

## La Lluvia Ácida en Volcanes de Costa Rica.

*E. Duarte, E. Fernández.*

OVSICORI-UNA [eduarte@una.ac.cr](mailto:eduarte@una.ac.cr)

### Resumen:

Se considera ácida a la lluvia con niveles de pH menor a 5.6. Aquí se abordará la lluvia ácida de origen volcánico que se produce cuando la emisión de gases (principalmente dióxido de azufre,  $\text{SO}_2$ ), entra en contacto con precipitación, niebla o llovizna y la deposita en la superficie afectando plantas, personas, animales y la calidad del aire. Por paradójico que parezca este tipo de contaminación ambiental ha afectado al planeta por tiempos inmemoriales y solo recientemente es el hombre quién entra a producir esta acidificación en forma artificial. Por lo tanto su origen puede ser natural o humano. Fig 1.

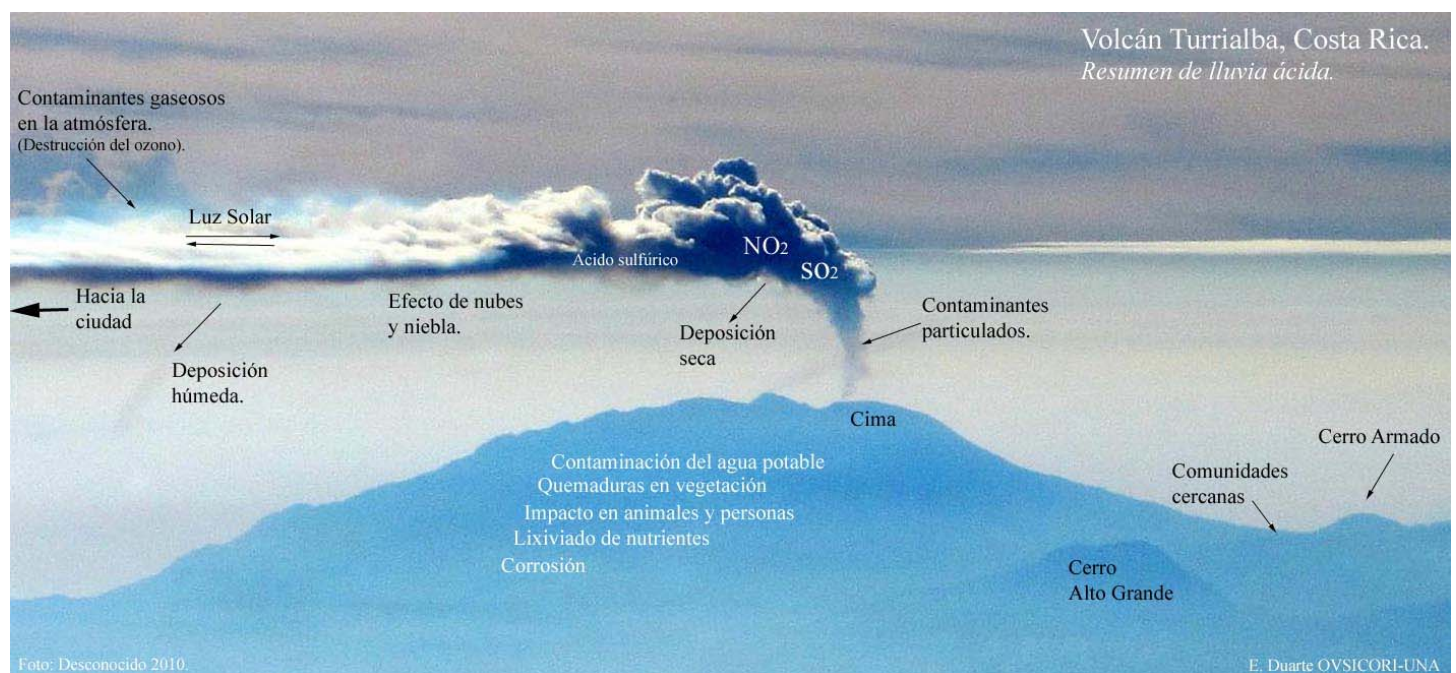


Fig 1. Esquema resumen de procesos involucrados en la lluvia ácida de origen volcánico.

