

# Diagnóstico de los efectos de la lluvia ácida en la actividad productiva de la zona aledaña al Parque Nacional Volcán Turrialba, Costa Rica

JEIMY GUILLÉN GARITA<sup>1</sup> & ADRIÁN RUIZ RODRÍGUEZ<sup>2</sup>

1. Estudiante UNED; jei2405@hotmail.com

2. Profesor UNED; aruiz@uned.ac.cr

Recibido: 23 junio 2015

Aceptado: 05 agosto 2015

## RESUMEN

Como proyecto de trabajo se realizó una evaluación diagnóstica en 4 fincas ubicadas en las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Volcán Turrialba. Las fincas estudiadas se ubican en los flancos noroeste, oeste, suroeste y sur del cono volcánico y se encuentran dentro de los diámetros de peligrosidad señalados por la Comisión Nacional de Emergencias. La pérdida de cobertura vegetal, pastos, producción de carne y leche son los efectos más representativos en el área de estudio.

**Palabras clave:** efectos, impactos, lluvia ácida, agricultura, ganadería.

## ABSTRACT

As working project, a diagnostic evaluation was done in four farms of the Turrialba Volcano National Park buffer zone. The farms are in the NW, W, SW and S side of the volcanic cone and within the danger zone defined by the Costa Rican Emergency Commission. Loss of vegetation cover, grassland, and meat and milk production, are the most representative effects in the studied area.

**Key words:** effects, impact, acid rain, agriculture, cattle ranching.

## Introducción

El Volcán Turrialba es uno de los cinco volcanes activos presentes en Costa Rica que ha presentado episodios eruptivos en los últimos 300 años, junto con los volcanes Irazú, Poás,

Arenal y Rincón de la Vieja. Su última erupción magmática finalizó hace 146 años, en marzo de 1866 (Soto, 2012). Es a partir del año 2005 que el Volcán Turrialba comienza con una vigorosa fase de desgasificación hasta el presente, que ha marcado una grave alteración en los ecosistemas de las faldas de dicho volcán.

El Volcán Turrialba posee una extensión de 1577 ha (Duarte, s.f.) que son protegidas bajo la legislación de Parque Nacional (PNVT). A su alrededor se ubican las zonas de amortiguamiento, que comprenden fincas dedicadas a la agricultura y ganadería lechera. No obstante, debido a la actividad volcánica que ha venido presentándose en los últimos 10 años, las actividades socioeconómicas presentes en las zonas de amortiguamiento; así como también los recursos naturales que en ellas se encuentran han sido severamente afectadas por el fenómeno conocido como: “caída de lluvia ácida volcánica”.

Según Duarte (s.f.) se considera ácida a la lluvia que posee niveles de pH menores a 5.6. En este caso se abordará la lluvia ácida de origen volcánico, la cual se produce cuando la emisión de gases (principalmente dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>), entra en contacto con precipitación, niebla o llovizna y la deposita en la superficie afectando personas, plantas, animales y la calidad del aire.

Es este fenómeno el que ha venido afectando de manera gradual las actividades socioeconómicas de 4 fincas ubicadas en la zona de amortiguamiento ya sea de manera directa o indirecta. Estas 4 fincas corresponden a los nombres: Finca

La Reunión, Finca La Fuente, Finca La Central, La Silvia (sector Quebrada Paredes) y Finca La Picada, ubicadas a una distancia que comprende los 2 a 5 Km con respecto al cráter principal y que han experimentado un descenso importante en la producción y calidad de sus productos debido al efecto que produce la lluvia en el suelo, plantas y animales.

## Antecedentes

El Volcán Turrialba tuvo su última erupción magmática entre 1864 y 1866 (Soto y Mora, s.f.). A partir de marzo de 1996 la actividad sísmica en el Turrialba ha registrado algunos picos y la actividad fumarólica y sísmica se han intensificado desde el 2007. En nuestro país la afectación por lluvia ácida ha sido pobremente estudiada. Hace apenas algunos años se comienza a tener una idea geográfica de las áreas que han sido severamente afectadas por este fenómeno natural y las características básicas de esa acidificación.

La actividad del volcán Turrialba en los últimos siete años ha sido muy significativa, con una tendencia a incrementarse. Para efectos de evidenciar la situación se describen varios informes del estado del volcán Turrialba, elaborados por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI) en los últimos años:

### 2005:

El Volcán Turrialba continúa con actividad fumarólica, con la volatilización de sublimados ricos en azufre, específicamente en los cráteres Central y Oeste. El área fumarólica sigue aumentando el nivel de desgasificación, lo cual está comenzando a afectar la vegetación adyacente a los cráteres. El cráter oeste presenta fumarolas alrededor de las paredes y en el piso del mismo, con una temperatura de 91°C. Se presentan pequeños deslizamientos en las paredes norte, noroeste, sur, suroeste, sureste y noroeste. Los materiales que se están deslizando cubren algunos puntos del fondo, al mismo tiempo que aparecen nuevos puntos con depósitos de azufre y emisión de gases.

### 2006:

El Volcán Turrialba continua con actividad fumarólica en el cráter Central y Oeste. El cráter Central comienza a presentar puntos de emisión de gases en la pared noroeste, oeste y suroeste, con un nivel de emisión que continua aumentando de forma paulatina.

En la pared sur, sureste y suroeste hay un par de grietas radiales al cráter que se están ensanchando y permeando. La vegetación que habitaba el fondo se encuentra totalmente quemada, esto debido al calentamiento del piso y al efecto de los gases. En las paredes norte, noroeste y oeste los gases están provocando el marchitamiento y muerte rápida de la cobertura vegetal.

### 2007:

El Volcán Turrialba continúa aumentando la actividad fumarólica y el nivel de emisión en el Cráter Central y Oeste. El cráter Central comienza a presentar puntos de emisión de gases en la pared noreste, norte, noroeste, oeste, suroeste, sur y suroeste (Puntos donde están ubicadas las fincas que conforman las zonas de amortiguamiento). En los puntos anteriormente mencionados se presenta deposición de sublimados ricos en azufre; mientras que en la pared sur, sureste y suroeste hay un par de grietas que continúan ensanchándose.

La vegetación en el fondo y en las paredes se encuentra totalmente quemada y en las paredes externas al norte, noroeste y oeste los gases continúan provocando de manera acelerada el marchitamiento y muerte de la cobertura vegetal. La vegetación de los lados externos al noroeste, oeste y suroeste están siendo afectados en forma gradual. La cobertura arbustiva en las partes más bajas comienza a alcanzar las zonas de pastos y cultivos, afectando a los pobladores que tienen sus fincas alrededor de las faldas del cono volcánico.

Es durante este periodo que comienza a generarse una preocupación colectiva ya que la distancia de los puntos de emisión de gases con respecto a los pobladores (asentamientos en las zonas de amortiguamiento) es relativamente

poca, alrededor de 2 a 4 km aproximadamente (Bermúdez, 2008). En este periodo se observó un incremento importante en las concentraciones de los iones fluoruro, cloruro y sulfato.

El cráter central presenta puntos de emisión de gases en la pared noreste, norte, noroeste, oeste, suroeste, sur y sureste. Algunos de los puntos mencionados anteriormente presentan altas emisiones de gases y depósitos de sublimados ricos en azufre. En las paredes del sector norte, noroeste y oeste el incremento de gases han provocado el marchitamiento y muerte rápida de la cobertura vegetal (incluyendo áreas de cultivos y pastos).

La vegetación del lado oeste y noroeste está viéndose gravemente afectado, los árboles de jaúl (*Alnus acuminata Kunth*) y cerillo (*Xylosma sp.*) que están localizados cerca del borde del cráter, se encuentran totalmente desfoliados, hecho que es reportado por los pobladores de la zona norte y oeste.

