

Evaluación de la vulnerabilidad asociada a la actividad del volcán Turrialba (2010-2017) en el distrito de Santa Cruz de Turrialba, Costa Rica

Vulnerability assessment associated to the activity of the Turrialba Volcano (2010-2017) in the district of Santa Cruz of Turrialba, Costa Rica

Daniela Campos-Durán* y Gustavo Barrantes-Castillo

Universidad Nacional (UNA), Escuela de Ciencias Geográficas, Heredia, Costa Rica

*Autora para contacto: daniela.campos.duran@una.cr

(Recibido: 27-02-2020; aceptado: 06-05-2020)

RESUMEN: Entre 1864 y 1866 el volcán Turrialba presentó su último periodo eruptivo de origen magmático acompañado de erupciones estrombolianas. Después de casi 150 años de inactividad el 5 de enero de 2010 inicio un nuevo periodo eruptivo caracterizado por la caída de ceniza, actividad que se sostuvo hasta finales de 2016, siendo las erupciones del 29 de octubre de 2014, 12 de marzo de 2015 y 19 de setiembre de 2016 las de mayor impacto. Durante este último periodo, las cenizas llegaron a comunidades localizadas en la Gran Área Metropolitana (GAM) entre ellas Coronado, Moravia, Guadalupe, Alajuela, Heredia y Pavas. Las principales afectaciones se dieron en comunidades y fincas del distrito de Santa Cruz de Turrialba localizadas en los flancos NW, SW y SE del edificio volcánico, tales como Finca Silvia, La Central, La Picada y El Tapojo. En esta investigación se desarrolla un indicador de vulnerabilidad comunal ante eventos volcánicos, donde se evalúan variables físicas, sociales y económicas ante las amenazas de origen volcánico, así como los procesos de gestión que se han implementado en el área de estudio por parte de los actores institucionales y la población civil involucrada para reducir sus condiciones de riesgo. De acuerdo con los resultados, se obtuvo un valor global del índice de 0,4 lo que corresponde a una vulnerabilidad baja.

Palabras clave: vulnerabilidad; gestión de riesgo; indicador; institucionalidad; volcán Turrialba; Costa Rica.

ABSTRACT: Between 1864 and 1866 the Turrialba volcano presented its last eruptive period of magmatic origin accompanied by strombolian eruptions. After almost 150 years of inactivity on January 5, 2010, a new eruptive period began, characterized by falling ash. Activity was sustained until the end of 2016, with the eruptions of October 29, 2014, March 12, 2015 and September 19, 2016 having the greatest impact. During this last period, the ash fell in communities of the Great Metropolitan Area (GAM) such as Coronado, Moravia, Guadalupe, Alajuela, Heredia and Pavas. The main impacts occurred in communities and farms of the district of Santa Cruz of Turrialba located on the NW, SW and SE flanks of the volcanic building, such as Finca Silvia, La Central, La Picada and El Tapojo. This research develops an indicator of communal vulnerability to volcanic events, where physical, social and economic variables are evaluated in the face of threats of volcanic origin, as well as the management processes that have been implemented in the area of study by institutional actors and the civilian population involved to reduce their risk conditions. Based on the results, an overall index value 0.4 was obtained, which corresponds to a low vulnerability.

Keywords: vulnerability; assessment risk; indicator; institutionality; Turrialba volcano; Costa Rica.



INTRODUCCIÓN

El volcán Turrialba se localiza 16 km al NO de la ciudad de Turrialba, posee una altura de 3340 metros sobre el nivel del mar y corresponde a un estratovolcán cuyo edificio volcánico es de aproximadamente 290 km³, va desde la ciudad de Turrialba hasta las llanuras de Guápiles y desde el río Toro Amarillo hasta las cercanías del río Reventazón (Linkimer y Alvarado, 2002). En los últimos 3500 años se han constatado seis eventos explosivos, ocurridos en 1500 a.C., 1420 a.C., 800 a.C. 50 d.C. (de todas la más violenta), 650 d.C., y finalmente 1864-1866 d.C. Este último se prolongó por casi dos años y expulsó ceniza, aunque no en grandes cantidades, que llegó a caer en gran parte del Valle Central Occidental, impactando ciudades como San José, Atenas e incluso Puntarenas (Alvarado, Soto y Rojas, 2010).

En 2005 inició una nueva etapa eruptiva asociada a aumentos en la temperatura. Durante el 2007, se dio un aumento en la acidificación de las fumarolas y en los enjambres sísmicos; con afectaciones en pastizales, algunos cultivos e infraestructura en los poblados de La Picada y Finca Silvia (Abarca y Alvarado, 2017), en el distrito de Santa Cruz (Figura 1). El 5 de enero de 2010 se presentó la primera erupción acompañada de ceniza, que alcanzó poblados del distrito de Santa Cruz, tales como finca Central (localmente conocida como La Central), La Pastora, El Retiro y La Esperanza. También, se registró caída de ceniza a más de 20 km al SW del volcán, destacando sitios como Capellades, Juan Viñas, Pacayas, Tres Ríos, Moravia, Guadalupe, San Pedro de Montes de Oca, Coronado, Escazú, Aserri y Zapote. El 8 de enero cayó ceniza en otros sectores cercanos al volcán, como fue el caso de La Pastora de Santa Cruz (Campos y Alvarado, 2018).

Con la erupción del 5 de enero de 2010 el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (2010) señaló que la mayor afectación sobre las actividades agropecuarias se dio en el distrito de Santa Cruz de Turrialba. Además, la Comisión Nacional para la Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) evacuó 40 pobladores de La Central y El Retiro, quienes fueron reubicados en los salones comunales de La Pastora y Santa Cruz (Núñez, Gutiérrez y Calderón, 2010); al mismo tiempo, hubo quienes se alojaron con familiares en comunidades cercanas.

Entre el 2011 y 2013 se presentó un periodo de relativa calma; sin embargo, el 29 de octubre de 2014, a las 23:35 hora local, se dio una erupción que fue precedida por un incremento en la sismicidad y desgasificación. Cabe destacar que esta erupción ha sido la más grande registrada desde 1866, seguida por tres días de emisiones frecuentes de ceniza (Alvarado et al., 2016). Esto provocó que la CNE declarara alerta amarilla en el cantón de Turrialba el 30 de octubre, los poblados más afectados fueron La Silvia, Convento, El Retiro, La Central, Los Quemados, Miravalles, Cazuelas, Bonilla, La Picada, Las Abras, Guayabo, Tapojo y La Orieta, en el distrito de Santa Cruz de Turrialba (Arguedas, 2014). La primera acción que se llevó a cabo fue la activación del Comité Municipal de Emergencias de Turrialba (CME-Turrialba), que realizó la sistematización de la información sobre afectaciones o daños en diversas áreas, como, por ejemplo, comunidades y población afectada, albergues, daños en infraestructura y servicios, animales en fincas que requerían alimentación o evacuación, así como escuelas cerradas, datos que permitieron la toma de decisiones para el manejo de la emergencia.

Para este evento el Ministerio de Educación Pública (MEP) declaró el cierre de 12 centros educativos en el distrito de Santa Cruz, correspondientes a Las Abras, La Reunión, Julia Fernández, El Volcán, Unidad Pedagógica Torito, Santa Cruz, La Pastora, Bonilla, Guayabo, Calle Vargas, La Orieta y Las Virtudes. Sin embargo, para el 04 de noviembre de 2014, se reanudaron las lecciones en las escuelas que se encontraban fuera de los cinco km alrededor del volcán, siendo únicamente las escuelas Las Virtudes, La Reunión y El Volcán las que continuaban con la suspensión de lecciones; por ello los estudiantes de los centros educativos La Reunión y El Volcán eran trasladados a la escuela de La Pastora mediante un servicio de autobús.

Entre 2010 y 2017 los mayores daños y pérdidas económicas en el sector agropecuario se concentraron en el flanco noroeste. Abarca y Alvarado (2017) señalan que en 2010, se presentaron daños en fincas tales como La Esperanza, El Retiro, Miravalles, La Central y La Picada, que reportaron una población animal de 713 bovinos. Asimismo entre mayo y abril de 2016 se tuvo afectación en los cultivos de repollo, brócoli, coliflor, papa, zanahoria y cebollín; así como de 1961 animales (bovinos) en los cantones de Alvarado, Oreamuno y Turrialba. Para este periodo la CNE invirtió un total de ₡238.401.44. Estas pérdidas se concentraron principalmente en caseríos como La Silvia (en la cartografía oficial del Instituto Geográfico Nacional señalada como finca Retiro, aunque la población se refiere a La Silvia), La Picada y La Central (en la cartografía oficial del Instituto Geográfico Nacional señalada como Finca Central) y en los flancos suroeste y sureste, donde se localizan fincas como Esperanza, La Fuente, La Reunión, Las Virtudes, Guayabo Arriba, Santa Ana, Raicero, caserío El Tapojo y la comunidad de La Pastora (Figura 2).