A continuación se describirán algunas observaciones cualitativas del efecto producido por lluvia ácida en 3 volcanes activos de Costa Rica que han mantenido una pluma de gases permanente o intermitente en los últimos 30 años. Debido a las huellas que deja la acidificación sobre la superficie vegetal y metálica se usarán esos sustratos para ilustrar este ensayo. Sin embargo la degradación de suelos, efectos sistémicos en especies arbóreas, en accesorios de uso residencial y en la salud humana y animal se mencionan aunque su cuantificación sea apenas incipiente.

A pesar de que la lluvia ácida en animales y personas no haya sido estudiado a fondo alrededor de volcanes en Costa Rica, sí se sabe del impacto directo e indirecto, analizado en otros ambientes similares de sociedades más visionarias y meticulosas. Se presentaran algunas graficas y mapas con la intención de ilustrar aspectos geográficos y geoquímicas relevantes para estudios futuros.

### Introducción:

El proceso de la lluvia ácida deriva de la formación de contaminantes producto de la oxidación de óxidos nitrosos ( $\text{NO}_x$ ) o dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) al ser inyectados en la atmósfera. Como ese proceso de alteración química puede durar días, la cobertura geográfica de esos contaminantes pueden abarcar muchos kms. (En área y distancia) y afectar en forma seca o húmeda.

Aunque no todos los ecosistemas son afectados de igual modo, la lluvia ácida puede producir cambios importantes en los cuerpos de agua y el bosque. La acidificación del agua no solo afecta la potabilidad de ese recurso sino que produce impacto en la flora y fauna acuática. De hecho esas alteraciones producen altibajos químicos en el sustrato alrededor de los cuerpos de agua hasta causar solubilidad de metales tóxicos que eventualmente pueden terminar en el tracto humano o animal.

Los estragos en vegetación natural o introducida no solo son visibles en forma de clorosis y/o necrosis sino que los efectos acumulativos de la lluvia ácida en los suelos producirán eventualmente severos cuadros de nutrición alterada. De hecho los suelos silíceos alrededor de nuestros volcanes muestran mayores limitaciones para neutralizar la citada agresión ácida. Problemas adicionales por esta alteración ácida resultan en daños en crecimiento y rendimiento de las plantas por sobre nutrición de solo algunos componentes básicos en la dieta vegetal o bien en reducción de organismos intolerantes a los cambios químicos y físicos del suelo. Un cuadro integral de efectos negativos en los bosques o plantaciones industriales redundara en; disminución de cosechas, incapacidad defensiva y por tanto reducción de la biodiversidad y/o de la economía regional. Fig 2.



Sector NW, V. Turrialba. Gabriela Tellez 16 Oct 09  
*Fig 2. En plena estación lluviosa (octubre 2009) las paredes oeste y suroeste del V. Turrialba se quemaron en forma aguda pasando de amarillo intenso a un naranja brillante.*

La acumulación de metales tóxicos que terminan en la cadena alimenticia del hombre no se ha analizado en Costa Rica aunque hay estudios que muestran efectos directos e indirectos. Mas aún, estudios en salud humana en el futuro podrían identificar hasta que punto algunas comunidades expresan su afectación en forma de alergias, males respiratorios crónicos, tos, etc. Las estadísticas sanitarias, básicas para conocer valiosos detalles sobre estos aspectos, se hacen necesarias con cada evento extraordinario de cada volcan.

### **La lluvia ácida en volcanes de Costa Rica:**

En nuestro país la afectación por lluvia ácida ha sido pobremente estudiada. Apenas en años recientes se comienza a tener una idea geográfica de las áreas más severamente afectadas y las características básicas de esa acidificación. Por la dirección prevaleciente de los vientos al menos 3 volcanes muestran actualmente las huellas mas profundas de la acidificación por gases emitidos en sus cimas. En este ensayo se revisaran las generalidades de la lluvia ácida en los volcanes: Rincón de la Vieja, Poás y Turrialba. De hecho y vistos desde el aire esos volcanes muestran una especie de callejón de acidificación que se extiende por muchos kms. A partir del cráter activo. El volcan Arenal mantuvo efectos similares a estos 3 mencionados aquí, sin embargo en los ultimos 15 años una reducción de la emanación gaseosa ha permitido la recuperación vegetal en el flanco oeste. Fig 3.

