

Estado de los Volcanes de Costa Rica 2013
Resumen Anual Oficial



Turrialba el 21 de mayo del 2013: una descompresión súbita lanzó tefra en forma simultánea a través de las Bocas 2010 y 2012 (Foto: cámara web del OVSICORI-UNA)

Elaborado por:

Dr. Geoffroy Avard, Dr. Javier Pacheco, Dra. María Martínez, Dr. Maarten de Moor

Con contribuciones de:

Lic. Jorge Brenes, Wendy Saénz, Bach. Jacqueline Soto, Gabriel Durán
MSc Federico Chavarría-Kopper, Bach. Floribeth Vega, Bach. Walter Jiménez

Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica
Universidad Nacional
OVSICORI-UNA

Resumen de la actividad anual para 2013

V. Turrialba:

El evento más importante en el volcán Turrialba durante el año 2013 ocurrió el 21 de mayo, cuando se produjo una descompresión súbita lanzando tefra a través de las bocas 2010 y 2012. El año inició con una actividad sísmica y superficial baja similar a los niveles del 2012. A partir de marzo y durante abril, se registran sismos volcano-tectónicos con profundidades que superan los 5 km bajo la cima del volcán y los primeros sismos tipos tornillo del año. La actividad sísmica decayó abruptamente luego del evento de descompresión del 21 de mayo, así como el índice CO_2/SO_2 . El 13 de julio el número de eventos se incrementa a más de 500 eventos por día y se mantiene en esos valores hasta finales de agosto cuando vuelve a decaer la sismicidad. Durante este periodo la temperatura de la Boca 2012 bajó de $\sim 800^\circ C$ a $\sim 600^\circ C$. Los sismos VLP dejan de registrarse en noviembre y los sismos de tipo tornillo que se registran en ese mes muestran un corrimiento de la frecuencia hacia frecuencias más bajas y valores de atenuación más bajos (valores de Q más altos), lo que sugiere un cambio, aunque pequeño, en la composición (fases) de los fluidos. El índice CO_2/SO_2 aumentó de manera lineal desde la descompresión y el flujo de SO_2 se mantuvo a valores bajos de $\sim 500-1000$ t/d.

V. Irazú:

La sismicidad volcano-tectónica en el Irazú se mantiene con bajos niveles comparados con años anteriores. La mayoría de los sismos ocurridos se localizan fuera del macizo del Irazú. Los pocos sismos localizados dentro del macizo se agrupan preferencialmente bajo la cima, y con profundidades entre 0 y 5 km. La sismicidad volcánica sigue mostrando los sismos tipo LP que caracterizaron la sismicidad del Irazú durante el 2012. Durante el año se aprecian variaciones en la amplitud promedio y los tiempos entre eventos, probablemente asociados con un proceso de carga y descarga del sistema hidrotermal. El Cráter Principal se mantuvo básicamente seco a lo largo del año, lo que no ha permitido la formación de un nuevo lago, rasgo que fue típico para Irazú entre los años 1991-2009.

V. Poás:

En general la actividad sísmica del volcán Poás se mantiene muy estable, dentro de un estrecho rango que va de los 10 y los 150 eventos diarios. Igualmente la actividad volcano-tectónica es escasa, con sismos aislados de pequeña magnitud y bastante superficiales que se ubican bajo el cráter activo. Entre setiembre y noviembre se registraron sismos híbridos de gran amplitud. Tremores se registran infrecuentemente y son de corta duración. Las erupciones freáticas que se pueden identificar en los registros sísmicos se contabilizan entre 4 y 9 erupciones por mes. A nivel superficial, la concentración de los gases parecía estable, la temperatura de las fumarolas fluctuó entre $\sim 100^\circ C$ y $\sim 600^\circ C$ (máximo en abril-julio) y el nivel del lago varió en un ámbito de ~ 2.5 m durante el año.

V. Arenal:

Por casi 3 años consecutivos el volcán Arenal presenta muy bajos niveles de actividad sísmica y exhalativa, mayormente vapor de agua a través de los cráteres C y D. Los niveles de SO_2 en la pluma de vapor y gases están dentro del nivel de detección de los sensores, y las temperaturas aparentes de las fumarolas medidas en forma remota mediante termografía infrarroja sobrepasan los $180^\circ C$.

V. Rincón de la Vieja:

En el 2013 el volcán Rincón de la Vieja mantuvo celdas de convección muy activas en el lago caliente ultra-ácido, así como fumarolas arriba de los $130^\circ C$ en la pared interna oeste del cráter activo. Las condiciones fisicoquímicas del lago ultraácido son similares a las que se vienen observando desde el año 2000, las cuales sugieren que a lo largo de estos últimos ca. 10 años se ha estado dando una inyección sustancial de volátiles magmáticos hacia el lago.

I_ Volcán Turrialba

I_1 V.Turrialba: Sismología

El evento más importante en el volcán Turrialba durante el año 2013 ocurrió el 21 de mayo, cuando se produjo una descompresión lanzando tefra a través de las bocas 2010 y 2012. Este evento fue acompañado por actividad sísmica importante, iniciando con sismos híbridos seguidos por sismos de baja frecuencia y tremor armónico durante la descompresión.

Iniciando el año 2013 la sismicidad se mantuvo en los bajos niveles registrados durante todo el 2012, con sismicidad dominada por sismos híbridos superficiales. A partir de marzo y durante abril, se registran sismos volcano-tectónicos con profundidades que superan los 5 km bajo la cima del volcán. Sin embargo, la actividad premonitora que culminó con el evento del 21 de mayo inició el 18 de abril cuando el conteo de sismos diarios se elevó de 10 a más de 100 eventos por día. Durante este mismo período se vuelven a registrar sismos de baja frecuencia (LF) que no se registraban desde el 2011.

De manera similar, en marzo se empiezan a registrar los primeros sismos tipo tornillo del año. Estos sismos presentan características que los vinculan al paso de gases magmáticos a través de grietas rellenas de agua y vapor del sistema hidrotermal. Este tipo de sismos se va a seguir registrando durante casi todo el año, solo que van a presentar variaciones en frecuencia (f) y decaimiento de las ondas (Q).

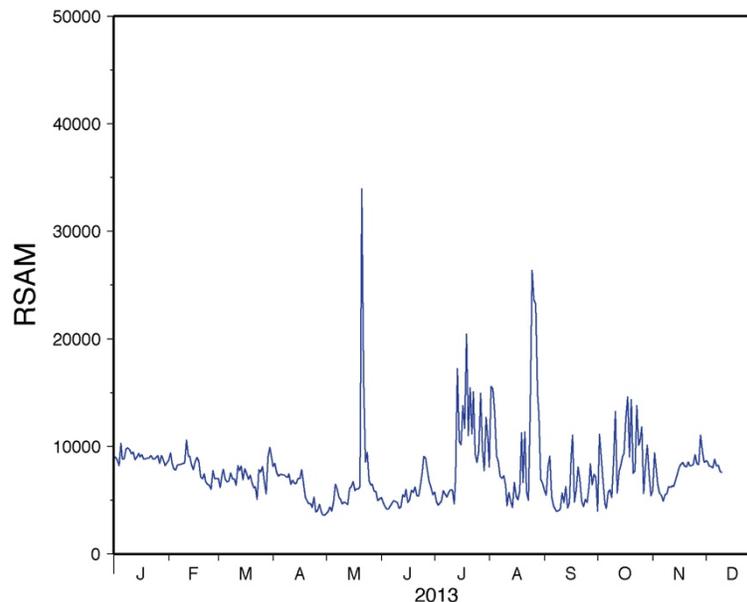


Figura 1. Valores de RSAM promedio por día, medidos en la estación VTUN (ubicada a 500 metros del cráter activo) durante el año 2013.

La actividad sísmica decayó abruptamente luego del evento de descompresión del 21 de mayo, tanto los valores promedio de la amplitud (RSAM, Fig.1), como el número de sismos diarios, el cual decayó a menos de 50 eventos por día. Estos bajos valores de sismicidad se mantuvieron hasta el 13 de julio, cuando el número de eventos se incrementa a más de 500 eventos por día y se mantiene en esos valores hasta finales de agosto cuando vuelve a decaer la sismicidad (Fig.2). Durante este intervalo de tiempo en que se incrementó la sismicidad se registraron varios sismos de período muy largo o VLP, asociados a implosiones ocurridas dentro del volcán. Durante este período los sismos VLP

llegaron a registrarse con amplitudes tan altas como un desplazamiento reducido de más de 5 cm^2 . El 2 de octubre se registró el mayor sismo VLP, para el cual se midió un desplazamiento reducido de 30 cm^2 .

El número de sismos que se registraron diariamente durante el mes de setiembre fue considerablemente menor a los dos meses anteriores. En este período se incrementa el número de tremores, su amplitud y duración. Esta tendencia se conserva hasta el mes de octubre cuando se producen registros con tremor bandeado.

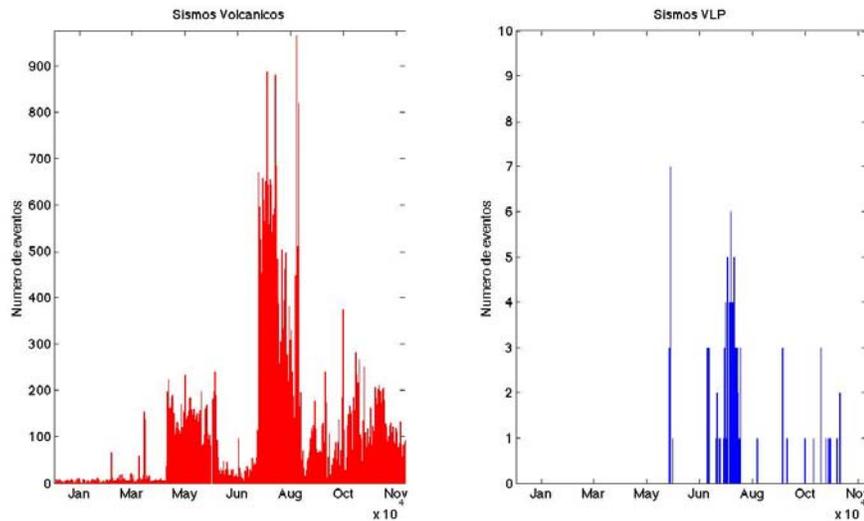


Figura 2. Número de sismos volcánicos registrados diariamente (izquierda). Número de eventos VLP registrados diariamente (derecha).

El número, amplitud y duración de los tremores decae hacia finales de octubre y principios de noviembre. La actividad sísmica es dominada durante estos dos meses por sismos de baja frecuencia (LF) y amplitud moderada. Los sismos VLP dejan de registrarse en noviembre y los sismos de tipo tornillo que se registran muestran un corrimiento de la frecuencia hacia frecuencias más bajas y valores de atenuación más bajos (valores de Q más altos), lo que indica un cambio, aunque pequeño, en la composición de los fluidos.

I_2 V. Turrialba: Geoquímica

I_2.1 Evolución térmica de las zonas activas

Durante los primeros 7 meses de 2013, la temperatura de la Boca 2012 se mantuvo con valores altos, cercanos a 800°C . Al fin de julio esta temperatura bajó rápidamente para estabilizarse en valores por debajo de los 650°C . Este cambio de temperatura no parece estar asociado a otros cambios de actividad visible a nivel de superficie.