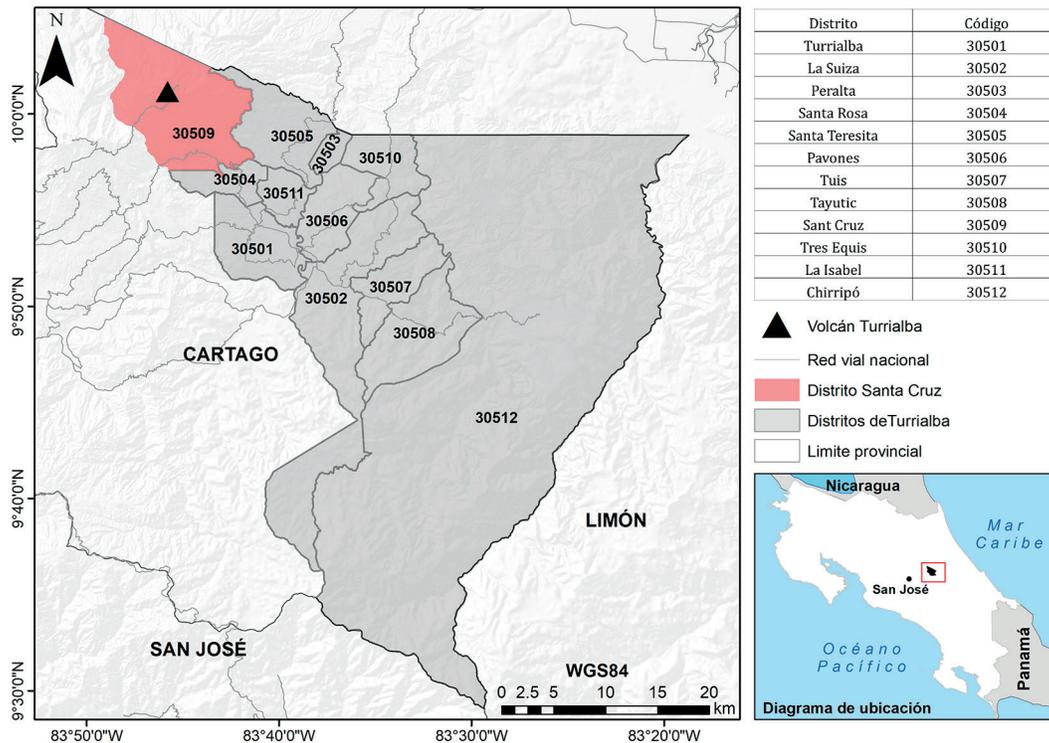


Fig. 1: Distrito de Santa Cruz en el cantón de Turrialba resaltado en color rojo, donde se aprecia además el volcán Turrialba con un triángulo negro, así como la división político-administrativa del cantón de Turrialba. Elaborado a partir de información del ATLAS del Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2008.

Para octubre de 2014, debido a la magnitud de las erupciones, la CNE declaró alerta amarilla en Turrialba por la caída de ceniza y gases, 11 personas fueron evacuadas y trasladadas a un albergue temporal en el salón comunal de Santa Cruz. Además, se dio el cierre indefinido de 13 centros educativos en los cantones de Alvarado, Oreamuno y Turrialba; en este último se vieron afectados los estudiantes de poblados como La Central, La Picada y El Tapojo, localizados en el distrito de Santa Cruz (Arguedas, 2014). Para marzo de 2015, por las erupciones de ceniza y gases, la CNE ordenó el cierre de las vías de acceso en los sectores de La Pastora, La Central y Las Virtudes de Turrialba. Además, se activó CME-Turrialba y este a su vez al Centro de Operaciones (Chacón, 2015), destacando que las principales afectaciones se concentraron al W del distrito de Santa Cruz, específicamente el sector comprendido entre La Pastora y La Picada.

Los datos anteriormente descritos permiten afirmar que las comunidades y fincas localizadas al norte del distrito de Santa Cruz fueron las más afectadas por la actividad volcánica, por tanto, este escenario suscitó que la CNE, el gobierno local y la Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba a través del MAG-SENASA promovieran mecanismos de gestión de riesgo, principalmente enfocadas en la atención de emergencias y mecanismos de prevención.

En este sentido Gómez (1996) señala que los elementos sociales y económicos expuestos, en conjunto, han incrementado la vulnerabilidad de la población frente a los procesos volcánicos en los inicios de este siglo. En consecuencia, al haber aumentado los bienes expuestos, se ha elevado considerablemente el potencial de daños que se puede producir desde el punto de vista social y económico, ya que la economía depende en gran escala del entorno en que se desarrolla.

De acuerdo con datos del Asistente Técnico de Atención Primaria de Salud (ATAP) de Santa Cruz, a febrero de 2018, la población en el área de estudio era de 601 habitantes, donde el 100% correspondía a población rural; esto se relaciona de manera directa con las actividades económicas que se desarrollan, destacando la producción de leche y de queso y cultivos como la papa, el repollo, la cebolla y la zanahoria, este escenario permite intuir para el sector agropecuario un panorama de alta vulnerabilidad ante la amenaza volcánica.

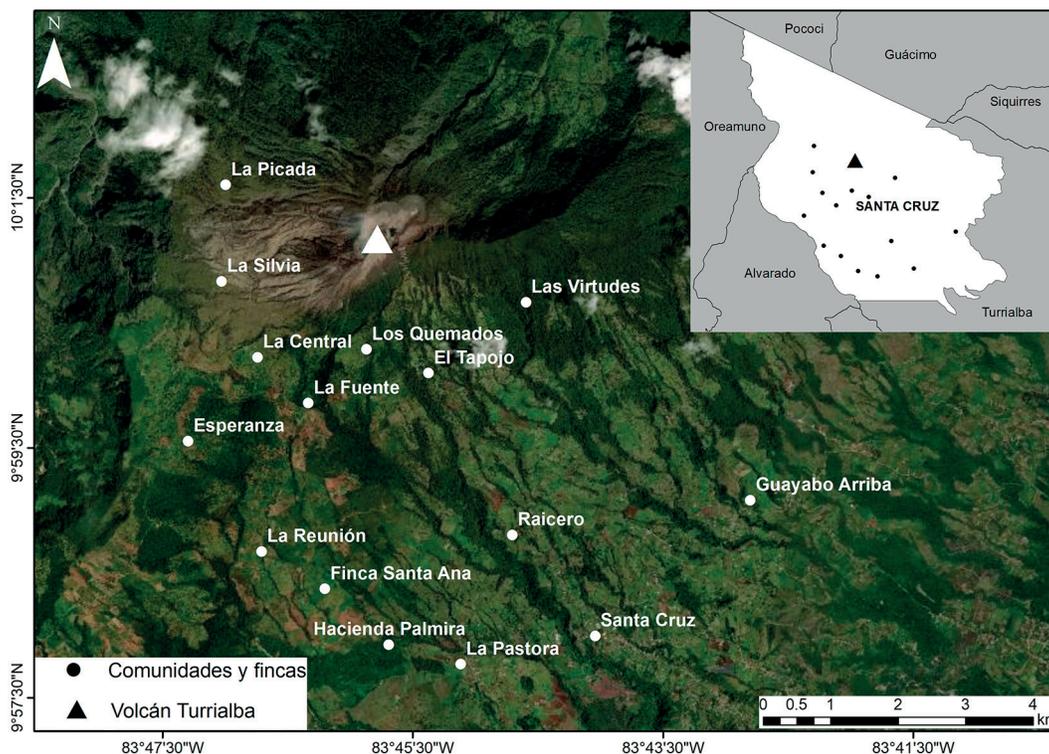


Fig. 2: Comunidades y fincas más afectadas por la actividad del volcán Turrialba entre 2010 y 2017, todas localizadas en el distrito de Santa Cruz. Elaborado a partir de trabajo de campo.

