

Evaluación de algunos efectos del fenómeno de lluvia ácida como producto de la actividad eruptiva del volcán Arenal, San Carlos, Costa Rica

Investigador responsable: Adolfo Chaves C.

Otros investigadores: Roberto Gallardo L., Geovanny Méndez S.,

Francisco Rodríguez B. y Eida Solís E.

Introducción

Después de la erupción del Volcán Arenal en 1968, la actividad eruptiva se ha mantenido constante a través del tiempo. Dentro de las regiones más afectadas se encuentran el cantón de Tilarán, así como parte de los cantones de San Carlos y San Ramón. Lo anterior se manifiesta principalmente como:

- Destrucción de la zona agrícola por efecto de los materiales eruptivos.
- Variación de las sustancias presentes en el medio (aire, suelo y agua), con el correspondiente efecto en los ecosistemas.
- Afecciones digestivas y respiratorias en los pobladores.
- Deterioro de la infraestructura.

Con la presente investigación se determinaron, en una primera etapa, los niveles de acidificación atmosférica en los alrededores del Volcán Arenal, y en la segunda etapa, el alcance del fenómeno en la zona, así como los efectos de la lluvia ácida en la velocidad de corrosión en láminas metálicas y en la composición química y las poblaciones de microartrópodos del suelo. Además se realizó un estudio socioeconómico de la población afectada y su percepción de los efectos negativos de la lluvia ácida en su salud.

Objetivos

- Cuantificar la intensidad y determinar la dirección del fenómeno de lluvia ácida

como producto de la actividad eruptiva del Volcán Arenal.

- Determinar el alcance del fenómeno de lluvia ácida como producto de la actividad eruptiva del volcán Arenal en dirección a la pluma de gases.
- Determinar y comparar las velocidades de corrosión de cuatro materiales de interés industrial (cobre, aluminio, acero y zinc), y relacionarlo con el nivel de acidez de la precipitación pluvial.
- Realizar estudios socioeconómicos y de salud pública en las comunidades ubicadas en el área crítica de precipitación ácida como producto de la actividad eruptiva del volcán Arenal.
- Determinar el efecto de la lluvia ácida producida por el volcán Arenal sobre la biodiversidad y estado de microartrópodos en ambientes con diferente uso del suelo.
- Cuantificar el efecto que ejerce la precipitación ácida sobre el pH de la disolución del suelo, la acidez intercambiable, y el contenido de los principales elementos nutrientes del suelo.

Metodología

Cuantificación del fenómeno de lluvia ácida

Se establecieron, en una hoja cartográfica, tres círculos concéntricos alrededor del volcán con

radios de 2, 4 y 6 km. Se instalaron 16 colectores para agua de precipitación. Los colectores consisten en un recipiente de polietileno color café, de un litro de capacidad con un embudo de vidrio adaptado mediante un tapón de hule horadado. Cada colector se colocó a 1,5 m del suelo de tal forma que quedara libre de la acción de animales, hojas de árboles, u otras formas de contaminación. Las muestras de agua se colectaron cada quince días durante dos años y se llevaron al laboratorio para la determinación del pH.

Determinación del área de influencia

Una vez cuantificado el fenómeno, se ubicaron colectores de lluvia, como los descritos anteriormente, en sitios que se seleccionaron tomando en cuenta la dirección de la pluma de gases. Los sitios de muestreo fueron variados a medida que se obtenían resultados positivos en la acidez de las precipitaciones, hasta determinar las zonas donde se minimizaron los efectos del fenómeno.

Efecto en la corrosión de metales

Se colocaron sesenta láminas, quince de cada uno de los materiales estudiados (cobre, aluminio, acero y zinc) de 15 cm de largo por 10 cm de ancho en cuatro estaciones de muestreo, seleccionadas de forma que dos de ellas correspondieran a lugares en donde, en la primera etapa del proyecto, se detectó la presencia permanente de lluvia ácida. Las otras dos estaciones se ubicaron "fuera" de la influencia de la lluvia ácida producida por la actividad eruptiva del volcán Arenal, pero donde tuvieran similitud respecto a otras variables climatológicas, tales como: precipitación, temperatura promedio y humedad. Así, las estaciones de muestreo se establecieron en Tronadora (Estación metereológica del ICE) y Cañas (Estación metereológica La Pacífica). Estas corresponden a evaluaciones con y sin lluvia ácida respectivamente. Las otras se ubicaron en Sangregado (Estación metereológica del ICE) y Santa Clara (Estación metereológica del IMN, ITCR), en orden con y sin lluvia ácida.

