

- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. (2006). Áreas de Amenaza Recurrente: su uso y regulaciones. Costa Rica.
- Comisión Nacional de Emergencias. Bases de Datos. Reportes de Comités de Emergencia Cantonales. Departamento de Prevención y Mitigación, Comisión Nacional de Emergencias, Costa Rica.
- Medina, J. y Romero, R. (1992). Los desastres sí avisan. Estudios de vulnerabilidad y mitigación II. En: Seminario taller "Tecnología Apropia para la Mitigación de Desastres". Perú. Juvenal Medina/Rocío Romero (Editores).
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Instituto Geográfico Nacional. (2005). "División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica". (2 edición). Instituto Geográfico Nacional, San José, Costa Rica.

CALLEJONES DE ACIDIFICACIÓN EN TRES VOLCANES ACTIVOS DE COSTA RICA.

ACIDIFICATION ALLEYS AT THREE ACTIVE VOLCANOES IN COSTA RICA.

*Eliecer Duarte González**

*Erick Fernández Soto***

RESUMEN

La acidificación producida por los volcanes en su entorno, deja marcas indelebles; temporales y permanentes. Tales huellas a veces se pueden mantener por décadas, dejando callejones de acidificación caracterizados por suelos desnudos y vegetación marchita o totalmente quemada. En este artículo se revisarán las generalidades del proceso de acidificación en los volcanes: Rincón de la Vieja, Poas y Turrialba. La acidificación de origen natural (lluvia, llovizna y neblina) es común a algunos de los volcanes activos como volcán Rincón de la Vieja, volcán Poas y más recientemente volcán Turrialba. En el pasado cercano, el volcán Arenal mantuvo una avenida de acidificación la cual se ha venido regenerando en años recientes. Algunas de las características comunes de estos callejones son: denudación del terreno, dimensiones variables, sustrato físico estéril, presencia de gases y condiciones climáticas específicas.

Palabras claves: Acidificación, Poas, Rincón de la Vieja, Turrialba, Volcanes, contaminación natural

* Universidad Nacional, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. (OVSICORI-UNA). Correo electrónico: eduarte@una.ac.cr

** Universidad Nacional, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. (OVSICORI-UNA). Correo electrónico: efernan@una.ac.cr

Fecha de recepción: 10 de enero de 2011
Fecha de aceptación: 8 de mayo de 2011

ABSTRACT

Acidification produced by volcanoes leaves clear marks in its surroundings: some temporary, some permanent. Such tracks often remain for decades, leaving acidification alleys characterized by bare soil and charred or devastated vegetation. No wonder why in literature these alleys are also called killed zones. They are more visible in tropical environments where thick vegetation grows rapidly and tall. Frequent covering of acid and corrosive gases impede development of pioneering species that otherwise would give support to taller species. Acidification of natural origin (from rain, fog or haze) is common to the volcanoes Rincon de la Vieja and Poás, and more recently at the volcano Turrialba. Until recent times, the volcano Arenal had an acidification alley, which is now fading due to regeneration. Some common characteristics of such alleys are: bare terrain, sterile soil and the presence of gases and specific meteorological conditions.

Key words: Acidification, Poas, Rincón de la Vieja, Turrialba, volcanoes, natural pollution

Introducción

La acidificación natural ocurre cuando la lluvia ácida incrementa debido a la salida de gases de fumarolas o lagos cratéricos. Efectos negativos tienen lugar a lo largo de regiones con vientos predominantes. El aumento de gases volcánicos produce incrementos en los aniones de origen magmático y decrementos en el pH de la lluvia, llovizna y niebla alrededor del punto de emisión. La deposición seca o húmeda depende de la estación en referencia.