Debido a las afectaciones reportadas en las actividades productivas y la exposición de la población, se elaboró un indicador que permitiera evaluar su vulnerabilidad ante la actividad volcánica. Esto se llevó a cabo mediante la elaboración y aplicación de una metodología que permitiera identificar y evaluar el nivel de vulnerabilidad de las comunidades o poblados expuestos, tales como La Pastora, La Central, El Tapojo y Las Virtudes, considerando además, las capacidades desarrolladas para reducir las condiciones de riesgo o aquellos factores que aún deben ser abordados por las entidades correspondientes, con la finalidad de reducir las condiciones de vulnerabilidad en el área de estudio.

METODOLOGÍA

Para la evaluación de la vulnerabilidad ante la actividad del volcán Turrialba, se elaboró un indicador de vulnerabilidad comunal ante eventos volcánicos (IVCEV), el cual se diseñó para ser aplicado a partir de entrevistas a actores clave, correspondientes a funcionarios de la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias de la municipalidad del cantón de Turrialba, de la Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería y Servicio Nacional de Salud Animal, así como informes técnicos de la CNE, informes periodísticos, publicaciones y trabajo de comprobación de campo.

Este indicador evalúa los aspectos físicos, sociales y económicos ante las amenazas de origen volcánico, así como los procesos de gestión que se han implementado en el área de estudio, por parte de los actores institucionales y la población civil, para reducir sus condiciones de riesgo. El indicador se compone de tres módulos: vulnerabilidad física, vulnerabilidad social y vulnerabilidad económica, los cuales están subdivididos en parámetros, y estos a su vez, en criterios de evaluación (Cuadro 2).

El módulo de vulnerabilidad física evalúa la existencia de directrices a nivel institucional que se hayan implementado para identificar las amenazas de origen volcánico, así como aquellas medidas estructurales y no estructurales que se han

aplicado para disminuir las condiciones de vulnerabilidad y por ende de riesgo de la población y los elementos expuestos. Los parámetros que conforman este módulo son: conocimiento de amenazas volcánicas, infraestructura crítica (viviendas, carreteras, puentes o escuelas) y medidas estructurales y no estructurales.

En cuanto al módulo de vulnerabilidad social se evalúa si las instituciones involucradas en los procesos de gestión de riesgo, como la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias de la municipalidad del cantón de Turrialba y la CNE, cuentan con protocolos para el manejo de las emergencias por actividad volcánica, mecanismos para la capacitación e información ciudadana en materia de riesgo, así como alianzas con otras entidades públicas que promuevan una cultura de prevención y de adecuada respuesta en la población local. Este módulo, a su vez, se conforma de cuatro parámetros, correspondientes a divulgación de información, capacitación y educación comunal, cohesión social y coordinación interinstitucional.

Por último el módulo vulnerabilidad económica tiene como finalidad evaluar si las entidades asociadas al sector agropecuario, en este caso la Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba, a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería y Servicio Nacional de Salud Animal, cuentan con estudios detallados sobre el grado de exposición y vulnerabilidad de las actividades agrícolas y pecuarias ante la actividad volcánica, así como con datos oficiales sobre pérdidas económicas y mecanismos de protección financiera. Este módulo, a su vez, se compone de tres parámetros correspondientes a actividades económicas, historial de afectación por actividad volcánica y mecanismos de protección financiera.

Para los criterios de evaluación, se estableció un ámbito de valores, desde cero (0) hasta dos (2) y sus correspondientes valoraciones cualitativas, respectivamente (Cuadro 1).

Para los criterios de evaluación, en cada uno de los niveles, se realizó una descripción; en el caso de los parámetros, se realizaron consultas a expertos en materia de gestión de riesgo, quienes contribuyeron a asignar ponderaciones para su respectiva evaluación (Cuadro 2).

El valor porcentual de la ponderación se estableció en función de la cantidad de criterios de evaluación que componen cada módulo, así como de la importancia del parámetro en cuanto a los procesos de prevención y de respuesta, por ejemplo, el parámetro de identificación de la infraestructura crítica cuenta con dos criterios de evaluación, sin embargo, al ser la infraestructura uno de los puntos más vulnerables por los procesos volcánicos se le asignó una ponderación de 30% y así con cada uno de los parámetros.

Para la obtención de los resultados del IVCEV se aplicaron las siguientes fórmulas matemáticas.

- Valor del módulo

$$Ve: \sum_{i:0}^n \left\{ Pi * \left(\frac{\sum_{i:0}^n Vi}{n} \right) \right\}$$

Donde:

Ve= valor del módulo

Vi= valor de criterio de evaluación

n=número de criterios

Pi= peso de parámetro

- Valor del IVCEV

$$IVCEV: \frac{\sum_{i:1}^n Ve}{ne}$$

Donde

IVCEV= Indicador de vulnerabilidad comunal ante eventos volcánicos

Ve= valor del módulo

ne= número de módulos

Posterior a ello, se utilizó un rango de evaluación para el Indicador de riesgo ante eventos volcánicos a nivel local para su valoración cualitativa (Cuadro 3).

Cuadro 1

Ámbito de valores para los criterios de evaluación del IVCEV.

Nivel de vulnerabilidad	Valor
Alta	2
Media	1
Baja	0

Una vez obtenidos los rangos de evaluación, se elaboró una síntesis de fortalezas y debilidades que han sido determinantes en los procesos de gestión de riesgo, este resumen se expone para cada módulo con la finalidad de obtener una mejor comprensión de los resultados en cada uno de estos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan de manera detallada los resultados obtenidos a través de la aplicación del IVCEV. Primeramente, se exponen los resultados para cada uno de los módulos y posterior a ello un análisis del valor global del indicador.

Modulo vulnerabilidad física

El parámetro de conocimiento de amenazas volcánicas obtuvo un valor de 0,15 y determinó que el municipio cuenta con los mapas de peligros volcánicos, elaborados por Soto (2012). Este estudio señala que existen dos zonas de peligro volcánico, la primera catalogada de máximo peligro (2 km alrededor del volcán) que coincide con el área del Parque Nacional Volcán Turrialba, la segunda catalogada de intermedio a alto peligro (5 km alrededor del volcán), las cuales fueron clasificadas utilizando como principal criterio la caída de balística. En estas áreas existen otros peligros, por ejemplo, en el área de alta ame-

Cuadro 2

Valores ponderativos de los parámetros.

Módulo	Parámetro	Criterio de evaluación	Ponderación en % (Peso del parámetro)
Vulnerabilidad física (30%)	Conocimiento de amenazas volcánicas	2	30%
	Identificación de infraestructura crítica	2	30%
	Medidas estructurales y no estructurales	3	40%
Vulnerabilidad social (40%)	Divulgación de información	2	20%
	Capacitación y educación comunal	3	20%
	Cohesión social	9	40%
	Coordinación interinstitucional	2	20%
Vulnerabilidad económica (30%)	Actividades económicas	3	35%
	Historial de afectación por actividad volcánica	3	35%
	Mecanismos de protección financiera	1	30%

Cuadro 3

Rangos de evaluación para el indicador de gestión de riesgo ante eventos volcánicos a nivel local.

Límite inferior	Límite superior	Nivel de gestión de riesgo
1,6	2	Alta
1	1,5	Media
0	0,9	Baja

naza se tiene caída de balísticos, caída de ceniza con un espesor mayor a 1 metro (erupción vulcaniana), flujos piroclásticos por colapso de columnas estrombolianas y lluvia ácida frecuente. El área de media amenaza se vería impactada por caída de balística, lavas, flujos y oleadas piroclásticas, caída de ceniza con un espesor mayor a 30 cm por eventos vulcanianos y lluvia ácida frecuente, asimismo se cuenta con el estudio Ruíz, Vega, Barrantes y Loría (2015) sobre la modelación de lahares y los estudios sobre lluvia ácida llevados a cabo por la Red Sismológica Nacional de la Universidad de Costa Rica (RSN: UCR-ICE) en el 2013 (Figura 3).

Esta información ha facilitado delimitar las áreas de acceso al volcán e identificar las actividades agropecuarias en sitios de amenaza (lluvia ácida, caída de balística, lahares y caída de ceniza). Asimismo, ha permitido la construcción de módulos de estabulación (invernaderos para el ganado) en áreas estratégicas. El trabajo de identificar las actividades agropecuarias en sitios de amenaza y la construcción de los módulos de estabulación, ha sido una labor conjunta entre la Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba, CNE y el gobierno local. Otro dato importante por destacar es que las áreas de mayor amenaza, denominadas por la CNE áreas de medio y alto riesgo volcánico (anillos uno y dos), se encuentran debidamente señalizadas, mediante rótulos (Figura 4), para conocimiento de la población local y visitante. Existen en total 14 rótulos distribuidos en las rutas de acceso, entre los dos y cinco kilómetros alrededor del volcán, labor que ha sido asumida por la CNE.