Volcán Arenal, Costa Rica.  
Quemaduras en flanco E y NE  
por inversión de vientos.

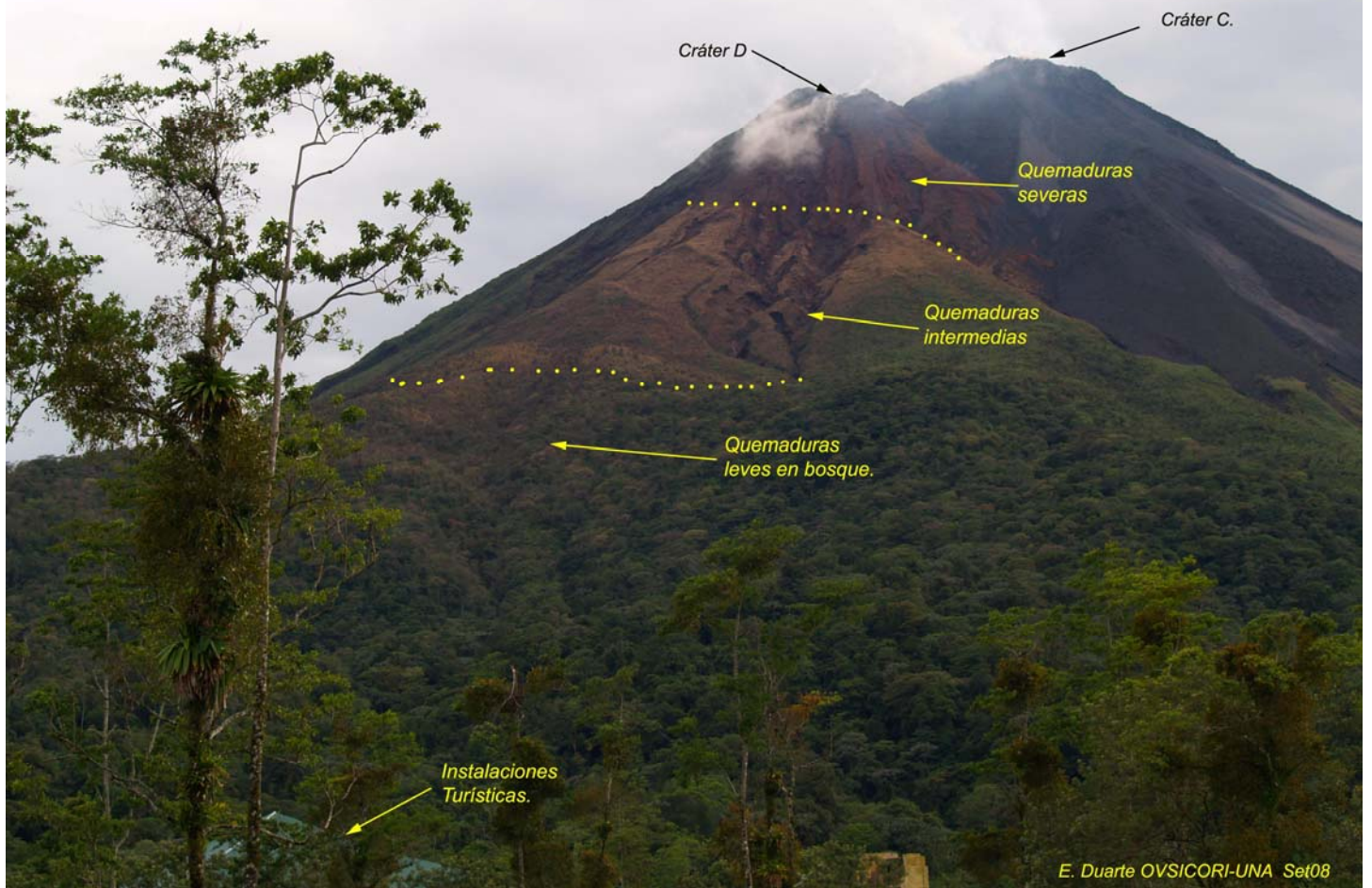


Fig 3. Afectación temporal por acidificación hacia el noreste en el V Arenal. Los efectos mas permanentes hacia el oeste han desaparecido en años recientes.