Cambios agudos en la composición de la lluvia ácida (principalmente H₂S) inducen daños en los niveles superiores de árboles, arbustos y plantas menores. Más allá de las áreas protegidas, la acidificación puede impactar la industria lechera (pastos), plantaciones comerciales, bosques comerciales y la vegetación natural. Bosques comerciales y naturales han enfrentado degradación total y parcial debido a clorosis, necrosis y quemaduras totales de tejidos vegetales; debido a la deposición seca o húmeda. Algunas especies exóticas de plantas y árboles muestran ser más susceptibles a sufrir los efectos de la deposición ácida. Importantes parches de cultivos anuales y semi-anuales han sido severamente afectados también; más allá de la zona de aniquilamiento. Café, pastos, vegetales, plantas ornamentales y otros productos comerciales han reducido sensiblemente su cosecha debido a la defoliación anormal, la pérdida de flores, hojas tiernas y frutos. En el mismo sentido el ganado ha resistido: casos de diarrea, pérdida de peso, reducción de leche, abortos, muerte de terneros y otros desordenes digestivos.

Casos agudos de efectos en salud animal y humana (alergias, problemas respiratorios, irritación de ojos, abortos, muerte de reses, fluorosis y otros) no han sido sistemáticamente documentados.

Algunos asuntos deberían formar parte de la agenda del Ministerio de Salud; el agua para consumo humano, por ejemplo, en los parques nacionales es uno de ellos. En algunos casos el agua usada en comunidades distantes, viento abajo, dependen del acopio en las cabeceras de quebradas cercanas a la fuente de contaminación. Sin embargo los efectos por su consumo no han sido estudiados apropiadamente. Investigación futura debería incluir algo de su geoquímica, incluyendo elementos mayores y menores debido a su impacto en la salud de personas, plantas y animales.

Más aún, la corrosión sobre estructuras metálicas es una preocupación común en las vecindades de los volcanes. Más a menudo, que en áreas no volcánicas, el alambre de púas, techos y mallas deben ser reemplazados. Madera y otros materiales de construcción son también, aunque en menor grado, impactados por la acidificación local.

La contaminación vulcanogénica y su impacto en el ambiente, tanto como sus implicaciones sobre las actividades socio-económicas desarrolladas alrededor de los volcanes, son más severas durante la degasificación subaérea y eso apunta al papel positivo que desempeñan los lagos cratéricos como amortiguadores. Este es un aspecto importante a considerar debido a la frecuencia de los eventos y a los prolongados periodos de impacto sobre las mismas áreas.

Gases constantes es todo lo que hace falta para llevar a cualquier tipo de vegetación al punto de no retorno. La acidificación de los suelos no promueve el crecimiento normal como si ocurre en áreas menos afectadas.

Metodología

Para caracterizar estas áreas de denudación por gases se han visitado los volcanes por más de 25 años en labores de vigilancia volcánica. Visitas continuas han permitido la documentación fotográfica y videográfica de estos sitios especiales. En diferentes periodos de actividad extraordinaria (o descenso de la misma) se han podido observar y documentar cambios drásticos, relacionados con el exceso o ausencia de gases.

Con el fin de delimitar un área geográfica de afectación se han realizado sobrevuelos que permiten la gran panorámica y el contraste de las zonas de aniquilamiento, respecto a sus exuberantes vecindades. El contorno se ha dibujado en mapas topográficos de 1:50 000, después de la corroboración con fotografías aéreas (estereoscópicas y convencionales) e imágenes multiespectrales.

También con fines de documentación y seguimiento se han recolectado distintas muestras biológicas para fines comparativos con otros periodos de actividad del volcán así como con otras especies en zonas no afectadas por los gases. Estudios específicos, en los callejones ácidos; en suelos y vegetación se han realizado en el Volcán Poás. Al menos un estudio sobre el rol del dióxido de carbono (CO₂) en la vegetación se llevó a cabo en el Volcán Turrialba, recientemente. Asimismo, al menos un estudio detallado de las especies pioneras y regeneración se practicó en la zona de afectación del volcán Arenal.

Generalidades de los callejones de acidificación

Esta sección menciona algunas de las características generales de las zonas de aniquilamiento vegetal, cercanas a los volcanes. Aunque el texto no es exhaustivo, si es la primera vez que se sintetizan diversos tópicos relativos a tales manifestaciones volcánicas.



Figura. 1. Vista en planta de callejones de acidificación de volcanes: Rincón de la Vieja, Poás y Turrialba. Créditos: PRIAS-CENAT, Misión Carta y CATIE, respectivamente.