Por su parte, el parámetro identificación de infraestructura crítica, cuyo valor fue de 0,15, permitió identificar que el gobierno local, específicamente la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias, cuenta con un registro de viviendas, carreteras, puentes y escuelas que podrían verse afectadas por las amenazas del volcán Turrialba, específicamente caída de ceniza, lahares, oleadas piroclásticas, lluvia ácida y coladas de lava. En este punto, sobresale que la recopilación de la información ha sido una labor conjunta entre diversas instituciones. Para el caso de las viviendas, la información es actualizada cada seis meses por parte del Área Rectora de Salud de la Caja Costarricense del Seguro Social de Turrialba, a través del ATAP de Santa Cruz; dentro de los datos recolectados por comunidad se encuentran total de viviendas, su estado y tenencia, personas por vivienda, promedio de personas por vivienda, población por grupo de edades y saneamiento básico.

En cuanto a las carreteras y puentes, la Unidad Técnica de Gestión Vial de la municipalidad de Turrialba cuenta con un inventario en los cinco kilómetros alrededor del volcán; sin embargo, este se actualiza de acuerdo con las necesidades que se presenten asociadas a la actividad volcánica, es decir en periodos mayores a un año. Para el caso de las escuelas, el municipio tiene identificados 13 centros educativos en el perímetro de los cinco kilómetros alrededor del volcán, cuyos datos fueron facilitados por el Ministerio de Educación Pública (MEP) a la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias. Esta información es de vital importancia, ya que ha permitido coordinar de manera más efectiva las labores de prevención-mitigación o de respuesta ante emergencias; por ejemplo, permitió coordinar de manera interinstitucional las labores de respuesta en las emergencias que se presentaron en el 2010, 2014, 2015 y 2016. Por tanto, se destaca que a nivel institucional se han generado importantes alianzas de coordinación para el levantamiento y manejo de información como se señaló anteriormente.

Por último, el parámetro medidas estructurales y no estructurales, cuyo valor obtenido fue de 0, indica que el municipio tiene identificadas y señalizadas las carreteras que funcionarían como rutas de evacuación en caso de emergencia. Estas, de acuerdo con datos de la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias corresponden a las rutas: San Antonio – La Orieta – La Fuente – Santa Teresita, Tapojo – Las Virtudes – La Fuente, Calle Vargas – Las Abras y Finca Central – San Rafael de Irazú (Figura 5).

De acuerdo con la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias estas carreteras, que a su vez funcionan como rutas de evacuación, reciben labores de mantenimiento de manera constante; para ello la CNE realizó una importante inversión en la rehabilitación y mantenimiento de estas vías, destacando la ruta Tapojo – Las Virtudes. Al 2017 se habían invertido

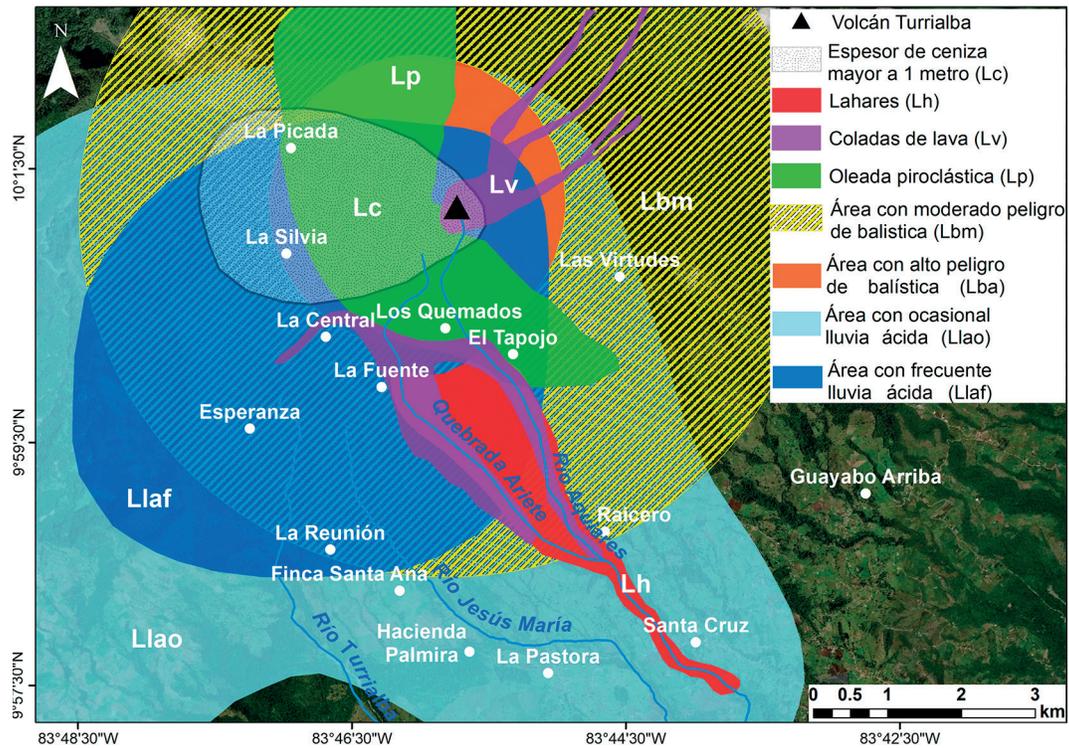


Fig. 3: Peligros volcánicos del volcán Turrialba, adaptado a partir de Soto (2012), Lanamme (2015) y RSN-UCR: ICE (2013).

¢640 000 000, de los cuales ¢400 000 000 se destinaron a la ruta Calle Vargas – Las Abras y ¢240 000 000 en la ruta La Orieta – Santa Teresita, fondos que se tramitaron a través de la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias de la municipalidad de Turrialba.

Asimismo, el municipio cuenta con una partida presupuestaria específica para las labores de mantenimiento en estas carreteras, donde el presupuesto está contemplado dentro del Plan Operativo Anual (POA) de la municipalidad y es ajustado anualmente. Para el 2017, bajo el rubro de Aseo de Vías y Sitios Públicos, se presupuestaron ¢132 183 743, además, a través del rubro presupuestario Atención de emergencias se asignó una partida presupuestaria de ¢10 419 642 (Municipalidad de Turrialba, 2017b).

De acuerdo con los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros analizados anteriormente, se obtiene que el módulo vulnerabilidad física obtuvo un valor de 0,3, que, de acuerdo con el rango de evaluación para el IVCEV, corresponde a una vulnerabilidad baja. El desglose de los valores se muestra en el cuadro 4.

Módulo vulnerabilidad social

En el módulo vulnerabilidad social el parámetro de divulgación de información, obtuvo un valor de 0,1, lo que permitió identificar que el municipio, a través de la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias, cuenta con dos protocolos generales, los cuales son coordinados interinstitucionalmente para brindar información a la población acerca de la actividad del volcán Turrialba, además, de establecer los responsables de su ejecución. Los protocolos “Manejo de información” y “Comunicaciones” se encuentran establecidos en el Plan para la preparación y atención de emergencias del cantón de Turrialba, elaborado por la Municipalidad de Turrialba en 2017a. El primero de ellos es coordinado por el Comité Municipal



Fig. 4: A) Rótulos de señalización de zona de alto riesgo volcánico, en la entrada del camino que va hacia el sector La Silvia y La Picada. B). Rótulos de señalización en La Central, sector de alto riesgo volcánico. C) Rótulo de señalización en el sector de La Fuente. Elaborado a partir de trabajo de campo.

de Emergencias (CME) de Turrialba y tiene como finalidad manejar de forma adecuada la información que ingresa al CME de Turrialba, durante la atención de una emergencia. El segundo en mención es coordinado por la CNE y tiene como finalidad establecer una comunicación efectiva entre los Comités Comunales de Emergencia con el Comité Municipal de Emergencias en situaciones de prevención y atención de emergencias.

Dentro de las actividades que se realizan para informar a la población, están definir al vocero oficial del CME, en este caso el coordinador del Comité (alcalde Turrialba) o quien este designe, establecer un canal de comunicación con la población por medio de las redes sociales (Facebook) en el sitio del Comité Municipal de Emergencia, así como la utilización de los medios de comunicación colectiva local (prensa) para informar sobre las acciones que realiza el CME en labores de prevención.

