

Universidad Nacional

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Escuela de Ciencias Geográficas

Práctica Profesional Supervisada

**Análisis de la vulnerabilidad social y riesgo asociado a la actividad volcánica del
Rincón de la Vieja en las comunidades pertenecientes al distrito de Dos Ríos y Aguas
Claras, del cantón de Upala, Costa Rica**

Luis Venegas Luna

Heredia, 2021

Índice de contenidos

1- Introducción	5
1-1 Problema.....	7
1-2 Justificación.....	8
1-3 Objetivos.....	8
1-3-1 Objetivo general	8
1-3-2 Objetivos específicos.....	9
2- Marco Teórico.....	9
2-1 Peligros volcánicos.....	9
2-2 Riesgo volcánico	11
2-3 Mapas de peligros volcánicos y de riesgo	11
2-4 Vulnerabilidad social.....	12
3- Metodología	13
3-1 Georreferencia de las viviendas de las comunidades	15
3-2 Selección de las variables y tipo que conforman la vulnerabilidad social.....	15
3-3 Elaboración del instrumento y ponderación del tipo de vulnerabilidad	16
3-4 Cálculo de la muestra mínima y muestreo aleatorio simple	18
3-5 Riesgo	19
3-5-1 Nivel de peligrosidad	20
3-5-2 Nivel de exposición.....	21
4- Resultados	22
4-1 Uso de suelo	22
4-1-1 Bosque denso.....	23
4-1-2 Bosque secundario.....	24
4-1-3 Bosque de galería.....	24
4-1-4 Pastos	24
4-1-5 Cultivos.....	24
4-1-6 Áreas abiertas	25
4-1-7 Zona cultura.....	25
4-2 Actividades productivas y su vulnerabilidad ante escenarios de peligros volcánicos (caída de ceniza y lahares)	27
4-3 Vulnerabilidad	33
4-3-1 Vulnerabilidad de las viviendas.....	33

4-3-2 Vulnerabilidad Comunitaria	41
5-3 Riesgo	43
4-4 Exposición y peligrosidad ante lahares	43
4-4-1 Riesgo asociado a la afectación de lahares a nivel comunitario	46
5- Emisión de recomendaciones sobre la planificación territorial y la gestión del riesgo en las comunidades de estudio	47
5-1 Zona 1: comunidades de Dos Ríos, Manzanares, Argelia y El Gavilán.....	48
5-2 Zona 2: comunidad de Buenos Aires.....	49
5-2 Zona 2: comunidades de El Gavilán y Buenos Aires.	50
6- Conclusiones y recomendaciones.....	51
7- Referencias bibliográficas	54
8- Bibliografía.....	56
9- Anexos.....	57

Resumen

En la presente investigación se elaboró un mapa de coberturas y usos del suelo, además se estableció el nivel de riesgo comunitario ante la afectación por lahares basado en el nivel de vulnerabilidad social, peligrosidad y exposición, sobre el cual se emiten una serie de recomendaciones sobre la gestión del riesgo y la planificación territorial en las comunidades del distrito de Dos Ríos y Aguas Claras.

Se evaluó la vulnerabilidad de las viviendas debido a que no fue posible ubicar en los estudios sobre la misma en las comunidades de estudio, tomando en consideración variables sociales, económicas, organización local y percepción del riesgo. Se obtuvo que la población encuestada en general posee una vulnerabilidad con características homogéneas.

Las recomendaciones sobre la planificación territorial y la gestión del riesgo forman parte del insumo para el Comité Comunal de Emergencias y autoridades competentes para la toma de decisiones en las comunidades bajo estudio.

Los resultados obtenidos fueron: un mapa de coberturas y usos de suelo relacionado con modelos de afectación por lahares y caída de ceniza y un mapa sobre el nivel de riesgo comunitario. Sobre los cuales se establecieron 3 zonas para la emisión de recomendaciones sobre la gestión del riesgo y la planificación territorial.

Palabras clave: *Vulnerabilidad, gestión del riesgo, planificación territorial.*

Índice de figuras

Figura 1: Localización de las comunidades de estudio	6
Figura 2: Puente sobre río Pénjamo destruido	28
Figura 3: Afectación de lahares, en los sectores productivos y hogares	29
Figura 4: Área agrícola afectado por caída de ceniza.	31
Figura 5: Distribución de las viviendas encuestadas.....	34
Figura 6: Nivel de vulnerabilidad social en las viviendas de las comunidades	35
Figura 7: Nivel de vulnerabilidad económica en las viviendas de las comunidades	37
Figura 8: Nivel de vulnerabilidad de organización local-comunitaria	38
Figura 9: Nivel de vulnerabilidad de percepción del riesgo en las viviendas de las comunidades	40
Figura 10: Nivel de vulnerabilidad social en las comunidades.....	43
Figura 11: Nivel de riesgo comunitario ante escenario de afectación por lahares	47
Figura 12: Detalle de zonas establecidas de acuerdo con el nivel de riesgo ante lahares y coberturas y usos del suelo	48

Índice de tablas

Tabla 1: Tipo y cantidad de variables incluidas en la encuesta.....	16
Tabla 2: Valor de cada tipo de vulnerabilidad, dentro del índice de vulnerabilidad social	17
Tabla 3: Rangos de evaluación del nivel de vulnerabilidad comunitario.....	18
Tabla 4: Variables de la fórmula de muestra mínima para población finita	19
Tabla 5: Valoración cualitativa de la peligrosidad	20
Tabla 6: Valoración cualitativa de la exposición	21
Tabla 7: Matriz de riesgo.....	22

1- Introducción

El volcán Rincón de la Vieja es uno de los cinco volcanes históricamente activos de Costa Rica, con periodos de activación de cierta importancia con un intervalo de aproximadamente ± 40 años (Soto et al., 2004). Mediante la revisión bibliográfica fue posible la localización de distintos mapas de los peligros volcánicos elaborados por (Paniagua et al., 1986; Kempter, 1996; Kempter y Rowe 2000; Soto, Alvarado y Gold, 2003; en Alpízar, 2018). Además, se encuentra el Mapa de Amenazas y Peligros Naturales del cantón de Upala, diseñado por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. Sin embargo, este no fue elaborado de manera exhaustiva y por su escala 1:50.000 se pierde detalle a nivel comunitario. También, se encuentra una limitante de estudios científicos que determinen la vulnerabilidad social de las comunidades, específicamente en el flanco norte, donde se localizan los distritos de Dos Ríos y Aguas Claras.

En el presente estudio, por lo tanto, se categoriza la vulnerabilidad social a nivel de vivienda-comunidad, asociada a los peligros volcánicos del volcán Rincón de la Vieja y el riesgo por comunidad ante la afectación por lahares en el distrito de Dos Ríos y Aguas Claras, del cantón de Upala. Asimismo, se obtiene un mapa de cobertura y uso del suelo presente en las comunidades, con el fin de identificar las actividades agro-productivas y turísticas que son desarrolladas. Además, se muestra cuales coberturas y usos se verían afectados ante escenarios de afectación por lahares y caída de ceniza, con la finalidad es emitir una serie de recomendaciones sobre la planificación y ordenamiento del territorio, para una posible zonificación en el área de estudio.

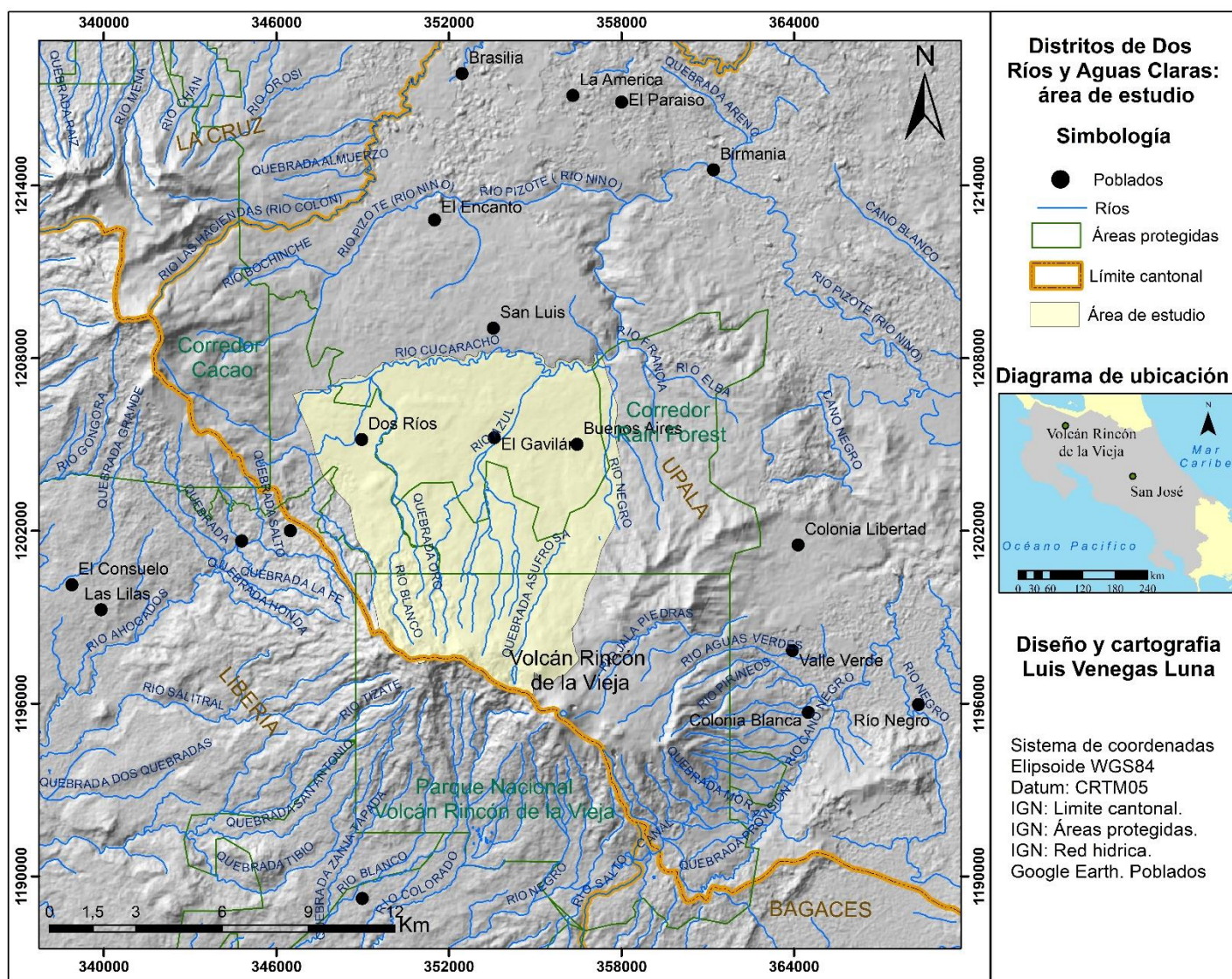
El mapa de coberturas y usos del suelo se ha elaborado a través del proceso de fotointerpretación de imágenes satelitales a una escala de 1:5000, siguiendo los criterios de textura y forma de las coberturas y usos sobre el terreno. Esto con el fin de identificar las actividades agro-productivas presentes en el área de estudio y su posible afectación ante posibles escenarios por lahares y caída de ceniza. Los modelos determinísticos sobre dichos peligros volcánicos se obtienen del estudio realizado por Alpízar (2018), pues, este estudio recopila la información ya existente sobre sus depósitos y modelos preexistentes.

El nivel de vulnerabilidad vivienda-comunidad, se obtiene a partir de las características socioeconómicas, organización local y percepción del riesgo que poseen la

población de estudio. En lo que respecta al nivel de peligrosidad en las comunidades, se establece de acuerdo con la probabilidad de frecuencia de lahares y el nivel de exposición con base en los daños generados hacia la infraestructura vial (incomunicación de las rutas de evacuación). Por último, realiza el diseño del índice de riesgo comunitario.

Las comunidades de estudio pertenecen al distrito de Dos Ríos (Dos Ríos, Manzanares, Argelia y El Gavilán) y el distrito de Aguas Claras (Buenos Aires), ambos pertenecientes al cantón de Upala, como se puede observar en la figura 1.

Figura 1: Localización de las comunidades de estudio



1-1 Problema

El volcán Rincón de la Vieja es el único que históricamente de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, sus erupciones presentan características de tipo freáticas a freatomagmáticas, generalmente acompañadas por lahares (calientes) (Soto et al., 2004). Los lahares generalmente transitan hacia el flanco norte sobre los cauces de los ríos Pénjamo y Azul y la quebrada Azufrada de manera frecuente (uno o varios eventos cada década); de acuerdo con el mapa de peligros volcánicos estos atraviesan las comunidades de estudio. Así como también, se ha dado la caída de ceniza con menor frecuencia, sin embargo, para la erupción ocurrida el 28 de junio de 2021 esta afecta algunos cultivos y techos de las viviendas (Comité Comunal de Emergencias, 2021). Por otro lado, el territorio carece de un plan regulador, por lo que no se han podido realizar zonificaciones sobre los usos de suelo enfocada a la reducción del riesgo de dichos peligros volcánicos (Municipalidad de Upala, 2020). Se puede mencionar de esta manera que, dicha municipalidad, carece de un instrumento que le permita generar una zonificación en las comunidades afectadas por los peligros volcánicos, como un mecanismo que regule el uso del suelo, en relación con la planificación y ordenamiento del territorio (Alpízar, 2018). Esto genera una alta vulnerabilidad de las poblaciones localizadas en las comunidades del cantón de Upala, además, del riesgo asociado a los peligros volcánicos, sobre todo si se toma en consideración que los permisos de construcción asignados por el gobierno local se otorgan con base en el mapa de riesgos y peligros naturales generado por la CNE (Municipalidad de Upala, 2020).

En las comunidades bajo estudio se desarrollan dos actividades económicas en las que laboran gran parte de la población; en primer lugar, la ganadería de leche y, en segundo lugar, la actividad turística bajo un sistema de ecoturismo (Cámara de Turismo del Rincón de la Vieja, 2021). Estas se pueden ver afectadas de manera directa ante escenarios con presencia de lahares y caída de ceniza, por lo que se hace necesario determinar el nivel de vulnerabilidad social que posee su población y el riesgo asociado a la presencia de lahares, pues, es el peligro de mayor frecuencia que afecta a las comunidades. En la presente investigación se generó como insumos, mapas sobre las coberturas y usos del suelo, del nivel de vulnerabilidad de las viviendas y comunitario, índice de riesgo asociado a la afectación por lahares. Dicha información será un insumo valioso para la toma de decisiones sobre la

implementación de un sistema de alerta temprana, la gestión del riesgo por parte del Comité Comunal de Emergencias, así como también, la planificación territorial de las comunidades.

1-2 Justificación

La vulnerabilidad asociada a los peligros volcánicos por parte de las comunidades del cantón de Upala ha sido poco estudiada, además, la municipalidad de Upala no cuenta con planes o instrumentos para la planificación territorial (es necesario la elaboración de un plan regulador o una zonificación de usos del suelo). Es de suma importancia generar una investigación que permita generar ciertos insumos para la toma de decisiones sobre la gestión del riesgo y la planificación territorial en las comunidades en estudio, por parte de las autoridades comunitarias. Para la emisión de recomendaciones sobre la planificación territorial es necesario elaborar un mapa de coberturas y usos del suelo para el año 2021, mientras para recomendaciones sobre la gestión del riesgo es necesario elaborar un mapa sobre el nivel de riesgo a lahares en las comunidades de estudio.

Luego de la reactivación del volcán Rincón de la Vieja en 2011 se han generado una serie de erupciones de tipo freáticas, donde el principal peligro volcánico hacia las comunidades localizadas en el flanco norte, son los lahares sobre los ríos Azul y Pénjamo y la quebrada Azufrada. De esta manera es necesario determinar el nivel peligrosidad y de exposición comunitaria ante dicho peligro, para la toma de decisiones previas o posteriores a un evento, siendo fundamental para reducir la vulnerabilidad de la población local.

1-3 Objetivos

1-3-1 Objetivo general

- a) Determinar el nivel de vulnerabilidad social y riesgo comunitario en el distrito de Dos Ríos y Aguas Claras ante la amenaza de los peligros volcánicos generados por el volcán Rincón de la Vieja, para la toma de decisiones del Comité Comunal de Emergencias sobre la gestión del riesgo y la planificación territorial.

1-3-2 Objetivos específicos

- a) Delimitar la cobertura y el uso de suelo de las comunidades afectadas por la actividad volcánica producida por el volcán Rincón de la Vieja, para la identificación de las actividades agroproductivas y turísticas en los distritos de Dos Ríos y Aguas Claras.
- b) Diseñar un índice de riesgo volcánico ante la afectación de lahares para las comunidades del distrito de Dos Ríos y Aguas Claras.
- c) Elaborar una serie de recomendaciones hacia el Comité Local de Emergencias y la Municipalidad de Upala, sobre la planificación territorial del área de estudio.

2- Marco Teórico

Los volcanes son capaces de producir numerosos peligros tanto geológicos como meteorológicos, provocando muchas veces la muerte de miles de personas y llegando a destruir propiedades y con esto se reduce el desarrollo socioeconómico de las poblaciones afectadas (USGS, 1997). Principalmente, este tipo de actividad responde a procesos de subducción o bordes de placa divergente (Alpízar 2018). Se genera un alto riesgo derivado de la actividad volcánica hacia las poblaciones que se encuentran en los territorios aledaños. En este sentido el riesgo es la “probabilidad de que se presenten pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un periodo definido” (Ley N°8488).

2-1 Peligros volcánicos

Los peligros o amenaza que se generan por parte de la actividad eruptiva, se pueden citar: caída de tefra, proyectiles balísticos (bombas), flujos de lava, gases volcánicos, flujos y oleadas piroclásticas y lahares o flujos de lodo (Sistema Nacional de Protección Civil Mexicana, s.f).