Curiosamente el efecto sobre la vegetación tipo páramo es menor con respecto a las especies de árboles anteriormente mencionados; se presume que este efecto de menor afectación es debido a una mejor adaptación que han desarrollado (Bermúdez, 2008).

#### 2008:

Continúa la actividad fumarólica en el Volcán Turrialba profundizando y extendiendo las quemaduras en la vegetación. La emanación procedente del fondo y de las paredes del cráter oeste se mantiene.

En la parte baja de la pared oeste la vegetación (arbustos, pastos y extensiones de cultivos) han tomado un tono blanco – amarillo por la depositación de sales y formaciones de azufre. El material suelto y fino se acumula lentamente en el sector de Quebrada Paredes. En los alrededores de este sector árboles menores y arbustos se encuentran quemados hasta la corteza, tornándose quebradizos (Duarte, s.f.).

Hacia el sector suroeste las quemaduras por lluvia ácida alcanzan la intercepción de la finca La Central. Así mismo en el área intermedia entre el volcán Irazú y el Volcán Turrialba

prevalecen quemaduras de grado leve en el dosel del bosque y las copas de los árboles más frondosos.

En los flancos Oeste y noroeste las grietas que habían comenzado a formarse en el 2005 – 2007 continúan ensanchándose lentamente. La pluma de gases (nube) muestra cambios de colores predominando el azul intenso (Bermúdez, 2008). Los cuadrantes noroeste y suroeste del cráter presentan una coloración amarillenta debido al depósito de partículas de azufre que arrastran los gases.

Los pastos a lo largo del camino entre Quebrada Palma y Quebrada División se encuentran totalmente quemados. También es posible observar el avance rápido de la corrosión en la infraestructura (láminas de techo, alambres de púas, etc.) de Fincas como La Central, Quebrada Paredes, La Fuente y La Picada.

Los niveles de acidificación (pH) en el suelo reportado por profesionales del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) oscilan entre 3 y 4. Asimismo el nivel de emisión de Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) ha generado cantidades de 700 a 743 toneladas diarias afectando cultivos y pastizales.

Se comienzan a elevar grandes columnas de gases alcanzando alturas entre los 50 y 60m que son visualizadas claramente por los vecinos de la Finca La Fuente. En el sector de Quebrada Paredes se observan sitios severamente afectados por la acción de los gases. La vegetación que allí habita se encuentra completamente devastada. Los pastizales lecheros y el bosque natural en sectores como la Picada, La Silvia y la Central están completamente quemados con colores amarillos y naranjas. Es probable que tras la ausencia de cobertura vegetal se den procesos rápidos de erosión en los suelos (Duarte, s.f.).

#### Periodo 2009 – 2010 – 2011:

Durante este periodo el Volcán Turrialba presenta un aumento significativo en el contenido de gases magmáticos en las fumarolas tales como Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y ácido sulfuroso ( $\text{SO}_2\text{H}_2\text{O}$ ) y temperaturas mayores a los 300°C (Avard, 2014).

Debido a esta acumulación de gases en las coberturas vegetales y en los suelos, durante octubre del 2009 en plena estación lluviosa las paredes oeste y suroeste del Volcán Turrialba se quemaron de forma aguda pasando de un tono amarillo a un naranja brillante (Duarte s.f.). En este periodo se presentan signos constantes de destrucción de pastos y cultivos alcanzándose pérdidas económicas en las fincas desde un 80 a un 90%.

Las erupciones freáticas en los años 2010 – 2014 fueron los eventos más notorios de material solido expulsado; por ejemplo el 5 de enero del año 2010 el cráter oeste presenta una erupción de cenizas que forma parte del proceso de desgasificación que atraviesa el volcán. Mientras tanto el 9 de enero del mismo año aumenta la lluvia ácida, aportando grandes cantidades de sulfuro de hidrogeno ( $S_2H$ ), ácido clorhídrico (HCL) y ácido fluorhídrico (HF) a los pastizales generando la disminución en la producción láctea del ganado (Pacheco et al, 2010).

#### *Periodo 2012 - 2013:*

Se da la apertura de la boca 2012 en el flanco (lado) sureste del cráter Oeste con emisión de ceniza no juvenil (ceniza antigua y de baja alcalinidad). El Volcán Turrialba continúa emitiendo una cantidad considerable de vapores y gases volcánicos ácidos a la atmósfera lo que da como resultado niveles muy altos de acidificación en el ambiente viéndose gravemente afectadas las actividades económicas propias de la zona.

#### *Periodo 2014 – actualidad:*

Durante este año la actividad sísmica del Volcán Turrialba continúa disminuyendo. La emisión de Dióxido de azufre ( $SO_2$ ) continua siendo alto en el sector oeste del volcán. El viento es un factor determinante ya que estos desvían los gases hacia los sectores de la Picada y Quebrada Paredes.

La caída de lluvia ácida sigue siendo continua y tanto vegetación natural como zonas de cultivos continúan siendo afectadas; recursos

como el suelo y el agua forman parte de la afectación que causa la lluvia ácida volcánica.

A pesar que cada cono volcánico tiene su propia vulcanología (es decir comportamiento), el fenómeno que se presenta en el Volcán Turrialba es muy similar al que ha presentado el Volcán Poás y el Volcán Rincón de la Vieja y que son detallados en informes realizados por OVSICORI.

En el caso del Volcán Rincón de la Vieja la zona de afectación comprende unos 2km de ancho y unos 4km de largo aproximadamente, inclinándose esta afectación hacia el flanco oeste del cráter principal (Duarte, s.f.), deteriorando gravemente los pastizales pamperos. Por lo tanto y al igual que en el Volcán Turrialba la dirección de los vientos (los cuales entran desde el Caribe y se dirigen hacia el Pacífico) es un factor determinante en lo que concierne al efecto de los gases en las zonas de amortiguamiento.

#### **Geología y geomorfología**

El Volcán Turrialba debe su formación a la sucesión de eventos explosivos y efusión de lavas (Bermúdez, 2008). La geomorfología del Volcán Turrialba forma un solo sistema con el Volcán Irazú. Este sistema está constituido por lavas, rocas piroclásticas y lahares pequeños, que están formados por andesita y en menor grado basalto.

El Volcán Turrialba es considerado como un complejo estrato – volcán de forma ovalada a partir de los 2700 msnm hasta la cúspide, a una altura de 3329 msnm. Este complejo presenta una caldera alargada formada por 3 focos eruptivos con procesos de construcción – erosión muy activos. Por lo tanto, tomando en cuenta la morfología de los drenajes en la zona, el suelo y las condiciones climáticas, se tiene un edificio volcánico erosionado con formas muy dinámicas.

Según Bermúdez (2008), la zona de cráteres y los alrededores del volcán se pueden dividir en 3 unidades geomorfológicas mayores:

A. *Zona de intracalderas:* caracterizada por la presencia de 3 focos eruptivos y escarpes fuertes. Tiene una forma elíptica de unos 125m de longitud y 700m de ancho, con

paredes internas que presentan pendientes verticales de hasta un 90%.

- B. *Paredes externas*: se caracteriza por tener pendientes moderadas, además de una sucesión de lahares y depósitos coluvio – aluviales que forman una abertura al noreste.
- C. *Llanuras por relleno piroclástico*: estas son áreas de planos ondulados, que presentan pendientes entre 0 y 20% de inclinación. Estas llanuras están ubicadas específicamente al suroeste del edificio volcánico y alberga 3 cerros que rompen el paisaje; así como también un abanico aluvial bien desarrollado.

### Características climáticas

Según Mora (2010) la temperatura promedio anual es de 16°C en la parte media (zonas de amortiguamiento), mientras que la temperatura promedio en la parte alta es de 8.1°C. En los meses de diciembre y abril la temperatura baja hasta los 0°C en la zona más alta (páramo).