El parámetro de capacitación y educación comunal obtuvo un valor de 0,26 y permitió determinar que la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias ha realizado talleres de capacitación únicamente cuando se han presentado emergencias por actividad volcánica. Entre las labores que se han llevado a cabo están charlas en los centros educativos, dirigidas a docentes, estudiantes y padres de familia, sin embargo, se destaca que este tipo de labores deberían ser sostenidas en el tiempo (permanentes).

Para desarrollar lo anterior, el municipio cuenta con un plan piloto, elaborado por la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias, el cual se implementa desde el 2015 y tiene como objetivo desarrollar actividades educativas dirigidas a las escuelas del cantón para promover la sensibilización en los temas de riesgo asociado a eventos volcánicos con un enfoque de resiliencia.

De acuerdo con datos de la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias Para el 2017 se capacitaron ocho escuelas, cuatro liceos, así como charlas impartidas a los supervisores de circuito del MEP. En este mismo plan está contenida la distribución de panfletos en viviendas y centros comerciales, cuya información hace referencia a recomendaciones y acciones que debe tomar la población en caso de caída de ceniza. Esto ha sido una labor conjunta con la Cruz Roja y el ATAP de Santa Cruz.

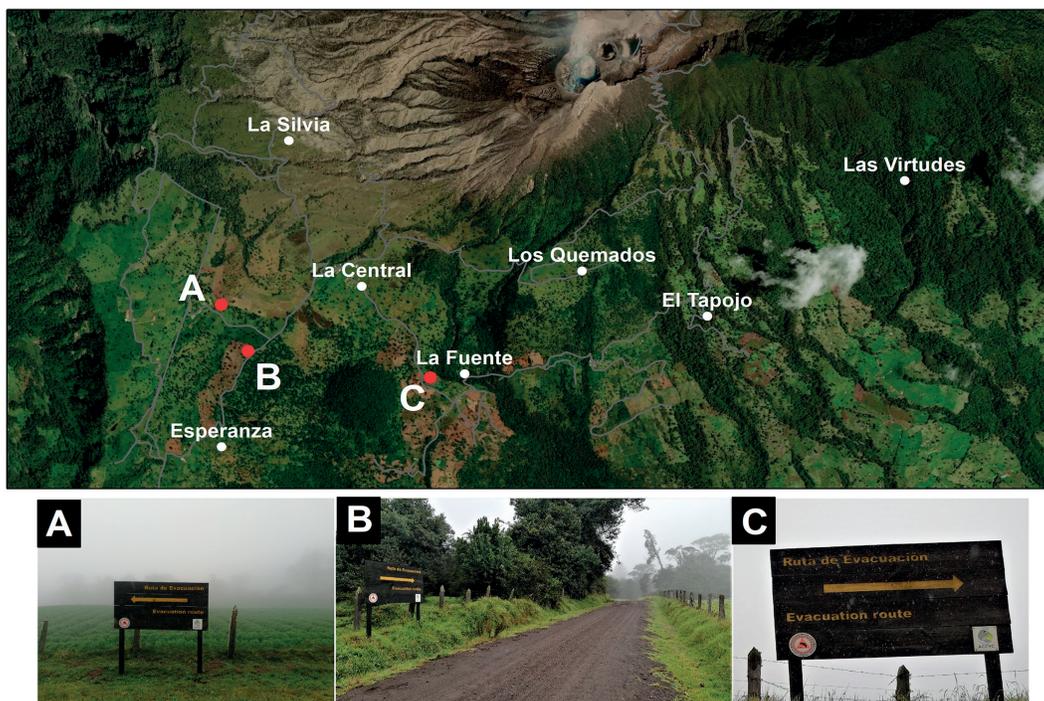


Fig. 5: A y B). Rótulos de ruta evacuación sobre la Ruta Nacional 417 que comunica Finca Central con San Rafael de Irazú. C). Rótulo de ruta evacuación entre el sector de Hacienda La Fuente y La Pastora. Elaborado a partir de trabajo de campo.

A pesar de que no existe una partida específica en el presupuesto del municipio para la realización de talleres o actividades de capacitación, los materiales didácticos que se utilizan para las charlas en los centros educativos han sido facilitados por la CNE, correspondiente a la Guía para la elaboración de planes de gestión de riesgo en centros educativos (CNE, 2013).

En cuanto al parámetro de cohesión social, este obtuvo un valor de 0 y se determinó que la comunidad de La Pastora, la más próxima al volcán, cuenta con el Comité Comunal de Emergencias La Pastora, que a su vez está contemplado dentro del Plan para la preparación y atención de emergencias del cantón de Turrialba. Se destaca que este comité fue creado por iniciativa de la comunidad a raíz de la emergencia que se presentó en enero de 2010, esto se constató mediante consultas a líderes de esta comunidad, así como con información facilitada por la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias. Además, existen otras organizaciones comunales, como lo son la Asociación de Desarrollo Integral de La Pastora, el Acueducto Comunal de La Pastora, el Comité de Caminos, la Cámara de Turismo y la Cámara de Comercio.

Cuadro 4

Valor del módulo de vulnerabilidad física por parámetros.

Parámetro	Criterio de evaluación	Valor obtenido	Valor del parámetro	Valor del módulo
Conocimiento de amenazas volcánicas	1	0	0,15	0,3
	2	1		
Identificación de puntos críticos	1	0	0,15	
	2	1		
Medidas estructurales y no estructurales	1	0	0	
	2	0		
	3	0		

Por tanto, a nivel de cohesión social, se puede apreciar que el área de estudio cuenta con estructuras comunales sólidas, que se han mantenido permanentes en el tiempo y por tanto, pueden facilitar a su vez una adecuada organización en caso de emergencia. Esta organización comunal se ve reflejada en la participación que han tenido estas comunidades en la temática de los riesgos y la atención de emergencias, ya que el CCE-La Pastora, de acuerdo con datos de la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias, en el 2017, tuvo representación en el Foro Nacional de Gestión de Riesgo, el cual es coordinado anualmente por la CNE y se encuentra establecido en la Ley 8488.

Se destaca que el municipio cuenta con el “Plan para la preparación y atención de emergencias del cantón de Turrialba”, el cual tiene como objetivo garantizar una respuesta efectiva y oportuna de las instituciones del CME - Turrialba, organización local y la población en general, en la atención de emergencias. Este plan contiene los protocolos para la atención de emergencias asociadas a diversas amenazas, donde se establece su estructura operativa (Figura 6), áreas de intervención según la vulnerabilidad a nivel institucional y sectorial, mecanismos de activación de alertas y procedimientos operativos y logísticos.

Para el manejo de emergencias volcánicas en las áreas de intervención, según la vulnerabilidad, a nivel institucional y sectorial, se cuentan con las siguientes entidades y sus respectivas responsabilidades (Cuadro 5).

El Plan para la preparación y atención de emergencias del cantón de Turrialba es actualizado anualmente y en ello participan representantes de todas las instituciones citadas en el cuadro 5, así como de la sociedad civil.

Para la preparación y atención de emergencias en setiembre de 2009, se realizó un simulacro de erupción volcánica, auspiciado por la World Society for the Protection of Animals (WSPA) y estuvieron presentes entidades como Cruz Roja, SENASA, Fuerza Pública, CNE y la Unidad Veterinaria de Respuesta a Emergencias de la Universidad Nacional (VERU-UNA); además, se contó con la participación de la sociedad civil residente en el área de estudio. En el caso de los productores se les enseñó los elementos de un operativo de asistencia en desastres, la creación y manejo de un centro de comando, la transformación de granjas de producción lechera en refugios para los animales y técnicas para combatir los efectos de la ceniza en los animales y la evacuación de estos.

Además, se cuenta con tres radios de comunicación, los cuales funcionan las 24 horas del día. Estos se localizan en La Pastora, Hacienda La Palmira y en El Tapoyo. Estos radios se manejan a nivel nacional, ya que están enlazados con el Departamento de Comunicaciones de la CNE, quienes además han brindado capacitaciones a los vecinos que se encargan de la administración de los radios; por tanto, existe una comunicación en tiempo real, lo cual facilita la respuesta en caso de emergencia.

Si bien se identificó que las labores que ha llevado a cabo el municipio, a través de la oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias, han tenido un mayor énfasis en la fase de repuesta a nivel local, el trabajo que se implementa desde el 2015 en los centros educativos busca promover mecanismos más asociados a la fase de prevención, lo cual es uno de los mayores retos a los que se enfrenta el municipio en materia de gestión de riesgo.