Entre las características más comunes de esas avenidas de acidificación están: denudación del terreno, defectos físicos en el suelo y la vegetación y presencia de gases en forma casi sostenida. Por razones meteorológicas y por su posición en el trópico, nuestro país aumenta el efecto de esos gases naturales. La humedad, presente todo el año, contribuye a la humectación corrosiva de superficies impactadas por deposición activa o pasiva. Para mayores detalles visitar el documento completo en: [http://www.ovsicori.una.ac.cr/vulcanologia/informe\\_tecnico.htm](http://www.ovsicori.una.ac.cr/vulcanologia/informe_tecnico.htm)

### ***Volcán Rincón de la Vieja:***

La zona de mayor impacto por lluvia ácida en el volcán Rincón de la Vieja comprende unos 2 km de ancho por unos 4 km de largo, hacia el oeste, del cráter principal. Apenas musgos y 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 suroeste y oeste de este macizo (sector de Guanacaste), 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 a lo largo del callejón desnudo. Fig 4.

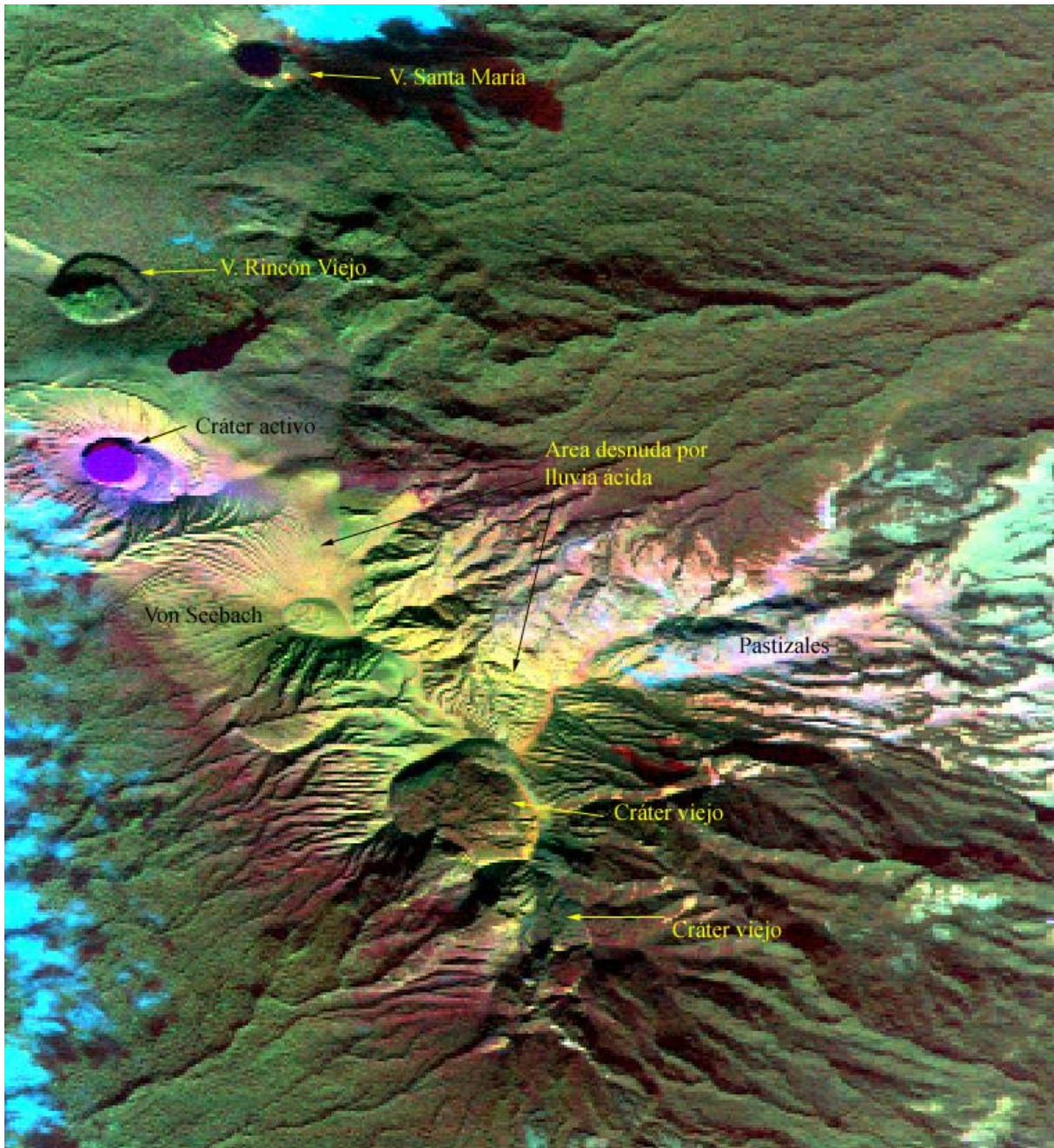


Fig 4. Imagen satelital con color falso mostrando el sector mas afectado por acidificación en la cima y alrededores del macizo del V Rincón de la Vieja. (Cenat-Prias).

El área de devastación se encuentra desde el cráter (semi-colgante en la ladera norte) hasta los pastizales pamperos ya mencionados. Como ese sector abarca principalmente la cima, no es visible, desde las partes bajas del macizo para la mayoría de los visitantes. Por razones de dificultad de acceso y por los pocos efectos conocidos por los pobladores en las partes bajas no se ha considerado de prioridad el extender una red de muestreo de colectores de lluvia ácida en la región, como si se ha hecho con otros volcanes. Es por ese motivo que los datos cuantitativos son muy escasos e intermitentes. Sin embargo, en caso de actividad extraordinaria o erupciones de gas y ceniza ese sector puede ser cubierto por colectores para caracterizar químicamente esa avenida de afectación. Aunque la emanación de este volcan es bastante menor a la de los otros dos volcanes el efecto de aniquilación se ha mantenido por siglos, de acuerdo a recuentos históricos. Cuando han ocurrido eventos de actividad extraordinaria se ha documentado puntualmente los efectos rápidos en la vegetación siguiendo la misma área geográfica.