La caída de tefra, se produce cuando el magma asciende y se dan variaciones sumamente bruscas en sus gases produciendo de esta manera explosiones consecuencia de ellos se producen lavas pastosas o enfriadas llamadas piroclastos (CNE, 2014). Su tamaño varía entre los 2mm (ceniza) y 64 mm (lapilli), por esta razón pueden ser acarreados por el viento y recorrer largas distancias del cráter (USGS, 1997).

Los proyectiles balísticos son bombas volcánicas los cuales poseen formas aerodinámicas; contrariamente, los bloques poseen formas angulares. Estos tienen un diámetro mayor a los 6,4 cm. Cuando se da la caída de dichos fragmentos pueden causar daño a las poblaciones e infraestructura cercanas al cráter volcánico (CNE, 2014).

Los flujos de lava son corrientes de roca fundida pendiente debajo de los flancos del volcán, aunque también se puede presentar a través de fisuras. Se forman estructuras de tipo colada o lengua de lava, punto a destacar y clave para tomar en consideración en relación con la gestión del riesgo es la ruta de los flujos es predecible y su desplazamiento relativamente lento (OPS, s.f)

Los gases volcánicos se encuentran dentro del magma, son emitidos a través de fumarolas o el cráter activo de forma pasiva o explosiva a través de erupciones (Sistema Nacional de Protección Civil Mexicana, s.f). Estos están compuestos principalmente por agua (H₂O) y compuestos de Carbono en más del 90%.

Los flujos y oleadas de piroclásticos están constituidos por fragmentos de roca, ceniza volcánica, pómez y gases a altas temperaturas, dada su velocidad no es posible evacuar a la población afectada en el momento de la ocurrencia (CNE, 2014).

Los lahares o flujos de lodo son generados cuando los materiales expulsados durante las erupciones se mezclan con agua y forman flujos que se mueven pendiente abajo (Sistema Nacional de Protección Civil Mexicana, s.f). Generalmente, el agua corresponde a la que se encuentra localizada en el lago cratérico, por agua torrencial o por la difusión con agua de hielo, como fue en caso del Nevado de Ruiz en Colombia (OPS, s.f).

Todos estos peligros han cobrado la vida de miles de personas según los registros históricos, desde 1600 las erupciones volcánicas han cobrado la vida de 281.000 personas. El 70% de las muertes se concentra en 8 erupciones y el 96% se encontraba en el área aledaña al Cinturón de Fuego del Pacífico (CNE, 2014). Destacando que gran parte de las fatalidades se debía a los efectos posteriores al evento, por ejemplo, las hambrunas, puntualmente entre 1600 y 1800 personas. Es necesario, por lo tanto, establecer evaluaciones sobre los peligros volcánicos, utilizando instrumentos como cartografía de los peligros y el riesgo que estos generan.

2-2 Riesgo volcánico

Llinares et al., 2004 y Ortiz y Araña (1996, en Alpízar, 2018) establecen el riesgo en función de los impactos negativos de la actividad volcánica sobre los elementos antrópicos expuestos en el área, es decir, si estas no existiesen, el riesgo es 0. El riesgo como tal corresponde a una función probabilística de acuerdo con la cuantificación de la peligrosidad, vulnerabilidad y exposición.

$$\text{Riesgo} = \text{peligrosidad} * \text{vulnerabilidad} * \text{exposición}$$

La peligrosidad se entiende como la probabilidad de que en un sitio se dé un evento volcánico, tomando como referencia un intervalo de tiempo determinado. La vulnerabilidad es la condición intrínseca de ser impactada por un evento volcánico, no solo tomando como referencia las vidas humanas si no también las estructuras básicas, como redes de comunicación, de distribución de agua o electricidad. Por último, la exposición representa el valor sujeto ante las posibles pérdidas causadas por el evento volcánico, en este sentido, si no se encuentra ningún bien, la exposición es 0.

2-3 Mapas de peligros volcánicos y de riesgo

Soto y Sjöbohm (2005) mencionan 3 objetivos principales de los mapas de peligro y de riesgo volcánico, en primer lugar, mostrar los alcances de los eventos volcánicos y sus productos, de acuerdo con escenarios posibles de las erupciones. En segundo lugar, apoyar a las autoridades correspondientes para el planeamiento y toma de decisiones acerca de actividades de prevención y mitigación de los efectos de la actividad volcánica. En último lugar, informar a la población vecina a los volcanes sobre los peligros a los que está expuesta en su hábitat.

En relación con los mapas de riesgo, desde un concepto simple se puede decir que son instrumentos informativos de manera dinámica que permiten conocer los factores de riesgo y los posibles daños o comprobados en un espacio determinado (García, 1994). Relacionado dicho concepto con la actividad volcánica, Renda et al. (2017, en Alpízar, 2018), los describen como herramientas que permiten determina el nivel de riesgo presente en un territorio ante peligros volcánicos. De esta manera se convierten en un recurso esencial para la gestión del desarrollo territorial, emitiendo una serie de pautas para la ocupación de dichas áreas.

2-4 Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social se puede definir en términos generales como el nivel de capacidad que posee un grupo social para atender emergencia, rehabilitación, recuperación en función de un conjunto de factores socioeconómicos, culturales y psicológicos (Bermúdez, s.f). La vulnerabilidad posee dos componentes, como los define Pizarro (2001)

Por una parte, la inseguridad e indefensión que experimentan las comunidades, familias e individuos en sus condiciones de vida a consecuencia del impacto provocado por algún tipo de evento económico-social de carácter traumático. Por otra parte, el manejo de recursos y las estrategias que utilizan las comunidades, familias y personas para enfrentar los efectos de ese evento (p. 11).

La vulnerabilidad social ante amenazas naturales se entiende, por otro lado, al nivel de exposición que tiene uno o varios grupos sociales ante ciertos eventos de acuerdo con sus características socioeconómicas, institucionales, entre otros (Thomas, 2012). Generalmente, los niveles mayores de este tipo de vulnerabilidad se presentan en los grupos sociales más pobres debido a su nivel de preparación de respuesta ante un evento natural. Para cuantificar, por lo tanto, que tan vulnerable son las poblaciones en relación con la dimensión social, se han elaborado estudios donde se han aplicado distintos métodos estadísticos en relación con distintos desastres naturales (Rodríguez, 2018). Por ejemplo, se tiene el estudio Álvarez y Cadena (2006) muestran el índice de vulnerabilidad social de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Cutter y Finch (2008, en Thomas, 2012) centran su trabajo alrededor del comportamiento espacio temporal de la vulnerabilidad social en Estados Unidos, desde 1960 hasta la actualidad. Thomas (2012) realiza un análisis de componentes principales aplicado a un conjunto de variables, en la ciudad portuaria de Manzanillo. Por último, Arteaga y San Juan (2012) elaboran un índice de vulnerabilidad social para determinar la criticidad de la población en relación con el riesgo a inundaciones al cual está expuesto la ciudad, en el municipio de La Plata.

A nivel nacional, se tiene el estudio de Campos y Barrantes (2020), desarrollan un indicador de vulnerabilidad comunal ante eventos volcánicos, donde se evalúan variables físicas, sociales y económicas ante las amenazas de origen volcánico. Así como también, se tienen estudios por parte de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de

Emergencias, donde se evalúa principalmente el peligro ante la actividad volcánica. A nivel local del volcán Rincón de la Vieja, está la tesis realizada por Alpízar (2018), donde realiza un mapa preliminar de peligros volcánicos enfocado en la afectación de lahares, asimismo, emite una serie de recomendaciones sobre el uso del suelo en el territorio localizado en el cantón de Upala. Sin embargo, no es posible localizar en la bibliografía citada estudios sobre la vulnerabilidad social que poseen dichas poblaciones en las comunidades del cantón de Upala ante los peligros volcánicos producidos por el volcán Rincón de la Vieja.

3- Metodología

La investigación se inició con un proceso de revisión bibliográfica con base en la temática de los peligros volcánicos que ha presentado históricamente el volcán del Rincón de la Vieja y la afectación de estos a las comunidades localizadas en el flanco norte. En primer lugar, se analizaron los estudios geológicos acerca de los peligros volcánicos, su área de afectación y efectos en la población, además de identificar los mapas preliminares. Luego, se revisó en los instrumentos a nivel municipal sobre la planificación relacionado al uso de suelo en su territorio de jurisdicción (municipalidad de Upala), por último, se realizó una revisión de las metodologías aplicadas por diferentes autores para medir la vulnerabilidad asociada a los desastres naturales y el diseño de índices de riesgo; en el anexo 2 se observa un resumen de la metodología aplicada.

Se aplica una serie de instrumentos para la recolección de datos de campo, como entrevistas a actores claves (Cámara de Turismo del Rincón de la Vieja y Comité Comunal de Emergencias) y una encuesta de tipo cerrada aplicada en la población local, donde se establece la relación que de acuerdo con la cantidad de variables se obtiene el nivel de vulnerabilidad social en las viviendas y luego se pondera dichos niveles para la comunidad a la que pertenecen. Posteriormente, de acuerdo con el mapa de probabilidades de frecuencia de peligros volcánicos, elaborado por Alpízar (2018) y modificado por Aguilar y Alvarado (2020) y el estudio de Soto et al. (2016) sobre la influencia de los lahares en la red vial, se elabora un índice de riesgo por afectación de lahares en las comunidades.

Con base en la información recopilada, se generarán los productos entregables de la investigación: mapa de cobertura y uso de suelo y escenarios de afectación por peligros

volcánicos (caída de ceniza y lahares), mapas sobre el nivel de vulnerabilidad de las viviendas y comunidades y un mapa de riesgo asociado al nivel de riesgo por afectación. Posteriormente, se realizará la emisión de las recomendaciones sobre la gestión del riesgo al Comité Local de Emergencias y una posible zonificación de riesgo.

La cobertura y usos del suelo para el año 2021 dentro de las comunidades bajo estudio, se determina a través del proceso de fotointerpretación que permite obtener información de la imagen satelital seleccionada (Bolaños, 2003). La obtención de las imágenes satelitales para dicho proceso se obtuvo del programa gratuito SasPlanet, ya que este permite obtener un nivel alto de detalle. Además, tomar en consideración que se debe de obtener información espacial a pequeña escala, como la identificación del uso turístico y pequeñas plantaciones de cultivos anuales.

Se obtuvo 50 imágenes satelitales, con una resolución espacial de 1 m y 3 bandas espectrales, sin embargo, parte de los inconvenientes presentados para realizar el procesamiento de las imágenes, es el efecto Fohn en el lado norte de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, debido a la influencia del Lago de Nicaragua (Barrantes y Castillo, 2011), el cual genera nubosidad, lo que dificulta el proceso de la toma de los datos espaciales. Por ello es necesario realizar trabajo de campo con el fin de confirmar vía terreno ciertos tipos de usos presentes en el territorio.

Se determina la cobertura y el tipo de uso de acuerdo con el criterio técnico establecido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería e INTA (2015), bajo los criterios de textura y forma de las coberturas sobre el terreno, expuestos en su clasificación *Leyenda clc-cr para la generación de mapas de uso y cobertura de la tierra de Costa Rica*. Luego, se realiza una superposición de las coberturas y usos del suelo con los diferentes escenarios de afectación y peligros presentes en el área de estudio, de acuerdo con el estudio realizado por Alpízar (2018), modificado por Aguilar y Alvarado (2020).

En relación con el nivel de vulnerabilidad que poseen las viviendas y las comunidades, este se establece de acuerdo con la cuantificación de las variables incluidas en el instrumento aplicado (encuesta). La vulnerabilidad según Thomas (2012), es entendida a partir de la fragilidad de los grupos humanos de acuerdo con su exposición al efecto directo de los desastres naturales, siendo fundamental las características relacionadas a los factores

socioeconómicos, culturales e institucionales. Estas características de los grupos familiares quedan representadas a través de una serie variables, y que a su vez se ponderan con un peso porcentual. Los puntos generales para seguir son los siguientes:

- Digitalización de las viviendas, por medio de la fotointerpretación de imágenes satelitales.
- Selección del tipo y variables que conformaran la vulnerabilidad social.
- Elaboración del instrumento para la recolección de datos.
- Cálculo de la muestra mínima representativa y muestreo aleatorio simple a las en las viviendas y aplicación del instrumento.
- Procesamiento de los datos.
- Diseño del índice de riesgo.
- Análisis espacial con el SIG.

3-1 Georreferencia de las viviendas de las comunidades

Las comunidades no cuentan con cartografía sobre el desarrollo habitacional en su territorio, de esta manera se hace necesario establecer la cantidad de viviendas presentes. Se realiza través de la fotointerpretación de imágenes satelitales obtenidas del programa SasPlanet; además, la unidad a aplicar el instrumento (encuesta) son las viviendas, por lo tanto, se hace necesario georreferenciar cada una de estas, así como otorgarles un código.

3-2 Selección de las variables y tipo que conforman la vulnerabilidad social

Es necesario aplicar previamente instrumentos como entrevistas para conocer las características de la población, sin embargo, por el tiempo limitado y costes que esto requiere, la investigación se basará únicamente en variables relacionadas a la dimensión social, económica, organización institucional-comunal y percepción del riesgo. De acuerdo con las metodologías aplicadas por Thomas (2013), Rodríguez (2018) y Campos y Barrantes (2020), donde establecen criterios ligados a estas variables para identificar vulnerabilidades ante afectación por actividad volcánica e inundaciones, se estableció 4 tipos de vulnerabilidad dentro del instrumento, las cuales se conforman de 27 variables para luego extrapolarlas a nivel comunitario.

3-3 Elaboración del instrumento y ponderación del tipo de vulnerabilidad

El instrumento elaborado es una encuesta de tipo cerrada, donde se establece el nivel de vulnerabilidad de cada vivienda, de acuerdo con el número de variables que conforman cada tipo de variable. Para la selección de las variables se realizó de acuerdo con el criterio de cada una de estas posee una representatividad dentro de la vulnerabilidad, es decir, si se encuentra presente, se aumenta la vulnerabilidad en los hogares o dentro de las comunidades. Para la representación de los datos se realiza una interpolación de tipo IDW donde de acuerdo con el valor de vulnerabilidad en la vivienda, se unen los valores dentro del mismo rango de valoración cualitativa. En la tabla 1 se observa el número de variables de acuerdo con el tipo de vulnerabilidad.

Tabla 1: Tipo y cantidad de variables incluidas en la encuesta

Tipo de vulnerabilidad	Cantidad de variables	Nivel de vulnerabilidad
Social	9	1-2 bajo
		3-5 medio
		6-8 alto
		9 muy alto
Económica	5	1 bajo
		2 medio
		3-4 alto
		5 muy alto
organización local	6	1 bajo
		2-3 medio
		4-5 alto
		6 muy alto
percepción del peligro	7	1-2 bajo
		3-4 medio
		5-6 alto
		7 muy alto

Fuente: Elaboración en base en la metodología de Rodríguez 2018.

Luego se establece el peso en porcentaje de cada tipo de vulnerabilidad dentro de la vulnerabilidad social para las comunidades. Se da una explicación del valor, según la influencia que tiene cada una de las variables que conforman cada tipo de vulnerabilidad relacionadas con la respuesta y de gestión del riesgo de la población., ante un escenario de afectación mayor por actividad volcánica.

Tabla 2: Valor de cada tipo de vulnerabilidad, dentro de la vulnerabilidad comunitaria.

Tipo de vulnerabilidad	Valor %	Explicación del valor
Social	40	Posee el mayor porcentaje de peso debido a que representa la capacidad intrínseca del ser humano en respuesta a un evento de peligro volcánico, es decir, si cuenta con alguna discapacidad la vulnerabilidad aumenta, así como también si se carece de servicios básicos.
Económica	30	La capacidad económica es fundamental ante el impacto posible de una erupción volcánica, sobre todo debido a que las actividades que generan las fuentes de empleo en las comunidades son altamente susceptibles a los distintos escenarios de afectación.
Organización local	20	La organización comunal y autoridades es fundamental para la gestión del riesgo, así como el conocimiento de la población local sobre planes de acción ante emergencias, rutas de evacuación y equipamiento disponible. De esta manera se gestiona el riesgo.
Percepción del peligro	10	Si bien es cierto el conocimiento histórico de los peligros volcánicos presentes en la comunidad tiene un impacto en las acciones de prevención, sin embargo, ante un escenario de afectación este no se podría prevenir.
General	100	Se incluyen los tipos de vulnerabilidad mencionadas.

Fuente: Elaboración en base en la metodología de Rodríguez 2018.

Para obtener el nivel de vulnerabilidad comunitario, se establece de acuerdo con la cantidad de variables que presenta cada vivienda relacionados a la capacidad de respuesta y adaptación, luego se genera un promedio a nivel de las comunidades. Se aplican las siguiente formulas, las cuales son adaptadas a partir de diseño de un indicador de vulnerabilidad comunal ante eventos volcánicos, elaborado por Campos y Barrantes (2020).

Peso de vulnerabilidad vivienda

$$V_v = (\sum V_p \% \frac{CV}{T_v}) / T_e$$

Donde:

V_v = Valor de la vulnerabilidad en la vivienda

Vp%= Peso porcentual del tipo de vulnerabilidad

Cv= Cantidad de variables presentes en tipo de vulnerabilidad

Tv= Total de variables posibles

Te= Numero de encuestas realizadas en la comunidad

Vulnerabilidad comunitaria

$$Vc = \sum Vv$$

Donde:

Vc= Vulnerabilidad comunitaria

Vv= Valor de la vulnerabilidad en la vivienda

Luego se establecen los rangos sobre el nivel de vulnerabilidad comunitaria con el fin de identificarlos de manera cualitativa.

Tabla 3: Rangos de evaluación del nivel de vulnerabilidad comunitario

Nivel de vulnerabilidad	Rangos
Bajo	0-0,36
Medio	0,37-50
Alto	0,51-0,70
Muy alto	0,71-1

3-4 Cálculo de la muestra mínima y muestreo aleatorio simple

A partir de la georreferencia de las viviendas, se logró contabilizar 309 viviendas dentro de las comunidades, para establecer el número de viviendas a encuestar, se asignó un nivel de confianza del 95%, con un margen de error del 10%, dando como muestra representativa un total de 76 viviendas.