Finalmente, el parámetro de coordinación institucional, cuyo valor obtenido fue de 0,2, permitió determinar que la oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias ha establecido alianzas interinstitucionales para trabajar con las comunidades, bajo un enfoque educativo e informativo, la temática de prevención y respuesta ante eventos volcánicos. Estas alianzas se han trabajado principalmente con la CNE, que a su vez se ha encargado de convocar a los entes científico – técnicos para la realización de charlas en las comunidades. Sin embargo, estas actividades se han realizado únicamente cuando se han dado emergencias asociadas a la actividad volcánica. A pesar de ello, es importante rescatar que existe una relación directa entre el municipio y la CNE, lo cual ha facilitado llevar información valiosa a las comunidades en periodos de crisis; sin embargo, se debe abogar por hacer de dichas actividades una labor permanente en el quehacer del gobierno local.

De acuerdo con la información expuesta en cada uno de los parámetros citados anteriormente, se determina que el módulo de vulnerabilidad social obtiene un valor de 0,5, lo cual corresponde a una vulnerabilidad baja (Cuadro 6).

Modulo vulnerabilidad económica

El parámetro actividades económicas, cuyo valor fue de 0,1, permitió identificar que el MAG y SENASA, a través de la Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba, han realizado en los cinco kilómetros alrededor del volcán, inventarios detallados de los productores y las actividades agropecuarias que se desarrollan. Esta información corresponde al nombre y

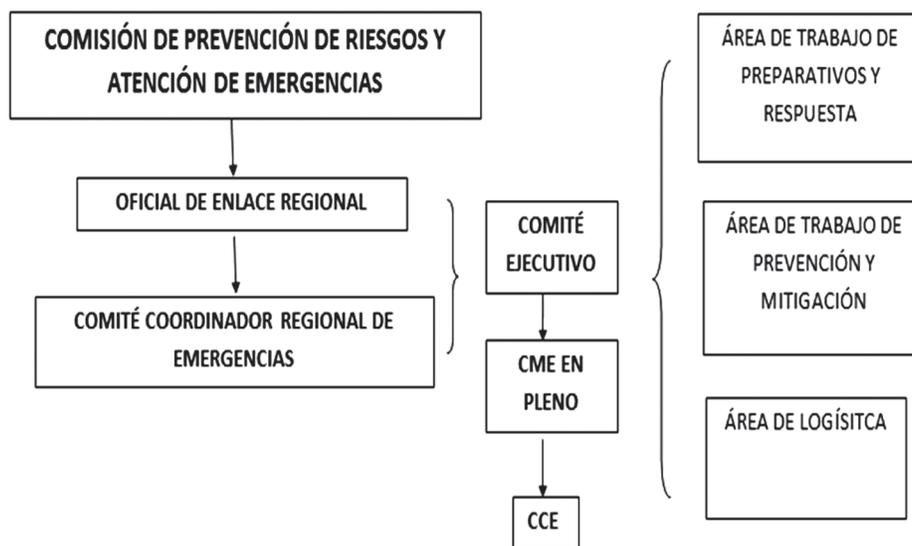


Fig. 6: Estructura operativa para la atención de emergencias en el cantón de Turrialba, según el Plan para la preparación y atención de emergencias del cantón de Turrialba (2017).

número de cédula del productor, nombre de la finca, tipo de cultivo y cantidad de hectáreas o de cabezas de ganado. Estos datos se han actualizados en periodos menores a un año, debido a la recurrencia de las emergencias. De acuerdo con los últimos datos, a julio de 2016 se contabilizaron en el área de estudio un total de 140 productores agropecuarios (Cuadro 7).

En este parámetro, es importante destacar que una de las debilidades que se identificó es que no se cuenta con estudios a detalle sobre el grado de tolerancia de los cultivos y pastos ante posibles espesores de ceniza, principalmente en las áreas de producción agropecuaria.

Por su parte, el parámetro historial de afectación por actividad volcánica obtuvo un valor de 0,1, y permitió identificar que no existe un inventario sistematizado sobre las pérdidas económicas que se han dado en el sector agropecuario por la actividad volcánica. De acuerdo con datos facilitados por la Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba, únicamente existen estimados de pérdidas para el 2016, año en que se dio la mayor emergencia; para ello SENASA estimó una pérdida diaria de aproximadamente ₡3 000 000 en leche, así como 1,75 toneladas de queso, lo que se tradujo a una pérdida semanal de ₡21 000 000. Estos datos se estimaron con las emergencias acontecidas en mayo y en octubre, ya que se dio una disminución entre el 5 y 10% en la producción láctea.

Sin embargo, durante las emergencias del 2010, 2014, 2015 y 2016, los productores agropecuarios fueron beneficiados con subsidios por parte de la Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba, insumos que fueron adquiridos con financiamiento de la CNE. Dicha inversión se realizó únicamente en 2014 y en 2016 y tuvo un costo total aproximado de ₡ 79 008 915.

Por su parte, el Comité Sectorial Agropecuario Local de Turrialba realizó en 2014 el taller “Plan de Acción Emergencia Volcán Turrialba”, donde participaron alrededor de 30 funcionarios de diferentes instituciones del sector agropecuario del cantón de Turrialba. Este taller tuvo por objetivos conocer el comportamiento de la caída de lluvia ácida y ceniza originada por la actividad del volcán Turrialba, así como los efectos que estos eventos ocasionan tanto en la agricultura como en la ganadería, con el fin de establecer un conjunto de medidas para que, tanto los productores como las instituciones públicas, puedan enfrentar las emergencias causadas por eventos de origen volcánico.

Cuadro 5

Áreas de intervención según vulnerabilidad por institución (fuente: Municipalidad de Turrialba [2017a]).

Institución	Responsabilidad
Municipalidad	Protección de sistemas tratamiento y tanques de almacenamiento de agua potable. Referencia a instituciones competentes por daños estructurales.
Ministerio de Salud	Valorar viviendas afectadas y girar órdenes sanitarias por inhabilitabilidad. Valorar afectación de sistemas de aguas negras y residuales. Suministro de letrinas. Valoración de acueductos y ASADAS. Habilitación y supervisión de albergues. Control y prevención de epidemias.
CCSS	Atención en la prestación en los servicios de salud, garantizando la continuidad en la atención de pacientes afectados por las emergencias externas. Brindar apoyo psicológico e intervención en crisis de las personas afectadas. Estar alerta en la vigilancia epidemiológica en caso de epidemias. Coordinar esfuerzos en la atención de personas afectadas.
Tránsito	Coordinación con otras unidades de policías de tránsito. Desplazamiento de personal y equipo disponible. Uso de equipo adecuado según el evento. Ubicación de dispositivos móviles de seguridad (señales móviles, vallas, y cintas de prevención). Comunicación del estado de la situación a superiores y otras instituciones públicas. Información del público usuario de la situación y de las vías alternas.
Cruz Roja	Atención de pacientes por problemas respiratorios causados por la ceniza. Labores de búsqueda, rescate y evacuación de personas afectadas por la actividad.
Fuerza Pública	Mantener el orden público para evitar saqueos y otros delitos ante las necesidades que se presenten. Mantener la seguridad ciudadana.
MINAE-SINAC	Según el Plan de contingencia del Parque Nacional Volcán Turrialba.
MAG	Valoración de daños en cultivos y presentar informe ante el CME. Apoyo logístico.
Bomberos	Coordinación interinstitucional. Trabajo en equipo con instituciones de primera respuesta. Evacuación y rescate en las zonas que amerite.
MEP	No cuenta con responsabilidades establecidas.
Área de Salud	Atención de personas afectadas.
ICE	Valoración de daños de infraestructura eléctrica y telefónica. Coordinar la normalización de los servicios afectados. Monitorear zonas vulnerables.
RECOPE	Monitoreo de zonas de paso del oleoducto para prevenir avalanchas encausadas.

Cuadro 6

Valor del módulo de vulnerabilidad social por parámetros.

Parámetro	Criterio de evaluación	Valor obtenido	Valor del parámetro	Valor del módulo
Divulgación de información	1	1	0,1	0,5
	2	0		
Capacitación y educación comunal	1	1	0,26	
	2	1		
	3	2		
Cohesión social	1	0	0	
	2	0		
	3	0		
	4	0		
	5	0		
	6	0		
	7	0		
	8	0		
Coordinación interinstitucional	1	1	0,2	
	2	1		

Cuadro 7

Productores agropecuarios de las comunidades La Pastora y Tapojo a julio de 2016.