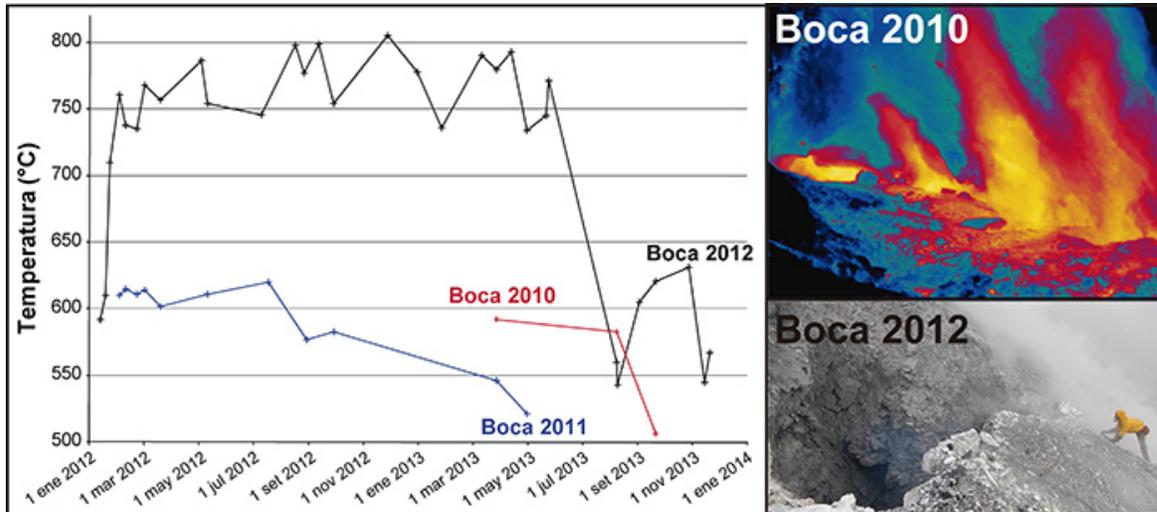


Figura 3. Evolución de la temperatura para las 3 bocas principales desde el inicio del 2012, termograma infrarrojo de la Boca 2010, y Boca 2012 (Fotos: G.Avard, agosto 2013).

I_2.2 Monitoreo de los gases

I_2.2.1 Pluma de gases: Monitoreo remoto

En el 2013 se instaló una segunda estación mini-DOAS permanente para monitorear en forma continua el flujo de emisión de SO_2 del volcán, y se conectaron las 2 estaciones con el observatorio al fin de monitorear en forma remota los gases del volcán. Las emisiones de SO_2 están relacionadas con el volumen de magma en desgasificación por cambio de profundidad (ej. intrusión) o por cristalización durante un proceso de enfriamiento.

La correlación entre las 2 estaciones es perfecta lo que da crédito al monitoreo a través de la primera estación, instalada en el 2012 (Fig.4a). La Figura 4b muestra el número de días por mes con un flujo anormalmente alto o bajo. Se notan pocos días de flujo anormalmente alto entre la emisión de cenizas de mayo del 2013 y setiembre y desde setiembre se acumulan días de anomalía con flujo bajo. En general, los valores en el 2013 muestran una disminución del flujo desde agosto pero considerando la incertidumbre de las mediciones, el orden de magnitud en el 2013 es parecido al orden de magnitud del año anterior (máximo <1000 toneladas por día). En comparación, el volcán Turrialba emitió alrededor de 4000 toneladas de SO_2 por día en 2010. Por lo que no hay evidencia de una nueva intrusión magmática desde mayo del 2012.

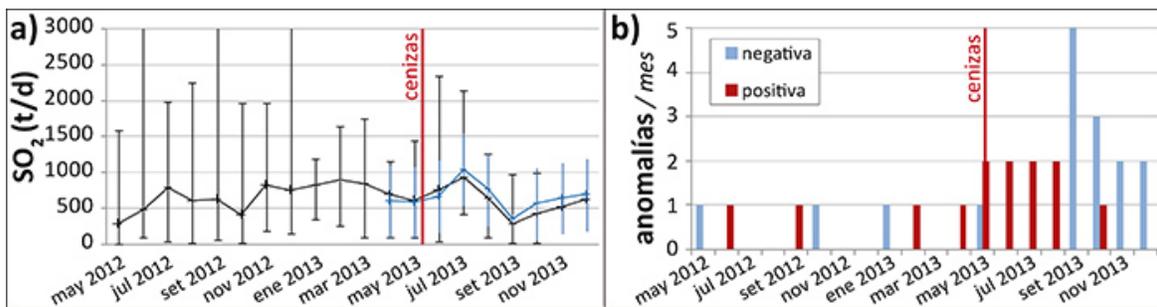


Figura 4. a) Evolución del promedio mensual del flujo de SO_2 medido gracias a 2 estaciones mini-DOAS permanent, desde mayo del 2012. b) Numero de días con anomalía positiva (flujo anormalmente alto) y negativa (flujo anormalmente bajo) del flujo de SO_2 .

La estimación del flujo de masa de SO₂ emitido por el volcán Turrialba a través de detección remota satelital mediante los instrumentos OMI del satélite AURA de la NASA, registró durante el año 2013 valores muy bajos: el promedio anual es de 37 toneladas de SO₂ por día con un máximo y un mínimo anual de 650 toneladas por día y 2 toneladas por día, respectivamente (Fig.5). La cuantificación de la masa de SO₂ emitida mediante satélites depende en gran medida del flujo de los gases y de las condiciones meteorológicas (cobertura de nubes, altura de la pluma volcánica) que limitan la detección remota satelital.

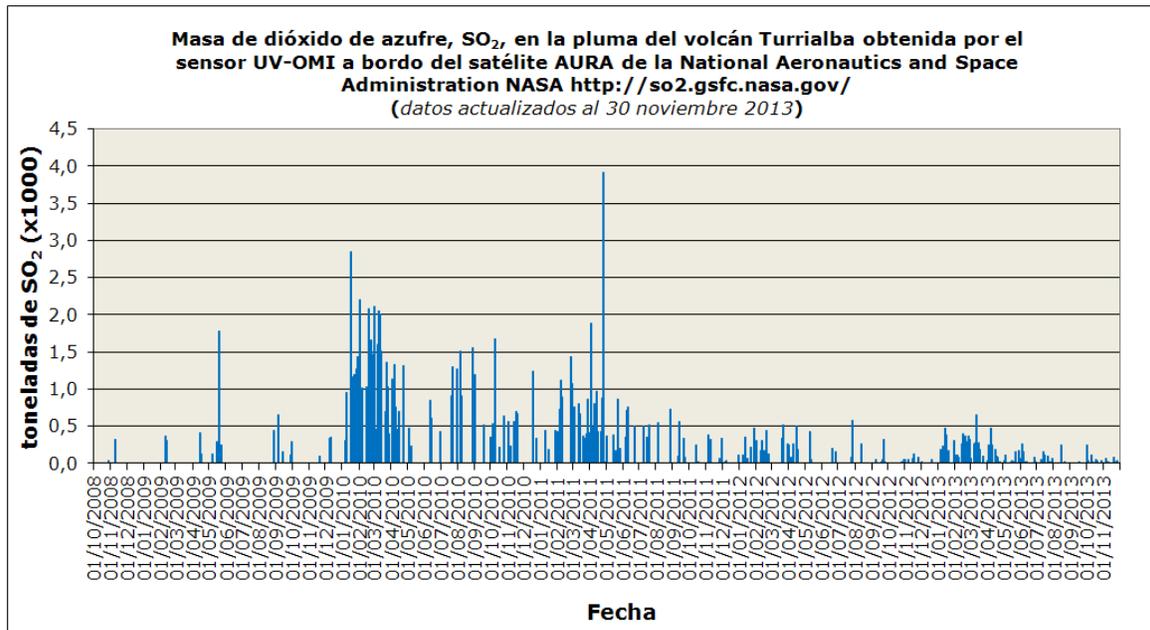
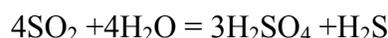


Figura 5. Masa de SO₂ en la pluma del Turrialba inferida de las imágenes OMI-AURA de los últimos 6 años. Los datos de masa de SO₂ corresponden a la total detectada por el instrumento OMI cuando el satélite AURA sobrevuela la región de América Central entre las 18:00-19:00 UTC. La información no está corregida respecto al nivel “de fondo” de SO₂ atmosférico. Fuente: <http://so2.gsfc.nasa.gov/>

I_2.2.2 Plumade gases: Monitoreo in situ con sistema MultiGAS

Desde marzo del 2013 se mide regularmente las concentraciones en CO₂, SO₂ y H₂S en la pluma del volcán, gracias a una estación MultiGAS portátil del INGV-Italia. Esta estación permite vigilar los cambios en las concentraciones relativas de los gases, lo que proporciona informaciones sobre la evolución magmática del volcán y la actividad de los sistemas hidrotermales.

La Figura 6 muestra la evolución del índice CO₂/SO₂. En particular, muestra una disminución rápida que coincide con el periodo de emisión de cenizas del 21 de mayo del 2013, seguida por un aumento progresivo del mismo índice. Mediciones en laboratorio permiten descartar un efecto por deterioro de los sensores. Tal aumento tiene varias interpretaciones; incluyendo la posibilidad de una intrusión magmática profunda, la cual no está respaldada por los bajos flujos de SO₂ (Fig.4), o más probable, un aumento de la interacción entre los gases magmáticos y el sistema hidrotermal, siguiendo la reacción siguiente:



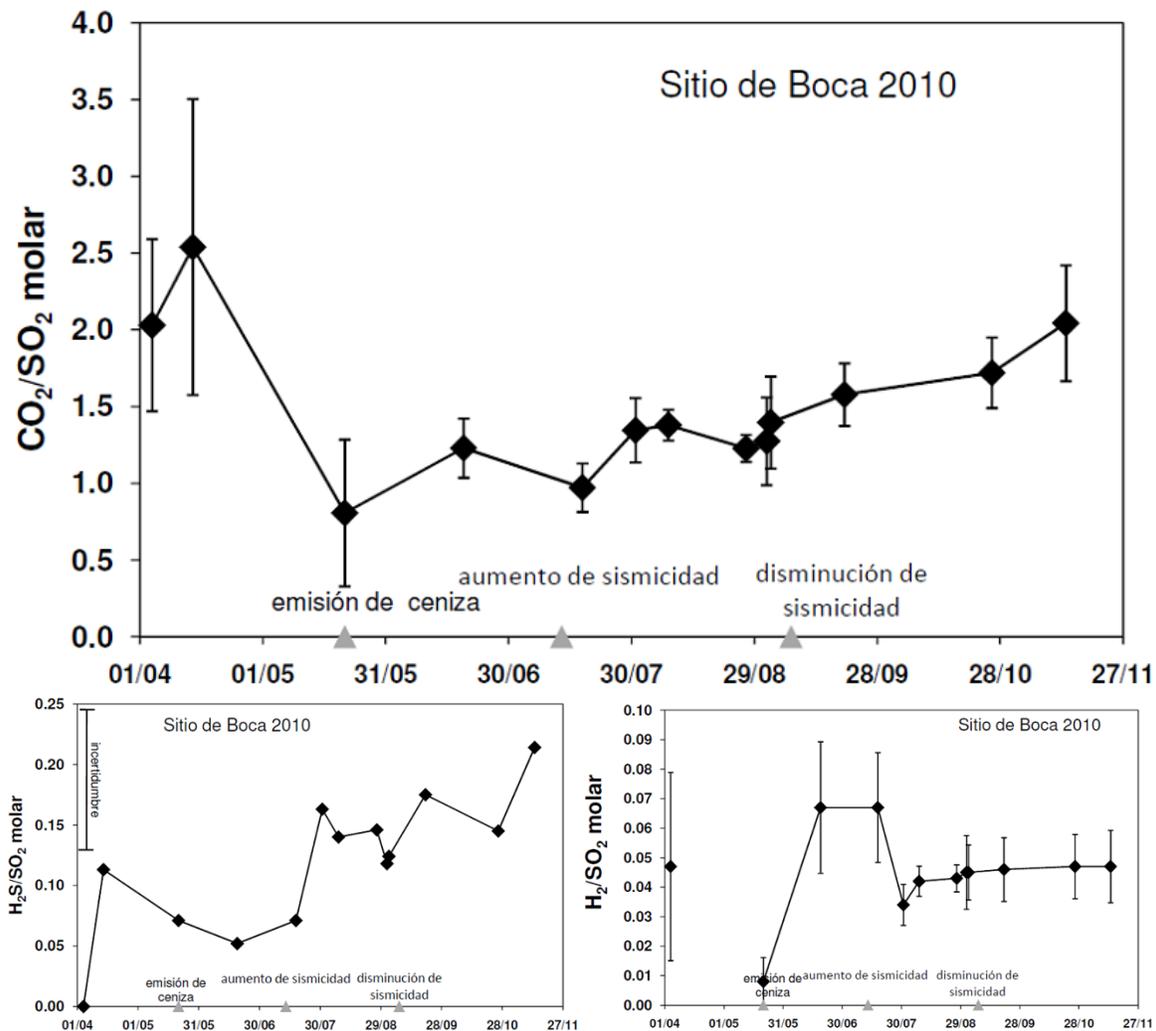


Figura 6. Evolución de índices de gases en la pluma del volcán Turrialba desde marzo del 2014 a partir de mediciones in situ gracias a una estación MultiGAS portátil del INGV: a) CO_2/SO_2 , b) H_2S/SO_2 , y c) H_2/SO_2

1.2.2.3 Gases difusos en los suelos de la cima del Turrialba

Parte de los gases pasan a través de las regiones porosas del edificio volcánico difundiendo espontáneamente través del suelo. Esta emisión difusiva está canalizada por las zonas más fracturadas del volcán. Por lo tanto, un mapeo del flujo de gas muestra las zonas débiles y las zonas impermeables responsables de acumulación de presión y de explosiones del sistema hidrotermal.

