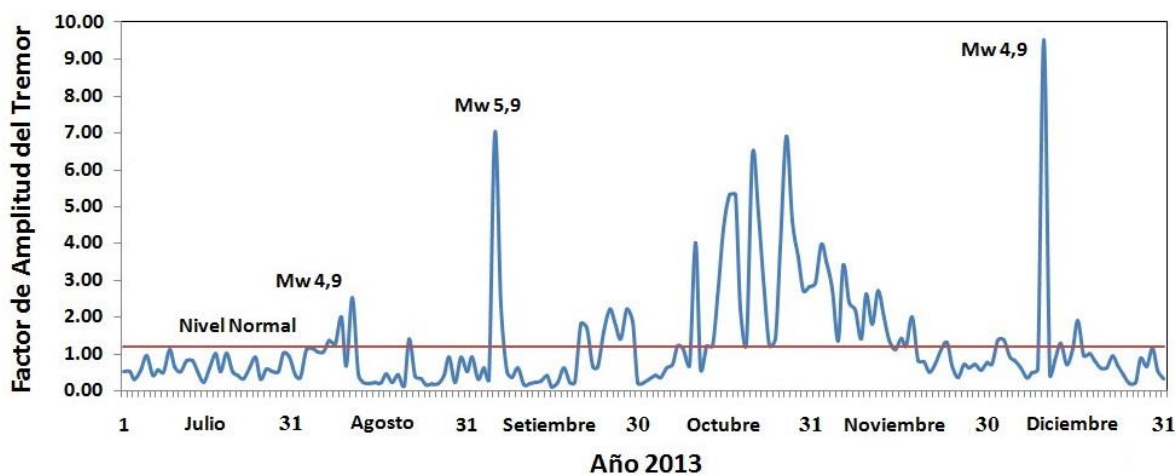


Figura 18: Comportamiento de la amplitud de las señales sísmicas que corresponden con los movimientos de fluidos en el volcán Rincón de la Vieja para el segundo semestre del año 2013. Los picos de mayor amplitud se dan cuando ocurre un sismo tectónico de magnitud moderada. Estos picos no corresponden con anomalías en el volcán. (Se indica la magnitud de los sismos tectónicos).

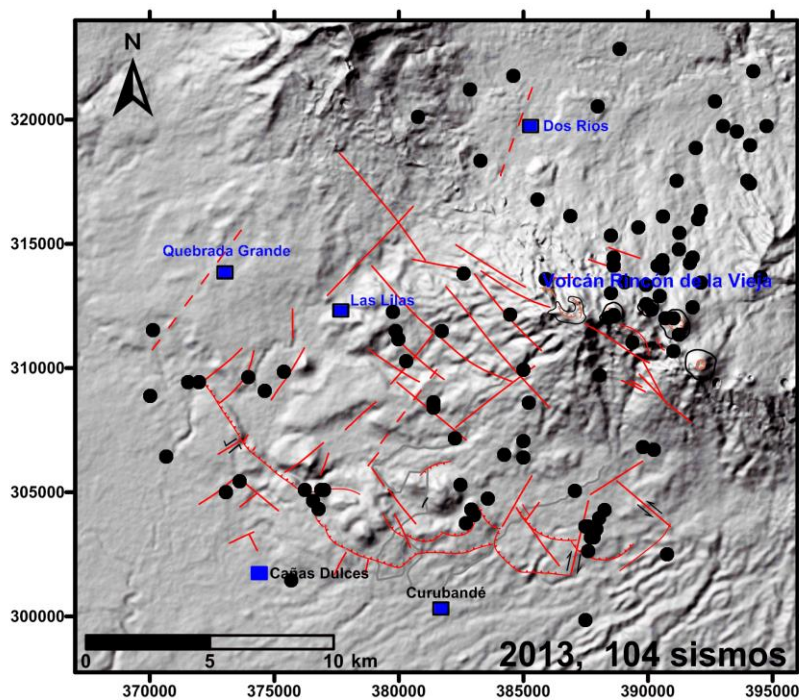


Figura 19: Ubicación de la sismicidad del Rincón de la Vieja en el 2013.

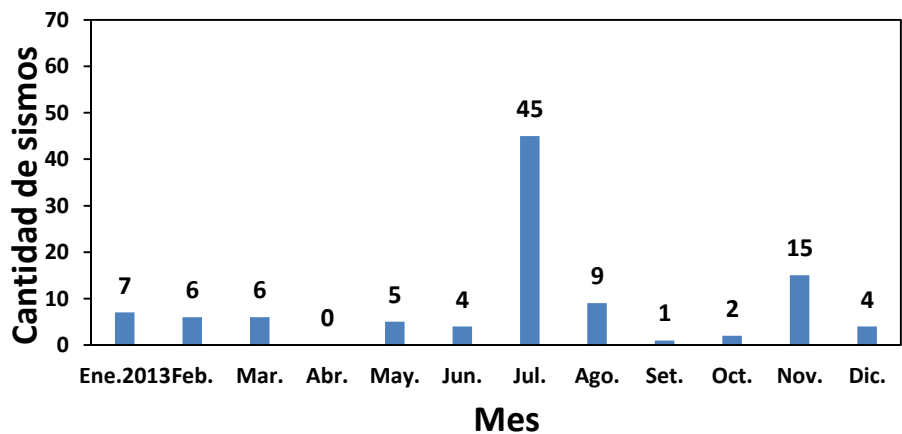


Figura 20: Distribución mensual de la sismicidad volcano tectónica del Rincón de la Vieja en el 2013.