A pesar que no existe un registro puntual en el parque, la precipitación oscila entre los 3000 y 4000mm anuales. El sistema de lluvias es muy variado durante todo el año, con meses muy lluviosos como por ejemplo diciembre y meses con menos cantidad de lluvias como marzo y abril. Es gracias a esta frecuencia de lluvias que hay grandes extensiones de pastos en la zona, los cuales sirven de alimento para el ganado. Pero además este clima ha permitido el desarrollo de 3 zonas de vida que albergan gran cantidad de riqueza vegetal y animal; estas zonas de vida corresponden a: bosque pluvial montano, bosque muy húmedo montano bajo y bosque pluvial montano bajo.

Los bosques primarios se caracterizan por ser de baja a mediana altura (10 a 30m) siempre verdes (sempervirentes), con un dosel y un sotobosque muy densos. La presencia de epifitas es común, especialmente el musgo (Meza, 2001). La mayor parte de la vegetación del lugar se caracteriza por tener hojas coriáceas y es común la

existencia de bambú de montaña (*chusquea* sp.) en el sotobosque (Bermúdez, 2008).

### Flora y fauna

Se conoce muy poco sobre la diversidad biológica que hay en el Parque Nacional Volcán Turrialba, esto debido a que la investigación científica no ha sido prioritaria en este tipo de recursos y hay otras áreas protegidas más atractivas para los investigadores (Salazar, 2014).

No obstante, un recurso sobresaliente es la flora que encierra el ecosistema páramo, siendo este ecosistema muy importante; ya que un estudio realizado acerca de la representatividad utilizando unidades fisiogeográficas (SINAC – GRUAS II, 2007) indica que la unidad fisiogeográfica de Páramo; es única en el país, Se encuentra en la Cordillera Volcánica Central y está representada en mayor parte por el Volcán Turrialba, además su sustrato de origen volcánico le otorga carácter único en comparación con su similar en la Cordillera de Talamanca (Mora, 2010).

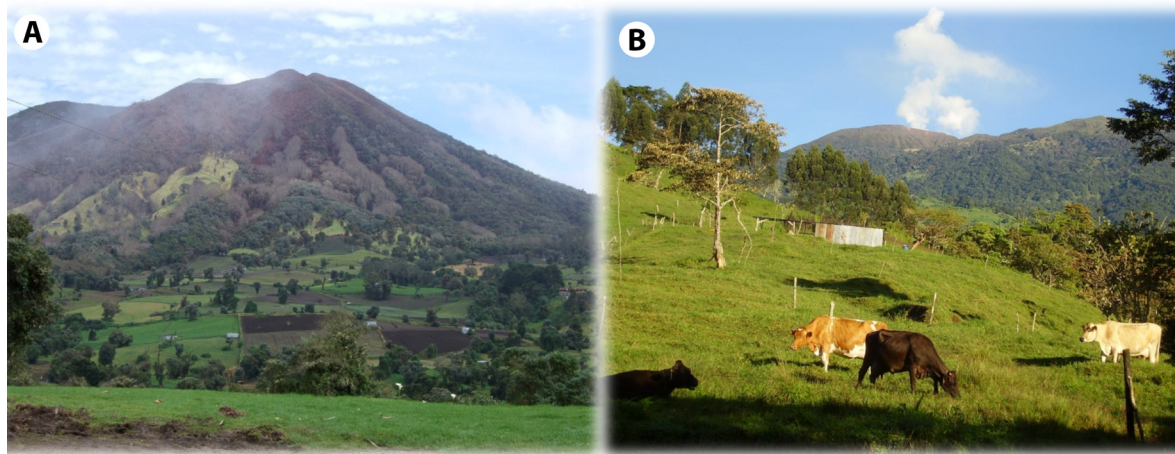
Con respecto a la fauna, se han identificado 84 especies de aves en el parque y sus alrededores; algunos de ellos en peligro de extinción como es el caso del Quetzal (*Pharomachrus mocinno*) y abundan además los colibríes de diversas especies (Bermúdez, 2008).

El número de especies y poblaciones se reduce a mamíferos, roedores y reptiles en bajas poblaciones, tales como: pizotes (*Nasua narica*), coyotes (*Canis latrans*), puerco espines (*Coendou mexicanus*) y esporádicamente se puede observar el león de montaña (*Puma concolor*) y el tigrillo (*Leopardu stigrinus*).

### El entorno del Parque Nacional Volcán Turrialba

El paisaje inmediato de esta área protegida es básicamente un paisaje intervenido por actividades ganaderas y agrícolas. Solo dos pequeños sectores hacia el norte y al este del parque se encuentran todavía con bosque como se mencionó anteriormente, esto debido a la topografía muy abrupta que allí prevalece.





**Figura 1.** Uso del suelo en las faldas del Parque Nacional Volcán Turrialba. A) Terrenos utilizados en la actividad agrícola. B) Desarrollo de la ganadería en las zonas de amortiguamiento. Fuente: Guillén, 2014.

En general, las zonas de amortiguamiento del PNVNT están ubicadas sobre un primer diámetro que tiene una longitud de 2km (establecido por la Comisión Nacional de Emergencias como primer diámetro de peligrosidad) y donde se ubican los siguientes poblados: en el sector noroeste se encuentran el Sector de Quebrada Paredes y Finca La Silvia.; hacia el sector Oeste se ubica la Finca La Picada y en el sector sur se ubica Finca La Central y Finca la Fuente. Mientras que en el segundo diámetro posee una longitud de 5km (segundo diámetro de peligrosidad) con respecto al cráter principal y en el cual se asienta Hacienda la Reunión (Soto, 2012).

Existen además problemas con la tenencia de tierra (debido a esta circunstancia se da el desarrollo de la iniciativa del manejo compartido o gestión comunitaria) ya que el 78% del territorio declarado como Parque Nacional son tierras privadas y un 22% son estatales. Por tanto, el asentamiento humano en las cercanías del volcán Turrialba irrumpe no solo con la conservación de los recursos naturales presentes en ese ecosistema sino también, se está viendo afectada por el fenómeno de lluvia ácida.

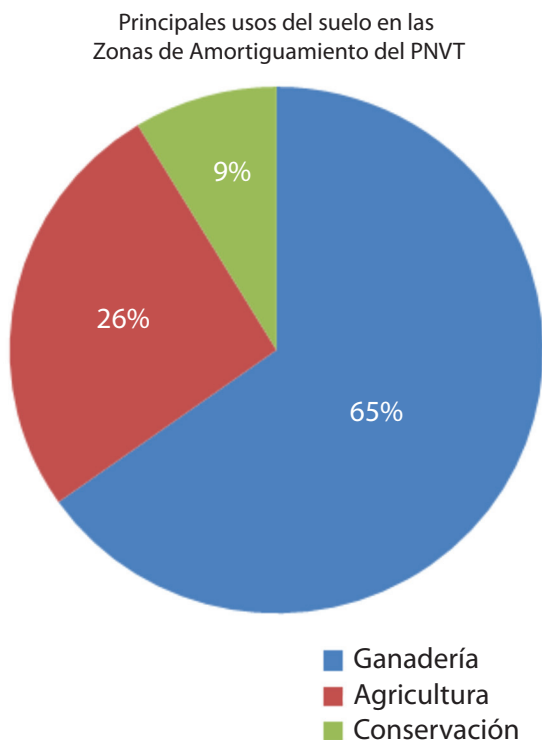
Las siguientes fotografías evidencian el paisaje inmediato al Parque Nacional Volcán Turrialba, las cuales demuestran los principales usos del suelo en esa región.