La Figura 5 muestra las anomalías del flujo de CO_2 (Fig.7a) y de la temperatura a 10 cm de profundidad (Fig.7b). Estas mediciones se llevan a cabo en la cima del volcán donde se pueden notar algunas anomalías, principalmente en la zona del Cráter Central y sobre el lado oeste del Cráter Oeste. Pareciera también que una gran parte del borde exterior norte del Cráter Central sufre de fracturación y actividad hidrotermal importante. Las zonas de actividad hidrotermal corresponden a zonas de alteración rápida lo que aumenta el potencial de deslizamiento o apertura de nuevas bocas.

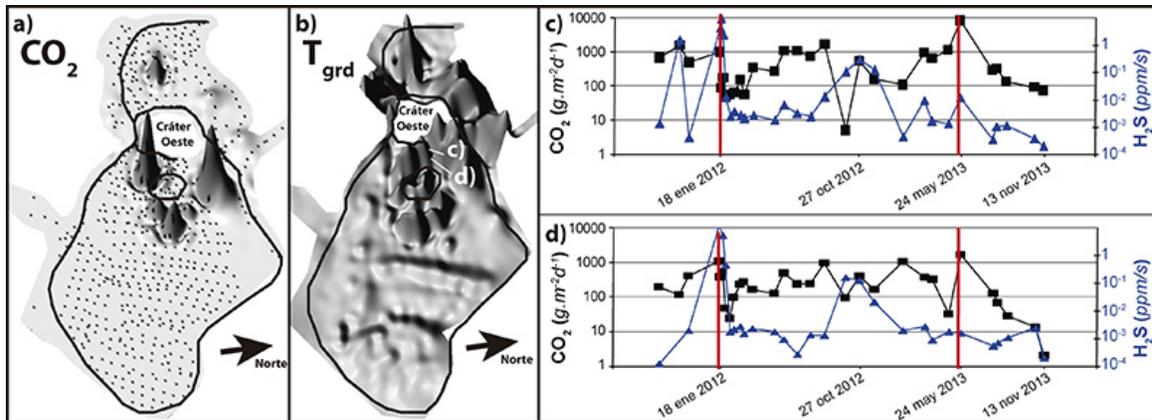


Figura 7. a) mapa del flujo de CO₂ que difunde a través del suelo (setiembre del 2013). b) Mapa de la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad (setiembre del 2013). c) y d) Evolución de los flujos de CO₂ y H₂S que difunden en el suelo para dos sitios del perfil en el Cráter Central.

Además, desde agosto del 2012 se repiten mediciones de algunos puntos a fin de vigilar cambios en las anomalías en el Cráter Central. En las Figuras 4c y 4d se puede notar un aumento importante de los flujos de CO₂ y H₂S antes de la apertura de la Boca 2012 (emisión de cenizas el 12 y el 18 de enero del 2012), y otro pico un poco después de la emisión de cenizas del 21 de mayo del 2013, pero sin precursor observado. El flujo parece bajar desde la última emisión de cenizas lo que puede resultar de una disminución de la desgasificación del volcán o de una impermeabilización del edificio.

I_3 V. Turrialba: Impacto ambiental

Depositación total ácida con pH ≤ 5.6 se ha venido registrando en las inmediaciones del volcán Turrialba desde el año 2007, cuando el volcán despertó luego de casi 150 años de reposo. El flujo de gases magmáticos emitidos por el volcán hacia la atmósfera se ha mantenido bastante bajo durante el año 2013 en comparación con los altos flujos observados en el 2008-2010. Es interesante también anotar que las razones SO₄²⁻/Cl⁻ medidas en la depositación total ácida recolectada en las inmediaciones del volcán Turrialba muestran los valores máximos en los años 2007-2008, tiempo en el que se cree ocurrió la intrusión de magma fresco hacia la superficie. Entre el 2012-2013 se han medido razones SO₄²⁻/Cl⁻ muy bajas lo cual corresponde con la disminución general y marcada en el flujo de SO₂ a través de la pluma de gases del Turrialba.

A pesar de estos cambios, el Turrialba continua emitiendo una cantidad apreciable vapores y gases suficientes para acidificar el ambiente, tal y como se observa en los valores de pH (entre 3 y <4) de las lluvias recolectadas en el 2013 en lugares como La Central, La Silvia, la Caseta de Guardaparques, y el Mirador de Visitantes, localizados en las proximidades del volcán (0.5-2.6 km) (Fig. 8).

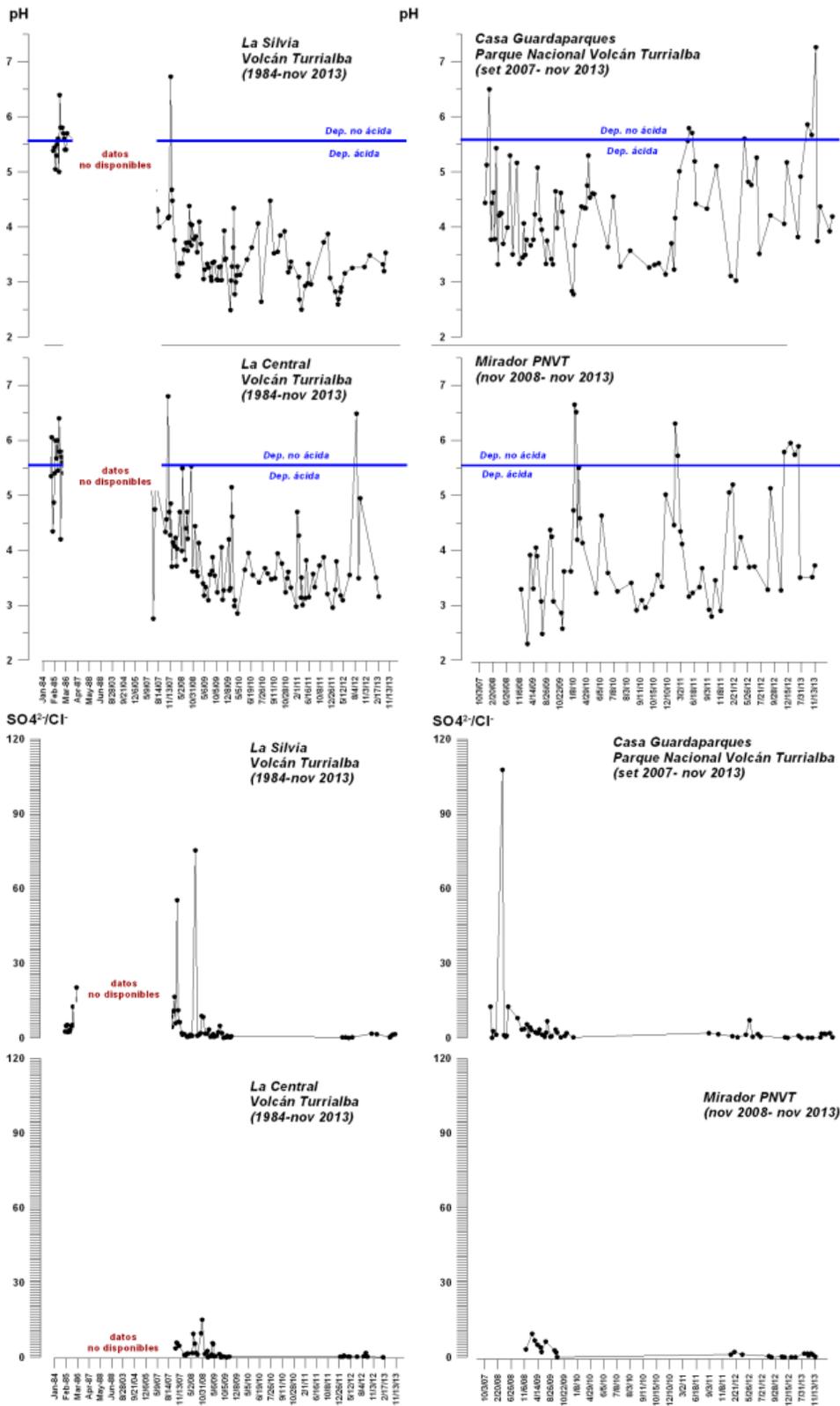


Figura 8. Razones SO_4^{2-}/Cl^- y pH (acidez) de la depositación total recolectada en La Central, La Silvia, Mirador de Visitantes y Caseta de Guardaparques, todos sitios ubicados en las inmediaciones del Cráter Oeste del volcán Turrialba. Valores de $pH \leq 5.6$ corresponden a lluvia ácida (línea azul). Datos: Laboratorio de Geoquímica Volcánica del OVSICORI-UNA

II_ Volcán Irazú

II_1 V.Irazú: Sismología

La sismicidad volcano-tectónica en el Irazú se mantiene con bajos niveles (Fig.9) comparado con años anteriores, principalmente con respecto al 2012, cuando se disparó la sismicidad luego del sismo de Nicoya del 5 de setiembre del 2012. La mayoría de los sismos ocurridos se localizan fuera del macizo del Irazú. Los pocos sismos localizados dentro del macizo se agrupan con preferencia bajo la cima, y con profundidades entre 0 y 5 km.

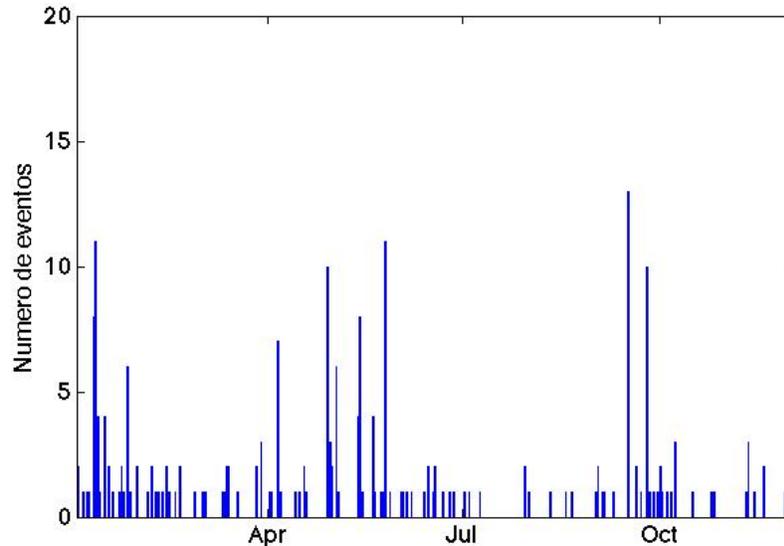


Figura 9. Sismicidad volcano-tectónica asociada al volcán Irazú. Se muestra en número de sismos diarios registrados durante el 2013.