Cantidad de productores	Cultivo	Hectáreas	Total de animales	Finca – Comunidad
1	Cebolla	4,2	---	Las Parcelas
1	Zanahoria	2,1	---	Hacienda La Fuente
9	Repollo	5,81	---	El Triunfo y Hacienda La Fuente
41	Papa	64,4	---	El Rodeo, El Triunfo, Hacienda Reunión, Tapojo, Las Virtudes, Las Parcelas y Hacienda La Fuente
88	Ganado	---	3719	Finca Retiro, El Triunfo, Finca Central, Esperanza, La Pastora, Hacienda La Fuente, La Picada, Hacienda Reunión, Finca Silvia, Los Quemados, Rincón de Toro y Tapojo

Cabe destacar que el simulacro realizado en setiembre de 2009 formó parte de las actividades que las instituciones encargadas en el tema han desarrollado en el sector agropecuario, esto como un mecanismo para el desarrollo de capacidades que permitan implementar estrategias que contribuyan a disminuir las pérdidas agropecuarias.

Por último, con el parámetro mecanismos de protección financiera, cuyo valor fue de 0,3, se determinó que los productores agropecuarios no cuentan con mecanismos de protección financiera para atender las pérdidas económicas que podrían enfrentar a causa de la actividad volcánica; sin embargo, el estado ha respondido a sus necesidades mediante subsidios, a pesar de esto es necesario que se desarrollen en el país, como parte de los procesos de gestión de riesgo, políticas que incentiven mecanismos de protección financiera, tales como bonos catastróficos o seguros por cosechas, lo cual requiere de estudios a mayor detalle, así como un interés político en dicha temática.

De acuerdo con la información expuesta en cada uno de los parámetros citados anteriormente, se determina que el módulo de vulnerabilidad económica obtuvo un valor de 0,5, lo cual corresponde a una vulnerabilidad baja (Cuadro 8).

Una vez analizados cada uno de los parámetros, donde la vulnerabilidad física obtuvo el menor valor, correspondiente a 0,3 y la vulnerabilidad social y económica obtuvieron ambas un valor de 0,5 se determina que el IVCEV obtiene un valor global de 0,4, lo que indica que el área de estudio cuenta con una vulnerabilidad baja (Figura 7).

A pesar de que el IVCEV fue bajo, existen algunas limitaciones que no han permitido realizar un proceso más eficiente de gestión del riesgo asociado a la actividad volcánica en el área de estudio. Para ello se presenta un resumen (Figura 8) por módulo que muestra las principales fortalezas y debilidades identificadas a partir de la implementación del IVCEV.

CONCLUSIONES

La metodología empleada en esta investigación podría ser implementada en otras comunidades del país, que se localicen dentro del área de influencia de volcanes activos, ya que este método no solo permitió identificar las debilidades dentro de los procesos de gestión de riesgo, sino que además facilitó identificar de manera puntual los mecanismos que han contribuido a reducir las condiciones de vulnerabilidad, tales como la coordinación institucional y la participación activa de las comunidades, los procesos de educación y capacitación o las estrategias para reducir las pérdidas económicas en el sector agropecuario.

Los mapas de peligros volcánicos han facilitado a entidades, como el gobierno local y a la Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba, la identificación de elementos expuestos (actividades agropecuarias, viviendas, escuelas, puentes y carreteras) a amenazas como la caída de ceniza, la lluvia ácida, la caída de balística y lahares.

La emergencia de enero de 2010 promovió la conformación del Comité Comunal de Emergencias de La Pastora, el cual fue constituido por iniciativa popular, esto demuestra que existe una importante cohesión social, que se ve reflejado en la cantidad de organizaciones comunales existentes, esto facilita las labores de prevención y de preparativos de respuesta en la población local.

Una de las principales dificultades que se logró identificar fue que durante las emergencias la movilización del ganado generó enfermedades y muerte en los animales, conllevando a promover prácticas para su manejo, tales como módulos de estabulación. Además, el sector educativo suspendió, entre 2014 y 2016, lecciones en 12 centros educativos localizados en el área de estudio, siendo evidente la vulnerabilidad que presentan ambos sectores.

Existe una adecuada señalización de las rutas de evacuación y de los sitios de mayor riesgo, esto como preparativo de respuesta facilita las labores de evacuación de la población expuesta ante una eventual emergencia, para ello la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias del cantón de Turrialba, ha jugado un papel esencial en el manejo de las emergencias; sin embargo, esto se encuentra relacionado con las emergencias acontecidas entre 2007 y 2017, ya que ha permitido mejorar a través del tiempo las relaciones interinstitucionales y comunales, así como los mecanismos para la recolección y sistematización de la información en cada sector involucrado.

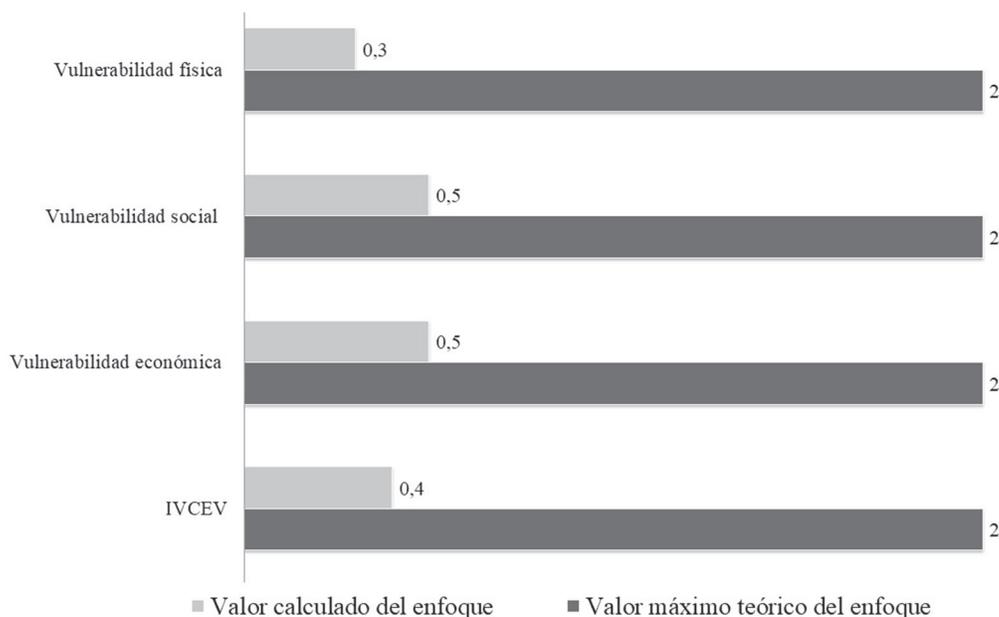


Fig. 7: Valor del indicador de vulnerabilidad comunal ante eventos volcánicos en el distrito de Santa Cruz.

El desarrollo del indicador de vulnerabilidad comunal ante eventos volcánicos, específicamente los valores obtenidos por cada módulo, permitió identificar las principales fortalezas y debilidades, en materia de gestión de riesgo, asociado principalmente a factores físicos, sociales y económicos, facilitando establecer propuestas y estrategias de resiliencia a nivel local acorde a las necesidades de la población.

Una de las fortalezas que se identificaron y que contribuye de manera significativa a reducir las condiciones de vulnerabilidad en el área de estudio es la articulación del trabajo entre las instituciones y los actores locales (comunidades), proceso que se ha visto fortalecido a raíz de la actividad volcánica que tuvo sus inicios en enero de 2010, lo que además se ve reflejado en los resultados de esta investigación, ya que se estimó una vulnerabilidad baja en el área de estudio.

Cuadro 8

Valor del módulo de vulnerabilidad económica por parámetros.