Denudación del terreno

La ausencia total o casi completa de vegetación es el indicador fehaciente de las condiciones rigurosas que promueve la desgasificación

volcánica cuando impacta. Algunas especies altamente resistentes logran sobrevivir a veces en modo temporal. Por su ubicación en la cúspide del macizo volcánico estos callejones están sometidos a fuertes vientos. Durante periodos en que la actividad gaseosa cede el avance de especies como musgos y líquenes, gana terreno produciendo así condiciones para que otras especies pioneras se sostengan.

Dimensiones del área

A menudo, por la dimensión y la falta de perspectiva, el visitante no se percata de que está ante un callejón que puede oscilar entre 1 y 2 km de ancho por varios km de largo. Se requiere un sobrevuelo o imágenes a gran altura para visualizar el área afectada. Estos callejones tienen un eje mayor que varía en afectación; dependiendo del nivel de actividad gaseosa, la velocidad y la constancia de los vientos. La sección distal tiende a reverdecer (o regenerar) cuando el alcance de las plumas volcánicas se contrae.

Substrato físico

El terreno afectado se muestra rocoso, duro y con incapacidad de desarrollar suelos orgánicos por la ausencia de vegetación. En coincidencia, a menudo estos mismos terrenos son los más afectados por el material de caída (piroclastos, cenizas) que esterilizan rápidamente por el sepultamiento, las quemaduras o la acidificación. Este sustrato inhibe el progreso rápido de especies que pueden desarrollarse saludablemente en otras condiciones a escasas decenas de metros, donde las condiciones son menos drásticas. Suelos incipientes o materiales capaces de sostener la vida vegetal fallan, debido al proceso de esterilización ocurrido en ellos. La lixiviación de minerales y nutrientes es común en este ambiente.

Presencia de gases

El flujo y las características de los gases es primordial para comprender la razón de estas avenidas de acidificación. El comportamiento de la actividad, a menudo intermitente, produce periodos de afectación extraordinarios,

que se traducen en el impacto en la superficie. El contacto seco o húmedo *per se* es razón de quemaduras diferenciales en el tejido vegetal. Sin embargo, factores como la presencia de aerosoles (sólidos envueltos en gas) y partículas (sólidos suspendidos en el aire) aumentan las lesiones en la vegetación y la infraestructura metálica. Entre los gases volcánicos más comunes se citan: el dióxido de carbono (CO₂) y el dióxido de azufre (SO₂). En menores cantidades, entre los corrosivos y ácidos se pueden citar: el Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), el hidrógeno (H₂), el monóxido de carbono (CO), el cloruro de hidrogeno (HCL), el fluoruro de hidrogeno (HF), y el helio (He).

Aspectos climáticos

Otro de los elementos que ofrece una explicación acerca de los callejones de acidificación es el clima. La presencia continua de la humedad (lluvia, llovizna, neblina) en las cimas volcánicas promueven la aceleración del impacto por lluvia ácida. Aunado a esto, la dirección predominante de los vientos es crucial. Para el caso de Costa Rica estas áreas de afectación muestran su eje mayor bien marcado hacia el oeste. Temporalmente hay desviaciones hacia el SW y NW, aumentando el abanico de impacto. Estacionalmente, los gases movidos siempre por los vientos, pueden virar en sentido sur o este. La producción de gases (en ocasiones combinados con aerosoles y partículas) mantiene la presencia constante de lluvia ácida con valores en la escala de acidez entre pH 3 y pH 5. (Los valores de pH de las deposiciones sean secas o húmedas por debajo de 5.6, se consideran ácidas).

Estudios de caso

Volcán Rincón de la Vieja

La zona de mayor impacto del volcán Rincón de la Vieja comprende unos 2 km de ancho por unos 4 km de largo, hacia el oeste del cráter principal. Los musgos y los líquenes que conforman un sustento nutritivo para otras especies son visibles en ese callejón, aunque sin llegar a progresar. En la época seca y debido a la intensa desecación de los pastos, en el sur y oeste de este macizo, es fácil confundir hasta donde alcanzan los efectos

de los gases. El área de afectación es fácilmente reconocible en los alrededores del cráter activo, el cono Von Seebach y las laderas empinadas al oeste. La zona verde colindante en ambos márgenes varía desde arbustos leñosos y enanos hasta plantas rastreras densamente distribuidas al margen del callejón desnudo.