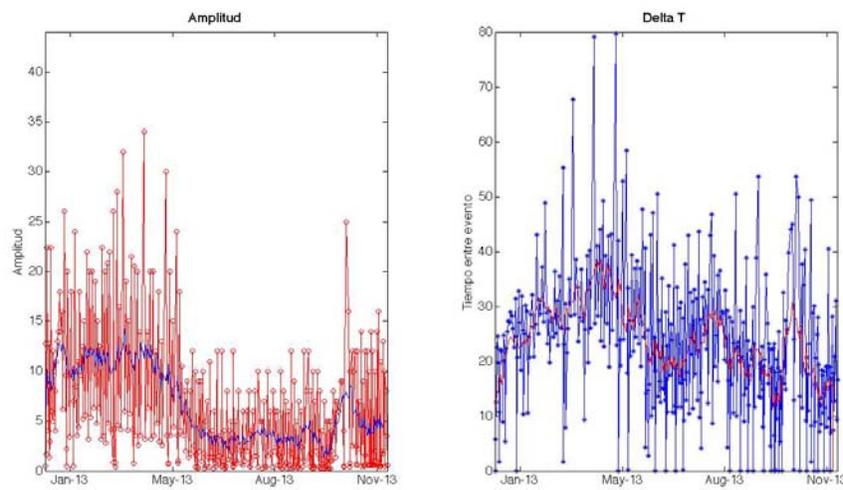


Figura 10. Amplitud de los eventos tipo LP registrados en el volcán Irazú y promedio corrido de las amplitudes (línea azul). A la derecha se muestra el tiempo entre eventos con un promedio corrido (línea roja).

La sismicidad volcánica sigue mostrando los sismos tipo LP con frecuencias de 1.56 Hz que caracterizaron la sismicidad del Irazú durante el 2012. Sus amplitudes

continúanvariando entre 0.5 y 30 micrómetros/segundo, con un inicio corto caracterizado por frecuenciasentre 4 y 6 Hz y una coda larga de mayor amplitud con características monocromáticas del1.56 Hz. En ocasiones estos sismos presentan un pico secundario de 2.15 Hz de menor amplitud. Durante el año se aprecian variaciones en la amplitud promedio y los tiempos entre eventos, probablemente asociados con la carga y descarga del sistema hidrotermal (Fig.10).

II_2 V.Irazú: Observaciones

En 2013 la actividad térmica e hidrotermal ubicada en la pared norte del edificio (Fig.11) parecía mantenerse a un nivel parecido al año 2012. El Cráter Principal se mantuvo seco a lo largo del año 2013 a pesar de las lluvias del fin de año. El proceso que ha conducido a la desecación y desaparición del lago en marzo del 2010 no se comprende aún.

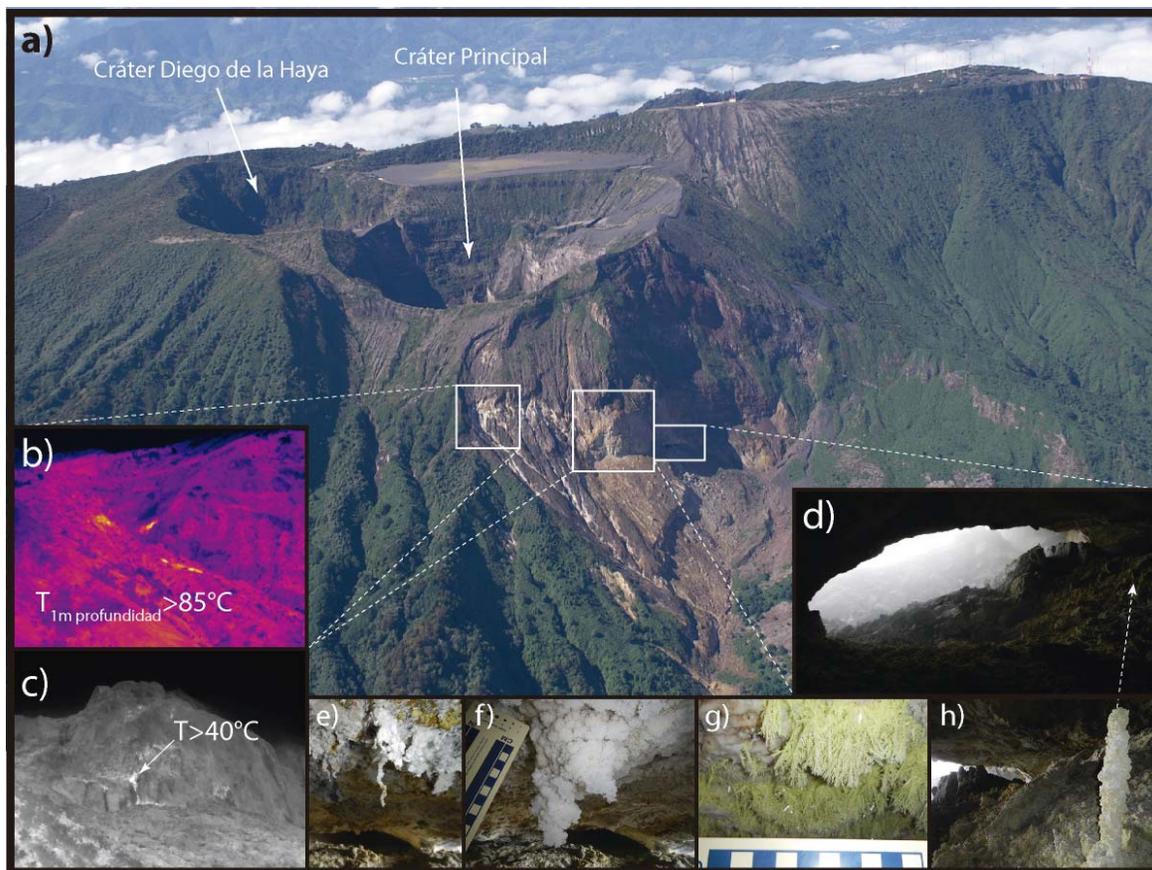


Figura 11: a) Vista aérea del flanco norte del volcán Irazú el 27 de mayo del 2013. b) y c) termogramas infrarrojos mostrando anomalías térmicas en el flanco norte y la pared vertical. d) la cueva norte grande, e), f), g) y h) minerales en el interior de la cueva norte grande. (Fotos: G.Avard, 27 marzo 2013, foto aérea gracias a Federico Chavarria-Kopper)

III_ Volcán Poás

III_1 V.Poás: Sismología

En general la actividad sísmica del volcán Poás se mantiene muy estable, con pequeñas fluctuaciones en el número de sismos que se registran diariamente, pero dentro de un estrecho rango que va de los 10 y los 150 eventos diarios. Igualmente la actividad volcano-tectónica es escasa, con sismos aislados de pequeña magnitud y bastante superficiales que se ubican bajo el cráter activo (Fig.12). Tremores se registran infrecuentemente y de corta duración. Las erupciones freáticas que se pueden identificar en los registros sísmicos se contabilizan entre 4 y 9 erupciones por mes (Fig.13).

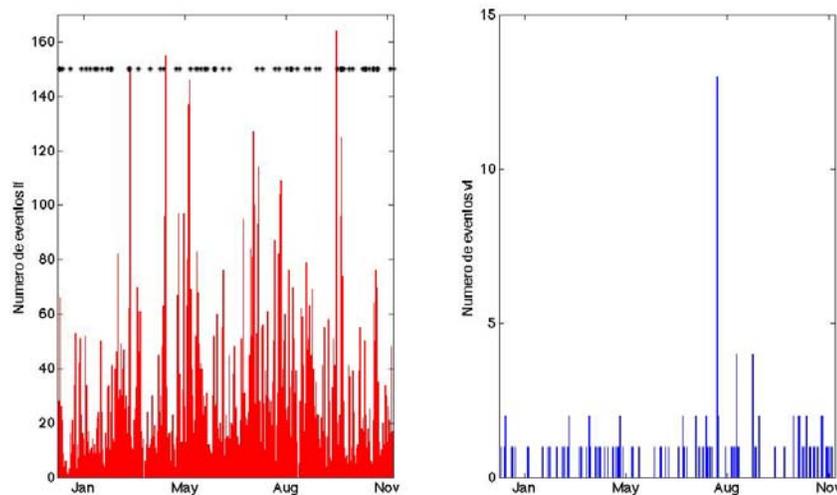


Figura 12. Número de sismos volcánicos registrados diariamente (izquierda). Los asteriscos muestran las erupciones freáticas identificadas en los sismogramas. Número de sismos volcano-tectónicos asociados al volcán Poás (derecha).

La monotonía en la actividad del volcán Poás se rompe en setiembre cuando se empiezan a registrar sismos híbridos de gran amplitud (desplazamiento reducido de hasta 3 cm²). El número de estos sismos alcanza el máximo en octubre para decaer nuevamente en noviembre.

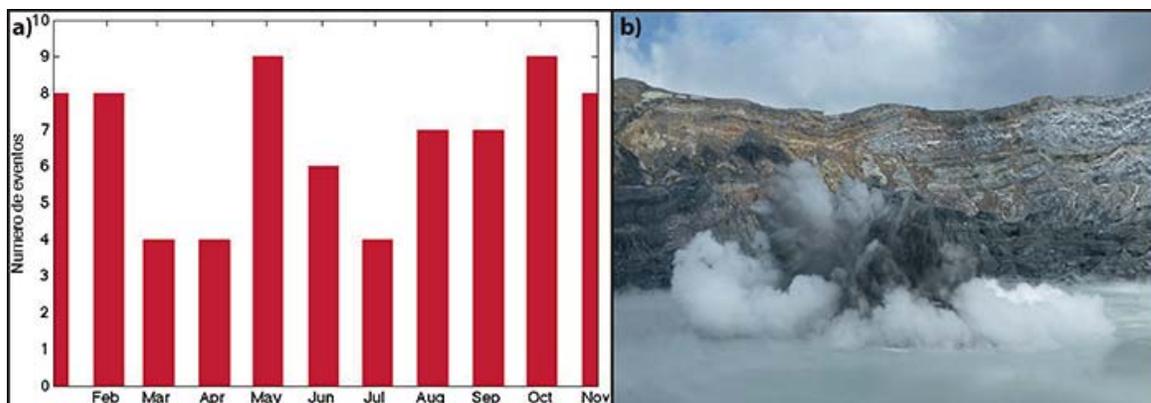


Figura 13. a) Número de erupciones freáticas por mes, identificadas en los sismogramas. b) Erupción freática el 20 de agosto del 2013 (Foto: G. Durán)

III_2 V.Poás: El criptodomo

III_2.1 Mediciones geoquímicas

Desde marzo del 2013 se miden regularmente las concentraciones de CO_2 , SO_2 y H_2S en la pluma del volcán gracias a una estación MultiGAS portátil del INGV-Italia. Esta tarea se realiza con el fin de vigilar los cambios en las concentraciones relativas, los cuales dan informaciones sobre la evolución magmática del volcán y la actividad de su sistema hidrotermal.

La Figura 14 muestra la evolución de las razones entre los gases de la pluma fumarólica del volcán Poás. La última medición indica un valor bajo para $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$ y un valor normal para CO_2/SO_2 . El valor bajo de $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$ podría estar relacionado con la observación de un aumento en la cantidad de depósitos de azufre nativo alrededor de las fumarolas. Estos cambios para el volcán Poás son muy diferentes de los cambios observados en el volcán Turrialba, lo que sugiere que no son debidos a artefactos instrumentales sino a cambios reales en la composición de los gases volcánicos.