Las láminas de los materiales (probetas) se colocaron, debidamente identificadas, en mesas diseñadas para este fin, y que consistieron en estructuras construidas con angular de hierro de 1" por 1/4", formando una "mesa" a 45°, y se utilizó tubo de PVC de 1/2" con una ranura para sujetar las probetas.

Para determinar el grado de corrosión de los diferentes materiales, se cuantificó la pérdida de peso de cada una de las láminas, haciendo la diferencia entre el peso antes de la exposición (peso inicial) y el peso al retirar la lámina. Los retiros se realizaron a los 6, 12, 18 y 24 meses, y en cada ocasión se retiraron tres láminas de cada material. En todos los casos, las láminas fueron sometidas a procesos de limpieza según la especificación ISO/DP 9226, tanto antes de la exposición como al finalizar cada período y luego secadas y pesadas, repitiendo el proceso (limpiar, secar y pesar), hasta obtener peso constante en balanza analítica.

Se calculó la velocidad de corrosión para cada uno de los materiales estudiados, expresándola en $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{año}$.

Estudio socioeconómico y efectos en la salud

Se identificaron dos grupos de comunidades: uno denominado experimental (cinco comunidades afectadas por la lluvia ácida) y otro grupo (control), con cuatro comunidades, donde se había determinado que la intensidad del fenómeno era menor. Para la obtención de los datos se confeccionó un cuestionario que incluyó cuatro aspectos: información socioeconómica, uso de la tierra, efectos del fenómeno en la infraestructura y enfermedades más frecuentes. El grupo experimental abarcó 1164 personas y el grupo control 474.

Los cuestionarios fueron elaborados por el grupo investigador y luego aplicados y analizados por estudiantes de los cursos de Seminario de Estudios Costarricenses del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede San Carlos, con la asesoría de los investigadores del proyecto.

Efectos sobre las poblaciones de microartrópodos del suelo

Se seleccionaron dos sitios de muestreo, uno a 6 km del volcán Arenal en dirección suroeste, sometido directamente al efecto de la pluma de gases, en la comunidad denominada El Castillo. El otro, localizado al sureste, en dirección opuesta a la pluma de gases, en la comunidad denominada San José de la Tigra; ambos suelos sometidos a pastoreo extensivo. En cada una de las localidades se tomaron dos muestras cilíndricas de 1000 ml (8 cm de diámetro por 20 cm de profundidad), cada 15 días durante 10 meses. Para la toma de cada muestra se utilizaron cuatro tubos metálicos de 250 ml sobrepuestos y colocados dentro de una armadura metálica, con el fin de obtener una columna de suelo de 20 cm, fraccionable en cuatro secciones de 5 cm cada una.

En el laboratorio, las muestras se dejaron en reposo por un día, luego se efectuó la extracción por un lapso de 48 horas, utilizando embudos de Tullgren modificados con mallas metálicas (poros de 2 mm). La temperatura fue de 35° C, suministrada por bombillos de 60 vatios, mantenidos a mitad de potencia y colocados a 25 cm de la superficie de las muestras. Los microartrópodos se colectaron en frascos que contenían etanol al 70%. La identificación y recuento se efectuó manualmente con el empleo de binoculares estereoscópicos.

Efectos en la composición química del suelo

Se tomaron tres suelos de diferentes procedencias: La Tigra, Santa Clara y El Castillo, y se expusieron durante dos años al fenómeno de lluvia ácida, producto de la actividad eruptiva del volcán Arenal. A los suelos se les realizó un análisis químico previo y se colocaron en cubetas (cajones) de madera que se distribuyeron en el campo en un diseño experimental irrestricto al azar. Cada seis meses se recogieron muestras de los suelos y se evaluó: pH, capacidad de intercambio ca-

tiónico, suma de cationes, acidez intercambiable, contenido de fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc y cobre.

Resultados

Los resultados obtenidos en la primera etapa del proyecto indican que la precipitación pluvial en la zona de estudio presenta en todos los casos valores de pH menores que 5,5, por lo que se puede afirmar que dicha área, está sometida al fenómeno de lluvia ácida en su totalidad. El nivel de acidez está relacionado principalmente con la actividad del volcán, y no se encuentra ninguna variación respecto de la época del año en que se haga la medición. Se determinó que las áreas hacia donde el viento arrastra la mayor cantidad de los gases, arena y cenizas expulsadas por el volcán, son aquellas ubicadas hacia el suroeste, en su mayoría distritos del cantón de Tilarán. No se encontraron diferencias significativas al comparar los valores de pH obtenidos en los tres círculos establecidos alrededor del volcán (2, 4 y 6 km a partir del cráter).