Formula 1. Tamaño de la muestra mínima representativa

$$n = \frac{Z^2 * pq * N}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * pq}$$

Fuente: Tomada de López y Fachelli, 2015.

Tabla 4: Variables de la fórmula de muestra mínima para población finita

Variable	descripción	valor
Z	Nivel de confianza	1,96
N	tamaño de población (viviendas)	306
e	Error aceptado	0,10
p	Variabilidad positiva	0,5
q	Variabilidad negativa	0,5
n	tamaño de muestra	76

Fuente: Elaboración propia, a partir de la formula establecida por Mendenhall et al., 2003.

Luego de establecer el número viviendas a encuestar se realiza el muestreo aleatorio simple a través del programa ArcGis 10.8, donde cualquier vivienda tiene la misma probabilidad de ser encuestada. Posteriormente, se realiza las visitas a dichas viviendas elegidas y se le aplica el instrumento a una persona integrante del grupo familiar (mayor a 15 años).

3-5 Riesgo

Es necesario relacionar la vulnerabilidad social comunitaria y el riesgo producto de la presencia de los lahares (mayor nivel de peligrosidad), tomando como referencia un periodo de los últimos 30 años de erupciones presentadas por el volcán Rincón de la Vieja. Para la sistematización de los datos en las comunidades, estas son delimitadas de acuerdo con las zonas establecida dentro del Plan de Contingencia Comunal.

En lo que respecta a la exposición, se ha dado en la infraestructura vial por lahares principalmente, donde Alpízar (2018), menciona que los puentes sobre los ríos Pénjamo y Azul quedaron totalmente destruidos durante las erupciones de 1991. Por otro lado, Soto et al. (2016, p. 81) mencionan que, durante la erupción de 1995 “los poblados, que al momento de las erupciones se consideraron amenazados y fueron parcialmente incomunicados, fueron Agroindustrial Sur (Asentamiento del IDA), Asentamiento La Flor, Buenos Aires, Gavilán y

La Vega”. En conclusión, los lahares han provocado de acuerdo con el registro de los últimos 30 años señalan que la exposición, principal se ha dado sobre los puentes lo que ha provocado la incomunicación de Agroindustrial sur y el bloque entre el río Azul y Pénjamo. La comunidad de Buenos Aires ha sido incomunicada, sin embargo, posee una ruta de evacuación hacia la comunidad de Aguas Claras.

Para determinar la peligrosidad, se establece de acuerdo con el mapa de peligros volcánicos de Alpízar (2018) modificado por Aguilar y Alvarado (2020), se tomó la frecuencia temporal en que se da la presencia de los lahares sobre la quebrada Azufrada y los ríos Azul, Pénjamo y Blanco.

A continuación, se le asignado una valoración cualitativa a cada zona compuesta por las comunidades, de acuerdo con la frecuencia temporal de lahares (peligrosidad) y efectos sobre la infraestructura vial (exposición).

3-5-1 Nivel de peligrosidad

- 1: La zona no presenta lahares (Dos Ríos).
- 2: La zona presenta lahares poco frecuentes, uno o varios cada siglo (Zona Manzanares-Argelia-El Gavilán).
- 3: La zona presenta lahares frecuentes, uno o varios eventos cada década (Zona El Gavilán-Buenos Aires, zona asentamiento Agroindustrial sur y zona de Buenos Aires).

Tabla 5: Valoración cualitativa de la peligrosidad

<u>Nivel</u>	<u>Valoración</u>
Alto	3
Medio	2
Bajo	1

3-5-2 Nivel de exposición

- 1: La zona no presenta afectación en la infraestructura vial, rutas de evacuación disponible (zona de Dos Ríos).
- 2: La zona presenta afectación en la infraestructura vial, rutas de evacuación habilitadas (zona Manzanares-Argelia-El Gavilán y zona Buenos Aires).
- 3: La zona presenta afectación en la infraestructura vial (río Azul y Pénjamo), rutas de evacuación inhabilitadas (zona El Gavilán-Buenos Aires).
- 4: La zona presenta afectación en la infraestructura vial (paso por quebrada Azufrada), ruta inhabilitada siempre que se dan erupciones con presencia de lahares.

Tabla 6: Valoración cualitativa de la exposición

Nivel	Valoración
Muy alto	4
Alto	3
Medio	2
Bajo	1

En relación con la vulnerabilidad social comunitaria, su valor depende del nivel obtenido, a continuación, se ejemplifica.

- ❖ 1: Baja
- ❖ 2: moderada
- ❖ 3: alta
- ❖ 4: muy alta.

En último lugar, se establece una matriz de riesgo donde se realiza la interrelación entre el nivel de peligrosidad, exposición y la vulnerabilidad a nivel comunitaria para lo cual se realiza una ponderación de dichos niveles. De esta manera se obtiene un índice de riesgo asociado a lahares, que luego se representa a través de un mapa para el análisis espacial.

Se aplica la siguiente fórmula para obtener el producto del riesgo, siguiendo la metodología de Llinares et al., 2004.

$$\text{Riesgo} = \text{peligrosidad} * \text{vulnerabilidad} * \text{exposición}$$

Tabla 7: Matriz de riesgo

Justificación del índice	Índice de riesgo	Nivel de riesgo
Zona de peligrosidad 1, zona de exposición 1 y tipo nivel de vulnerabilidad 1, 2, 3 o 4 (1x1x1 o 4)	1--4	Bajo
Zona de peligrosidad 2, zona de exposición 2 y tipo nivel de vulnerabilidad 1 y 2 (2x2x1 o 2); zona de peligrosidad 2, zona de exposición 3 y tipo nivel de vulnerabilidad 1 (2x3x1); zona de peligrosidad 3, zona de exposición 2 y tipo nivel de vulnerabilidad 1 o 2 (3x2x1 o 2)	6--12	Medio
Zona de peligrosidad 3, zona de exposición 3 y tipo nivel de vulnerabilidad 1 y 2 (3x3x1 o 2); Zona de peligrosidad 4, zona de exposición 2 y tipo nivel de vulnerabilidad 1, 2 o 3 (4x2x1 o 3)	16--24	Alto
Zona de peligrosidad 4, zona de exposición 3 y tipo nivel de vulnerabilidad 1,2 o 3 (4x3x1 o 3); Zona de peligrosidad 4, zona de exposición 4 y tipo nivel de vulnerabilidad 4 (4x4x4)	36--64	Muy Alto

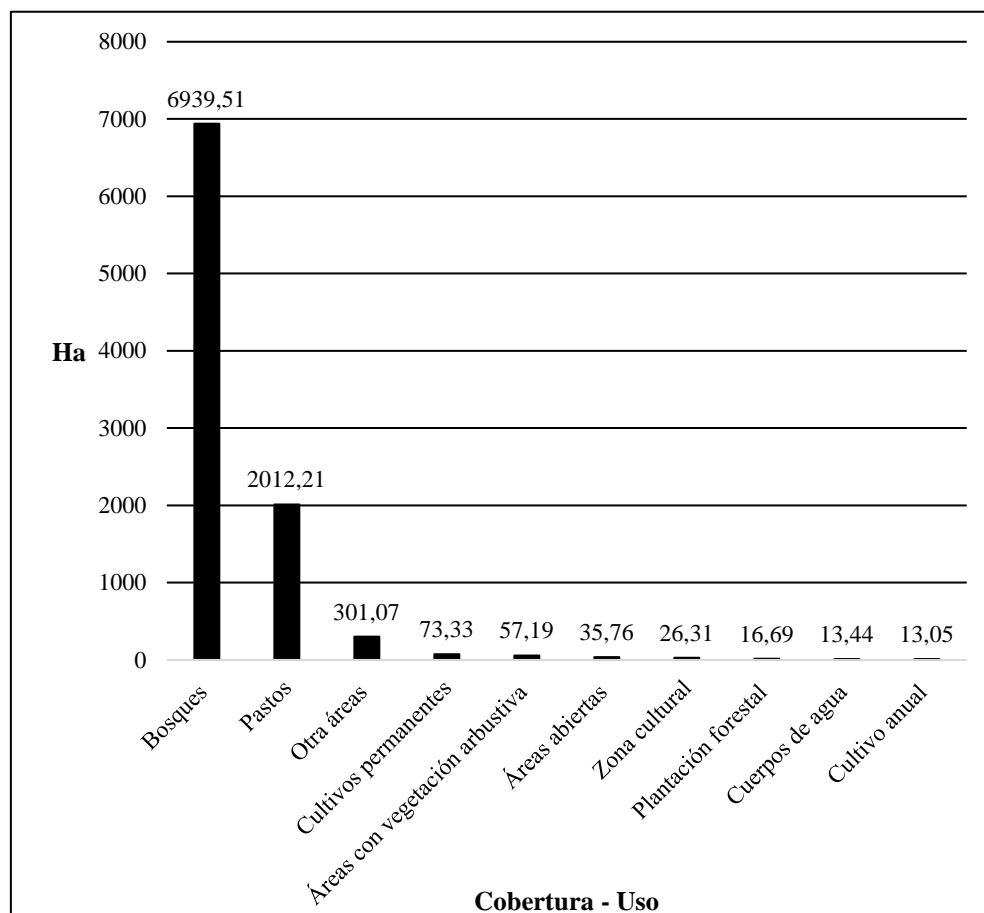
Fuente: Elaboración en base a la metodología de Rodríguez 2018.

4- Resultados

4-1 Uso de suelo

Se tuvo dificultad al momento de establecer las categorías de bosque, debido a que no existe una clara diferencia entre la categoría denso y secundario (con base en los criterios analizadas de textura y forma). Como se puede observar el gráfico 1, se determina la predominancia de bosques con 6939 ha (debido a que forman parte del parque Nacional Volcán Rincón de la Vieja y los corredores biológicos Cacao y Rain Forest), por lo tanto, protegidos del Área de Conservación Guanacaste. En segundo lugar, el uso antropogénico que predomina es la cobertura de pastos, generalmente, conformado por sistemas silvopastoriles utilizados para la ganadería de leche en la zona con 2012,2 ha. Los cultivos permanentes y anuales suman un área total de 86,4 ha.

Gráfico 1: Coberturas y uso del suelo (Ha), comunidades de Argelia, Buenos Aires, El Gavilán y Manzanares



4-1-1 Bosque denso

Esta cobertura se define como una constitución de elementos arbóreos conformados por estratos de copas más o menos continuos con una altura en promedio superior a los 5 metros, los cuales no han sido intervenidos por el ser humano (MAG, 2015). Esta cobertura es de 6939, 5 ha, pertenecientes al Parque Nacional Volcán Rincón de la Vieja (Ley N° 5398 del 22 de abril de 1974) con una dirección suroeste, desarrollado en altas altitudes. Así como también, se encuentran localizados en los corredores biológico Cacao y Rain Forest, permitiendo la protección de los ecosistemas, así como también, sirviendo como una barrera para el impedimento de la expansión de las actividades pecuarias se desplace hacia las partes altas de la cordillera, así como la actividad turística (ver mapa 1).

4-1-2 Bosque secundario

La cobertura de bosque secundario (menos denso), se define por parámetros como una comunidad vegetal de tipo arbórea o arbustiva, cuyos estratos de copas son menos continuos, donde sus estructuras originales han intervenidas por el ser humano (MAG, 2015). Este tipo de cobertura es menos extenso que el bosque denso, localizado en altitudes medias y bajas con una cercanía inmediata de las actividades pecuarias que generan una alta presión hacia este (ver mapa 1).

4-1-3 Bosque de galería

Son bosques que se localizan en los márgenes de los cursos de agua, ya sean estas temporales o permanentes, es decir, su amplitud se ve limitada por dichos cuerpos de agua (MAG, 2015). En el área de estudio este tipo de cobertura se encuentra paralela al cauce de los ríos Pénjamo y Azul, así red hídrica de menor volumen de escurrimiento como quebradas. La cual se ha visto presionada por la tala de los árboles para la expansión de cultivos y pastos para la ganadería (Barrantes y Sandoval, 2011).

4-1-4 Pastos

Esta es una cobertura de la tierra dominada por gramíneas dedicadas al pastoreo, además pueden estar constituidos por formaciones arbóreas distribuidos de manera aleatoria o en patrones (MAG, 2015). En el caso del área en estudio representan el 23,1 % del área, bajo las categorías de pastos limpios (constituidos por pastos de piso) y pastos arbolados (bajo un sistema silvopastoril), los cuales son utilizados para el desarrollo de la ganadería de leche, siendo una de las principales actividades económicas dentro de las comunidades.

4-1-5 Cultivos

Se identificó 2 categorías de uso, en primer lugar, se desarrollan cultivos anuales, donde el ciclo vegetativo de estos tarda aproximadamente pocos meses. En las comunidades el único cultivo anual observado a través del proceso de fotointerpretación es el maíz, el cual se desarrolla para el autoconsumo o venta al por menor con un área de 13,05 ha. La segunda categoría son los cultivos permanentes, los cuales producen sin necesidad de volverlos a sembrar cuyo ciclo vegetativo es superior a un año (MAG, 2015). Los cultivos permanentes, presentes en las comunidades representan un área de 73,33 ha, corresponden a plantaciones de limón y naranja, que se vende a intermediarios y a la agroindustria Del Oro, localizada en

el cantón de La Cruz. También se encuentran plantaciones de plátano y rambután a bajo sistemas de cultivo a pequeña escala.

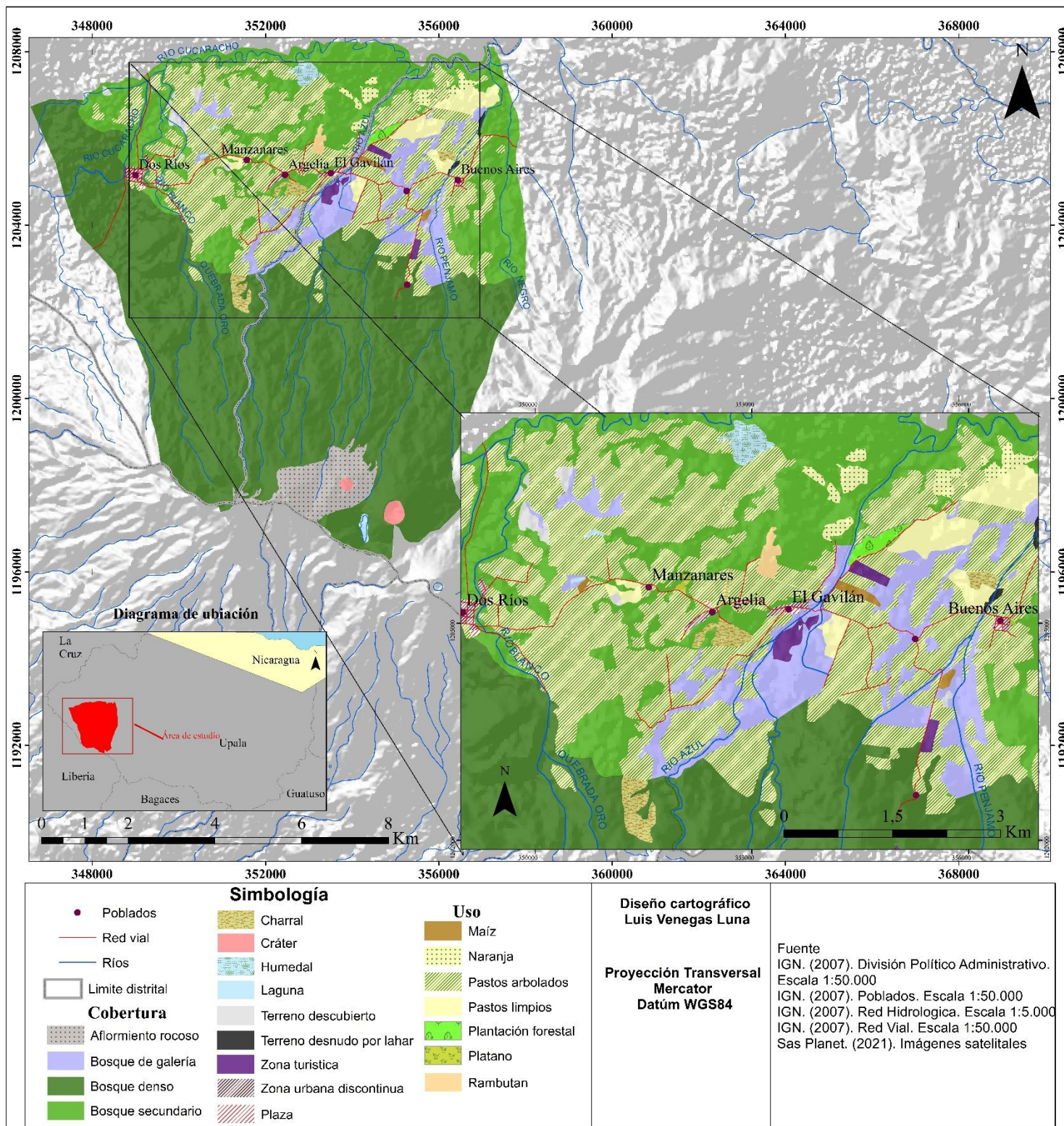
4-1-6 Áreas abiertas

Son terrenos donde no existe vegetación o es muy escasa, los cuales se compone principalmente de suelos desnudos (MAG, 2015). Dentro del área de estudio estas se componen de afloramientos rocosos en la base del volcán Rincón de la Vieja, terrenos descubiertos para la quema de cultivos, explotaciones mineras de tajos y terrenos degradados por el paso de los lahares, principalmente en el cauce del río Pénjamo.

5-1-7 Zona cultura

La zona cultural está constituida por los centros poblados de las comunidades, en este caso Argelia, Buenos Aires, Dos Ríos, El Gavilán y Manzanares. Por otro lado, la actividad turística se ha desarrollado principalmente a través de complejos turísticos localizados en las comunidades de Buenos Aires y El Gavilán, debido a los atractivos naturales presentes en los ríos El Gavilán y Pénjamo (una serie cascadas y pozas) y fuentes termales productos del volcán Rincón de la Vieja.