### **Volcán Poás:**

La ecuación de la lluvia ácida en el V Poás se compone de algunas variables: presencia de lago caliente, presencia del domo (y otras estructuras que aportan gases y vapor), carácter cambiante del foco de mayor actividad volcánica en la gran caldera así como los patrones meteorológicos que se encargan de la distribución de los gases. No siempre la desecación del lago da como resultado mayores niveles de lluvia ácida sin embargo

la volatilidad de sedimentos finos hasta las áreas atacadas por gases sí tienden a mostrar más impacto directo y rápido en la superficie afectada. En caso de eventos freáticos se ha notado mayor alcance de los sedimentos finos en la dirección prevaleciente del viento y secamiento acelerado del lago caliente. La evaporación sobre la superficie del lago se tiene, también, como un elemento de aporte a la atmósfera contribuyendo con indicadores de mayor acidez. La tendencia de los vientos alisios a soplar del Caribe hacia el Pacífico hace que el área de mayor devastación vegetal se encuentre hacia el oeste y suroeste de la cima, caracterizando un callejón de acidificación. Fig 5.



*Fig 5. Vista del callejón de acidificación del V Poás en dirección oeste. Al fondo, abajo, la comunidad de Bajos del Toro. Foto: Desconocido.*

Después de la última actividad freatomagmática del V. Poás (1953-55) se han registrado algunos eventos de actividad extraordinaria: En los años 1989-90 se produjeron emisiones vigorosas de gases y sedimentos que fueron dispersados por los vientos predominantes en dirección W y SW, hasta unos 18 Km de la fuente; alcanzando zonas urbanas. En 1994, la emisión de gases y sedimentos fueron dispersados, de nuevo, hacia el flanco W y SW alcanzando comunidades de importancia numérica y económica. El lago ácido se seco completamente y los efectos ocasionados por la lluvia ácida se agudizaron.

En menor escala, entre mediados de 1999 y principios del 2000 se produjeron efectos en la vegetación circundante a la fuente de emisión. También hubo algunos reportes de visitantes y funcionarios acerca de molestias provocadas por los gases volcánicos. Finalmente, a fines de marzo de 2006 se producen al menos 3 explosiones freáticas bien documentadas. La caída de los sedimentos más gruesos se limitó a un sector cercano al cráter y los más finos fueron llevados por los vientos predominantes hacia el flanco SW. Cabe señalar que el nivel de evaporación del lago, comenzó desde abril del año 2005, manteniendo efectos en la vegetación adyacente al cráter.