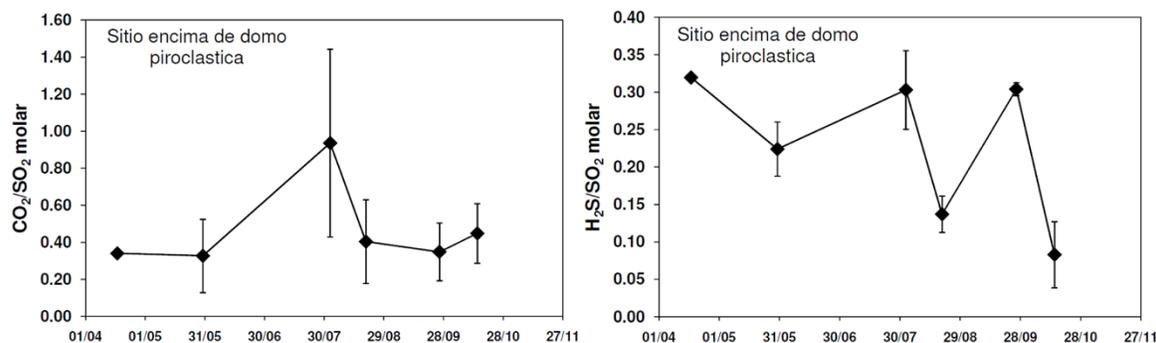


Figura 14. Evolución de índices de gases en la pluma de gases emitida a través del criptodomo del volcán Poás en el periodo marzo-octubre del 2013: a) H_2/SO_2 , y b) CO_2/SO_2 .

En abril del 2013 se midió el flujo de SO_2 por medio de un DOAS portátil. Resultados indican un flujo de 120 ± 30 toneladas de SO_2 emitidos por día. Esta medición se complementa con un estudio del flujo de CO_2 que se difunde a través del suelo hecho en julio del 2012 (Fig.15) donde se puede notar anomalías del flujo en el Playón este-sureste.

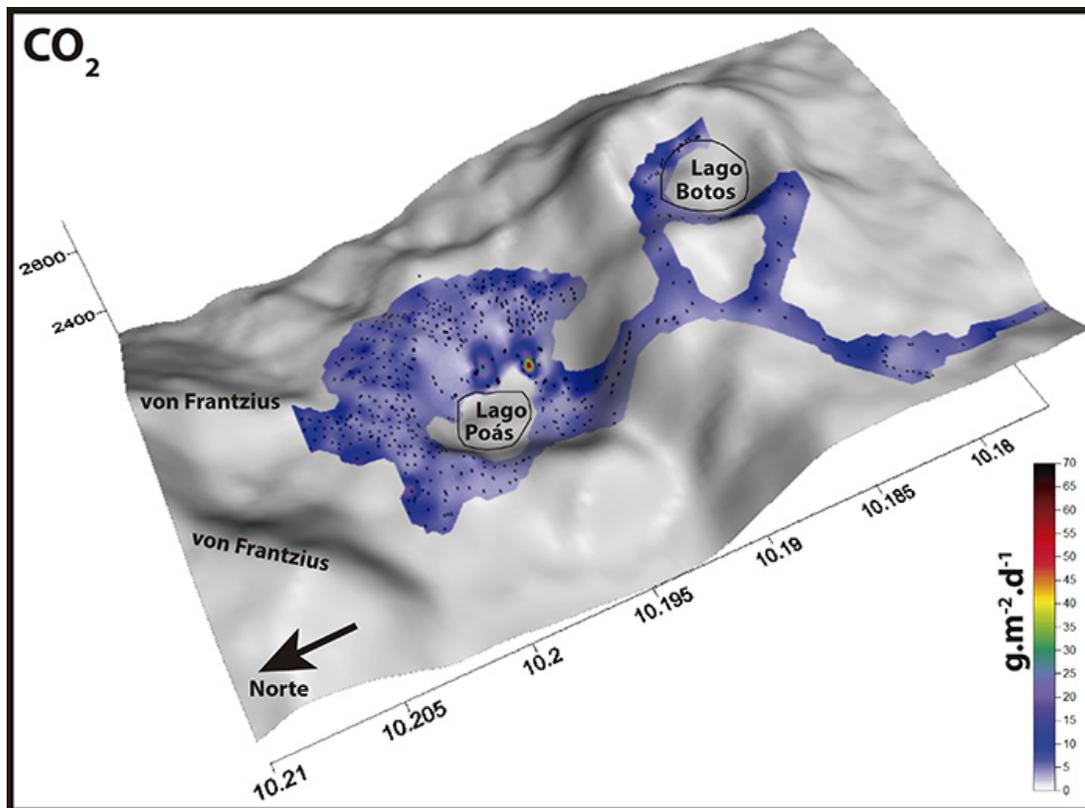


Figura 15. Mapa del flujo de CO_2 que difunde a través del suelo del cráter activo del volcán Poás en julio del 2012.

III_2.2 Monitoreo térmico

Por años el OVSICORI-UNA midió las temperaturas in situ con una termocupla. Desde diciembre del 2012, los funcionarios complementan estas mediciones con mediciones remotas gracias a una cámara térmica SC660, la cual permite una medición de los sitios más calientes cuando las condiciones ambientales son favorables.

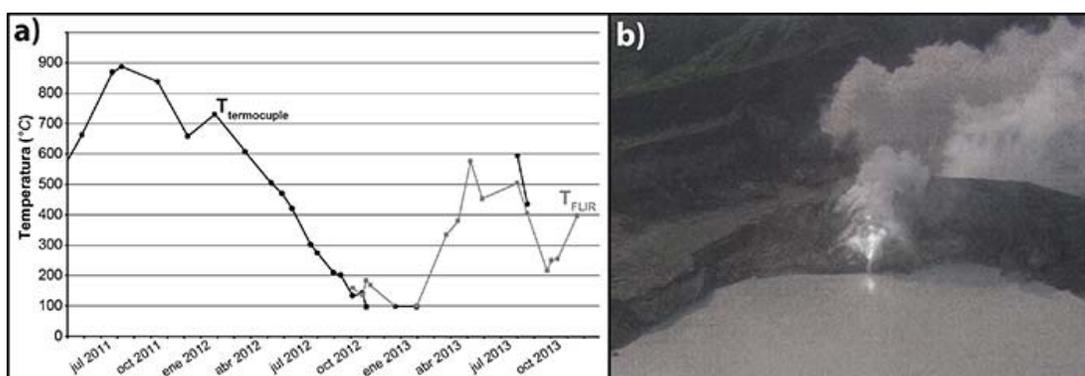


Figura 16. a) Evolución de la temperatura máxima medida sobre el criptodomo con una termocupla y una cámara infrarroja FLIR SC600, y b) Puntos de temperatura máxima que aparece gracias a la superposición de una imagen de día y de noche (infrarroja) de la cámara web del OVSICORI-UNA el 13 de diciembre del 2013.

En la Figura 16 se puede observar que en el 2011 el criptodomo llegó a temperaturas superiores a los $800^{\circ}C$. En esta época se podía observar incandescencia durante el día. El año 2012 mostró una disminución continua de esta temperatura y en 2013 otra vez la temperatura subió a valores mayores a $500^{\circ}C$, permitiendo una observación de

incandescencia de noche en mayo del 2013. Sin embargo la temperatura fue tan fluctuante que no se podía anticipar su evolución.

III_3 V.Poás: El lago ultra ácido

III_3.1 Mediciones geoquímicas

Durante el año 2013, no se notaron cambios importantes de la temperatura y del pH en el lago caliente últra ácido del volcán Poás. La Figura 17 muestra que los valores andaban alrededor de 45-50°C y 0-0.3 de pH, lo que es parecido al año anterior.

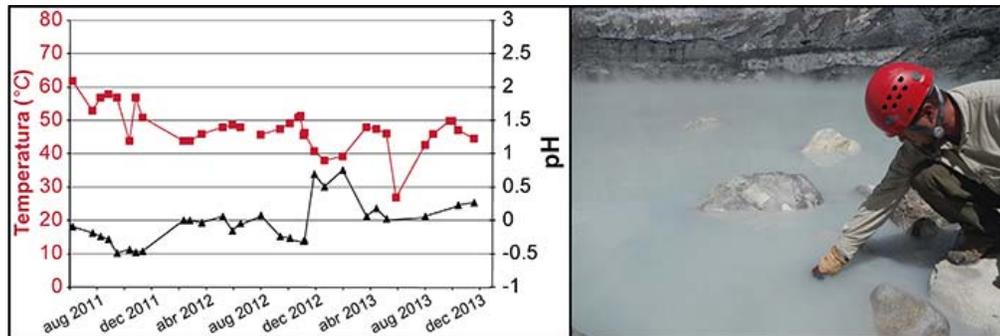


Figura 17. Evolución de la temperatura y del pH del lago. Foto del Dr. Brian Hynek de la NASA sacando una muestra del lago caliente ultrácido (Foto: G.Avard, 20 nov 2013).

El actual ciclo de actividad freática, que inició en marzo 2006, se ha caracterizado por explosiones hidrotermales esporádicas y un lago ultraácido con un aumento sistemático y sostenido de la acidez, y la razón SO_4^{2-}/F^- que indica la inyección hacia el lago de gases magmáticos más ricos en especies azufradas (dióxido de azufre-sulfuro de hidrógeno, SO_2-H_2S) respecto a las especies gaseosas halogenadas (fluoruro de hidrógeno, HF) (Fig. 18).

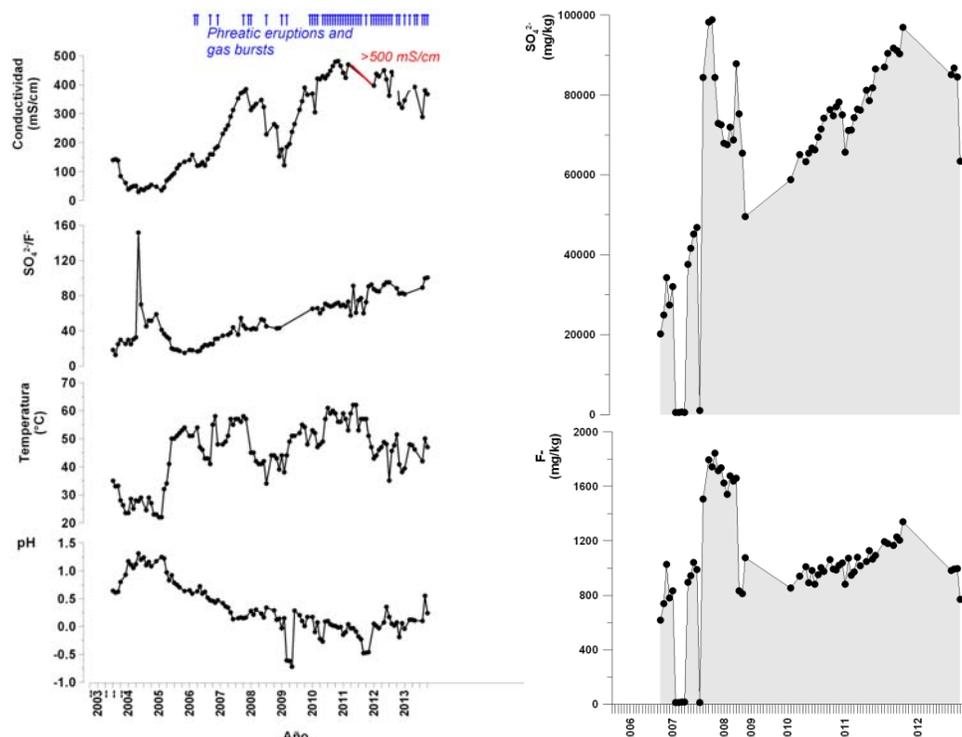


Figura 17. Evolución de la acidez (pH), temperatura, razón SO_4^{2-}/F^- conductividad eléctrica y concentraciones de iones fluoruro y sulfato en las aguas del lago ultraácido del Poás. Datos: Laboratorio de Geoquímica Volcánica del OVSICORI-UNA.

III_3.2 Otras observaciones

Después de una recuperación rápida en noviembre del 2012, el nivel del lago se mantuvo en niveles superiores al año anterior. En el 2013 los valores fluctuaron alrededor de ~ 2.5m contra 4m en 2012 (Fig.19).