## Metodología

El proyecto tuvo un enfoque no experimental; pues no hubo controles sobre las variables; en particular porque el fin de la investigación fue realizar una evaluación diagnóstica utilizando muestras homogéneas sobre los efectos generados por la caída de lluvia ácida en la zona de amortiguamiento para obtener información cualitativa sobre las consecuencias generadas en las actividades agrícolas y ganaderas debido a la presencia de este fenómeno.

## Población objeto de estudio

Dado que el objetivo general del estudio fue elaborar un diagnóstico de los impactos socioeconómicos de la lluvia ácida en las áreas de amortiguamiento del Parque Nacional Volcán Turrialba, con el fin de establecer medidas de gestión para el desarrollo local, se determinaron 3 tipos de segmentos y 2 actores a quienes se les dirige el estudio. Un primer actor es el ambiental (actividad volcánica) y otro socioeconómico. El Primero se basó en determinar la situación actual sobre la problemática que genera la lluvia ácida en las zonas de amortiguamiento. Este segmento correspondió a fincas ubicadas en el área de estudio. Fue 17 personas que laboran en estas fincas a quienes se les aplicó una evaluación diagnóstica rápida externa para conocer



**Figura 2.** Principales actividades socioeconómicas desarrolladas en las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Volcán Turrialba. Incluyen las actividades desarrolladas en el primer diámetro (2km) y segundo diámetro (5km). Elaboración propia basada en los datos recolectados durante el trabajo del campo. 2014.

el grado de impacto que ha ocasionado la lluvia ácida en sus actividades socioeconómicas y contribuir así a la identificación de condiciones favorables para reducir esos impactos.

El segundo segmento corresponde a formular un plan operativo que permita mitigar los efectos de la lluvia ácida de acuerdo a las necesidades y posibilidades de las personas afectadas, incorporando los principios y objetivos de conservación y desarrollo sostenible que rigen al Parque Nacional Volcán Turrialba.

En los dos casos se aplicó herramientas para coleccionar datos y producir información (encuestas y guía de observación).

Criterios de las unidades es estudio

Las personas que se involucraron en el análisis fueron propietarios y trabajadores de las fincas asentadas en la zona de amortiguamiento, (en total fueron 5 fincas las visitadas y 17 personas quienes fueron encuestadas), así como también funcionarios del Parque Nacional Volcán Turrialba y profesionales del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI) quienes facilitaron los datos sobre el desarrollo de la actividad vulcanológica y el fenómeno de lluvia ácida en la zona.

Se debe aclarar que la colecta de información se realizó en las fincas que cumplían dos condiciones importantes:

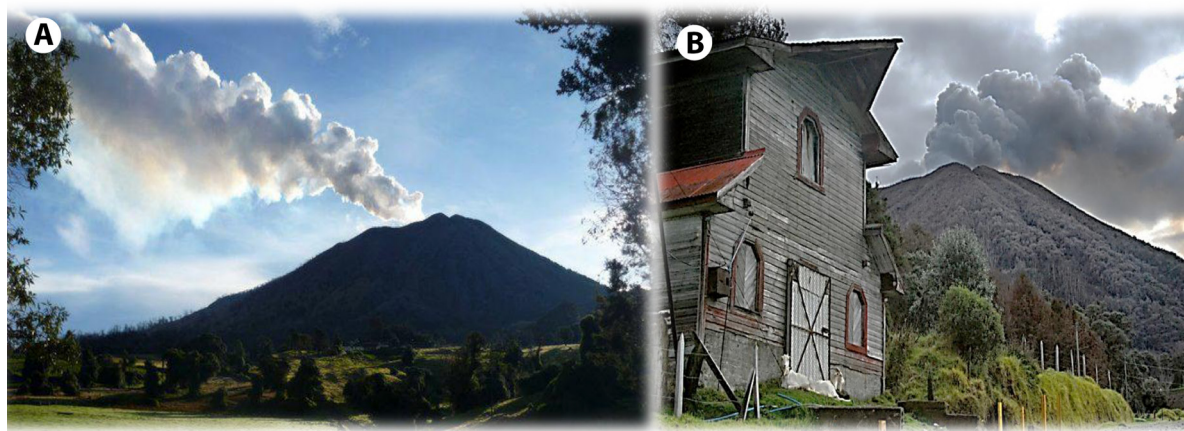
- Ubicarse dentro del primer diámetro de peligrosidad a partir del cono volcánico (2km) y el segundo diámetro de peligrosidad (5km), ya que han sido las zonas más afectadas y están ubicadas dentro de las zonas de amortiguamiento establecidas por la categoría de manejo.
- Dedicarse principalmente a actividades propias de la región, las cuales hayan sido impactadas por el fenómeno de lluvia ácida a mayor o menor escala.

## Resultados

Principales actividades socioeconómicas que se llevan a cabo en las zonas de amortiguamiento y el porcentaje de presencia de las mismas; en cuanto al uso del suelo respecta.

Debido a la actividad volcánica que se ha venido dando en los últimos años estas actividades se han visto seriamente afectadas, hasta el punto que se han presentado desde que dio inicio el fenómeno volcánico graves pérdidas agrícolas y económicas.

En Costa Rica, la tendencia de los vientos alisios de soplar del Caribe hacia el Pacífico hace que el área de mayor devastación vegetal se encuentre hacia el oeste y suroeste de las faldas del volcán, lo que genera un callejón de acidificación. Este callejón comprende las fincas asentadas en los flancos oeste y suroeste del Volcán Turrialba, los cuales desde el año 2009 han experimentado incalculables consecuencias



**Figura 3.** Fotografías que muestran la inclinación del penacho de gases según la dirección de los vientos. A) Vientos alisios del noroeste dirigen el penacho de gases hacia los sectores de La Picada, La Silvia y Quebrada Paredes. B) Vientos con dirección al sureste dirigen el penacho de gases hacia el sector de Bonilla y Bajos de Bonilla. Fuente: Guillén, 2014.

económicas por la caída de lluvia ácida. En la figura 3 se puede visualizar la inclinación del penacho de gases según la dirección del viento, especialmente con la presencia de los vientos alisios del noroeste.

No obstante, Duarte (s.f.) menciona que hay una orientación adicional hacia el sursureste, probablemente por reflexión de vientos en los edificios volcánicos Turrialba e Irazú, los cuales orientan la lluvia ácida en menor cantidad hacia el sector de Santa Cruz, Santa Rosa y eventualmente a la ciudad de Turrialba.

Con respecto al segundo diámetro de peligrosidad (distancia de 5km con respecto al cráter principal) la afectación por lluvia ácida alcanza niveles menores, posiblemente esto se debe a su lejanía con el cráter principal (Ver figura 4, mapa de diámetros)

**Principales consecuencias que ha generado la lluvia ácida a las actividades socioeconómicas de las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Volcán Turrialba**

El término lluvia ácida implica la sedimentación tanto húmeda como seca de contaminantes ácidos que causan el deterioro de los recursos naturales de una zona en particular y por tanto se da una alteración en todo su entorno, añadiendo en este caso la alteración de las actividades

socioeconómicas de una determinada región (SENASA et al, 2010.).