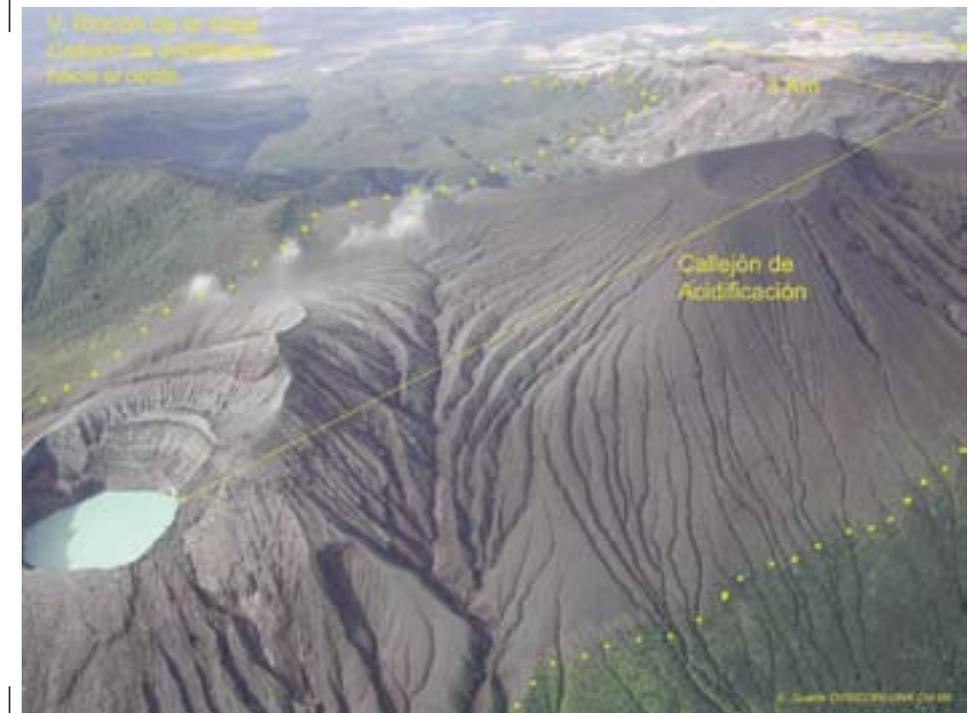


Figura 2. Callejón de acidificación en el Volcán Rincón de la Vieja. Cráter Von Seebach, a la derecha.

Volcán Poás

Para el caso del volcán Poás este callejón es el más fácil de identificar por el visitante. Desde el mirador a la izquierda (hacia el oeste), hasta alcanzar el Cerro Pelón y en dirección hacia los Bajos del Toro se aprecia este singular sector. El registro fotográfico y más atrás en el pasado; las descripciones de los primeros investigadores y los curiosos coinciden en que esa zona devastada ha permanecido ahí por siglos. El hecho más reciente y dramático, de tipo freatomagmático tuvo lugar a inicio de los 50, afectando con bombas, piroclastos y ceniza a esa avenida. Muchos de

los bloques métricos que se observan hasta 1.5 km de distancia del cráter principal se encuentran intactos y por ellos no ha posado sus raíces planta alguna. La distribución de estos materiales enormes se encuentra en forma de circunferencia alrededor del cráter, pero con predominancia (y mayor alcance) hacia el oeste. Para periodos extraordinarios de degasificación (89-90, 94 y 99) este callejón sostuvo el efecto de grandes cantidades de gas que se extendía con olores hasta unos 12 km (en las cercanías de Grecia y Sarchí).



Figura 3. Callejón de acidificación en el volcán Poás. En primer plano lago Botos.