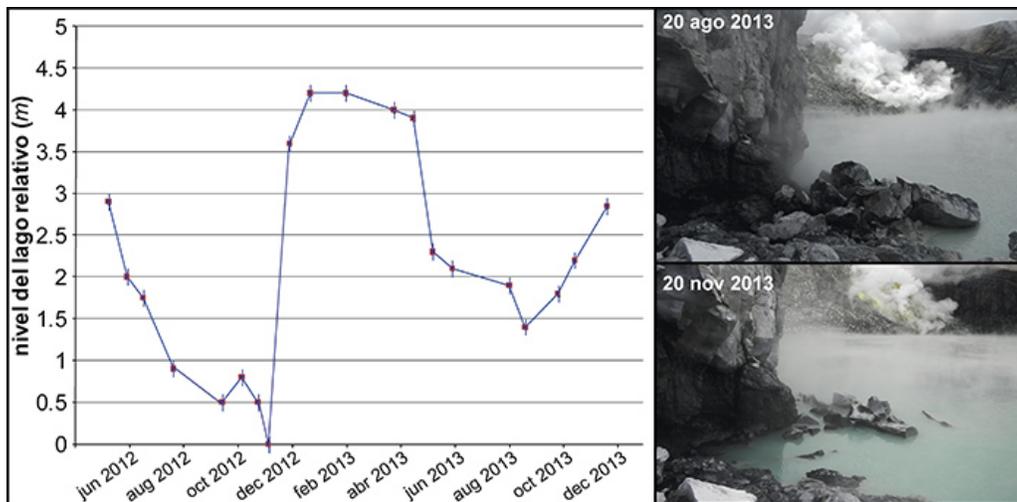


Figura 19. Evolución del nivel del lago desde mayo del 2012 y comparación entre agosto y noviembre del 2013 (Fotos: G.Avard)

Además, el lago del Poás siempre tiene una actividad convectiva importante y erupciones freáticas (Fig.13).

III_4 V.Poás: Depositación total ácida (húmeda + seca)

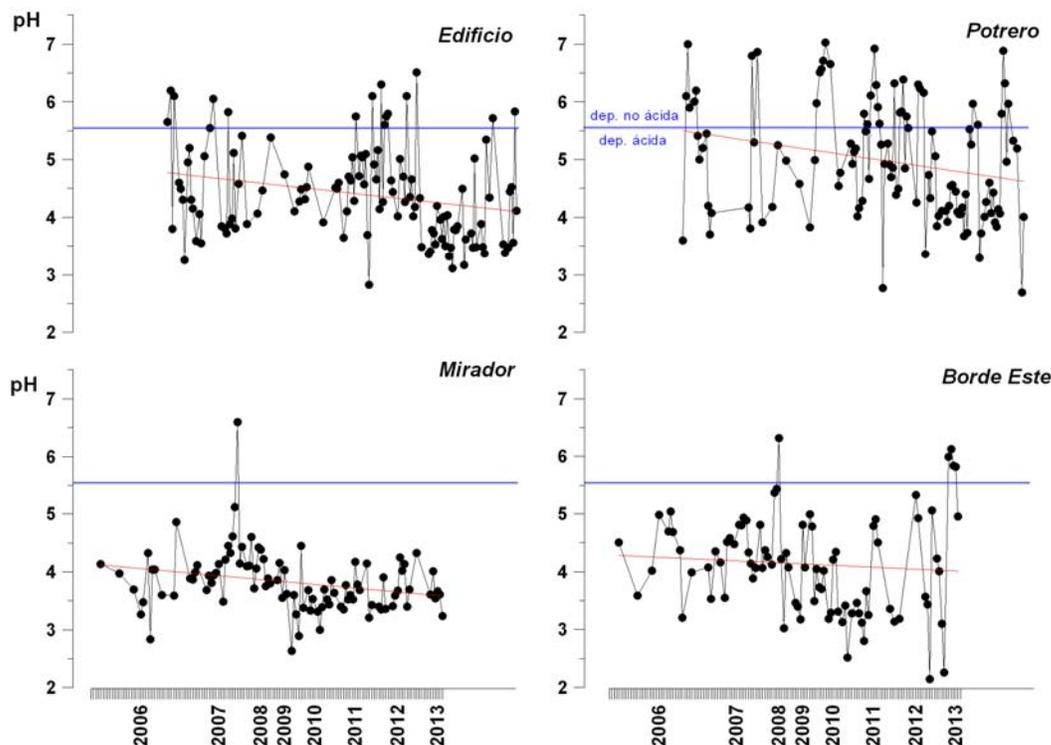
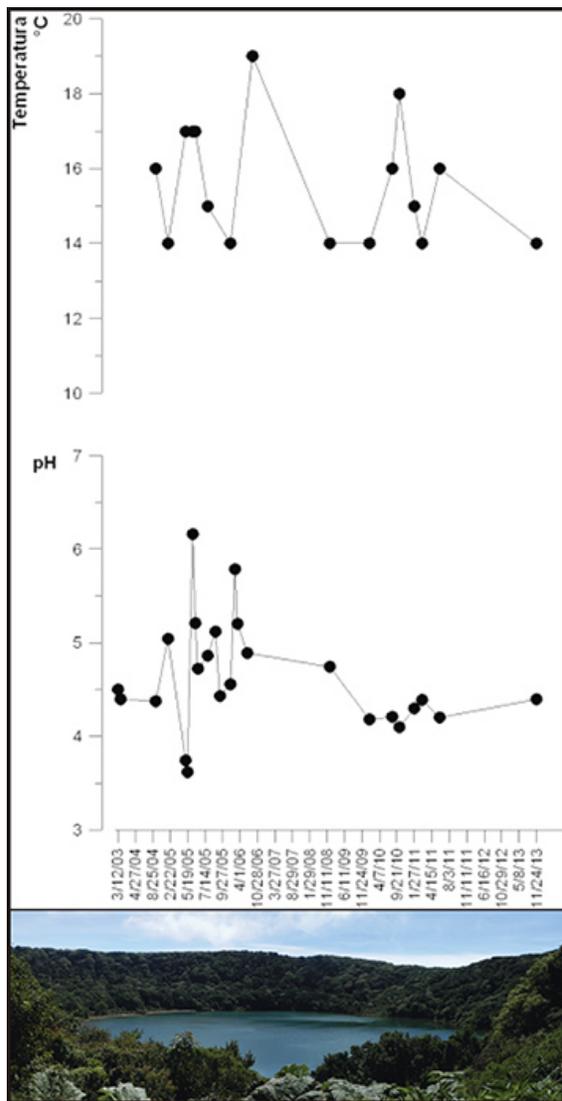


Figura 20. pH (acidez) de la depositación total ácida [húmeda (lluvia) y seca] recolectada en estaciones de muestreo en las inmediaciones del cráter activo del volcán Poás. Valores de $pH \leq 5.6$ corresponden a lluvia ácida (debajo de línea azul). La línea roja es la tendencia promedio en el tiempo. Datos: Laboratorio de Geoquímica Volcánica del OVSICORI-UNA.

En la Figura 20 se muestran los perfiles de pH de la depositación total ácida recolectada en 4 de las estaciones de muestreo de lluvia del OVSICORI-UNA. Muestras con pHs ≤ 5.6 corresponden a lluvia ácida. Estos perfiles muestran en general un aumento en la acidificación de la lluvia entre los años 2006-2012 (disminución del pH), lo cual es consistente con la reanudación de la actividad freática en el volcán Poás desde el año 2006 y con el aumento en la desgasificación magmática y el flujo de calor a través de las fumarolas del criptodomo y las fumarolas subacuáticas en el lago hiper-ácido del Poás entre los años 2009-2011. En el transcurso del año 2013, la lluvia en general tiende a ser sustancialmente menos ácida (aumento del pH), lo que refleja una disminución en la liberación de gases y calor a través del cráter activo.

III_5 V.Poás: La Laguna Botos



La Laguna Botos presenta usualmente pH's entre 4 y 5 y una temperatura promedio de 15°C.

En mayo del 2005 registró valores de pHs mínimos aparentemente relacionados con vigorosa inyección de gases y partículas a través del cráter activo del Poás hacia la atmósfera. Más tarde, entre finales del 2009 y mediados del 2011, el lago mostró en forma consistente pH's bajos cercanos a pH=4 debido a la fuerte desgasificación de alta temperatura que se presentó en el criptodomo durante este periodo (Fig.21). Las aguas del Lago Botos deben su carácter ácido principalmente a la depositación atmosférica de gases y partículas ácidos sobre el lago, i.e. depositación total húmeda y seca proveniente del cráter activo.

Figura 21. Laguna Botos en enero 2013, vista desde el borde sur del cráter del volcán Botos (Foto: G.Avard, 5 nov 2012).

IV_ Volcán Arenal

IV_1 V.Arenal: Sismología

Por casi 3 años consecutivos el volcán Arenal presenta muy bajos niveles de actividad sísmica y exhalativa luego de que la actividad estromboliana y extrusión casi continua de lava cesó definitivamente entre noviembre-diciembre 2010, luego de casi 41 años de actividad eruptiva y magmática persistente. En la actualidad se observa exhalaciones mayormente de vapor de agua a través de los cráteres C y D. En setiembre se observó una pluma alta cuya aparición el 8 y el 9 de setiembre 2013 ha sido asociada con tremores monocromáticos (de 3.1 Hz) registrados el 8 de setiembre 2013 por los sismógrafos del OVSICORI-UNA. Este tipo de sismicidad se relaciona con actividad hidrotermal y no actividad magmática. Además, durante el mes de noviembre se registraron dos sismos volcano-tectónicos asociados al volcán Arenal, el primero se registró el 13 de noviembre a las 19:50 (hora GMT) con una magnitud $M_l = 1.6$, el segundo se registró el 20 de noviembre a las 19:02 (hora GMT) con una magnitud menor.

IV_2 V.Arenal: Geoquímica

El 26 de febrero del 2013, un sobrevuelo organizado por la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) junto con la Fuerza Pública permito la observación de anomalías térmicas sobrepasando los 150°C en la cumbre del volcán Arenal. El 14 de setiembre se repitió el sobrevuelo gracias al MSc Federico Chavarría-Kopper con el fin de medir las características físico-químicas de los gases emitidos por el volcán Arenal.



Figura 22. Mapa del sobrevuelo de 14 set 2013 de volcanes Arenal y Poás.

Las temperaturas se midieron en forma remota con una cámara infrarroja FLIR-SC660 dirigida verticalmente sobre los cráteres de los volcanes, a una distancia entre $\sim 1000\text{m}$ y $\sim 200\text{m}$ de los puntos de emisión. Las características químicas fueron medidas gracias a una estación multiGAS del INGV-Italia bombeando los gases por debajo del avión. El avión realizó 6 sobrevuelos sobre y en la pluma del Arenal, y 1 sobrevuelo a través de la pluma del volcán Poás, tal y como se muestra en la Figura 22.

Se midieron bajas concentraciones de CO_2 , también los gases H_2S y H_2O fueron detectados por los sensores del multiGAS pero en bajas concentraciones. No se pudo detectar SO_2 .

La cámara infrarroja confirmó la existencia de un anillo de anomalías térmicas (Fig.23) en prácticamente todo el borde del Cráter “C” del volcán Arenal. Este anillo corresponde a las zonas más fracturadas, de la parte superior del edificio volcánico, por las cuales los gases calientes encuentran una salida. Estas fracturas se formaron por los esfuerzos excesivos que generaron rupturas en la zona de deformación máxima entre un volumen de magma que se movió como un pistón y la pared fija. Este tipo de comportamiento se observa durante cada erupción del volcán Santiaguito en Guatemala por la subida del magma en la columna (Bagdassarov *et al.*, 1994; Avard, 2010), y se observa hoy en el Arenal por la contracción térmica y la compresión de la misma columna magmática que origina la

formación de un cráter de ~2m de profundidad. El 14 de setiembre del 2013, la temperatura aparente más alta registrada en forma remota fue superior a los 182°C.