Mapa 1: Comunidades de Argelia, Buenos Aires, Dos Ríos, El Gavilán y Manzanares: Cobertura y uso del suelo, 2021



4-2 Actividades productivas y su vulnerabilidad ante escenarios de peligros volcánicos (caída de ceniza y lahares)

De acuerdo con los resultados obtenidos, las comunidades cuentan con una predominancia del uso del suelo para la cobertura de bosques y territorios dedicados para las actividades agro-productivas, por medio del uso para pastos (arbolados principalmente y limpios) y en menor medida el uso para cultivos permanentes y zonas recreativas (complejos turísticos). Este análisis espacial, permite realizar una valoración de la vulnerabilidad de las actividades desarrolladas, en relación con posibles escenarios de afectación por parte de los peligros volcánicos (lahares y caída de ceniza) establecidos en los modelos determinísticos de Alpízar (2018) modificado por Aguilar y Alvarado (2020).

Las actividades económicas están ligadas a la influencia de manera indirecta, en relación con el volcán Rincón de la Vieja, pues, las comunidades están asentadas sobre los órdenes de suelo Andisoles y Ultisoles (Centro de Investigaciones Agronómicas, 2013). Los cuales se forman a partir de la meteorización de depósitos de cenizas y materiales volcánicos, permitiendo una alta fertilidad para los pastos y la siembra de diversos tipos de cultivo permanentes (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 2015). En el caso del turismo desarrollado en las comunidades, su sistema turístico gira entorno a atractivos de tipo natural, como pozas y cascadas dentro de los cauces de los ríos Azul y Pénjamo, además de prácticas como avistamiento de aves y senderismo en el bosque tropical lluvioso, sin dejar de lado, la hermosa panorámica del atardecer caribeño, el volcán y la campiña (CATURVI, 2021). Tal como se ve evidenciado en el Plan de Contingencia Local, donde se establece que las zonas de El Gavilán-Buenos Aires y la zona de Agroindustrial Sur son los que aglomeran la oferta turística. En la zona de Agroindustrial Sur se localizan los centros turísticos: Sensoria y atracción turística Dino Park y centro turístico Bromelias y en la zona de El Gavilán-Buenos Aires se encuentran Blue River, kiwanda Maggic, Rustico Rincón Viejo, Hospedaje la Casona, Cafetería Santa Fé, Hospedaje Los Nacientes y OSKI Rooms, Hungry shark (CNE, 2019).

En relación con el peligro ante un escenario por afectación de lahares y caída de ceniza en las comunidades, se toma partir de la información sobre estudios previos en relación con los depósitos de los peligros y modelos previamente establecidos. Se menciona que el flanco norte (donde están localizadas las comunidades) es el que posee una mayor

probabilidad de ser afectado por los lahares, por la estructura del cono volcánico y la presencia del lago cratérico, Paniagua et al. (1986), Kempter (1996), Kempter y Rowe (2000) y Soto et al. (2003), en Alpízar (2018).

En el mapa 2 se puede observar la afectación generada en las comunidades, en primer lugar, la red vial está compuesta únicamente por una vía lineal que comunica de oeste a este todas las comunidades. De acuerdo con las erupciones ocurridas en 1991, Soto et al., (2004) mencionan que los lahares sobrepasaron los 8 metros en el río Azul y los 20 m en el río Pénjamo y 75 m aproximadamente a ambos lados destruyendo ambos puentes (figura 2). En el modelo de Alpízar 2018, modificado por Aguilar y Alvarado (2020) de $\pm 97,5$ m en total sobre el cauce del río, por lo que se asume que ambos puentes quedarían destruidos nuevamente. Además, se debe de tomar en consideración que, según el Comité Comunal de Emergencias, las obras de reconstrucción se realizaron bajo los cimientos anteriores. Conllevando a la incomunicación en las rutas de evacuación, de las comunidades de El Gavilán, Asentamiento Agroindustrial Sur y Buenos Aires.

Figura 4: Puente sobre río Pénjamo destruido

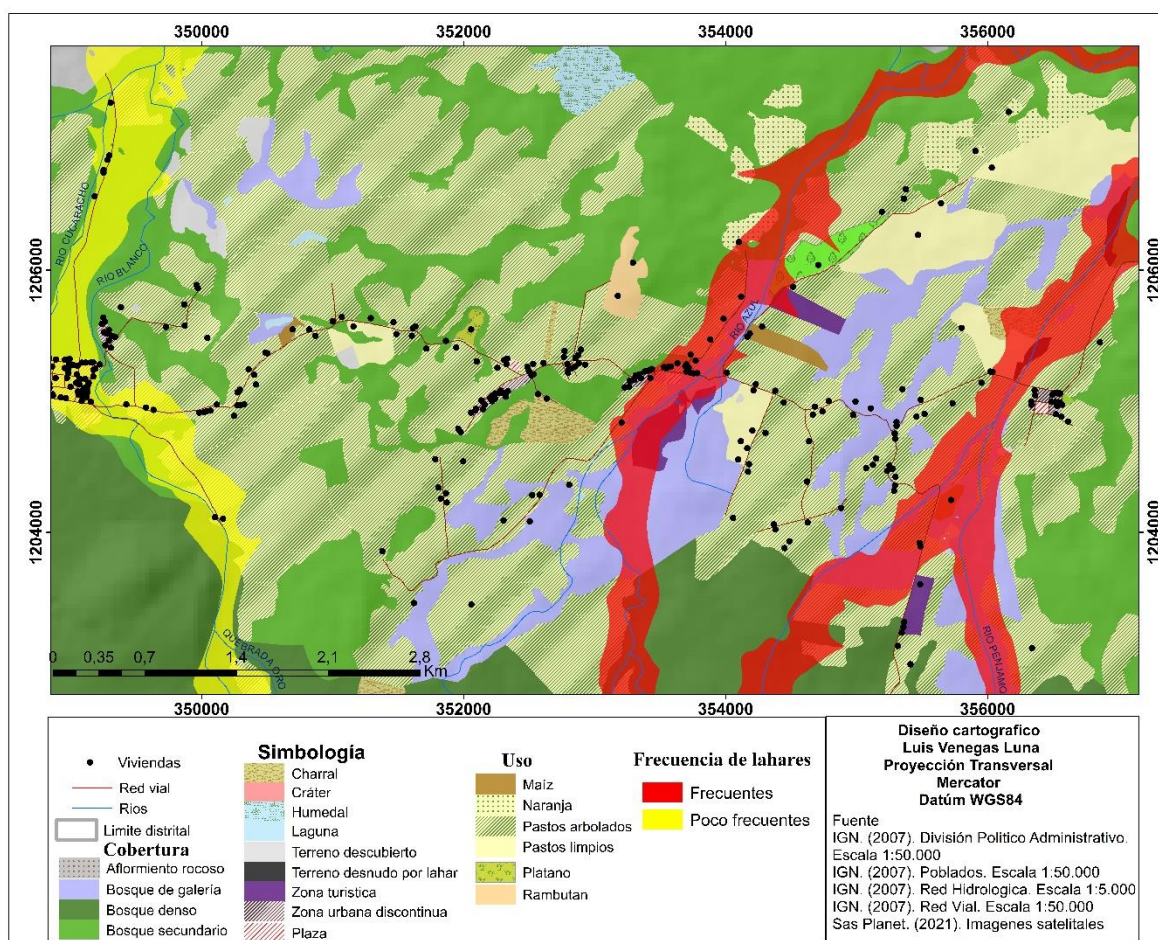


Fuente: Tomada de Soto et al., (2004)

La afectación en las viviendas según la figura 3, las comunidades más afectadas serían El Gavilán (cercanas al cauce del río Azul) y Dos Ríos con una posible inundación producto de un lahar en el río Blanco (Alpízar, 2018). Además, se puede evidenciar una posible afectación en el Salón comunal de El Gavilán, por lo que se recomienda no utilizarlo como centro de albergue. Según la delimitación realizada en el mapa de uso de suelo (mapa 1), la zona turística presenta su aglomeración en los sitios localizados o propensos a verse afectados por los lahares. De acuerdo con Soto et al. (2004) en 1995 el asentamiento Agroindustrial Sur se vio inhabilitado el paso sobre la quebrada Azufrada y de acuerdo con la figura 3

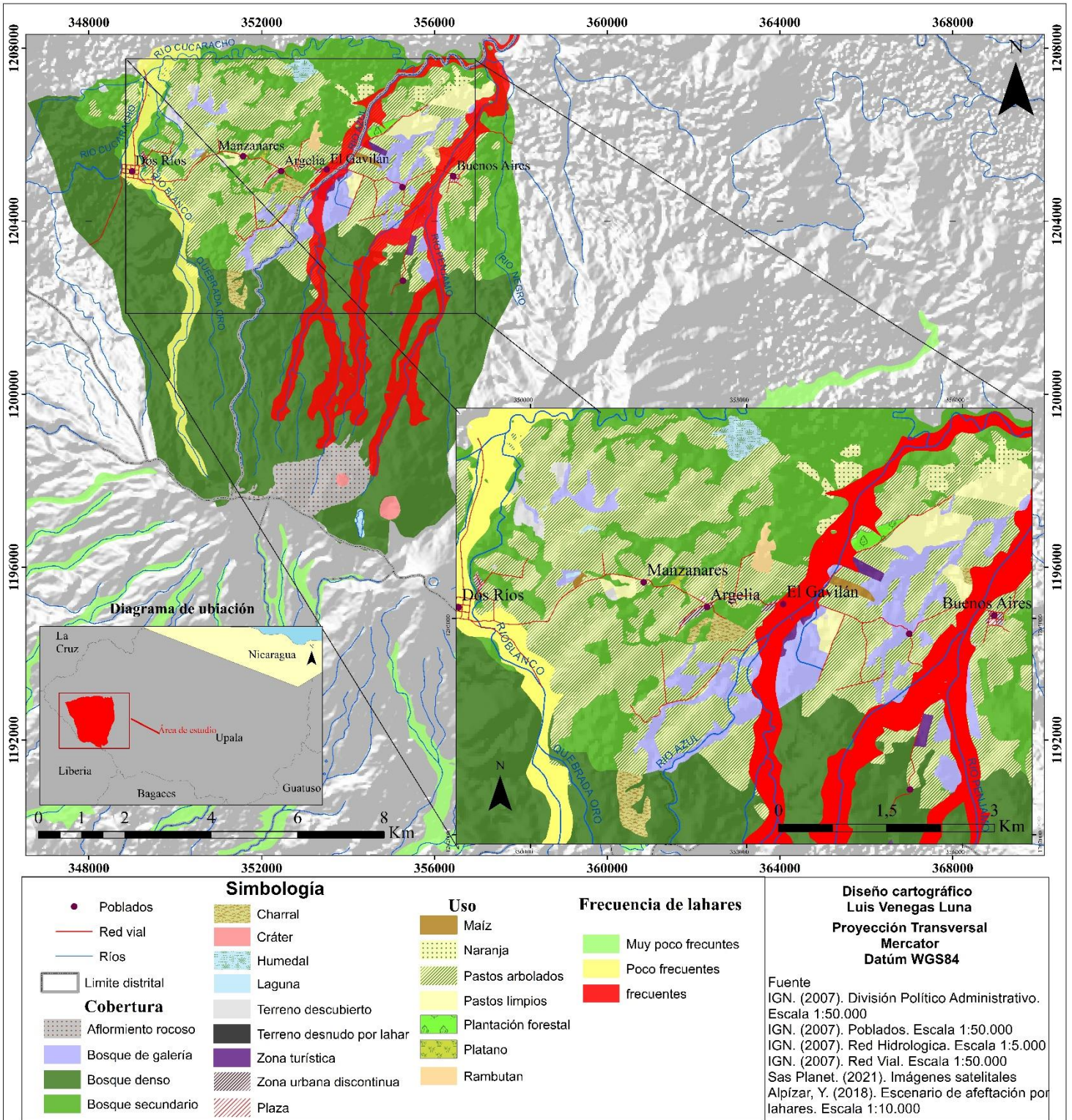
elaborada a partir del mapa de peligros volcánicos donde se toman el modelo de lahares, dicha aglomeración turística compuesta por Sensoria, atracción turística Dino Park y centro turístico Bromelias se verían incomunicadas. Lo que generaría un impacto negativo en el sector laboral de las comunidades, por el no ingreso de turistas a la zona, así como también se vería afectado el centro turístico Blue River y Kiwanda Maggic, entre otros.

Figura 7: Afectación de lahares, en los sectores productivos y hogares

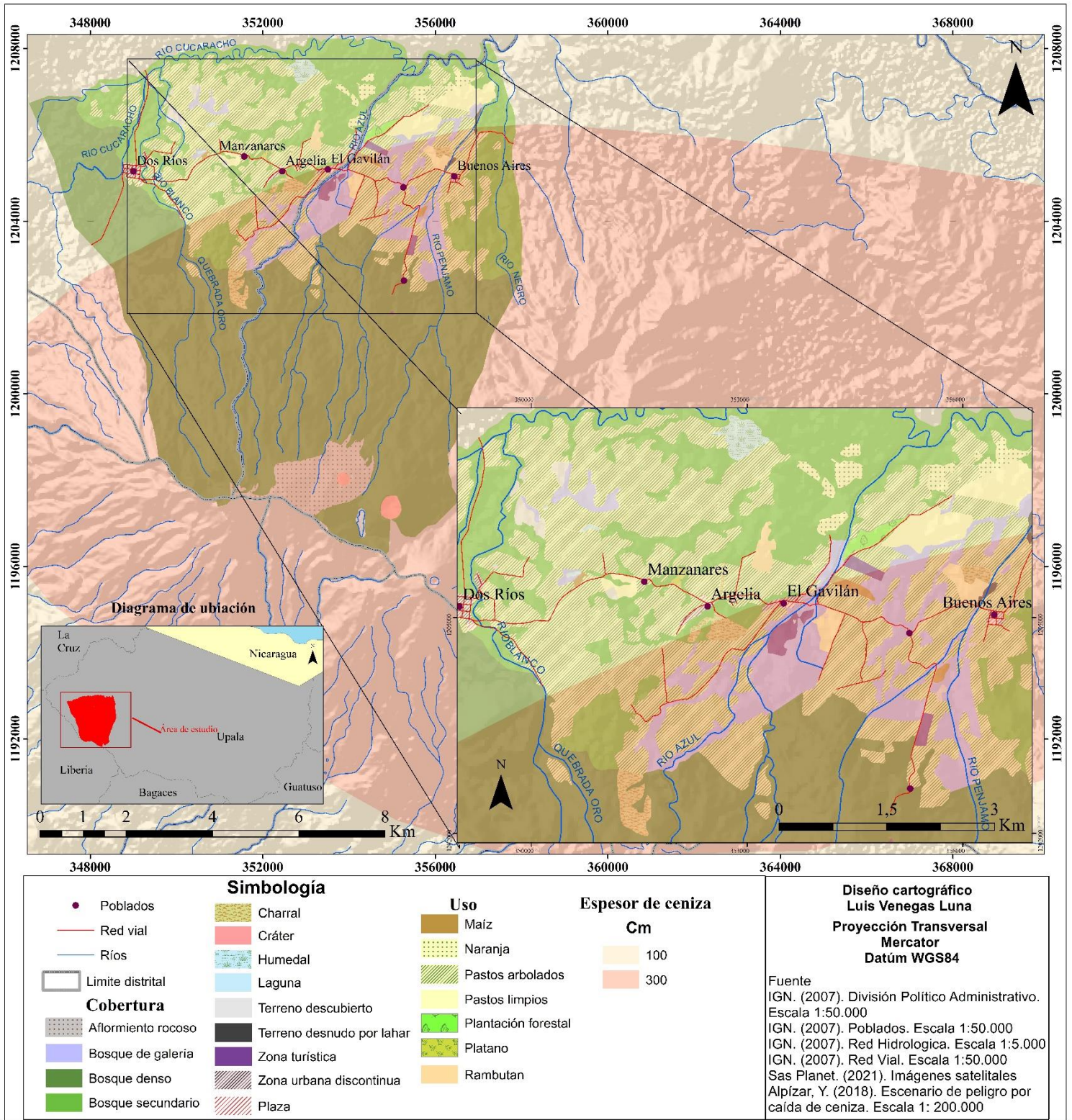


Estos efectos generarían un alto impacto social, tomando en consideración que es una de las principales actividades económicas y que generan mayor oferta de empleo en las comunidades (CATURVI, 2021). Mientras que, las actividades agrícolas se verían afectadas a través de los productos de exportación como el caso de la naranja, la cual se exporta hacia la empresa agroindustrial del Oro. La venta de la producción de leche y sus derivados también se tendría una gran afectación, sobre todo tomando en consideración que muchos de los productores entregan sus productos en la ciudad de Liberia.

Mapa 3: Comunidades de Argelia, Buenos Aires, Dos Ríos, El Gavilán y Manzanares: Cobertura y uso de suelo 2021 y escenario de afectación por frecuencia de lahares.