Como primer punto de la segunda etapa del proyecto, se determinó el área de influencia del fenómeno en la zona, para lo cual se dividió en cuatro grupos de comunidades, tomando en cuenta la ubicación geográfica de las mismas; así, el grupo 1 corresponde a las poblaciones más cercanas al volcán, en el sector suroeste del cono volcánico e incluye los pueblos de: El Castillo, Viejo Arenal y Tronadora. Conforme se avanzó en el tiempo, los puntos se fueron corriendo cada vez más hacia el suroeste, en la dirección en que, de acuerdo con el muestreo realizado, se dirigían los gases emanados por el volcán, hasta llegar al grupo 3, sobre la cadena montañosa (Cordillera de Tilarán), a los poblados de San José, El Líbano y al Cerro San José. Después de estos puntos inician las llanuras guanacastecas y luego el Océano Pacífico por lo que ésta es la última línea de puntos de muestreo en que se colectó, lo que nos da más o menos 30 km hacia el suroeste del Volcán. Más allá de esta distancia no se ubicaron colectores pues no se observan barreras

naturales que pudieran servir de referencia respecto al alcance del fenómeno. Además, después de esta distancia es posible que los datos pudieran ser inexactos, debido a la influencia de otras fuentes de acidificación atmosférica. Sin embargo, se puede observar que a esta distancia persiste la influencia de las erupciones producidas por el Volcán Arenal. Los promedios de pH oscilan entre 5,78 y 4,15. Lo anterior nos indica que los gases son difundidos por el viento más allá de los 30 km, sin que las montañas sirvan de barrera natural.

En términos generales se puede observar que de los sitios estudiados los que muestran promedios inferiores a 5,5 durante todo el período en estudio son: El Castillo (grupo 1), Tilarán 2 (grupo 2) y Líbano (grupo 3). Lo anterior nos da una idea de la dirección y alcance de los gases emitidos por el Volcán Arenal; se puede afirmar que cuanto más nos desviemos hacia el norte o el sur decrece la influencia de las emisiones gaseosas del volcán.

Los resultados obtenidos con el estudio realizado para determinar la velocidad de corrosión en cuatro materiales, se pueden resumir de la siguiente manera:

La velocidad de corrosión de todos los materiales estudiados es mayor, cuanto mayor es el nivel de acidificación promedio de la precipitación pluvial. Por esta razón, se obtuvieron mayores valores para las velocidades de corrosión en la estación de Sangregado (pH promedio = 4,57), seguidos por Tronadora (pH promedio=4,98), Santa Clara (pH promedio=5,42) y Cañas (pH promedio=5,84).

El patrón de variación en las velocidades de corrosión fue el mismo en todas las estaciones; los valores más altos de la velocidad de corrosión se obtuvieron para el acero, seguido por el cobre, el zinc y en último lugar el aluminio, para el que la velocidad de corrosión se puede considerar despreciable de acuerdo con la incertidumbre del método utilizado y el período de la investigación.

El recubrimiento de óxido sobre los materiales estudiados, provoca una disminución de

la velocidad de corrosión conforme aumenta el tiempo de exposición, lo que se evidencia al observar que para las velocidades de corrosión del acero y el zinc, se obtuvieron valores mucho mayores (1,8 veces) al comparar las evaluaciones a los 6 y a los 12 meses, mientras que después de este período, las variaciones son menos marcadas. Una situación similar se presenta para el cobre, en el que las velocidades de corrosión en todas las estaciones fueron en promedio 1,6 veces mayores en el primer semestre de evaluación, respecto a los datos obtenidos con 12 meses de exposición, y luego tienden a permanecer constantes.

El estudio socioeconómico y de salud pública en las comunidades ubicadas en el área de estudio refleja que los niveles educativos son bajos para ambos grupos (control y experimental), aunque en el grupo control fue mayor el porcentaje de analfabetismo. En los dos grupos se encontraron elevados porcentajes de desocupación (26% en el experimental y 22,8% en el control). De forma similar, para la muestra estudiada, los índices de pobreza fueron muy altos.

En la variable hacinamiento el grupo control presentó un porcentaje mucho mayor (34,2%) que el experimental (13,4%). Todos los porcentajes de las variables anteriores superaron a los correspondientes para Costa Rica.

En cuanto al tamaño de las fincas, en el grupo control predominó la pequeña propiedad; en el experimental fueron más frecuentes las fincas medianas o grandes. La ganadería es la actividad más importante en el grupo experimental, mientras que en el grupo control, se encontraron mayor cantidad de fincas dedicadas a los granos básicos, lo que concuerda con el mayor porcentaje de fincas pequeñas en este grupo.

Las enfermedades más frecuentes detectadas en el grupo experimental fueron las respiratorias, dermatológicas y oftálmicas. En el grupo control dominaron las respiratorias y las gástricas.