Volcán Turrialba

Finalmente, el volcán Turrialba inició a partir de 2005 con una fase de degasificación en aumento, que promueve un patrón de callejón de acidificación similar a los otros dos volcanes citados arriba. Desde los tímidos penachos de gas que se asomaron por el borde del cráter activo hasta las enormes columnas recientes, la dirección predominante es oeste. Los gases

que constantemente visitan las paredes vegetadas han producido el éxodo de muchas familias que dependían de ese sector para su sustento diario. A la devastación del bosque en los flancos superiores le siguió la intensificación de quemaduras en el pasto comercial. Paralelo a efectos agudos en la vegetación natural y exótica, se da un proceso intenso de corrosión sobre todo elemento metálico en el radio de acción de los gases. Después de casi dos años de quemaduras totales; el bosque y potreros comienzan a mostrar importantes manchas de sustrato oscuro. A pesar de unos 145 años de ocupación orgánica de los flancos de este volcán, el desarrollo del suelo ha sido muy pobre, por lo que ahora aparece la ceniza negra del último período freatomagmático de dicho volcán. De mantenerse el flujo de gases observado en los últimos cinco años y las características químicas de los mismos, es posible prever que un callejón de acidificación se podría instaurar en ese sector. Los deslizamientos en la cúspide (otrora cubierta parcialmente por arbustos resistentes), la caída con efecto de domino de grandes árboles en las laderas empinadas y la aparición de áreas desnudas de vegetación pueden conformar las primeras etapas de una región incapaz de reverdecer. El área de impacto total mide unos 2.5 km de ancho (desde el flanco sur del Cerro San Juan hasta La Picada) y unos 3.5 km de largo (hasta el cauce del Río Toro Amarillo). Sería viable pensar que sí el viento se fortalece (como lo hace durante la época de alisios) ese efecto puede extender la afectación hacia los caseríos ubicados en el flanco Norte del volcán Irazú (San Gerardo, La Peñas, San Cayetano). Si el volcán Turrialba da muestras claras de la ocupación de un territorio por acidificación intensa podría permanecer así por años o incluso décadas; por tanto, las medidas a largo plazo deberían ser tomadas desde ahora. Hasta el momento la fase de degasificación y el proceso de degradación al oeste es el único escenario en el que se encuentra el volcán Turrialba.



Figura 4. Callejón de acidificación en el Volcán Turrialba. En primer plano, cauce del Río Toro Amarillo.

Conclusiones

Si bien el proceso de acidificación natural producido por un volcán no se puede aminorar, sí hay medidas generales que se pueden tomar para reducir el impacto económico que pueden producir. Si existen vías estatales para que se adquieran algunas de estas tierras con fines de conservación, los afectados podrían tener una salida que les permita rehacer sus actividades en una región menos drástica. Si la opción de los finqueros y vecinos de la zona es quedarse, pues se debe también reducir el impacto inmediato del efecto de los gases. El uso de accesorios e implementos resistentes a la corrosión, por ejemplo. Un tratamiento balanceado de basificación de suelos (previa consulta con el profesional del ramo) puede aumentar positivamente la respuesta de pastos y cultivos en las zonas menos afectadas. Sobra mencionar las medidas pertinentes que se deben tomar para asegurar el menor impacto de los gases sobre la salud humana.

En otros volcanes con similares callejones de acidificación al que ahora inicia el Turrialba, la sabia naturaleza ha podido mantener despejado un espacio ocupado por la actividad pasiva del volcán. En el caso de un espacio ocupado por el ser humano, se requiere la decisión sabia de los que allí conviven para evitar males mayores. De mantenerse la tendencia con que se ha presentado el volcán Turrialba en los últimos cuatro años, las condiciones para la vida y el aprovechamiento económico serian precarias. De hecho, el impacto actual en la flora y la fauna redujo severamente la biodiversidad de esa región, contigua al volcán. La degradación vegetal cubre un suelo acidificado que, solo la naturaleza podrá restablecer a un plazo desconocido, una vez que el efecto de acidificación cese.