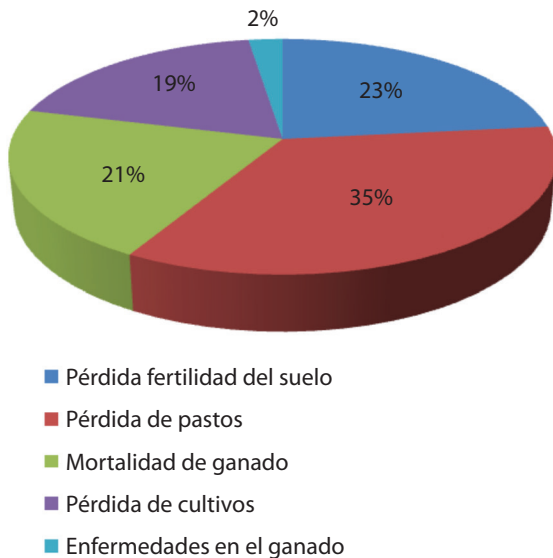
Específicamente en las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Volcán Turrialba tanto la ganadería como la agricultura han sido severamente afectadas por este fenómeno natural. Cabe señalar que si bien es cierto la conservación forma parte de las actividades que se desarrollan en estas zonas de amortiguamiento, el nivel de afectación a esta actividad se resume a la defoliación total de las especies que ahí habitan, ejemplo de ello es la especie conocida como Salvia (*Salvia officinalis*) la cual es considerada como una de las especies más resistentes entre árboles y arbustos, pierde sus hojas tras más de 3 años de exposición a la actividad ácida que se ha venido dando en la zona. En especies como el Ciprés (*Cupressus lusitanica*) las quemaduras son severas hasta el punto que han alcanzado una clorosis total.

Según los resultados en las encuestas aplicadas durante el trabajo de campo; tanto la actividad ganadera como la agrícola se han visto afectadas por el fenómeno de lluvia ácida en al menos 5 aspectos principales.

Uno de los principales efectos nocivos generados por la caída de lluvia ácida es la quema de pastos, la cual afecta el pastoreo y/o alimentación de los animales. Según Duarte (s.f.) solo en el 2009 más del 50% de los pastos en la Finca La



Principales efectos nocivos que ha generado la caída de lluvia ácida en las Zonas de Amortiguamiento del PNVT.



**Figura 4.** Estimación en porcentajes de los principales efectos nocivos que ha ocasionado la lluvia ácida a las actividades socioeconómicas ubicadas en las zonas de amortiguamiento. Fuente: Guillén, 2014.

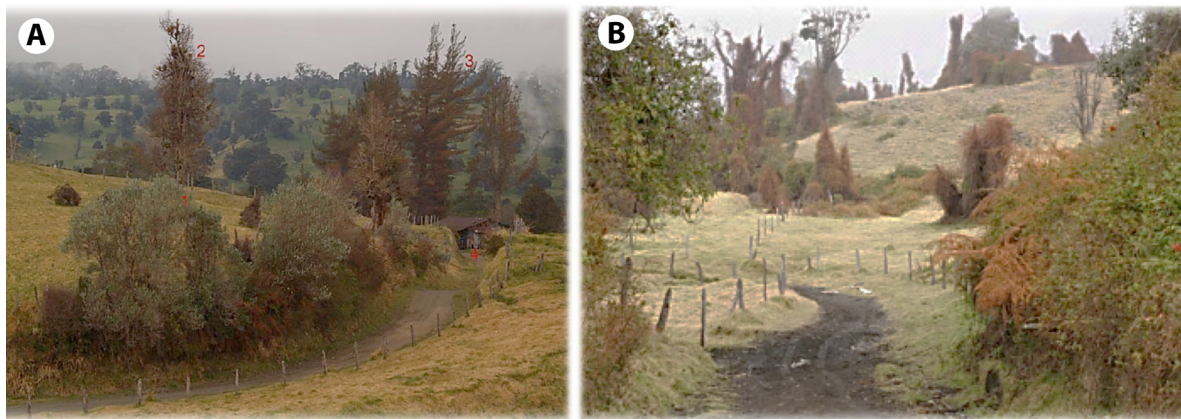
Central fueron devastados por la caída de lluvia ácida. La pérdida en la fertilidad de los suelos representa otro de los efectos nocivos más notorios desde que dio comienzo la actividad volcánica, se da la presencia actualmente de suelos pobres en nutrientes que generan cuantiosas

pérdidas en el cultivo de semillas de diferentes hortalizas, las cuales no logran crecer por falta de materia orgánica y niveles ácidos en el suelo.

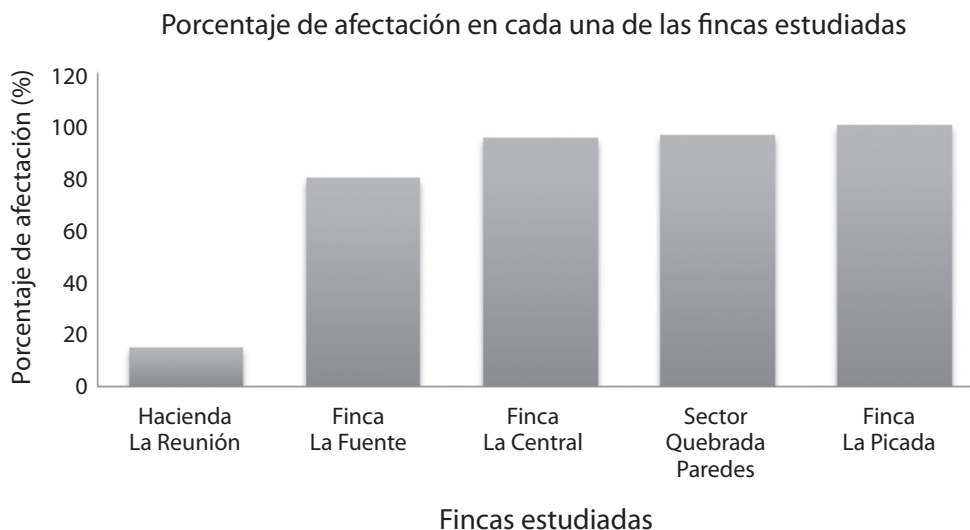
La muerte excesiva de ganado y la pérdida de cultivos a gran escala representan un derroche incalculable de dinero para las pequeñas y medianas empresas productoras de la zona. Según señala Molina (2005), sólo en los meses de enero y marzo del año 2005 se realizó la evacuación de animales y personas en al menos dos ocasiones seguidas y en diferentes zonas; tras la caída considerable de cenizas. Después de la caída de ceniza en ese año se presenta un episodio fuerte de emanación de lluvia ácida lo que ocasiono la pérdida de cultivos. Se estima que para esa fecha solo en Finca La Central la afectación sobrepaso las 2000 hectáreas.

Por último las enfermedades generadas por la caída de lluvia ácida en los animales tras la alimentación con pastos contaminados y exposición al fenómeno no han sido estudiadas, aun sabiéndose que los animales están presentando ciertos cambios en sus organismos tales como la capacidad en la producción de leche o problemas en su piel; así como también en sus bocas producto de la acidez que contienen los pastos y en el peor de los casos la pérdida de crías en estados tempranos de gestación. Por lo tanto estudios en salud animal son necesarios en estas zonas.

Las afirmaciones mencionadas anteriormente se han venido presentando en diferentes



**Figura 5.** Fotografías que permiten observar la quema total de pastos y deterioro de infraestructura (fotografía A). La fotografía B muestra la quema total de cultivos de papa y plantas aledañas a las zonas de cultivo. Fuente: Duarte, 2012.



**Figura 6.** Porcentaje de afectación en cada una de las fincas estudiadas según los propietarios. Incluye las fincas ubicadas en el primer diámetro (comprende 2km) y el segundo diámetro (comprende 5km). Elaboración propia, basada en los resultados obtenidos en las encuestas realizadas, 2014.