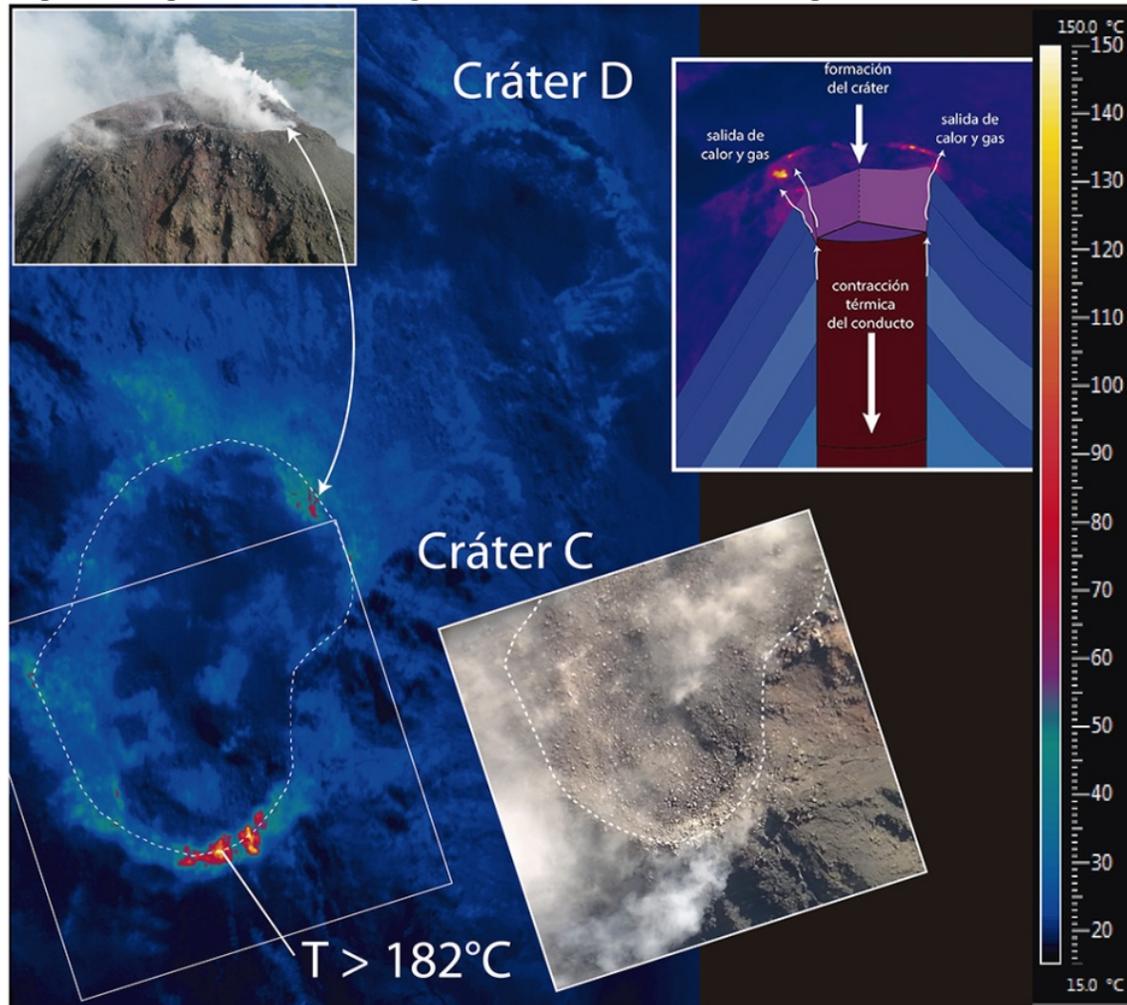


Figura 23. Termograma infrarrojo de los cráteres “C” y “D” del volcán Arenal, comparación con las imágenes en visible, e interpretación como se explicó en el boletín de febrero del 2013.

Además, en abril del 2013 se hicieron campañas de mediciones de SO₂ con un DOAS portátil a diferentes horas del día, varios ángulos y transectos a fin de medir el flujo de SO₂ del volcán. El flujo fue estimado con un límite superior de 1 tonelada por día el 11 de abril del 2013

IV_3 V.Arenal: Depositación total ácida (húmeda + seca)

La depositación total [húmeda (lluvia) y seca] recolectada por el OVSICORI-UNA en el sector oeste del Parque Nacional Volcán Arenal, estación Caseta C, continua siendo básicamente de naturaleza ácida (pH≤5.6), tal y como se muestra en la figura siguiente (Fig.24). Sin embargo, a lo largo de los últimos 10 años se observa un perfil de pH que aumenta gradualmente hacia valores de pH≤5.6, similares a los de la lluvia en zonas donde no hay acidificación del ambiente por fuentes naturales o antropogénicas. Igualmente, las razones SO₄²⁻/Cl⁻ de la depositación indica un menor aporte de volátiles magmáticos halogenados hacia la atmósfera (SO₄²⁻/Cl⁻=1.75 en mayo 2006, SO₄²⁻/Cl⁻=2.4 en octubre 2013). La disminución sistemática de la acidez y de la concentración de

volátiles magmáticos en la depositación total en las inmediaciones del Arenal es consistente con la reducción significativa de la actividad magmática del volcán.

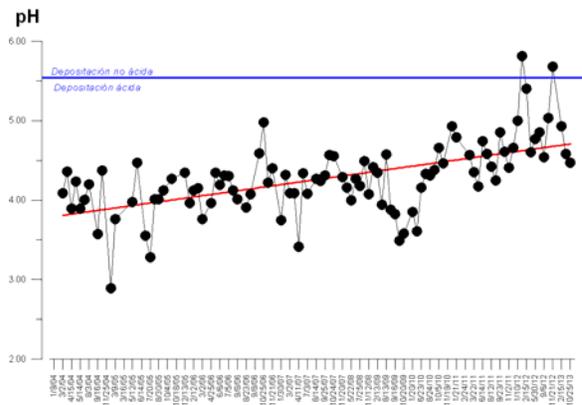
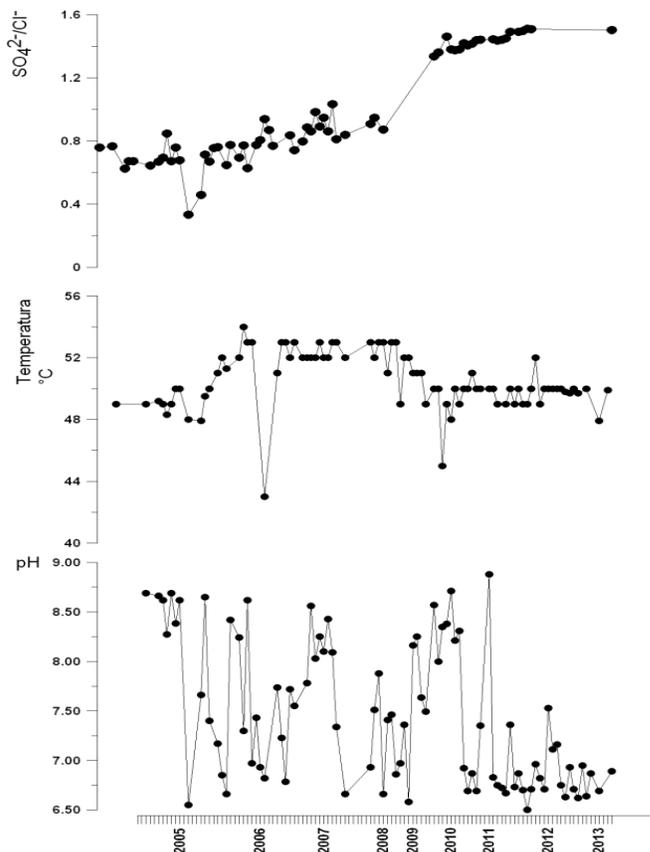


Figura 24. pH (acidez) de la depositación total ácida [húmeda (lluvia) y seca] recolectada en la estación de muestreo Caseta C, ca. 2,5 km al oeste del volcán Arenal. Valores de $pH \leq 5.6$ corresponden a lluvia ácida (debajo de línea azul). La línea roja es la tendencia promedio en el tiempo. Datos: Laboratorio de Geoquímica Volcánica del OVSICORI-UNA. Foto del volcán Arenal el 13 noviembre 2013 tomada por personal del hotel Arenal Observatory Lodge.

IV_4 V. Arenal: Fuente Termal Tabacón



La fuente termal Tabacón, ubicada aprox. 3.5 km al norte del volcán Arenal, mostró cambios significativos en las propiedades físico-químicas de sus aguas a mediados del año 2010 manteniéndose las mismas bastante constantes a lo largo de los últimos 3 años (Fig.25): 1) Las aguas cambiaron de ser alcalinas a ser neutras o ligeramente ácidas (pH's entre 6.5 y 7.0); 2) La temperatura promedio cayó 3°C y se mantiene desde entonces estable alrededor de los 50°C; 3) La razón SO_4^{2-}/Cl^- aumentó un orden de magnitud y tiende también a mantenerse estable.

Figura 25. Evolución de parámetros físico-químicos de las aguas del Río Tabacón, volcán Arenal, en los últimos 10 años. Datos: Laboratorio de Geoquímica Volcánica del OVSICORI-UNA.

V_ Volcán Rincón de la Vieja

V_1 V.Rincón de la Vieja: Geoquímica

En abril del 2013 se hicieron mediciones de la geoquímica de los gases emitidos por ambos, el lago y las fumarolas, gracias a una estación MultiGAS y filtros activos (filter packs) (Figs.26 y 27). Se encontró un contenido importante de cloruro de hidrógeno, HCl, en las emisiones de gases. Además, el lago presentó una temperatura de 29°C mediante una medición directa de una muestra de agua y a ~36°C con la cámara térmica. El pH estaba a ~0.1 el 7 de abril. Los valores obtenidos fueron muy similares a los de diciembre del 2012.

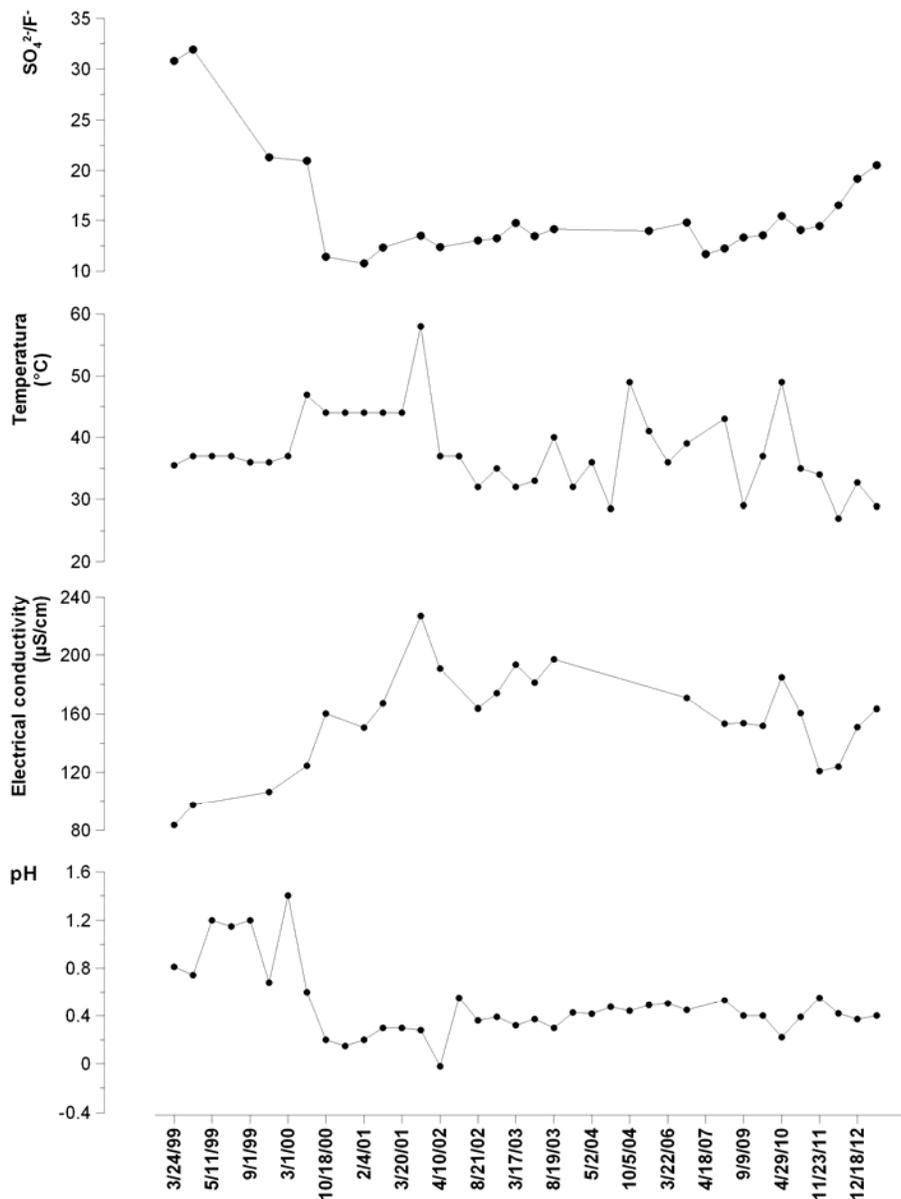


Figura 26. Evolución de la acidez (pH), temperatura, razón SO_4^{2-}/F^- conductividad eléctrica y concentraciones de iones fluoruro y sulfato en las aguas del lago ultraácido del Poás. Datos: Laboratorio de Geoquímica Volcánica del OVSICORI-UNA.