Mapa 5: Comunidades de Argelia, Buenos Aires, Dos Ríos, El Gavilán y Manzanares: uso de suelo 2021 y escenario de peligro por caída de ceniza



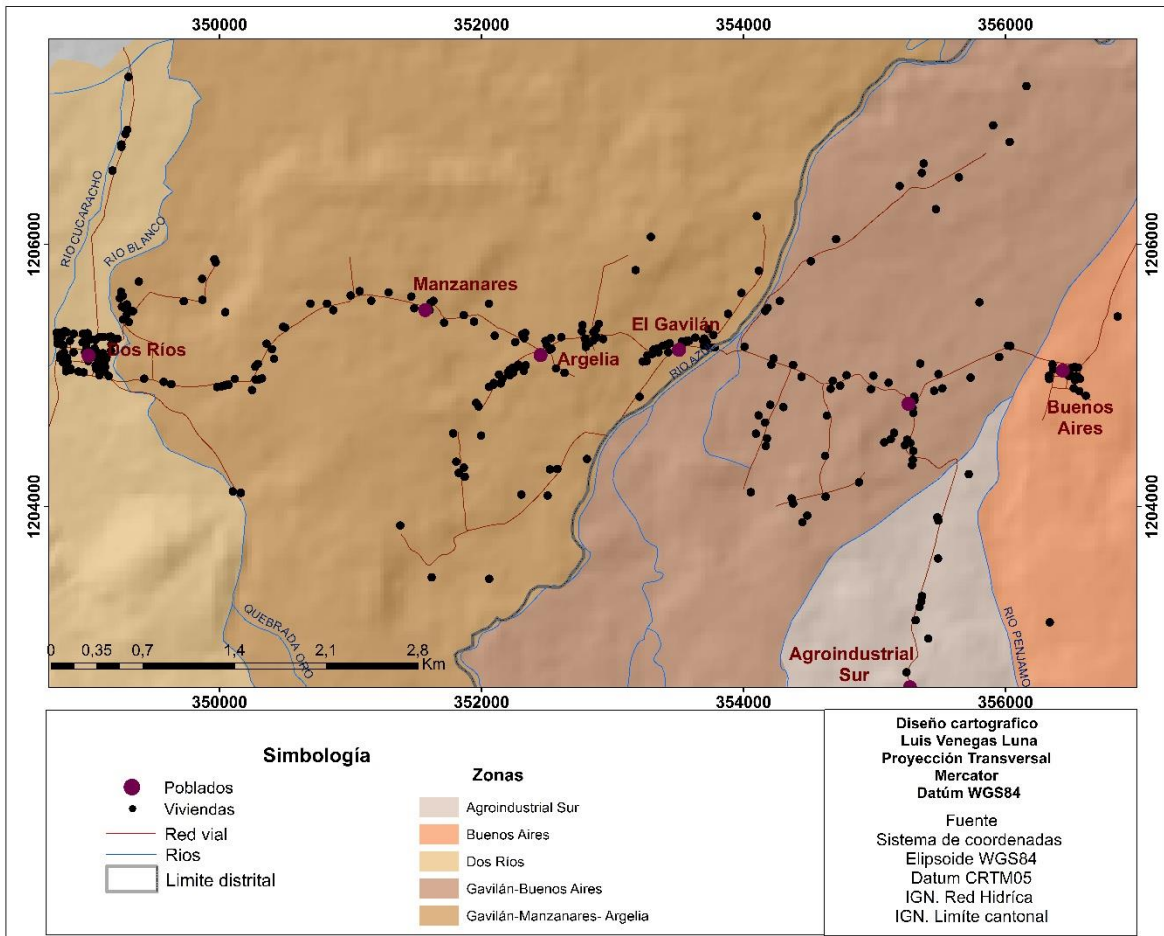
De acuerdo con el mapa de cobertura y uso del suelo y los modelos de peligros volcánicos basados en depósitos y escenarios de afectación, se pudo determinar que ante un escenario de afectación de lahares y caída de ceniza con las características descritas. Las actividades agro-productivas y ligadas al turismo son las que poseen una alta vulnerabilidad, en primer lugar, los sectores agro-productivos (cultivos y pastos) de las comunidades son los que tendrían un mayor impacto parte de la caída de ceniza. Mientras que ante el escenario de afectación de lahares causaría mayores efectos principalmente el sistema turístico, ya que las comunidades de Buenos Aires y El Gavilán son las que se encuentran en la zona de mayor nivel de riesgo. Además, aglomerarán las actividades de servicios en la zona hotelera, una de las fuentes principales de empleo. La comunidad de Dos Ríos posee una alta vulnerabilidad de inundación de acuerdo con el modelo de lahares, por otro lado, las comunidades de Argelia y Manzanares serían las que presentan una menor vulnerabilidad de acuerdo con los peligros volcánicos analizados, debido a su lejanía con el cauce de los ríos.

4-3 Vulnerabilidad

4-3-1 Vulnerabilidad de las viviendas

Durante la aplicación de las encuestas, según la muestra representativa de 76 viviendas a encuestar, sin embargo, únicamente se lograron aplicar 60, debido a las siguientes situaciones: en ciertas viviendas el integrante del grupo familiar no aceptó participar en la aplicación del instrumento y en algunas viviendas no se encontraba ningún miembro del grupo familiar al momento de realizar la visita. En la figura 5 se observa la localización de cada una de las viviendas seleccionadas al azar.

Figura 13: Distribución de las viviendas encuestadas



En primer lugar, el nivel de vulnerabilidad social donde se evalúan las variables intrínsecas de los miembros del grupo familiar, que son posibles factores asociados a la vulnerabilidad ante un escenario de afectación por actividad volcánica. Se identificó en términos generales aquellas comunidades tienen un nivel de vulnerabilidad social bajo, como se puede observar en el gráfico 2 la mayoría de los hogares cuentan con suministro de los servicios básicos (agua potable y electricidad). Asimismo, cuentan con un medio (celular) para la comunicación ante cualquier evento volcánico y acatar las medidas emitidas por las autoridades competentes. Por otro lado, se encuentran pocos hogares con miembros del grupo familiar que presenten alguna discapacidad para movilizarse y generalmente, se encuentra una alta tasa de alfabetización dentro de las comunidades. Sin embargo, en la zona de El Gavilán-Buenos Aires, las viviendas encuestadas poseen un nivel de vulnerabilidad social medio. Esto se debe a factores como: se encuentran mayor cantidad de adultos mayores (65

años o más), mayor cantidad de personas menores de 5 años, así como también, gran parte de los grupos familiares son conformados por 5 o más personas y se encuentran personas analfabetas (16%). En la zona compuesta por las Comunidades de El Gavilán-Argelia y Manzanares, específicamente en la comunidad de El Gavilán los hogares tienen un nivel de vulnerabilidad social media y alta, debido a las mismas características que se mencionaron para la zona El Gavilán-Buenos Aires. En la figura 6, se observa la distribución espacial de

Figura 16: Nivel de vulnerabilidad social en las viviendas de las comunidades los niveles de vulnerabilidad social a nivel de viviendas dentro de las comunidades.

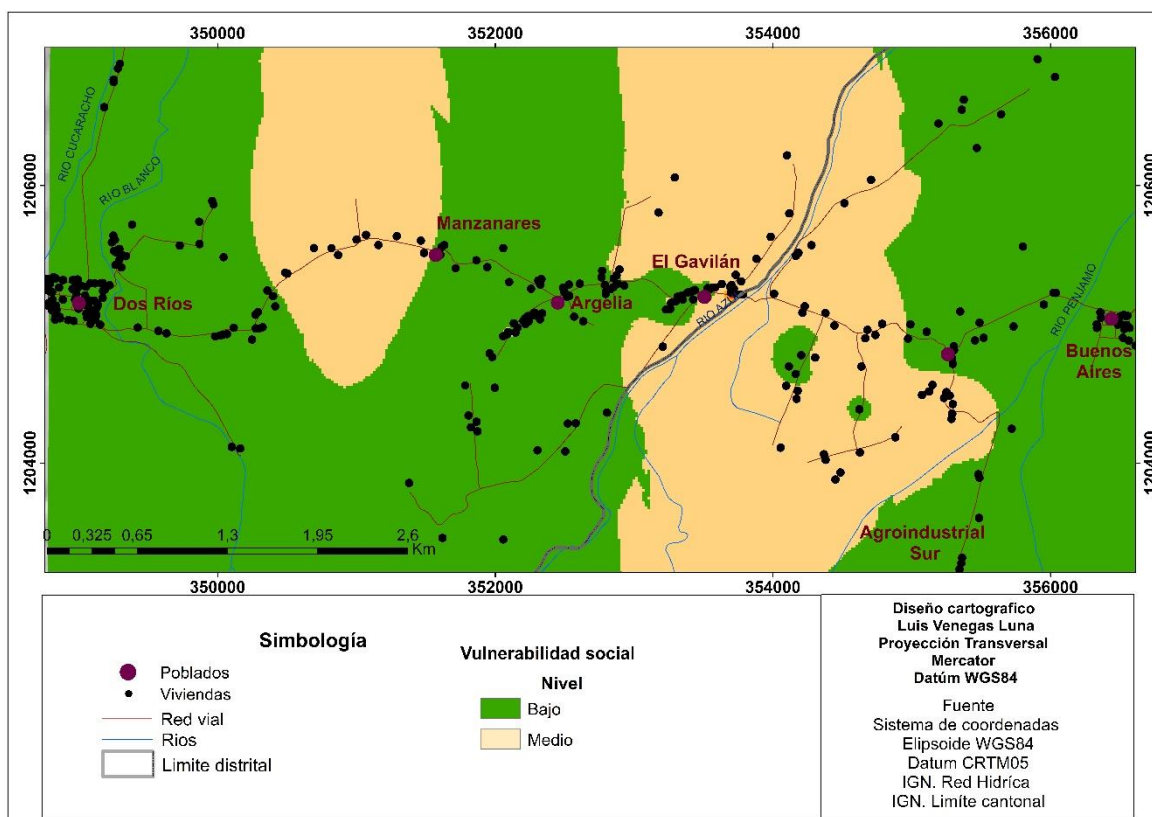
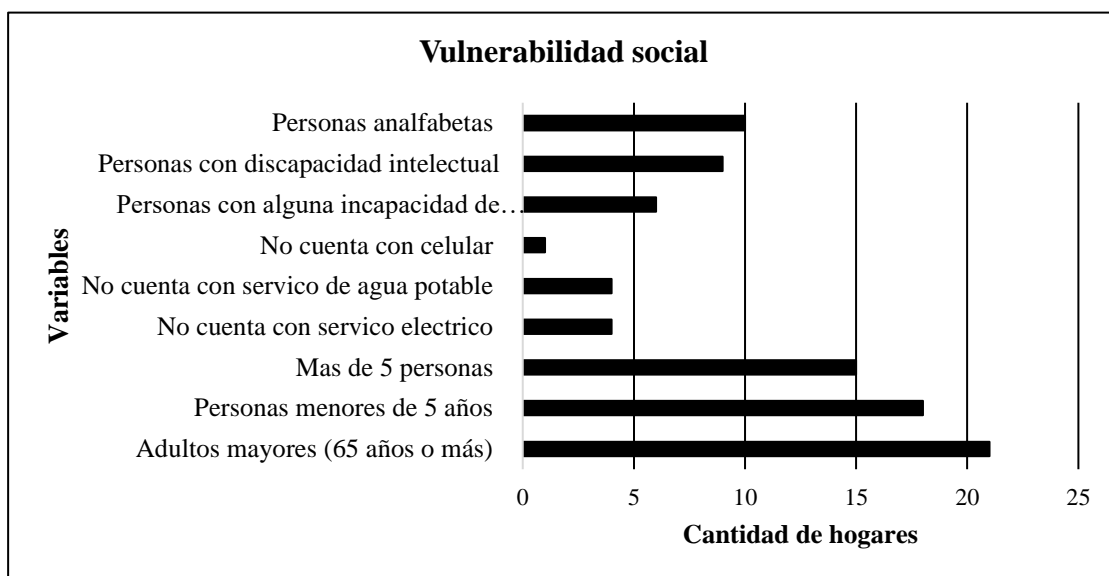


Gráfico 2: Vulnerabilidad social de las viviendas



En la vulnerabilidad económica se evalúan variables asociadas a los ingresos y las actividades económicas desarrolladas por los miembros del grupo familiar encuestado. Relacionadas en base en la respuesta ante un escenario de afectación y su resiliencia económica. Como se puede ver en la figura 7, en las comunidades predomina un nivel de vulnerabilidad económica alto, las variables que determinan dicho nivel son las siguientes: el trabajo o actividad productiva que desarrollan los miembros del grupo familiar se vería afectado ante un escenario de afectación mucho mayor (se debe a que la mayoría de las viviendas encuestadas los miembros que laboran están relacionados al sector de servicios y actividades agropecuarias). Si bien es cierto, en el grupo familiar algún miembro labora, estos no cuentan con el salario mínimo establecido por la ley, lo cual puede estar correlacionado con la variable de que una gran cantidad de los miembros del grupo familiar en las viviendas encuestadas carecen de la posibilidad de ahorrar.

Figura 19: Nivel de vulnerabilidad económica en las viviendas de las comunidades

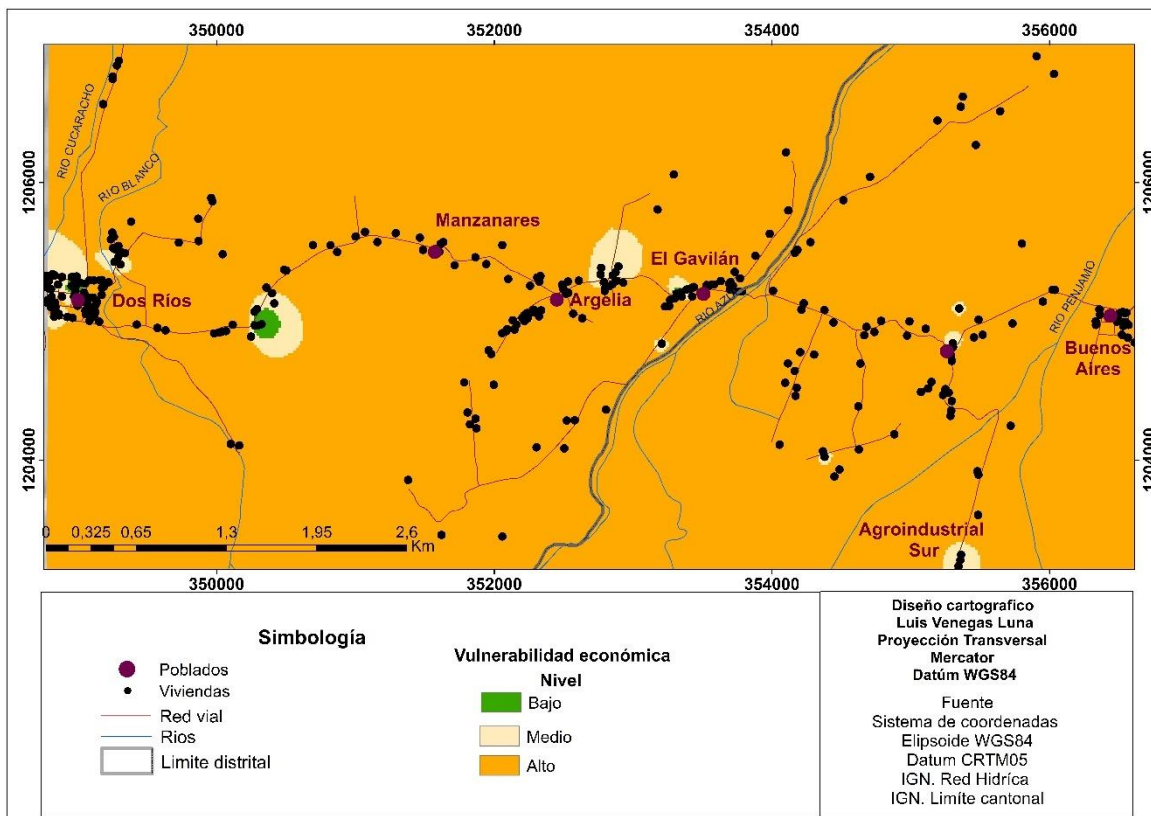
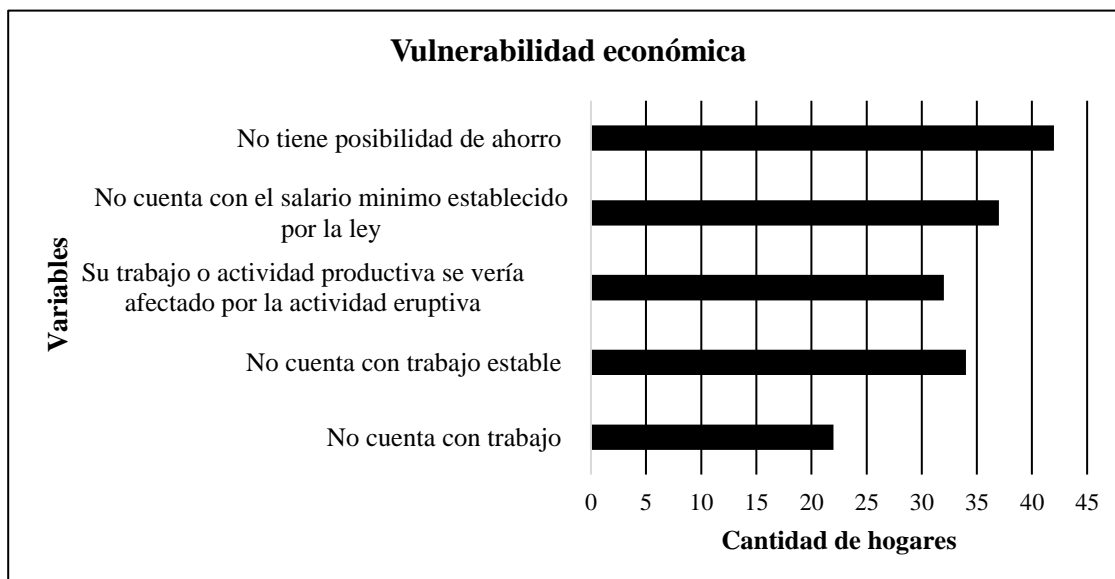


Gráfico 3: Vulnerabilidad económica de las viviendas



La vulnerabilidad relacionada a la organización local-institucional se cataloga con nivel alto a muy alto, ya que, si bien es cierto, hay un comité comunal de emergencias encargado de planear estrategias para la disminución del riesgo. Gran cantidad de los hogares encuestados desconoce de su formación o los planes que estos han elaborado en conjunto con demás organismos, como el Comité Municipal de Emergencias y la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. Las variables que inciden en dichos niveles de vulnerabilidad como se puede ver en el gráfico 4 son las siguientes: en las viviendas, los miembros de los grupos familiares desconocen de los planes de emergencia (contingencia), al desconocer que existe un comité comunal de emergencias consideran que se necesita de dicha organización. Asimismo, hacen falta programas de capacitación sobre el peligro volcánico y el riesgo asociado que representa vivir en dichas comunidades. También no se tiene conocimiento de los albergues o sitios de reunión segura ante un escenario de afectación mayor a los ocurridos hasta la actualidad y gran cantidad de las viviendas encuestadas no tienen un plan de evacuación a nivel de vivienda. En la figura 8 se observa el nivel de vulnerabilidad en relación con la organización local.