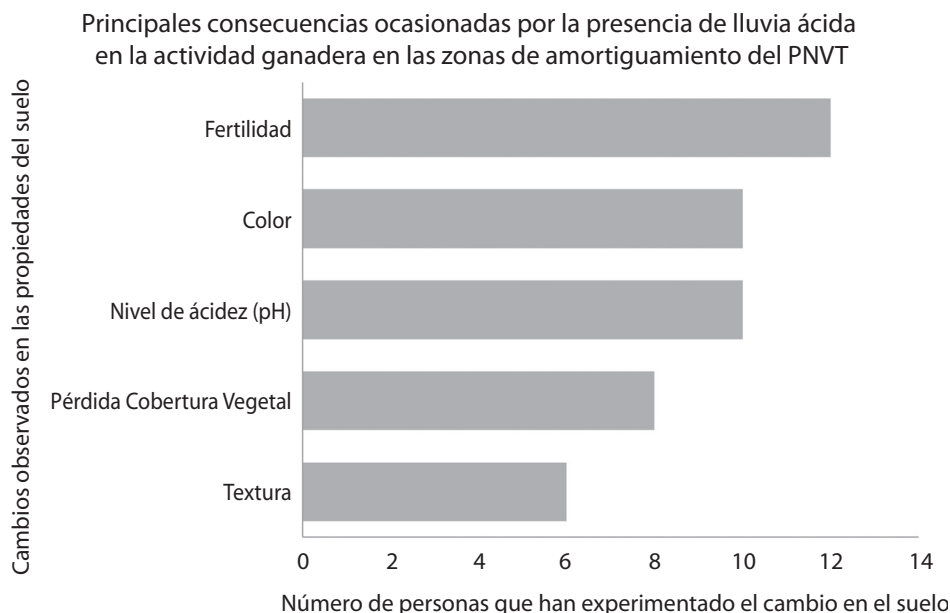
episodios con respecto a la caída de lluvia ácida, no obstante ha afectado en mayor grado y como ya se mencionó anteriormente a las fincas ubicadas en el primer diámetro de peligrosidad (diámetro con longitud de 2km a partir del cráter principal). En la figura 6, se estiman en términos porcentuales el nivel de afectación que ha ocasionado la caída de lluvia ácida en las fincas estudiadas.

Se puede afirmar que los porcentajes estimados en cuanto a la afectación que han sufrido las fincas alcanzan un promedio de 80 a 98%; siendo los sectores de La Picada, La Silvia (sector Quebrada Paredes) y La Central quienes han sufrido efectos devastadores en sus terrenos. La afectación en estas fincas se debe principalmente a dos razones: la primera razón es que estas fincas se encuentran ubicadas en el sector noroeste del cono volcánico, siendo esta región donde se da la mayor incidencia de lluvia ácida debido a la inclinación del penacho de gases producto de la dirección de los vientos. La segunda razón es que estas fincas están asentadas en el segundo diámetro de peligrosidad, por lo tanto existe una distancia menor con respecto al cráter principal y la actividad volcánica.

Mientras tanto las fincas asentadas en el segundo diámetro presentan un porcentaje de afectación que no sobrepasa el 20%. Estas diferencias de afectación entre un diámetro y otro, podría deberse no sólo a la distancia con respecto al cráter principal, sino más bien a la altura y cambios en la temperatura ambiente, permitiendo menor condensación en esas zonas de amortiguamiento.

La afectación por lluvia ácida genera importantes pérdidas en la agricultura, esto debido a los cambios que sufre el recurso suelo tanto en sus características físicas como en la disposición de los nutrientes. La caída de lluvia ácida en las zonas de estudio ha afectado gravemente la fertilidad del suelo. Según la distribución de los tipos de suelos en nuestro país, en las zonas de estudio se da predominancia del tipo de suelo conocido como andisoles, los cuales se caracterizan por ser derivados de materiales volcánicos (Henríquez et al, s.f.). Estos suelos son catalogados como de fertilidad moderada, capacidad que está definida por las características que lo forman, no obstante son especiales para el cultivo de hortalizas.

De acuerdo con las opiniones y observaciones realizadas durante el trabajo de campo,



**Figura 7.** Principales cambios identificados en las propiedades del recurso suelo tras la caída de lluvia ácida procedente del Volcán Turrialba durante los últimos 7 años. Elaboración propia, basada en los resultados obtenidos en las encuestas realizadas, 2014.

la pérdida de la fertilidad en el suelo es el principal cambio observado por los agricultores de la localidad. Según menciona Duarte (s.f.), años atrás en condiciones de lluvia y de disminución de los gases volcánicos, se lograba ver un reverdecimiento de plantas, muy especialmente en el camino que conecta La Central con La Picada. Sin embargo, en la actualidad no se presenta ese reverdecimiento de plantas, demostrándose con ello que el suelo se ha convertido en un recurso estéril, incapaz de brindar los nutrientes a la vegetación. Esto deja al descubierto que la capacidad futura de regeneración se verá severamente disminuida debido a las condiciones adversas que enfrenta ese suelo para sustentar la vida de las plantas. La figura 7 resume los principales cambios que han sido identificados en el suelo por los agricultores de las fincas estudiadas.

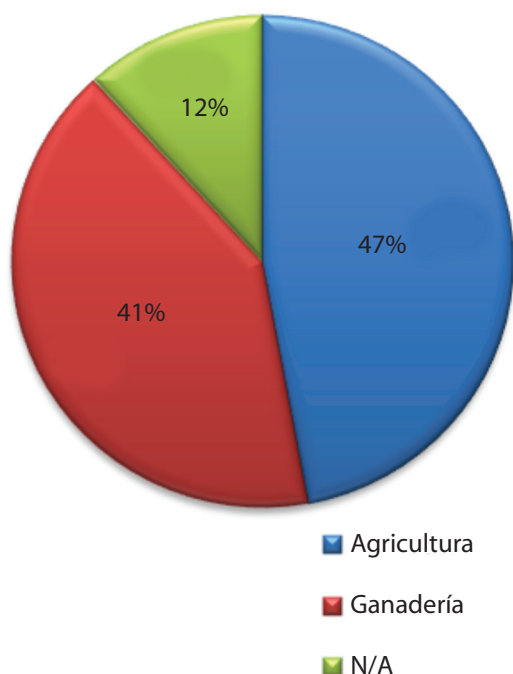
El aumento de los niveles de pH en el suelo alteran las propiedades nutricionales en el mismo, este fenómeno ha sido observado por 10 de las personas encuestadas. Esto ocurre porque los protones  $H^+$ , procedentes de la lluvia ácida solubilizan cationes en el suelo tales como el hierro, calcio, aluminio, plomo o zinc, produciendo deficiencias, alteraciones de las relaciones y

formas químicas de los macro y micronutrientes que son el sustento de las plantas (Arias, 2011). En este punto es importante mencionar también que tanto los nitratos y sulfatos, sumados a los cationes lixiviados de los suelos contribuyen a la eutrofización de los ríos y quebradas existentes en la zona de Turrialba. La eutrofización es un fenómeno que ocurre cuando las aguas de un lago o río se van enriqueciendo de nutrientes a un ritmo superior al que pueden eliminar o procesar, ocasionando graves cambios en el equilibrio ecológico (Smith y Smith, 2007).

La presencia de suelos muy ácidos hace que la cobertura vegetal propia de los suelos (es decir presencia de leguminosas), se vea afectada, ya que evita el crecimiento de éstas plantas al poseer alteración en sus nutrientes. Estas plantas son muy importantes en los suelos ya que aportan materia orgánica ricos en nitrógeno, permitiendo por lo tanto mejoras en la fertilidad y distribución de los macro y micronutrientes en el suelo, así como también brindan alimento para el consumo de los microorganismo que allí habitan (Arias, 2011).