En dos de los primeros eventos el impacto en; comunidades, funcionarios, vegetación, ganadería e industria lechera fue directo, el cierre del parque se dio por periodos muy cortos y aún así hubo molestia en comerciantes, por la reducción drástica en las ventas. Para el caso del volcán Poás este callejón es el más fácilmente identificable 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 curiosos coinciden en que esa zona devastada ha permanecido ahí por siglos. 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 12km (en las cercanías de Grecia y Sarchí). De hecho con la afectación aguda de gases en 1990 hubo intentos aislados por documentar esos efectos en salud humana y animal así como en cuantificar los efectos en las actividades agrícolas. El impacto principal se documentó en especies silvícolas (naturales y cultivadas), café, pasto, fresas, helechos, tomate, etc. Algunas cifras obtenidas en documentos específicos dan cuenta de la acumulación de efectos en esas zonas bajas del macizo del Poás.

### ***Volcán Turrialba:***

El volcán Turrialba inició a partir del 2005 con una vigorosa fase de degasificación que promueve un callejón de acidificación similar a los otros 2 volcanes citados arriba. Desde los tímidos penachos de gas que se asomaron por el borde del cráter activo, en los primeros años del 2000, hasta las enormes columnas recientes; la dirección predominante es oeste y suroeste. Los gases que constantemente visitan las paredes vegetadas han producido el éxodo de muchas familias que dependían de esos sectores para su sustento diario. A la devastación del bosque en los flancos superiores le sucedió 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 2 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 de suelo ha sido muy pobre, por lo que ahora aflora la ceniza negra del último periodo freatomagmático de dicho volcán. De mantenerse el flujo de gases observado en los últimos 5 años y las características químicas de los mismos es posible prever que un callejón de acidificación se podría instaurar en este sector. Fig 6.



*Fig 6. El sector de La Silvia ha sufrido el embate de gases por unos 6 años con consecuencias económicas incalculables.*

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 puede conformar las primeras etapas de una región incapaz de reverdecer. El área de impacto total mide unos

2.5km de ancho (desde el flanco sur del Cerro San Juan hasta La Picada) y unos 3.5km de largo (hasta el cauce del Río Toro Amarillo). Sería viable pensar que si el viento se fortalece (como lo hace durante la época de alisios) ese efecto puede extender afectación mayor 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. Las erupciones freáticas por dos años consecutivos en el mes de enero (2010 y 2011) han sido tal vez los eventos más notorios de material sólido expulsado por este volcán.

### ***Comentarios finales:***

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 se 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 4 años las condiciones para la vida y el aprovechamiento económico serían precarias. De hecho el impacto actual en flora y 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. et al. Lluvia ácida de origen volcánico. Boletín de Vulcanología. OVSICORI-UNA. Bol No 17: 15-22. 1986
- Calderón, T., 2005. Valoración cuantitativa de la corrosividad de materiales metálicos expuestos al ambiente del volcán Poás. Tesis Lic. En Ingeniería en Metalurgia. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ciencias e Ingeniería de los Materiales. Cartago, Costa Rica. p 113.
- Duarte, E. Algunos aspectos del Riesgo volcánico en el V. Turrialba. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional. Heredia, 1990. 118p.
- Fernández, E. Caracterización Química de la Precipitación en el área adyacente al Volcán Turrialba. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional. Heredia, 1987. 81p.
- Martínez, M., Fernández, E., Valdés, J., Barboza, V., van der Laat, R., Duarte, E., Malavassi, E., Sandoval, L., Barquero, J., 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. 97, 127 – 141.
- Posla, H., 2001. Efecto de la precipitación ácida sobre los rendimientos económicos del cultivo de café, en la zona del volcán Poás. Tesis Lic. En Economía Agrícola. 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 Lic. En Biología Tropical. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 106 p.
- Zarate, E. Comportamiento del viento en Costa Rica. Nota de investigación No2. San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. 1978. 31p.