Figura 22: Nivel de vulnerabilidad de organización local-comunitaria

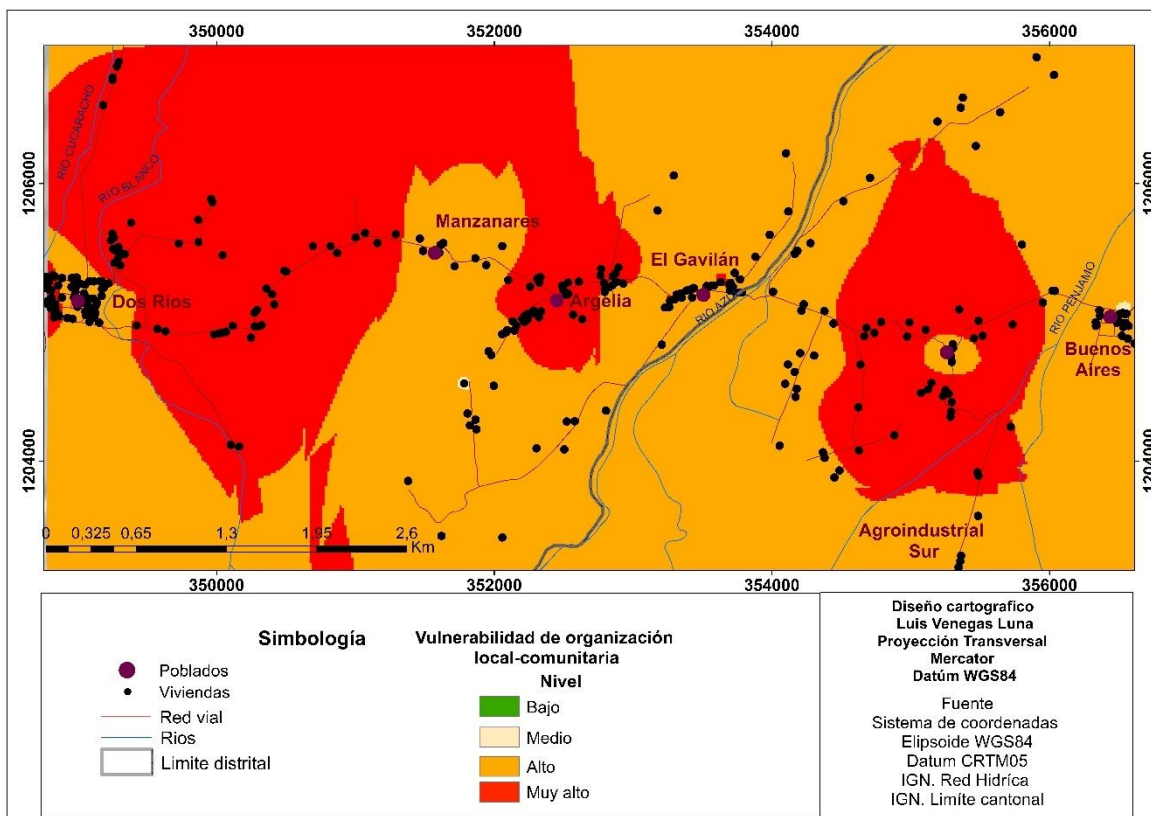
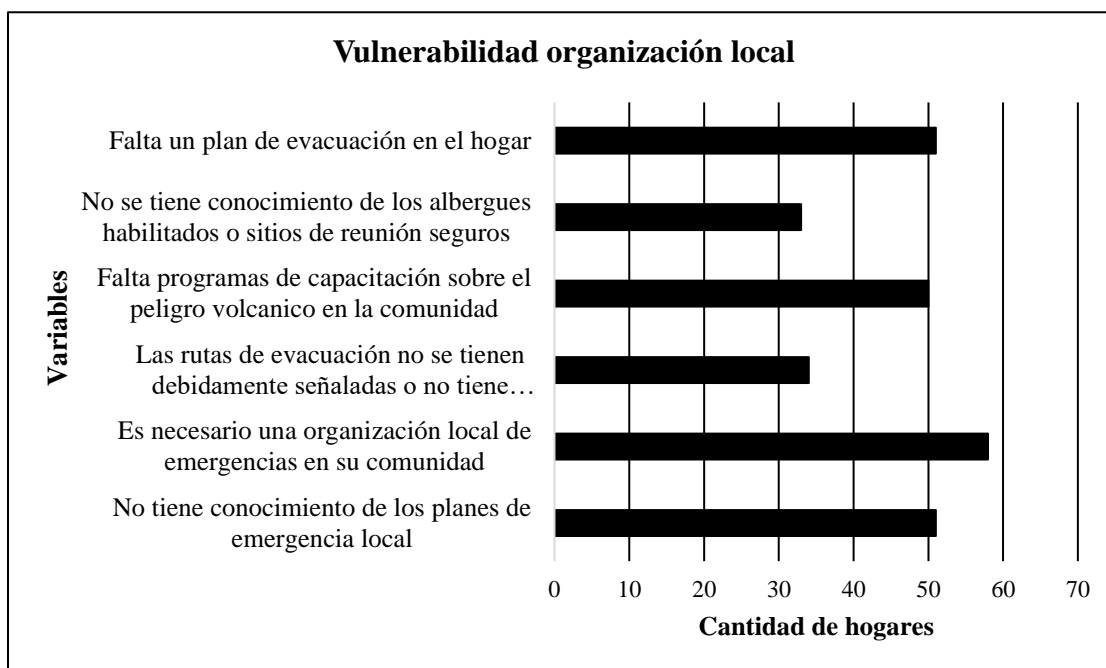


Gráfico 4: Vulnerabilidad asociada a la organización local



El último criterio que se decidió evaluar con respecto a la vulnerabilidad a nivel de viviendas es la percepción del riesgo, donde se puede observar una distribución aleatoria alrededor del territorio de las comunidades. En primer, en la zona de Agroindustrial Sur (asentamiento) se encuentra un nivel alto de vulnerabilidad sobre la percepción del riesgo, debido a que han sufrido afectación directa por la actividad volcánica ya sea por la interrupción de las rutas de evacuación por la quebrada Azufrada o caída de ceniza que afecto sus cultivos y viviendas. Así como también, las erupciones volcánicas producidas por el volcán Rincón de la Vieja lo perciben como algo cotidiano, lo que puede aumentar su riesgo ante una afectación mayor. En la comunidad de Manzanares el nivel de vulnerabilidad es bajo y medio ya que no se ha presentado afectación directa por la actividad volcánica, así como también, en la comunidad de Dos Ríos el nivel es medio ya que no han sufrido afectación por parte de los peligros volcánicos, sin embargo, no confían en las instrucciones del comité comunal de emergencias lo que conduce a que aumente su percepción del riesgo, estas variables se pueden observar representadas en el gráfico 5.

Figura 25: Nivel de vulnerabilidad de percepción del riesgo en las viviendas de las comunidades

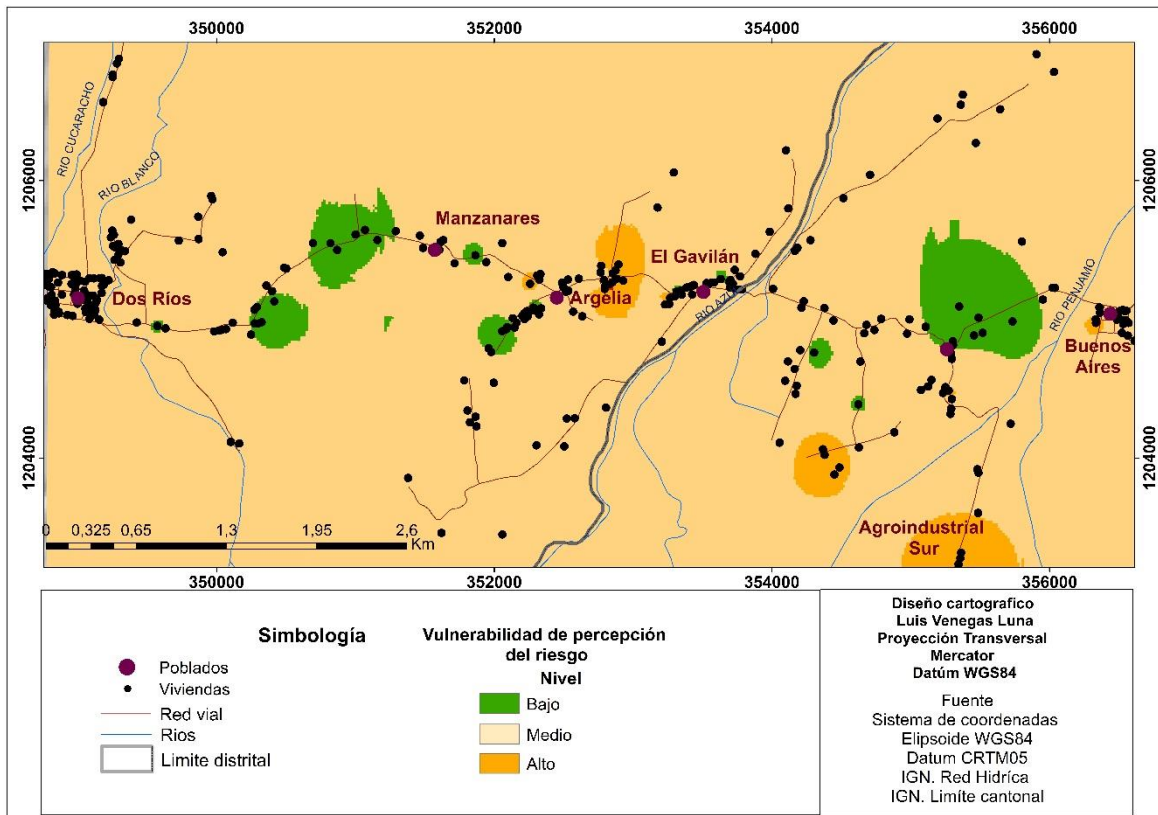
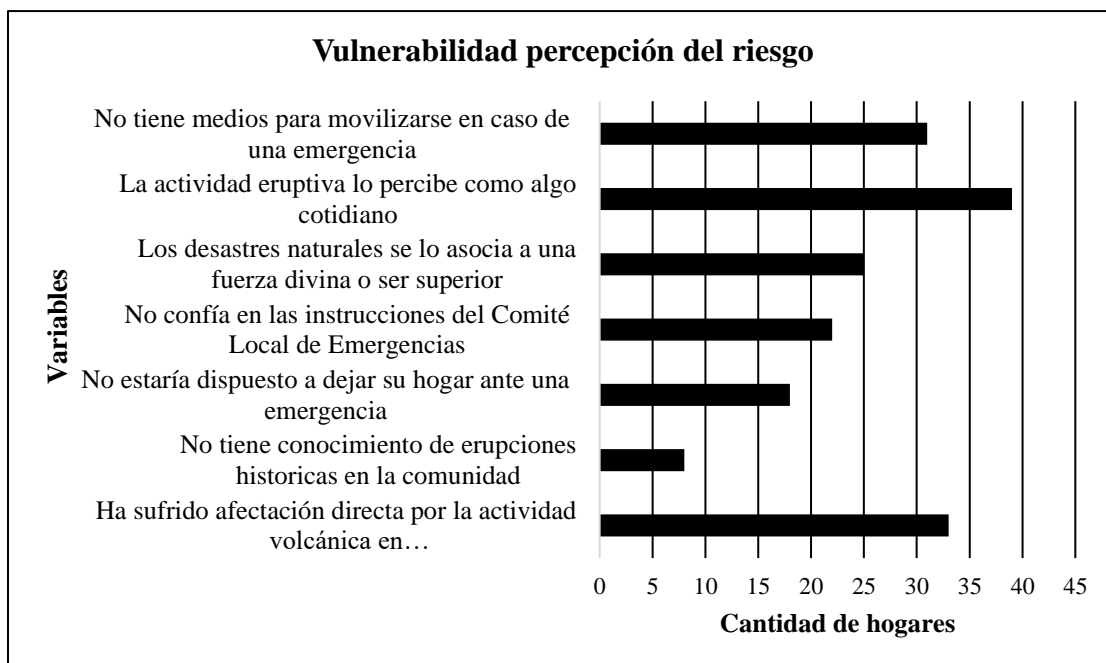


Gráfico 5: Vulnerabilidad de percepción de riesgo en las viviendas



4-3-2 Vulnerabilidad Comunitaria

Para establecer la vulnerabilidad a nivel comunitaria se pondera cada tipo de vulnerabilidad de acuerdo el peso establecido como se muestra en la tabla 2. Según el nivel de vulnerabilidad social comunitario obtenido en la figura 10, la zona compuesta por El Gavilán-Buenos Aires posee un nivel alto, la zona de Buenos Aires y la zona compuesta por El Gavilán-Argelia-Manzanares y la zona de Dos Ríos posee un nivel medio, mientras la zona de Agroindustrial Sur (asentamiento) posee un nivel bajo. En términos generales el territorio posee una vulnerabilidad comunitaria social media.

El nivel de vulnerabilidad social obtenido se debe ligar, en primer lugar, las actividades productivas que se desarrollan son altamente susceptibles a verse afectadas ante un escenario de afectación por actividad volcánica (sector turístico y agropecuario), las cuales abarcan la mayor oferta laboral para la población local. Si bien es cierto, las comunidades cuentan con un comité comunal de emergencias, la mayoría de población encuestada en los hogares desconocen. Por otro lado, existe rotulación en los ríos por donde escurren los lahares como se muestra en la imagen 1, los cuales muestran el peligro volcánico y rutas de evacuación. Sin embargo, gran parte de los hogares encuestados desconoce de dicha rotulación, además, hacen falta programas o reuniones informativas con las comunidades sobre el riesgo de los peligros volcánicos. En general, hay un alto nivel de desinformación ya que desconocen el plan de contingencia, lo cual se correlaciona con que no identifican los posibles sitios de reunión seguros o albergues que se habilitarían en caso de una emergencia por peligro volcánico.

Imagen 1: Rotulación del peligro volcánico en el río Blanco

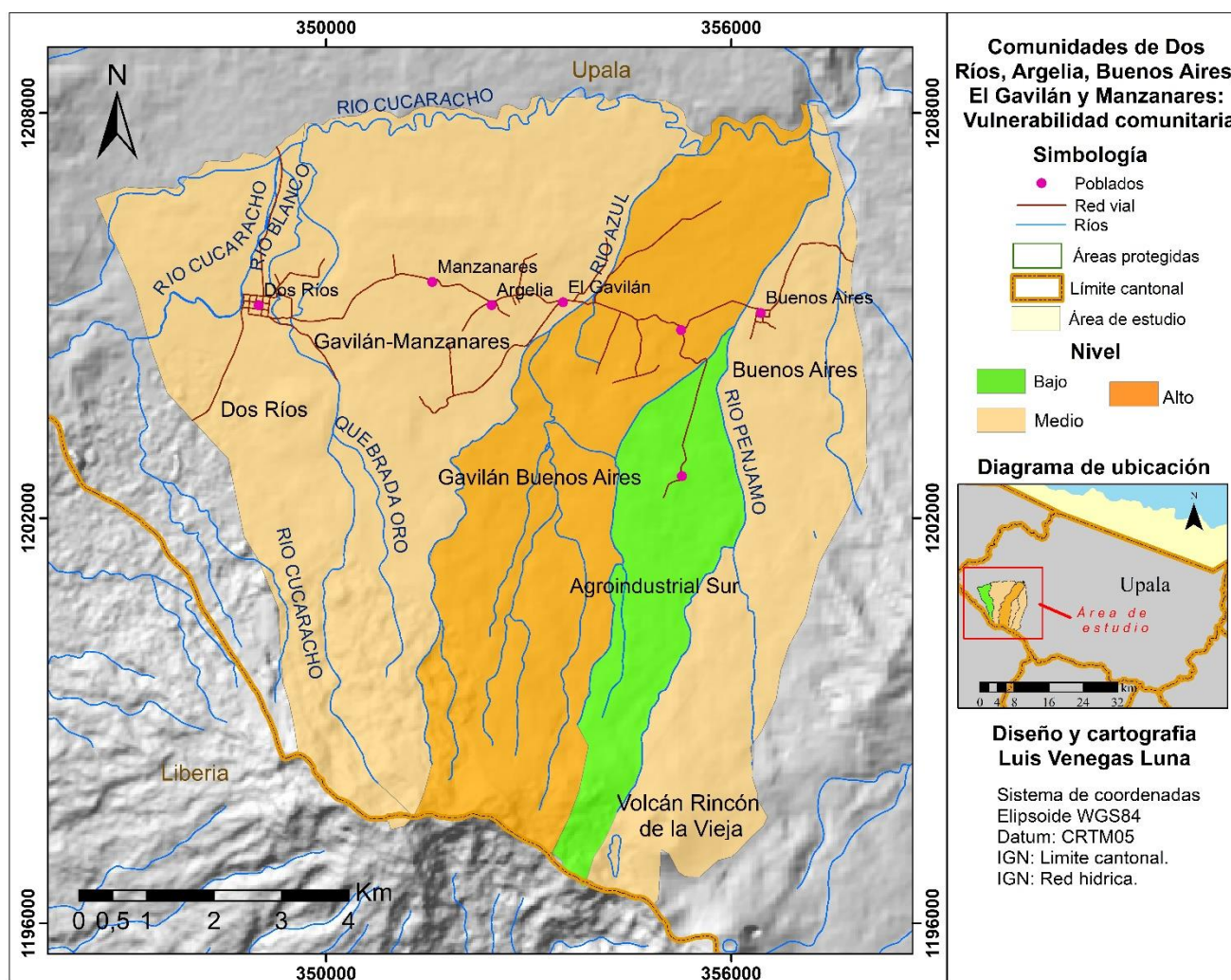


Fuente: Tomada por Venegas, 2021.