Sin embargo, es importante aclarar que el aumento de los niveles de pH en el suelo no solo

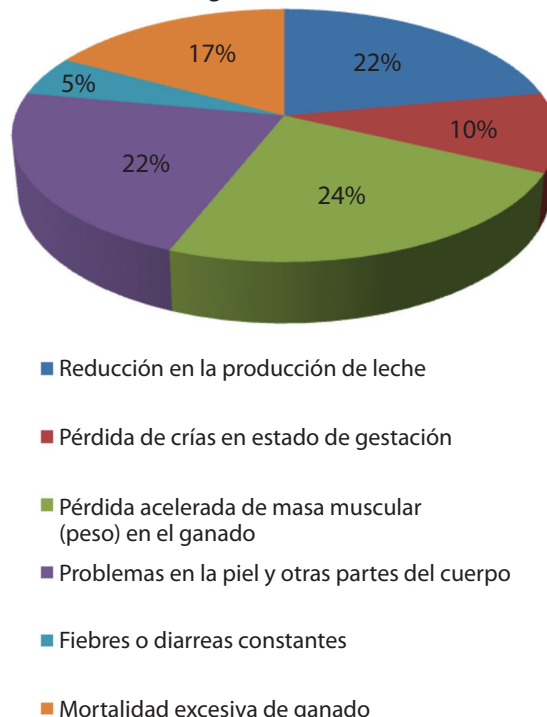
Uso de agroquímicos en las actividades agrícolas y ganaderas



**Figura 8.** Muestra el porcentaje de uso de agroquímicos en las fincas, tanto en uso agrícola como para el riego de pastizales. Elaboración propia, basado en los resultados obtenidos en el estudio de campo, 2014.

se da por la caída de lluvia ácida, sino también por el uso de agroquímicos. Según se muestra en la figura 9, el 47% de las fincas estudiadas hacen uso de productos químicos para mejorar la fertilidad del suelo y el control de plagas y malezas; mientras que en la actividad ganadera, un 41% hace uso de agroquímicos en el riego de pastos para implementar el crecimiento de estos. Los agroquímicos aumentan la acidificación en los suelos y en el caso particular del Volcán Turrialba, este recurso atraviesa por un proceso adverso que le permite mantener niveles adecuados de pH. Es así como el uso de agroquímicos en la zona solamente agrava el problema, ya que estos productos acaban con la presencia de las pocas especies que brindan nitrógeno al suelo y eliminan por tanto la microbiología del suelo, causando un desequilibrio ecológico muy grave. Por tanto, es necesario proponer e incentivar un nuevo modelo agrícola en la zona, apegado a una

Principales consecuencias ocasionadas por la presencia de lluvia ácida en la actividad ganadera en las zonas de amortiguamiento de PNVT



**Figura 9.** Principales consecuencias en la actividad ganadera que ha generado la caída de lluvia ácida volcánica en los últimos 7 años. Elaboración propia, basado en los resultados obtenidos durante la aplicación de las encuestas, 2014.

agricultura orgánica y sustentable que fomente la recuperación de las propiedades y características de los suelos.

Tal y como se mencionó anteriormente, el 65% del territorio que conforma las zonas de amortiguamiento se dedican a la ganadería de leche, la cual se está viendo afectada a gran escala por el fenómeno. La ganadería en estos sectores representa la actividad que mayores ingresos aporta en términos anuales. Un estudio realizado por Cascante (2003), afirma que la concentración de la actividad ganadera se da en las faldas del Volcán Turrialba, especialmente en fincas como La Central, La Picada y sectores de Santa Cruz de Turrialba.

Tras el fenómeno de lluvia ácida las principales consecuencias que ha generado a esta actividad socioeconómica se resumen en la figura 9



en términos porcentuales, para comprender mejor el grado de afectación.

El estudio realizado demuestra que la reducción de masa muscular en los animales es la principal consecuencia según lo expresan las personas encuestadas. Este fenómeno se presenta en magnitudes similares en las fincas ubicadas en el primer diámetro de peligrosidad. Esta situación se da tras la pérdida de las grandes extensiones de pastos, sectores como la Picada, La Central y Quebrada Paredes las pérdidas sobrepasan el 90% del terreno (Duarte, s.f.).

La reducción en la producción de leche es otra consecuencia que genera la pérdida de pastizales, ya que se reduce en gran medida la disponibilidad de alimento para los bovinos, suponiendo además que el consumo excesivo de pastos contaminados por ácido volcánico esté generando alguna reacción en el organismo de los animales; por lo tanto, son necesarios estudios en salud animal que permitan evidenciar el grado de afectación en los animales. Otra de las consecuencias en cuanto a la salud de los animales y mencionada por los encuestados es la presencia de hematomas, es decir desprendimientos en la piel de los animales que con el pasar del tiempo no cicatrizan; presentándose especialmente en la boca, costados y patas de los animales. Es posible especular que la excesiva exposición a los gases en el suelo y en el pasto que sirve como alimento estén causando estas reacciones en la piel de los animales, por tanto

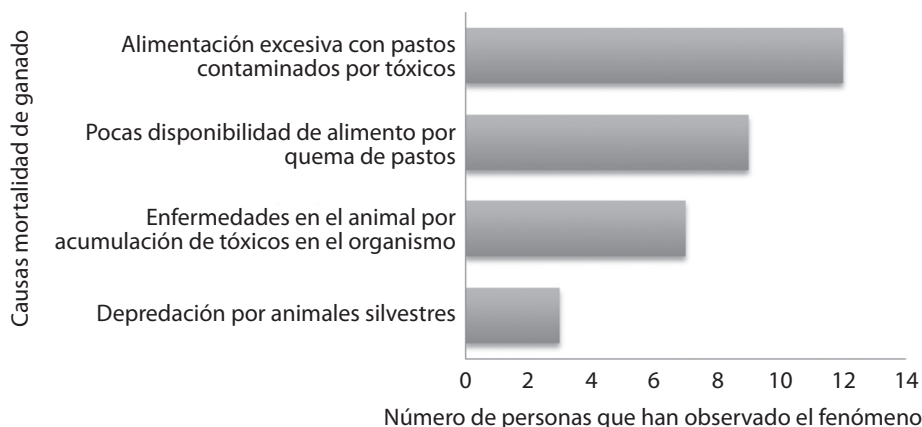
entidades públicas y privadas podrían involucrarse en el estudio y tratamiento de este grave efecto en los animales.

En los sectores de La Central y La Picada se han presentado episodios de mortalidad excesiva de ganado, especialmente cuando la caída de lluvia ácida se intensifica por largos lapsos de tiempo. La figura 10 resume las principales causas que enumeraron los encuestados como los principales factores que causan la muerte excesiva y la pérdida acelerada en las reses.

Es así como de los 12 ganaderos encuestados, más de 10 personas opinan que la causa de mortalidad excesiva en animales se da por el consumo diario de pastos contaminados por tóxicos que se concentran en ese alimento.

Mientras tanto, 8 personas de las encuestados consideran que la poca disponibilidad de alimento por la pérdida de pastos en la segunda causa de mortalidad excesiva en el ganado. En muchos de los casos, el ganado presenta altos niveles de desnutrición, provocando pérdidas de energía y la muerte. Sería viable que entidades dedicadas a la producción de alimentos para animales se involucren en este tema, brindando no solo capacitaciones y opciones para que los ganaderos controlen el peso y bienestar de los animales, sino que también colaboren donando productos alimenticios para los animales.