Conclusiones

Desde el 2011 el Rincón de la Vieja presento un aumento en su actividad posiblemente por el aporte de fluidos magmáticos a su sistema hidrotermal. Posterior al terremoto de Sámara el volcán entra en una fase de mayor paso de fluidos de origen magmático que se manifiestan en aumentos de temperatura, erupciones freáticas, y que conlleva a un mayor flujo de calor en el lago aumentando la evaporación, acidez, concentración de los aniones mayores y sus relaciones.



La sismicidad presenta señales tipo tremor de mayor amplitud, que significan un mejor paso de fluidos en el sistema. En este caso, similar al Poás, la laguna cumple como filtro que atrapa los gases ácidos de sus fumarolas ubicadas en el fondo del lago, por lo que es un buen indicador para entender su sistema magmático-hidrotermal.

Para el 2014, se tiene planeado intensificar las visitas al cráter activo para dar seguimiento a esta actividad. Es posible que las erupciones freáticas continúen si el aporte de fluidos se sigue dando. La posibilidad de lahares y flujos de lodo hacia el lado Norte del volcán dependen del tamaño y altura de las erupciones freáticas. Se debe tener especial cuidado a la estabilidad de la pared Norte.

VIII. Referencias

GONZÁLEZ, G., MORA-AMADOR, R., RAMÍREZ, C. 2013a: Variations in physico-chemical features and seismicity related to phreatic activity for the two active crater lakes in Costa Rica: Poás and Rincón de la Vieja volcanoes.- Workshop on Volcanic Lakes 8th. Talk, Kyushu, p. 36.

GONZÁLEZ, G., MORA-AMADOR, R., RAMÍREZ, C., SAGIYA, T., ROUWET, D. & CHIGNA, G. 2013b: Tectonic earthquakes triggering volcanic activity? Preliminary study case: Central American Pacific coast, 2012.- IAVCEI, Scientific Assembly, Japan: 1W_2B-P5.

GONZÁLEZ, G., MORA-AMADOR, R., RAMÍREZ, C., ROUWET, D., PICADO, C. & MORA, R. 2013: Actividad histórica y evaluación de la amenaza del volcán Turrialba, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central (en prensa).

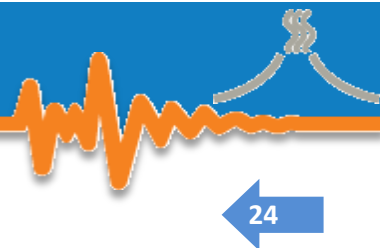
MORA, M. M., TAYLOR, W., SOTO, G., 2012: Sismicidad inducida y otros efectos causados en el arco magmático. En: Linkimer, L., Soto, G. (eds.): El Terremoto de Sámara del 5 de setiembre de 2012. Red Sismológica Nacional (ICE-UCR).- Informe Interno, págs. 88-91.

MORA-AMADOR, R.A., 2010. Peligrosidad volcánica del Poás (Costa Rica), basado en las principales erupciones históricas de 1834, 1910 y 1953-1955. MSc Thesis, Universidad de Costa Rica, 1- 115.

ROUWET, D., TASSI, F., MORA-AMADOR, R., SANDRI, L. & CHIARINI, V. 2014: Past, present and future of volcanic lakes monitoring.- Jour. Volc. Geoth. Res. (prensa).

ROUWET, D. & OHBA, T. 2014: Isotope fractionation and HCl partitioning during evaporative degassing from active crater lakes. In: Volcanic Lakes, Springer-Heidelberg, Eds. Rouwet, D., Christenson, B.W., Tassi, F., Vandemeulebrouck, J.

ROUWET, D., MORA-AMADOR, R., RAMÍREZ-UMAÑA, C., GONZÁLEZ, G., 2010b. Hydrogeochemical model of the Irazú and Turrialba "twin volcanoes" (Costa Rica). AGU Fall Meeting.



Para contacto o aclaraciones pueden comunicarse a:

Tel: 2253-8407 / 25114226

Cel: 8880-5495 / 8309-8689 / 8925-6656

Correo electrónico: raulvolcanes@yahoo.com.mx
ginovolcanico@gmail.com

Para más información puede acceder a las siguientes páginas

WEBSITE: <http://www.rsn.ucr.ac.cr/>

FACEBOOK: <http://www.facebook.com/RSN.CR>

TWITTER: <https://twitter.com/RSNcostarica>

AGRADECIMIENTOS: Gracias a los compañeros guarda parques que siempre nos apoyan en las labores de campo. A Dmitri Rouwet y Bruno Cappaccioni por los análisis químicos del Rincón de la Vieja.