La zona de El Gavilán- Buenos Aires es la que posee el nivel de vulnerabilidad social alto, principalmente por las características de los grupos familiares encuestados. Se encuentran una alta cantidad de adultos mayores, también en gran parte de los hogares hay personas menores de 5 años, así como también, el grupo familiar son conformados por 5 o más personas y personas analfabetas (no saben leer ni escribir). Parte de las actividades productivas en las que laboran en dicha zona son potencialmente susceptibles a verse afectadas, por un evento mayor de actividad volcánica, según el mapa 1, en esta zona se concentra la zona de servicios (complejos turísticos). Además, de algunos cultivos permanentes como cítricos que son exportados hacia otros sitios del cantón. La zona de Agroindustrial Sur presenta un nivel de vulnerabilidad social baja, esto debe principalmente a la escasa población, con hogares integrados por menos de 4 personas, no se encuentran

personas menores de 4 años, además conocen muy bien la zona de riesgo en la que viven, se tiene conocimiento de los posibles albergues que se habilitarían, etc.

Figura 28: Nivel de vulnerabilidad social en las comunidades



5-3 Riesgo

4-4 Exposición y peligrosidad ante lahares

Las comunidades poseen distintos niveles tanto de exposición como de peligrosidad de acuerdo con la afectación de lahares, donde los principales daños han ocurrido en la infraestructura vial (puentes) y el servicio de agua potable. Generando un impacto social en la población, principalmente por la interrupción de las rutas de evacuación desde 1991. A nivel de zonas (establecidas en el plan de contingencia local), en primer lugar, la zona de

Agroindustrial Sur se encuentra con un nivel de exposición alto, mientras el nivel de peligrosidad es muy alto. Esto se debe a que cuando se presenta actividad eruptiva con presencia de lahares, la comunidad no tiene vías de evacuación, ya que no existe un puente sobre la Quebrada azufrada (se encuentran únicamente las bases). En la imagen 2 se observa el paso sobre la quebrada Azufrada y en la imagen 3 las bases sobre el puente en construcción. Por lo cual es de suma importancia que la Municipalidad de Upala, reactive la construcción de dicha infraestructura para reducir la exposición de dicho asentamiento.

Imagen 2: Paso quebrada azufrada



Imagen 3: Base puente en construcción



Fuente: Tomadas por Venegas, 2021

La zona compuesta por la comunidad de El Gavilán-Buenos Aires tiene un nivel de exposición alto y un nivel de peligrosidad alto debido a que se presentan lahares muy frecuentes, sobre el río Azul y Pénjamo, por ejemplo, durante las erupciones ocurridas durante 1991 ambos puentes quedaron destruidos por los lahares presentados. En este sentido ante un escenario de afectación con las características similares, el área quedaría incomunicada, sin vías de evacuación disponible. En la imagen 4 se observa el puente sobre el río Pénjamo, en la imagen 5 el puente sobre el río Pénjamo, los cuales están contruidos sobre las bases de los puentes que quedaron destruidos.

Imagen 4: Río Azul



Fuente: Tomadas por Venegas, 2021

Imagen 5: Río Pénjamo



La zona de Buenos Aires y la zona compuesta por El Gavilán-Argelia-Manzanares tiene un nivel exposición medio-alto y un nivel de peligrosidad medio-alto, si bien es cierto, se han visto afectadas por lahares, tendrían una ruta de evacuación habilitada. En el caso de la zona de Buenos Aires hacia la ruta hacia la comunidad de Aguas Claras y la zona de El Gavilán-Argelia-Manzanares hacia la comunidad de Dos Ríos, donde, sin embargo, se han presentado lahares sobre el río Blanco, siendo poco frecuentes y no hay registro sobre afectación en la infraestructura vial. En la imagen 6 se puede observar el puente sobre el río Blanco, en el caso de la comunidad de Dos Ríos tiene un nivel bajo tanto en exposición como en peligrosidad, tomando en consideración que las rutas de evacuación no se verían afectadas ante escenarios por lahares.

Imagen 6: Puente sobre río Blanco



Fuente: Tomada por Venegas, 2021

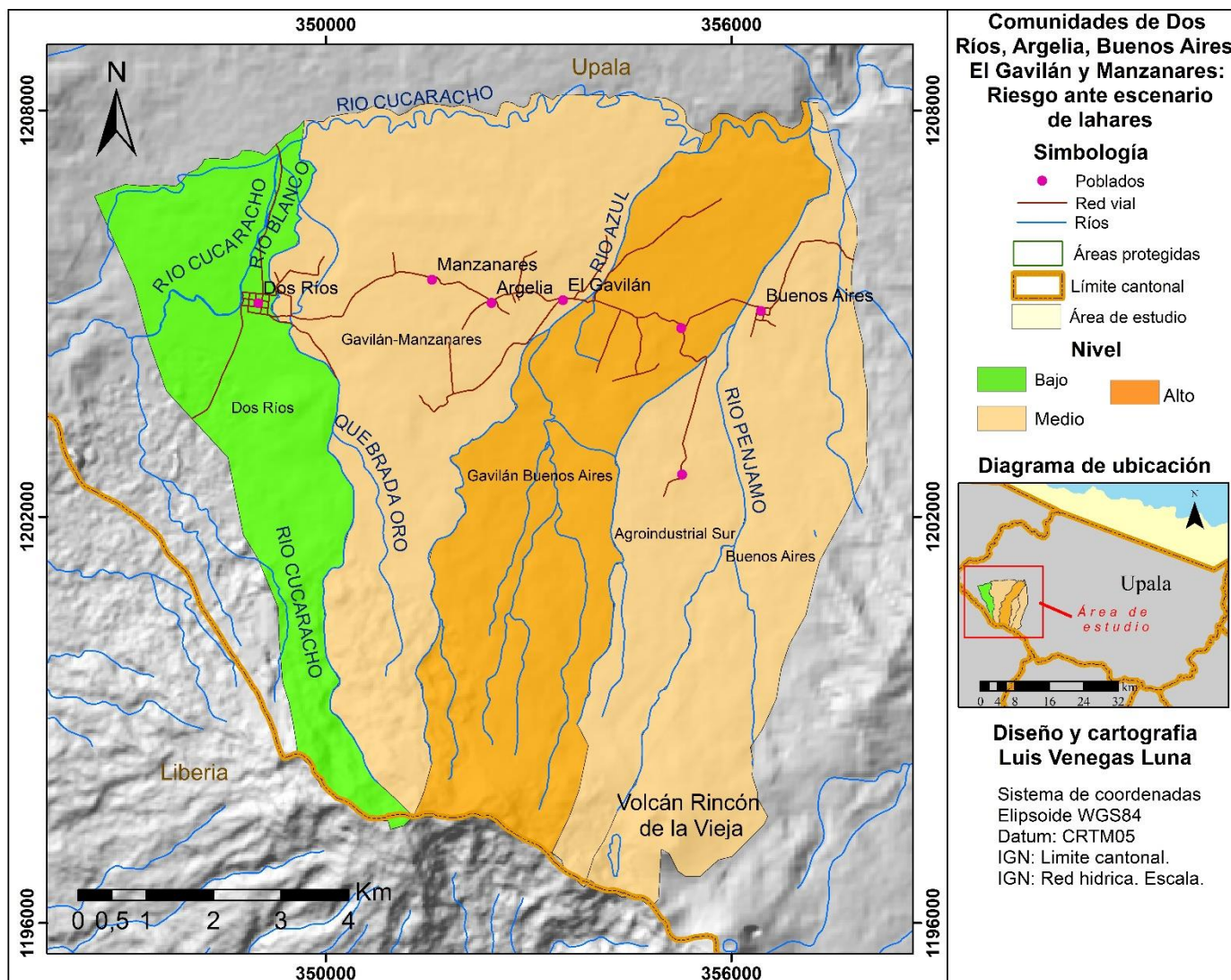
4-4-1 Riesgo asociado a la afectación de lahares a nivel comunitario

El nivel comunitario obtenido a partir del riesgo asociado a la afectación por lahares se logra identificar la predominancia del nivel medio. Para el análisis espacial se debe correlacionar, con los niveles de vulnerabilidad comunitario asociado a variables socioeconómicas, organización local y percepción del riesgo, donde destaca la zona compuesta por El Gavilán-Buenos Aires con un nivel de riesgo alto. Esto se debe a que, de acuerdo con los datos obtenidos en las viviendas encuestadas en dicha localidad, predominan niveles altos y medios, en relación con las variables socioeconómicas y de organización local. Además, de tener un nivel de peligrosidad y exposición alto, debido a la presencia de lahares frecuentes por los ríos que la atraviesan y su aislamiento por destrucción sobre los puentes del río Azul y Pénjamo.

Según el mapa de coberturas y usos del suelo en dicha zona de mayor riesgo se aglomera gran parte de los complejos turísticos presentes en las comunidades de estudio como Blue River, Kiwanda Maggie y locales como Rustico Rincón Viejo, Hospedaje la Casona, Cafetería Santa Fé, Hospedaje Los Nacientes y OSKI Rooms, Hungry shark. Además, se localizan fincas de cultivo de naranja y dedicadas a la ganadería de leche, de esta manera la zona presenta características no solo sociales, si no también, económicas que son altamente vulnerables ante un escenario de afectación por lahares.

La zona compuesta por el asentamiento Agroindustrial Sur, si bien es cierto, es la que posee un nivel exposición muy alto y de peligrosidad alto, sin embargo, al ser poco poblado las características de los hogares hacen que, el nivel de vulnerabilidad sea bajo y con esto el nivel de riesgo es medio. Sin embargo, se debe de tener en consideración que en esta zona se localizan los centros turísticos Sensoria, atracción turística Dino Park y Bromelias, los cuales son fuentes de empleo para la población local. La zona de Dos Ríos es la única zona que presenta un nivel de riesgo bajo, debido a la nula afectación de lahares de acuerdo con el registro histórico de los últimos 30 años de periodo eruptivo, por lo cual se establece como una de las zonas donde se puede utilizar su salón comunal como albergue para la población localizada en la zona de Manzanares-Argelia-El Gavilán ante un escenario de afectación por lahares.

Figura 31: Nivel de riesgo comunitario ante escenario de afectación por lahares

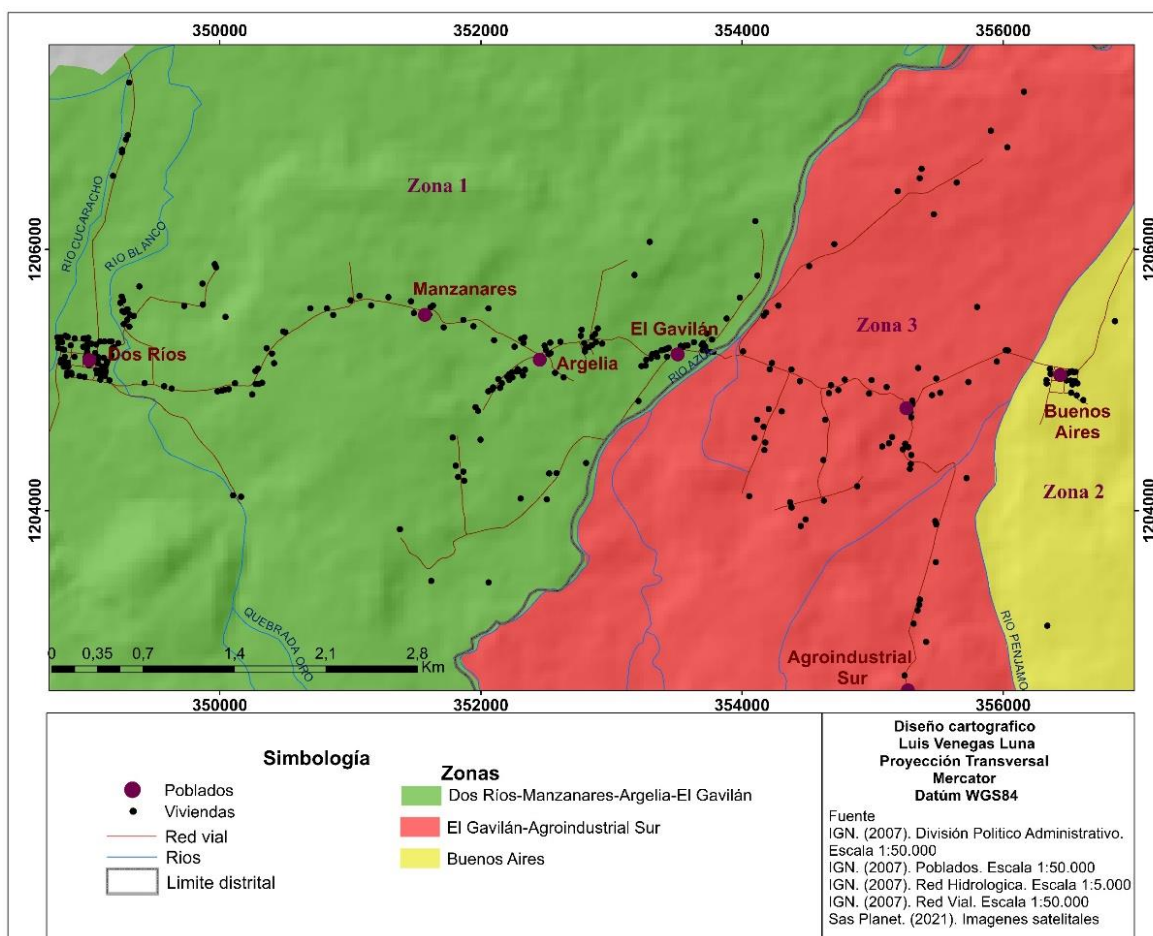


5- Emisión de recomendaciones sobre la planificación territorial y la gestión del riesgo en las comunidades de estudio

De acuerdo con el nivel de riesgo establecido tomando como referencia los últimos 30 años de afectación por actividad volcánica, hacia el flanco norte del volcán Rincón de la Vieja, se logra establecer que el peligro de mayor frecuencia de afectación sobre las comunidades en estudio es el escurrimiento de lahares. De acuerdo con el mapa de nivel de riesgo comunitario ante escenarios de afectación por lahares y el mapa de coberturas y uso de suelo, se emiten una serie de recomendaciones sobre la planificación territorial y la gestión del riesgo hacia las comunidades en estudio.

De acuerdo con los mapas mencionados anteriormente se establecen tres áreas en las comunidades en estudio, en base al nivel de riesgo y las coberturas y usos del suelo presentes (actividades agro-productivas y turísticas). Las cuales facilitan las recomendaciones sobre la planificación territorial y la gestión del riesgo, en la figura 12 se observa las áreas establecidas de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente.

Figura 34: Detalle de zonas establecidas de acuerdo con el nivel de riesgo ante lahares y coberturas y usos del suelo



5-1 Zona 1: comunidades de Dos Ríos, Manzanares, Argelia y El Gavilán

Esta zona se encuentra con un nivel de riesgo bajo-medio (ver figura 11), podrían presentarse una inundación por lahar en la comunidad de Dos Ríos, mientras las comunidades de Manzanares, Argelia y El Gavilán podrían quedar incomunicadas por la afectación en el puente sobre el río Blanco (ver anexo 3), sin embargo, estos se dan al menos uno cada siglo. Las recomendaciones sobre esta zona son las siguientes:

Los usos del suelo que predomina son los pastos arbolados, donde se desarrolla la ganadería a través de sistemas silvopastoriles. Se recomienda no desarrollar este tipo de actividad con grandes cantidades de reses, debido a que se podría presentar afectación por caída de ceniza con espesores de 10 cm. Ante un escenario de afectación eruptiva con presencia de lahares sobre el río Blanco, se deben tomar medidas de evacuación hacia la comunidad de Dos Ríos. En cuanto a la expansión urbana, no se recomienda el establecimiento de nuevas áreas para el otorgamiento de parcelas o lotes fuera de los límites de las comunidades.

5-2 Zona 2: comunidad de Buenos Aires

Esta zona se encuentra con un nivel de riesgo medio (ver figura 11), en la cual se podría presentar caída de ceniza con un espesor de 30 cm, además posee una alta exposición pues, de acuerdo con el registro de actividad eruptiva de los últimos 30 años el puente sobre el río Pénjamo ha sido destruido. Además, la presencia de lahares sobre dicho río se da de manera frecuente con eventos cada década (ver anexo 3).

Según la delimitación de las coberturas y usos del suelo se logró identificar únicamente la presencia de pastos arbolados, es decir, en esta zona únicamente se desarrolla la actividad ganadera. La producción de leche y sus derivados se traslada por la vía que comunica con Dos Ríos, por lo cual ante una afectación en los puentes generaría que los productos no logran colocar sus productos en el mercado. Además, otro posible impacto en la actividad ganadera sería la caída de ceniza con espesores de 30 cm, sin embargo, este escenario de afectación tiene una probabilidad baja.

En cuanto a la evacuación de la población se debe considerar que la ruta de evacuación que comunica con la comunidad de Aguas Claras se encuentra en mal estado, pues, está cubierta de una capa de lastre. Por lo cual, se requiere de automóviles altos o de tipo 4x4 para poder desplazarse por el mismo, de esta manera es necesario que el gobierno local de mantenimiento más frecuente sobre dicha ruta.

En relación con la expansión urbana, se recomienda limitarla a los cuadrantes de la comunidad, así como también, no construir infraestructura estratégica.

5-2 Zona 2: comunidades de El Gavilán y Buenos Aires.

Esta zona se encuentra con un nivel de riesgo medio-alto (ver figura 11), en la cual se podría presentar caída de ceniza con un espesor de 30 cm, además posee una alta exposición pues, de acuerdo con el registro de actividad eruptiva de los últimos 30 años el puente sobre el río Azul y Pénjamo ha sido destruido. La presencia de lahares sobre dicho río se da de manera frecuente con eventos cada década (ver anexo 3), por lo cual posee un nivel alto de peligrosidad.