La acumulación de tóxicos en el organismo de los animales debe estudiarse, pero según las opiniones recolectadas, solo un 5% de los



**Figura 10.** Principales causas que generan la pérdida acelerada de peso y excesiva mortalidad en las reses de la actividad ganadera, ubicados en las zonas de amortiguamiento. Elaboración propia, basado en los resultados obtenidos en el trabajo de campo (encuestas), 2014.

animales presentan fiebres o diarreas constantes, que en menor escala, ha representado una causa de muerte. Por último, la mortalidad de ganado por depredación de animales silvestres se ha dado de forma esporádica. Si bien es cierto, la destrucción de bosque en los flancos del Volcán Turrialba ha obligado a las especies silvestres a desplazarse hacia las zonas de amortiguamiento, ha afectado de manera casi nula las actividades ganaderas o agrícolas. Es de suponer que estos animales utilizan las zonas de amortiguamiento como una vía de paso y no como hábitat, debido a que el Parque Nacional Volcán Turrialba colinda con la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central y forma parte del Corredor Biológico Turrialba Jiménez, siendo sitios donde los animales silvestres encuentran un nuevo sitio para vivir (Salazar, 2014). Sin embargo, durante el trabajo de campo que comprendía la recolección de datos por medio de la observación directa fue posible evidenciar los restos de un caballo producto del ataque de un felino; los restos del animal se encontraron a solo 1.5 km del cráter principal y según comentó uno de los funcionarios del parque, son hechos que suceden de manera irregular pero si representan pérdidas importantes para los trabajadores.

Problemas ambientales como la afectación por lluvia ácida, permiten evidenciar las necesidades y el estado que tienen los asentamientos rurales que se ubican en las zonas de amortiguamiento de las Áreas Silvestres Protegidas.

## Conclusiones y recomendaciones

Las principales actividades socioeconómicas desarrolladas en las zonas de amortiguamiento del PNVT son de tipo agropecuario, siendo la ganadería la actividad prioritaria. La quema de pastos producto de la caída de lluvia ácida ocasiona altos niveles de desnutrición, reducción en la producción de leche y en el peor de los casos muerte excesiva de ganado, lo que ocasiona importantes pérdidas económicas a los ganaderos de la región. Añadir a este estudio datos estadísticos sobre las pérdidas agrícolas y ganaderas que han experimentado los trabajadores de las fincas por año de acuerdo al comportamiento de

la actividad freática a lo largo de estos 7 años de actividad volcánica.

El comportamiento de la lluvia ácida se ve influenciado por las condiciones atmosféricas, la altura y la robustez de los penachos de gases y en mayor parte por la dirección del viento.

Las fincas ubicadas en los flancos noroeste y oeste del cono volcánico han sufrido un mayor impacto por la caída de lluvia ácida, debido a la tendencia de los vientos alisios de Costa Rica al soplar del Caribe hacia el Pacífico, generando mayor concentración de gases en esos sectores.

La pérdida y quema total de pastos ha sido uno de los principales efectos nocivos que ha ocasionado la caída constante de lluvia ácida en las zonas de amortiguamiento, afectando considerablemente la actividad ganadera.

La actividad agrícola realiza mayor uso de productos químicos con el fin de mejorar la fertilidad del suelo o eliminar malezas; lo cual está generando un aumento aún mayor en los niveles de pH alterando la macro y microbiología del suelo.

Se considera que las crisis freáticas han afectado las zonas de cultivo y ganadería del flanco suroeste y sur del primer diámetro de peligrosidad por su cercanía al cono volcánico, teniendo un área de impacto total con una longitud de 2.5 km.

La escasez de fertilidad en los suelos debido al incremento en los niveles de pH, se vislumbra como la principal causa de pérdida de cultivos en las zonas de amortiguamiento; especialmente en las Fincas La Central y La Picada. El sector conocido como La Picada es el área mayormente impactada por el fenómeno de lluvia ácida, estimándose un porcentaje de afectación que alcanza el 98%, esto debido al ubicarse en el flanco noroeste del cono volcánico y recibir mayor condensación de gases debido a la dirección del penacho de gases.

Las fincas ubicadas en el segundo diámetro de peligrosidad (distancia de 5 Km a partir del cráter principal) presentan una afectación menor en cuanto a los efectos de lluvia ácida, es de suponer que la distancia, la altura, la dirección de los vientos y cambios de temperatura

generan una menor condensación de gases ácidos en la atmosfera.

En zonas irrecuperables se recomienda implementar la conservación como alternativa viable para la recuperación de suelos; la inscripción al Programa de Pago por Servicios Ambientales puede ser una opción viable en este caso. Desarrollar nuevas alternativas que permitan el desarrollo local para los habitantes de las zonas de amortiguamiento, por ejemplo: desarrollo de un Turismo Rural Sostenible, confección y ventas de artesanía.

Es imperativo instruir a los agricultores y ganaderos en el monitoreo de variables climáticas y ambientales de interés agropecuario para la toma oportuna de decisiones durante los episodios de lluvia ácida en la zona.

## Bibliografía

- Arias, A.C. 2001. Suelos Tropicales. 2<sup>da</sup> ed., EUNED. San José, Costa Rica.
- Avard, J; Pacheco, J et al. (2014). “Estado de los volcanes de Costa Rica”. Editorial Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Avard, J; Pacheco J; Fernández, E; et al. (2012). “Volcán Turrialba: apertura de una nueva boca fumarólica en el flanco sureste del cráter Oeste el 12 de enero del 2012 como consecuencia de una descomposición superficial”. Editorial Universidad Nacional. Heredia.
- Avard, J; Pacheco, J; Martínez, M et al. (2012). “Estado de los Volcanes; Mayo 2012”. Editorial Universidad Nacional - OVSICORI. Heredia.
- Bermúdez, F. (2008). “Plan de manejo Parque Nacional Turrialba”. Onca Natural. San José, Costa Rica.
- Cascante, M. (2003). “Concentración de queserías en las faldas del Volcán Turrialba”. Editorial Universidad Nacional. Heredia.
- Duarte, E. (s.f.). “La lluvia ácida en los Volcanes de Costa Rica”. Observatorio Vulcanológico y Sismológico Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Duarte, E y Fernández, (2011) “Ampliación y profundización de efectos por lluvia ácida en el Volcán Turrialba”. Editorial Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.
- Guillén, J. 2014. (Dirigida por Ruiz, A.). Propuesta de mitigación para los efectos derivados de la lluvia ácida en las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Volcán Turrialba, Cartago, Costa Rica. Informe final de Práctica Dirigida para optar por el título de Bachiller en Manejo de Recursos Naturales. Cartago, Costa Rica.
- Henríquez, C.; Cabalceta, G y Alvarado, A. (s.f.). “Principales suelos de Costa Rica”. Recuperado de: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/suelos-cr.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html) (Consultado 12 mayo, 2014).
- Molina, L. (2005.) “Informe – resumen ejecutivo, actividades de emergencia Volcán Turrialba. SENASA. Cartago.
- Pacheco, J; Protti, M et al. (2010). “Actividad del Volcán Turrialba entre el 4 y 8 de enero 2010” Editorial Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.
- Pacheco, J; Segura, J et al. (2010). “Reporte sobre la actividad reciente en el Volcán Turrialba” OVSICORI – UNA. Editorial Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.
- Salazar, Miguel. Administrador Parque Nacional Volcán Turrialba. Entrevista realizada domingo 17 de marzo, 2013.
- SENASA et al. (2010). “Plan de acción agropecuario para la mitigación de la actividad freática en el área de influencia del Volcán Turrialba”. Recuperado de: <http://www.senasa.go.cr/anterior/Documentos/Direccion/Volcan-Turrialba/Informe-lluvia-acida.pdf> (Consultado 13 de junio, 2014).
- Smith, T, Smith. (2007). “Ecología”. 6<sup>a</sup> Edición. Pearson Education. Madrid. 574p.
- Soto, G. (2012). “Preparación de mapas de peligros volcánicos y restricción de uso de la tierra en el Volcán Turrialba”. Universidad de Costa Rica. San José.
- Soto, G y Mora, M. (s.f.) “Actividad del Volcán Turrialba en el periodo 2007 – 2011 y perspectivas de su amenaza”. Editorial Universidad de Costa Rica. San José.