Los datos analizados hacen ver que las dos poblaciones poseen un perfil socioeconómico semejante, por lo que las diferencias en cuanto a las enfermedades aparecidas en el grupo experimental podrían ser causadas por la exposición a un ambiente de mayor acidificación. Esta hipótesis deberá ser verificada en un estudio de campo.

Otra de las variables estudiadas, fue el efecto de la lluvia ácida sobre las poblaciones de microartrópodos del suelo, y con los resultados obtenidos se puede afirmar que en los dos sitios de muestreo descritos en la metodología, se muestran densidades muy bajas de microartrópodos. Asimismo, es notoria la baja diversidad de especies en este tipo de suelos, lo cual lleva a pensar que la arena y la lluvia ácida producidas por las emanaciones del volcán, juegan un papel crucial en el establecimiento de las especies, ejerciendo una fuerte selección por efectos ambientales.

Los grupos numéricamente más importantes son los colémbolos y los ácaros, y no se nota diferencia significativa en su densidad en ambos sitios de muestreo.

En cuanto a la distribución vertical, en los dos lugares muestreados, se manifiesta una clara disminución de la densidad total de microfauna conforme aumenta la profundidad.

Los resultados obtenidos en cuanto al estudio realizado para determinar la influencia de la lluvia ácida en la composición química del suelo, se enumeran a continuación:

La precipitación ácida provocó un incremento en los valores de pH, acidez intercambiable y el porcentaje de saturación de aluminio en los tres suelos estudiados.

La precipitación ácida disminuyó los contenidos de cationes (K, Ca, Mg), y afectó negativamente la suma de cationes y la capacidad de intercambio catiónico efectivo en los tres suelos experimentales.

El comportamiento en los contenidos de Cobre (Cu), Hierro (Fe), manganeso (Mn) y Zinc (Zn) se ven afectados en una relación directa de acuerdo con el grado de acidez que presentan los suelos.

De acuerdo con los indicadores de acidez analizados: pH, acidez intercambiable, porcentaje de saturación de acidez, suma de cationes y capacidad de intercambio catiónico efectivo, los tres suelos estudiados se tornaron ácidos como consecuencia del fenómeno de lluvia ácida.

El contenido de fósforo mostró una tendencia inversamente proporcional con respecto al nivel de acidez en los tres suelos analizados.

Impacto

Los resultados del proyecto han sido divulgados en escuelas y colegios de la región, visitantes del ITCR y personas interesadas. Se han realizado tres artículos periodísticos y varias intervenciones en radioemisoras locales, con el fin de que la población afectada pueda tomar las medidas necesarias para atenuar los efectos del fenómeno.

Se coordinaron actividades con equipos de investigadores de instituciones públicas, tales como el Instituto Costarricense de Electricidad y la Universidad Nacional.

El estudio de velocidad de corrosión de metales aportó importante información, y así consta en el informe respectivo, al proyecto "Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica" (MICAT).

Los estudiantes de tres cursos de Seminario de Estudios Costarricenses, en el ITCR, han tenido una importante participación, al tomar como población para sus trabajos, los distritos afectados por el fenómeno, aspecto en el que se resalta la vinculación entre las actividades de docencia, investigación y extensión del Departamento de Ciencias del ITCR. Esta experiencia está siendo aprovechada en nuevos proyectos que se desarrollan en la Institución.

Se realizaron dos investigaciones en conjunto con estudiantes del Colegio Científico, Sede San Carlos: "Influencia de la lluvia ácida en la fauna bromelícola" e "Influencia de la lluvia ácida en la germinación de semillas de especies forestales". Ambos proyectos participaron en forma destacada en la Feria Científica Nacional.

Organismo que financió la investigación

Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Referencias bibliográficas

- Alfaro, M.R. *Qué es la lluvia ácida, qué causa la precipitación ácida*. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Evans L.S.; Hendrey, G.; Stensland, D. (1981) *Variations of Acid Precipitation in Southern California*. Marzo, 333, volumen 15.
- Gorhan E.; A (1969). *The Influence of Smelter Fumes upon the Chemical Composition of Lake Water near Sudbury, Ontario an upon the surrounding vegetation*. *Conj. Bot.* 38:477-487.
- Malavassi, E.; Hernández, E., Vindas, J. (1984). *Lluvia ácida de origen volcánico en Costa Rica y su impacto*. Primer Congreso de Geografía de Costa Rica. San José, Costa Rica. 23 p.
- Smith W.H. (1981). *Air Pollution and Forest Interactions between Air Contaminants and Forest Ecosystems*. Springer Verlag, New York inc.
- Wood, T.; Borman, F. (1977). *Short-term Effect of a Simulated Acid Rain upon the Growth Nutrient Relation of Pinus strobus L.* *Water, Air, and Soil Pollution.* 7:479-488.