Bibliografía

- Alfaro, R.; Barquero, J. y Fernández, E. (1986). Lluvia acida de origen volcánico. En: *Boletín de Vulcanología N° 17*. OVSICORI-UNA. pp. 15-22.
- Barquero, J. y Fernández, E. (1990). Erupciones de gases y sus consecuencias en el volcán Poás, Costa Rica. En *Boletín de Vulcanología*. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. Universidad Nacional, Heredia. pp. 13-17.
- Baxter, P. (1996). Air and precipitation monitoring around Poás Volcano: Costa Rica. National Environmental Technology Centre. Report AEA/RAMP/20106001/01. p 22.
- Baxter, P. (2000). "Impacts of Eruptions on Human Health". *Encyclopedia of Volcanoes*. New York. Academic Press. pp. 1035-1043.
- Calderón, T. (2005). *Valoración cuantitativa de la corrosividad de materiales metálicos expuestos al ambiente del volcán Poás*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Metalurgia. Escuela de Ciencias e Ingeniería de los Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. p 113.
- Duarte, E. (1990). Algunos aspectos del Riesgo volcánico en el Volcán Turrialba. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Geografía Física. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. p. 118

- Fernández, E. (1987). *Caracterización Química de la Precipitación en el área adyacente al Volcán Turrialba*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Geografía Física. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. p. 81
- Kopper, N. (1989). Informe de la Comisión Investigadora de los Daños Causados por la Lluvia ácida proveniente del volcán Poás en Grecia. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Valle Central Occidental MAG – Grecia. p. 11
- Kopper, N. (1990). Informe de la situación actual de las fincas lecheras en zonas afectadas por la lluvia ácida. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Valle Central Occidental MAG – Grecia. p. 13
- Nicholson, R. A.; Howells, M. F.; Roberts, P. y Baxter, P.J. (1992). Gas Geochemistry Studies at Poás Volcano, Costa Rica. *Technical Report N° WC /92/10*. British Geological Survey, Overseas Geology Series. p. 19
- Nicholson, R. A.; Howells, M. F.; Baxter, P. J.; Clegg, S. L. y Barquero, J. (1993). Gas Geochemistry Studies at Poás Volcano, Costa Rica. *Technical Report N° WC /93/21*. British Geological Survey, Overseas Geology Series. p. 23
- Malavassi, E.; Alfaro, R.; Fernández, E.; Segura, J. y Vindas, J. (1984). Lluvia ácida de origen volcánico en Costa Rica y su impacto. En: *Primer Congreso de Geografía en Costa Rica*. San José. p. 25
- Martínez, M.; Fernández, E.; Valdés, J.; Barboza, V.; Van der Laat, R.; Duarte, E.; Malavassi, E.; Sandoval, L.; Barquero, J. y Marino, T. (2000). Chemical evolution and volcanic activity of the active crater lake of Poás volcano, Costa Rica, 1993 – 1997. *Journal of volcanology and geothermal research* N° 97. pp. 127 – 141.
- Persson, G. (1982). What is acidification? In Acidification today and tomorrow. Swedish Ministry of Agriculture
- Posla, H. (2001). *Efecto de la precipitación ácida sobre los rendimientos económicos del cultivo de café, en la zona del volcán Poás*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Economía Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. p. 69

- Sandoval, L. (1996). *Efecto de las emisiones volcánicas sobre la vegetación del parque Nacional Volcán Poás*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Biología Tropical. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. p. 106
- Rodríguez, A.; Barquero, R.; Solís, A. y Soto, H. (1989). Diagnóstico de necesidades, comunidad de San Luis de Bolívar, Grecia. Dirección Nacional de Desarrollo de la Comunidad. San José, Costa Rica. p. 7
- Rowe, G. L. (1991). *The acid crater lake system of Poás volcano, Costa Rica: geochemistry, hydrology and physical characteristics*. Ph.D. thesis. Pennsylvania State University. p. 309
- Sandoval, L. (1996). Efecto de las emisiones volcánicas sobre la vegetación del Parque Nacional Volcán Poás. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Biología Tropical. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Biología, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. p. 109
- Smithsonian Institution. (1994). Bull. Global Volcanism Network, Poás Volcano 19 (4), 4.
- Smithsonian Institution. (1994). Bull. Global Volcanism Network, Poás Volcano 19 (5), 12 -13.
- Smithsonian Institution. (1994). Bull. Global Volcanism Network, Poás Volcano 19 (10), 11.
- Smithsonian Institution. (2003). Bull. Global Volcanism Network, Poás Volcano 23 (9), 15.
- Zárate, E. (1978). Comportamiento del viento en Costa Rica. Nota de investigación N° 2. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. p. 31