En general, las condiciones físicoquímicas del lago ultraácido son similares a las que se vienen observando desde el año 2000, las cuales sugieren que a lo largo de estos últimos ca. 10 años se ha estado dando una inyección sustancial de volátiles magmáticos hacia el lago (Fig. 26).



Figura 27. a) medición de concentración en gases mediante filtros activos (en la foto: Dra. Emanuela Bagnato, INGV-Italia), b) lado norte del cráter activo, c) medición de concentración en gases gracias a una estación MultiGAS (en la foto: Giancarlo Tamburello, INGV), d) Vista global del complejo volcánico Rincón de la Vieja desde Buenos Aires de Upala (Fotos: G.Avard, el 7 y 8 de abril del 2013)

V_2 V.Rincón de la Vieja: Otras observaciones

Las fumarolas de la zona interna norte del cráter activo presentaban temperaturas arriba de los 130°C (Fig.28). Las fumarolas a lo largo del camino de escalada en el flanco norte se mantuvieron a la temperatura de ebullición del agua (92°C el 7 de abril del 2013, 91°C el 18 de diciembre del 2012, 90°C el 14 de marzo del 2012).

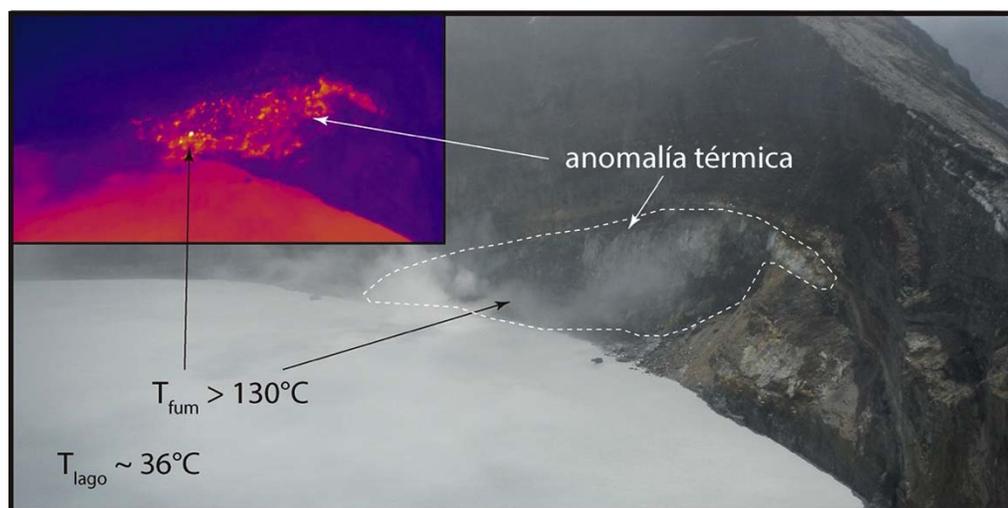


Figura 28. Zona fumarólica en el cráter activo del Rincón de la Vieja con temperaturas que sobrepasan 130°C por medición a distancia con cámara térmica FLIR SC660 (Fotos: G.Avard, 7 abril 2013)

En 2013, el lago siempre presentó una actividad convectiva intensa. En abril por ejemplo, se podía observar 2 celdas de convección permanentes, especialmente una con un aporte de calor notable cada ~3 min (Fig.29).

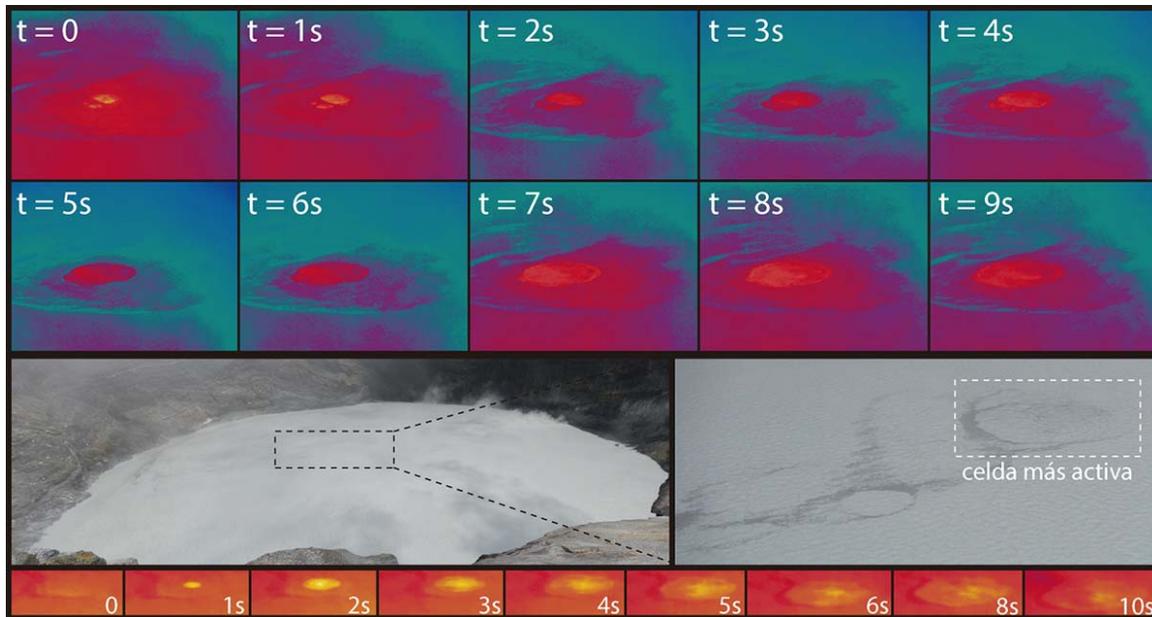


Figura 29. Celdas de convección alcanzando 10m de diámetro en el lago caliente ácido del cráter activo del Rincón de la Vieja. La evolución de los primeros 10 segundos de dos aportes de calor esta presentado en imágenes térmicas (Fotos: G.Avard, 7 abril 2013).

VI_ Complejo Platanar-Porvenir

El 4 de agosto, 2013, se registró un pequeño enjambre de sismos tectónicos dentro del edificio volcánico del complejo Platanar-Porvenir, ubicado al noroeste del volcán Poás. Se pudieron localizar 7 sismos con profundidades someras (menos de 10 km) y magnitudes entre 2 y 4, con ubicación hacia el suroeste del volcán Porvenir (Fig.30). El origen de la sismicidad es tectónico por la activación de una falla local.

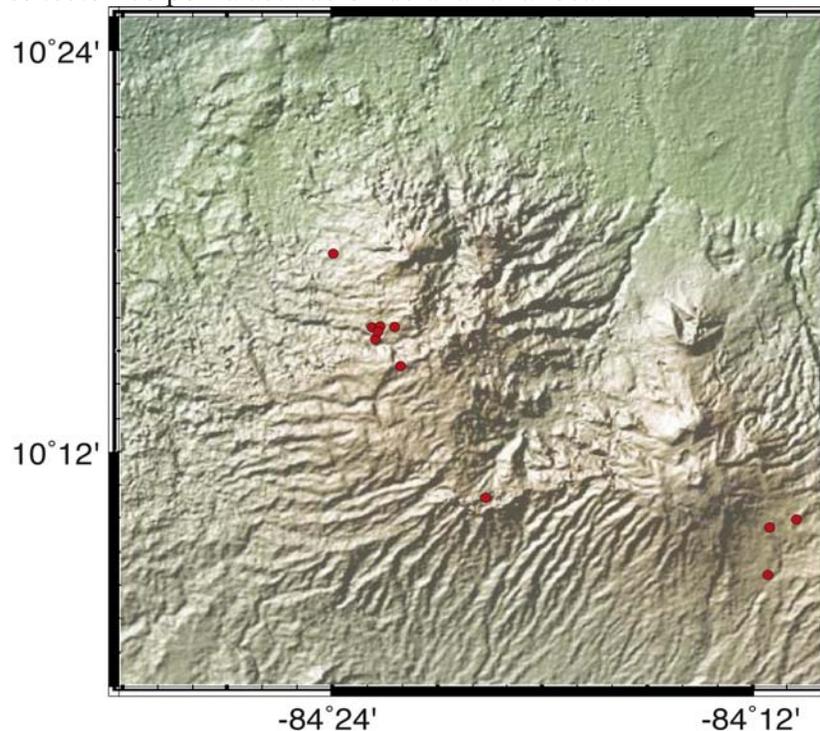


Figura 30: Mapa del complejo Platanar-Porvenir con los sismos localizados durante el mes de agosto, 2013 (puntos rojos).

Bibliografía:

- Avard G. (2010) Rheology of dacitic volcanoes: from magma chamber to eruptive style. Thesis de doctorado, Universidad de Missouri, USA.
- Bagdassarov N.S., Dingwell D.B., and Webb S.L. (1994) Viscoelasticity of crystal- and bubble-bearing rhyolite melts. *Phys. Earth and Planet Interior*, vol.83, pp.83-99.

Reconocimientos:

Se agradece a los funcionarios del Sistema Nacional de las Áreas de Conservación y los funcionarios de los Parques Nacionales de Costa Rica, así como a las personas que ayudaron con las mediciones, el trabajo de campo y de laboratorio presentado en esta publicación. Agradecemos sobremanera al Dr. Alessandro Aiuppa del INGV-Italia por aportar al OVSICORI-UNA el sistema MultiGAS que estamos utilizando actualmente como una herramienta novedosa y poderosa para la medición in situ e inmediata de las razones de volátiles magmáticos en los volcanes de Costa Rica.

Nuestro agradecimiento a la OFICINA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE ASISTENCIA PARA DESASTRES EN EL EXTRANJERO DE LA AGENCIA DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL (USAID/OFDA/LAC), por la donación de las cámaras web instaladas y administradas por el OVSICORI-UNA en los volcanes Turrialba y Poás.

Información previa de los volcanes monitoreados por el OVSICORI-UNA está disponible en las siguientes direcciones electrónicas de INTERNET:

- Boletines periódicos del estado de actividad de los volcanes de Costa Rica:
http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=section&id=3&Itemid=73
- Videos:
http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=79

Área de Vigilancia Volcánica
Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica
Universidad Nacional
OVSICORI-UNA
Campus Omar Dengo, Heredia
Costa Rica, América Central
Teléfonos: (+506) 2562 4001 (+506) 2261 0611
Fax: (+506) 2261 0303
ovsicori@una.cr
Website: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/>
Facebook: <http://www.facebook.com/OVSICORI?ref=ts>