Parámetro	Criterio de evaluación	Valor obtenido	Valor del parámetro	Valor del módulo
Actividades económicas	1	1	0,1	0,5
	2	0		
	3	0		
Historial de afectación por actividad volcánica	1	1	0,1	0,5
	2	0		
	3	0		
Mecanismos de protección financiera	1	1	0,3	

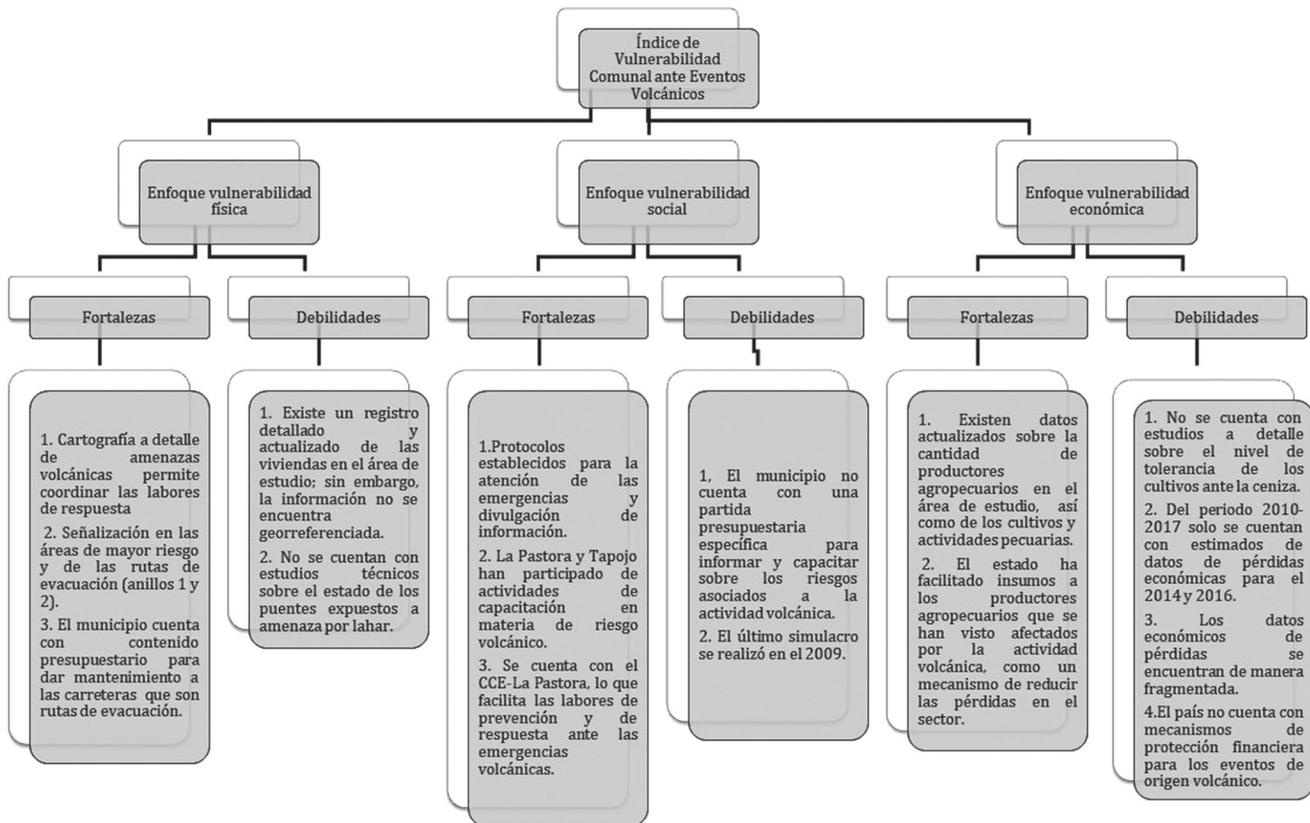


Fig. 8: Fortalezas y debilidades identificadas a partir del IVCEV en el distrito de Santa Cruz, Turrialba.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al señor Luis Fernando Estrada Chavarría funcionario de la municipalidad de Turrialba y encargado de la Oficina de Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias del cantón de Turrialba y a la ingeniera Annie López funcionaria de la Agencia de Servicios Agropecuarios de Turrialba quienes contribuyó con valiosa información para el desarrollo de esta investigación. Así como a señor Rolando Pacheco, líder comunal de La Pastora, por su valioso aporte y acompañamiento al trabajo de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abarca, T., y Alvarado, G. E. (2017). Pérdidas económicas en valor presente al año 2016 causadas por el vulcanismo en Costa Rica entre 1953 y 2017. *Revista Geológica de América Central*, 56, 37-50. doi: 10.15517/rgac.v0i56.29235

Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba. (2014). Censo de cultivos hortícolas y observación de posibles daños por volcán Turrialba. Cartago: MAG. Informe interno.

Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba. (2015). Evaluación de daños a cultivos por erupciones del volcán Turrialba del 24 de octubre del 2015. Cartago: MAG. Informe interno.

Agencia de Extensión Agropecuaria de Turrialba. (2016). Distribución de insumos y materiales para la atención de la emergencia volcán Turrialba: informe de situación erupción volcán Turrialba. Cartago: MAG. Informe interno.

Alvarado, G., Brenes-André, J., Barrantes, M., Vega, E., De Moor, J., Avaró, G., Dellino, P., Mele, D., Devitre, C., Di Piazza, A., Rizzo, A. y Carapezza, M. (2016). La actividad explosiva del volcán Turrialba (Costa Rica) en el periodo 2010-2016. *Revista Geológica de América Central*, 55, 7-60.

Alvarado, G., Soto, G., y Rojas, W. (2010). Volcán Turrialba, Despierta después de casi 144 años de dormitar. *Boletín CIENTEC*. Recuperado de <http://www.cientec.or.cr/mhonarc/boletincientec/doc/msg00898.shtml>

Arguedas, C. (4 de noviembre de 2014). 13 pueblos sufren por erupciones del volcán Turrialba. Periódico La Nación. Recuperado de: http://www.nacion.com/sucesos/desastres/pueblos-sufren-erupciones-Turrialba_0_1449255092.html

Asistente Técnico de Atención Primaria de Salud de Santa Cruz. (2018). Informe poblacional de las localidades del volcán Turrialba a febrero de 2018. Informe interno.

Campos, D., y Alvarado, G. E. (2018). Análisis de la distribución espaciotemporal de la caída de cenizas del volcán Turrialba (2010 - 2018), Costa Rica: isofrecuencia, volumen y afectación. *Revista Geológica de América Central*, 59, 23-39. doi: 10.15517/rgac.v59i0.34154

Chacón, K. (12 de marzo de 2015). Volcán Turrialba registra la erupción más importante desde 1996. Periódico La Nación. Recuperado de: http://www.nacion.com/sucesos/desastres/Volcan-Turrialba-registra-erupcion-importante_0_1474852625.html

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). (2013). Guía para la elaboración de planes de gestión del riesgo en centros educativos. San José: CNE.

Gómez, F. (1996). Desarrollo de una metodología para el análisis del riesgo volcánico en el marco de un sistema de información geográfica. (Tesis de doctorado inédita). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/1975/>

Linkimer, L., y Alvarado, G. (2002). Geología de Turrialba: una historia de 60 millones de años. Informe interno. Recuperado de: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/77417>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2010). Plan de Acción Agropecuario para la Mitigación de la Actividad Freática en el Área de Influencia del Volcán Turrialba. Informe interno.

Municipalidad de Turrialba. (2017a). Plan para la preparación y atención de emergencias del cantón de Turrialba. Turrialba, Cartago: Municipalidad de Turrialba.

Municipalidad de Turrialba. (2017b). Plan operativo anual del cantón de Turrialba. Turrialba, Cartago: Municipalidad de Turrialba.

Núñez, C., Gutiérrez, F., y Calderón, J. (6 de enero de 2010). Alerta por fuerte erupción de sedimentos del Turrialba. Periódico La Nación. Recuperado de: <https://www.nacion.com/sucesos/alerta-por-fuerte-erupcion-de-sedimentos-del-turrialba/NSNBKOSBTBATHRHZO5JYFDDSOE/story/>

Red Sismológica Nacional de la Universidad de Costa Rica (RSN-UCR). (2013). Lluvia ácida Turrialba 2007-2013. Informe interno. Recuperado de: <http://rsn.ucr.ac.cr/documentos/informativos/lluvia-acida-turrialba>

Ruíz, P., Vega, P., Barrantes, R., y Loría, L. (2015). Modelación de lahares generados por el volcán Turrialba y su posible afectación a la red vial nacional. Recuperado de: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/42>

Soto, G. (2012). Preparación de mapas de peligros volcánicos y restricción de uso de la tierra en el volcán Turrialba. Mapa de peligros volcánicos del volcán Turrialba. Comisión Nacional de Riesgos y Prevención de Emergencias. Recuperado de: http://rsn.ucr.ac.cr/images/Noticias/2012_11/Informe_final_peligros_VTurrialba-Fundevi_a_CNE_2012.pdf