Según la delimitación de las coberturas y usos del suelo se logró identificar que esta zona aglomera actividades del sector de servicios, estas se subdividen en la aglomeración de los centros turísticos y locales dedicados ofrecer servicios de alojamiento y alimentación. Así como también, la presencia de cultivos anuales y permanentes y pastos limpios y arbolados utilizados en la actividad ganadera, cuya producción es colocada en el mercado externo de las comunidades en estudio. Sin embargo, el principal impacto se daría en el sector turístico, pues, es fuente de empleo para gran parte de la población local.

Para la evacuación de la población localizada en esta zona, se debe considerar algún centro turístico como el hotel Blue River para adaptarlo como un albergue, ya que no se encuentra alguna otra infraestructura con dimensiones apropiadas. Además, no acercarse al cauce de los ríos cuando se presenta actividad eruptiva, por ejemplo, cuando se encuentra la cima nublada.

La zona presenta un gran potencial natural que puede ser aprovechado para la actividad turística, sin embargo, debe de planearse con estrategias de seguridad tanto para turistas como para guías (a los cuales se les brinde capacitaciones sobre primeros auxilios y sobre el peligro volcánico que presenta la zona). Además, si se encuentra en ciertas cascadas sobre el río Pénjamo y Azul se recomienda tener un vigía con un radio de comunicación, el cual tenga vista sobre la cima del cráter activo.

6- Conclusiones y recomendaciones

El volcán Rincón de la Vieja es uno de los volcanes activos en la actualidad de Costa Rica, con erupciones de tipo freáticas hasta freatomagmáticas con periodos de reactivación de ± 40 años. Las cuales se han generado como principales peligros volcánicos los lahares y caída de ceniza hacia las comunidades del cantón de Upala localizadas en el flanco norte. En dicho territorio no se ha generado una zonificación de riesgo por parte del gobierno local, como parte de la planificación territorial que permita criterios técnicos para la otorgación de permisos para construcciones, como proyectos de vivienda.

Se elaboró un mapa de cobertura y usos del suelo para las comunidades localizadas en el flanco norte, donde se demuestra que el sector turístico sería el más afectado por lahares, específicamente por que los centros turísticos se localizan en las zonas de con alta exposición. De acuerdo con el registro de los últimos 30 años de afectación por peligros volcánicos en las comunidades de estudio. El modelado de los lahares se tomó del mapa preliminar de peligros volcánicos elaborado por Alpízar (2018), modificado por Aguilar y Alvarado (2020). El cual es de tipo cualitativo integrado, basado tanto en el registro geológico, como en modelación determinística e información de peligros preexistente.

En esta investigación se analiza el riesgo ante lahares, interrelacionado nivel de vulnerabilidad comunitario obtenido a través de la aplicación de una encuesta con 27 variables. Así como también, se evaluó el nivel de exposición mediante la afectación a la infraestructura vial y el nivel de peligrosidad de acuerdo con la frecuencia que ocurren lahares sobre los ríos. En el mapa del nivel de riesgo comunitario se obtuvo una valoración cualitativa de bajo hasta alto.

De acuerdo con el registro histórico de los últimos 30 años de afectación por parte de los lahares, ante un escenario de afectación con características ocurridas en la erupción del 8 de mayo de 1991, los puentes sobre el río Azul y Pénjamo quedarían destruidos. Esto debido a que los puentes que se encuentran actualmente se construyeron bajo los mismos cimientos de los puentes antiguos.

En relación con el peligro de caída de ceniza, este presenta una menor frecuencia de afectación sobre las comunidades del flanco norte, sin embargo, se deben tomar medidas de prevención principalmente en el sector ganadero y agrícola para reducir los efectos como los

presentados durante la erupción del 28 de junio del 2021, donde se destruyeron cultivos de tomate y chayote.

Para la facilidad de emitir una serie de recomendaciones sobre la gestión del riesgo y la planificación territorial se utilizaron las zonas establecidas en el plan de contingencia local. Se obtuvo que la zona de El Gavilán-Buenos Aires y el asentamiento Agroindustrial Sur presentan la aglomeración del sistema turístico a través de centros turísticos, por lo que, ante un escenario de afectación por lahares, se debe tener acondicionado uno de estos para utilizarse como albergue para el turista extranjero y nacional, ya que no hay equipamiento social. En la Zona de Dos Ríos se puede utilizar su salón comunal como albergue para la población localiza en la zona de Manzanares, Argelia y El Gavilán, mientras la zona de Buenos Aires se recomienda evacuar hacia la comunidad de Aguas Claras.

La población local percibe a las erupciones volcánicas como algo de su cotidianidad, lo que puede aumentar el riesgo ante un escenario mayor de afectación por lahares o caída de ceniza, especialmente, ya que existe una alta desinformación sobre medidas de prevención. Por ejemplo, se menciona el término lava para describir la presencia de lahares, por otro lado, desconocen los actuales mapas de peligros volcánicos, asimismo, se desconocen los sitios de reunión seguro o posibles albergues habilitados, entre otros.

Es necesario crear estrategias de preparación e informativas a la población local sobre el riesgo y los beneficios de vivir en comunidades con influencia volcánica, para el aprovechamiento de los recursos, a través de agroturismo. Además, capacitar a los guías turísticos locales ya que estos introducen a los turistas en zonas de riesgo (cascadas de los ríos Azul y Pénjamo), incluso se hacen viajes hasta el cráter activo del volcán. Por otro lado, se considera necesario que la municipalidad de Upala brinde mantenimiento constante en la red vial, ya que son de lastres y en estación lluviosa presentan mal estado, sobre todo la ruta de evacuación de evacuación que comunica a la comunidad de Buenos Aires con Aguas Claras.

En último lugar, como parte de las recomendaciones sobre realizar investigaciones de tipo explicativas bajo la temática de riesgo y planificación territorial en las comunidades del distrito de Dos Ríos y Aguas Claras, es necesario tener en cuenta que las comunidades presentan altos regímenes de precipitación. Se debe de tener en consideración para

recolección de datos de campo, como entrevista, encuestas o toma de datos geológicos en el cauce de los ríos. Además, es necesario realizar investigaciones sobre la vulnerabilidad de los sectores económicos para generar instrumentos que fortalezcan la generación de estrategias para la resiliencia de la población local.

7- Referencias bibliográficas

- Alpizar, Y. (2018). *Mapa preliminar de peligros volcánicos para el volcán Rincón de la Vieja Costa Rica: descripción de un escenario de afectación por lahares*. [Tesis de maestría, Programa de postgrado en Geología, Universidad de Costa Rica].
- Álvarez, A. y Cadena, E. (2006), Índice de vulnerabilidad social en los países de la OCDE, Universidad Autónoma de Madrid, Working Paper 1.
- Arteaga, A y San Juan, G. (2012). Metodología para obtener un índice de vulnerabilidad social. el caso del municipio de La Plata. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16.
- Barrantes, S. O. & Sandoval, M. L. (2016). Uso/cobertura de la tierra en los cantones de Upala, Guatuso y Los Chiles en el año 2011. *Revista Geográfica de América Central*, 1(56),59-91. [fecha de Consulta 22 de agosto de 2021]. ISSN: 1011-484X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451746028003>
- Bermúdez, M. (s.f). Vulnerabilidad social y organización ante desastres naturales. Comisión Nacional de Atención de Emergencias y Prevención de Riesgos. San José, Costa Rica.
- Bolaños, G. I. (2003). Reseña de " Introducción a la fotointerpretación" de Felipe Fernández García. *Papeles de Geografía*, (37),285-288. [fecha de Consulta 22 de agosto de 2021]. ISSN: 0213-1781. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40703720>
- Campos, D. D., & Barrantes, C. G. (2020). Evaluación de la vulnerabilidad asociada a la actividad del volcán Turrialba (2010-2017) en el distrito de Santa Cruz de Turrialba, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 63, 1,19. doi: 10.15517/rgac.v63i0.43404.
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (2014). El riesgo derivado de la actividad volcánica en Costa Rica. San Jose, Costa Rica.
- Coto, C. W. (2019). Nubes de ceniza, campos de arena. *Actividad volcánica en Costa Rica y su impacto en el sector agropecuario, 1950-2017*. *Revista Geográfica de America Central*, 62, 129-158. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

- García, G. M. (1994). Los mapas de riesgos. concepto y metodología para su elaboración. *Revista Sanidad e Higiene Publica*, 4(68). 443-453.
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. (2015). Suelos de Costa Rica, orden andisol. Editorial M&F S.A. San José, Costa Rica.
- Kempton, K. (1997). Geologic evolution of the Rincón de la Vieja Volcanic Complex, NW Costa Rica. (Tesis doctoral). Universidad de Austin, Texas.
- Ley Nacional de Emergencias y Prevención de Riesgos. N° 8488. Asamblea Legislativa de la Republica de Costa Rica.
- Llinares et al., (2004). *Riesgo volcánico*. Madrid, España. Ed, Dirección General de Protección Civil y Emergencias
- López, P. y Fachelli, S. (2015). Metodología de la Investigación Social Cuantitativa. Universitat Autònoma de Barcelona. 1ª edición, Barcelona, España.
- Mendenhall et al., (2012). “Introduction to Probability and Statistics”, Duxbury Press, 744 pp.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2015). Leyenda para la generación de mapas de uso y cobertura de la tierra de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f). Erupciones volcánicas. Erupciones volcánicas - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud (paho.org)
- Pizarro, B. (2001). La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina. CEPAL. Santiago de Chile.
- Rodríguez, M. (2018). Cuantificación de vulnerabilidad y riesgo: las inundaciones en Motozintla de Mendoza, Chiapas, México. *Revista Cartográfica*, 97. 81-104
- Rosales I. A. (2015). Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Manual de definición de clases y especificaciones cartográficas de la Leyenda CLC-CR, para la generación de mapas de uso y cobertura de la tierra de Costa Rica. San José. Costa Rica.
- SasPlanet. (2021). Imágenes satelitales. Recuperadas el 14 de agosto de 2021.

- Servicio Geológico de los Estados Unidos. (1997). ¿Cuáles son las Amenazas o Peligros Volcánicos? USGS Fact Sheet 002-97. <http://pubs.usgs.gov/fs/fs144-00/fs144-00.pdf>
- Sistema Nacional de Protección Civil Mexicana (s.f). Peligros volcánicos. 319-infografapeligrosvolcnicos (www.gob.mx)
- Soto, G. et al., (2004). Erupciones < 3800 a.P. del Volcán Rincón de la Vieja, Costa Rica. Revista Geológica de América Central, 29. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v0i29.777>
- Soto, G.J. y Sjöbohm, L. (2005). Sobre el mapeo de los peligros volcánicos del Arenal (Costa Rica) como una herramienta para la planificación del uso del suelo y la mitigación de desastres. – Memoria VIII Seminario de Ingeniería Estructural y Sísmica, San José, Costa Rica, septiembre 2005, 26 pp.
- Thomas, B. J. (2012). Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima). Un aporte de método. *Investigaciones Geograficas*, 81, 79,93. ISSN 0188-4611.
- Universidad de Costa Rica. (2013). Mapa digital de suelos de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas. San José, Costa Rica. Mapa digital de Suelos de Costa Rica (ucr.ac.cr)

8- Bibliografía

- Asamblea Legislativa de Costa Rica. (1974, 22 de abril). Ley N° 5398 del 22 de abril de 1974. Ley Nacional del Parque Nacional Rincón de la Vieja. Sistema Costarricense de Información Jurídica.
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). (s.f). Mapa de Amenazas y Peligros Naturales Cantón Upala. –Escala 1:50 000
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). (2019). Plan de Contingencia de las comunidades de Buenos Aires, Gavilán y Dos Ríos.
- Municipalidad de Upala. (2020). Plan Estratégico Municipal 2020-2024. Oficina de Planificación

9- Anexos

Anexo 1. Encuesta para obtener los datos sobre vulnerabilidad social



Encuesta para medir la vulnerabilidad social, relacionada al volcán Rincón de la Vieja

El siguiente instrumento trata de cuantificar el nivel de vulnerabilidad que poseen las comunidades ante el riesgo de la amenaza producida por el volcán Rincón de la Vieja. Mediante la aplicación de diferentes indicadores, utilizando como unidad estadística los hogares. Formando parte de la práctica profesional supervisada, realizada en conjunto con la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Datos de localización

ID hogar		Comunidad	
----------	--	-----------	--

1- Indicador social

Variables	Cantidad	Nivel
Adultos mayores (65 años o más) en el hogar. <input type="checkbox"/>		1 - 3 bajo
Personas menores de 5 años en el hogar. <input type="checkbox"/>		4 - 6 medio
Más de 5 personas en el hogar. <input type="checkbox"/>		7 - 9 alto
No se cuenta con energía eléctrica en el hogar. <input type="checkbox"/>		
No cuenta con agua potable. <input type="checkbox"/>		
No cuenta con teléfono fijo o celular. <input type="checkbox"/>		
Personas con alguna incapacidad de movilidad. <input type="checkbox"/>		
Personas con discapacidad intelectual. <input type="checkbox"/>		
Personas en el hogar que no saben leer ni escribir. <input type="checkbox"/>		

2- Indicador económico

Variables	Cantidad	Nivel
No cuenta con trabajo <input type="checkbox"/>		
No se cuenta con un trabajo estable. <input type="checkbox"/>		1 bajo

Su trabajo o actividad productiva se vería afectado por la actividad eruptiva. <input type="checkbox"/>		2-3 medio 4-5 alto
No cuenta con el salario mínimo establecido por la ley. <input type="checkbox"/>		
No tiene posibilidad de ahorro. <input type="checkbox"/>		

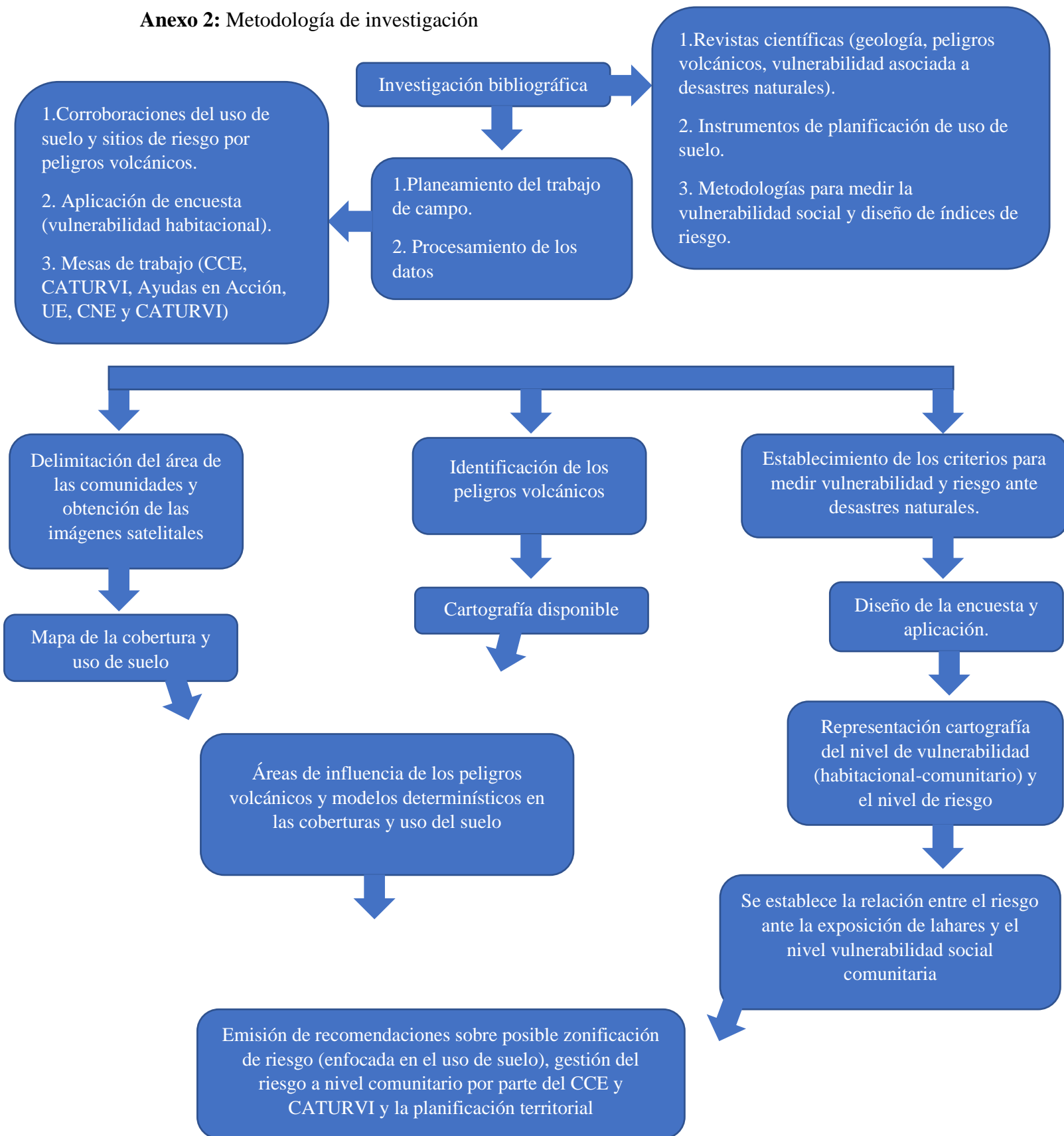
3- Indicador de organización local

Variables	Cantidad	Nivel
No tiene conocimiento de los planes de emergencia local. <input type="checkbox"/>		1 bajo
Es necesario una organización local de emergencias en su comunidad. <input type="checkbox"/>		2-3 medio 4-6 alto
Las rutas de evacuación no se tienen debidamente señaladas o no tiene conocimiento de estas. <input type="checkbox"/>		
Falta programas de capacitación sobre el peligro volcánico en la comunidad. <input type="checkbox"/>		
No se tiene conocimiento de los albergues habilitados o sitios de reunión seguros. <input type="checkbox"/>		
Falta un plan de evacuación en el hogar. <input type="checkbox"/>		

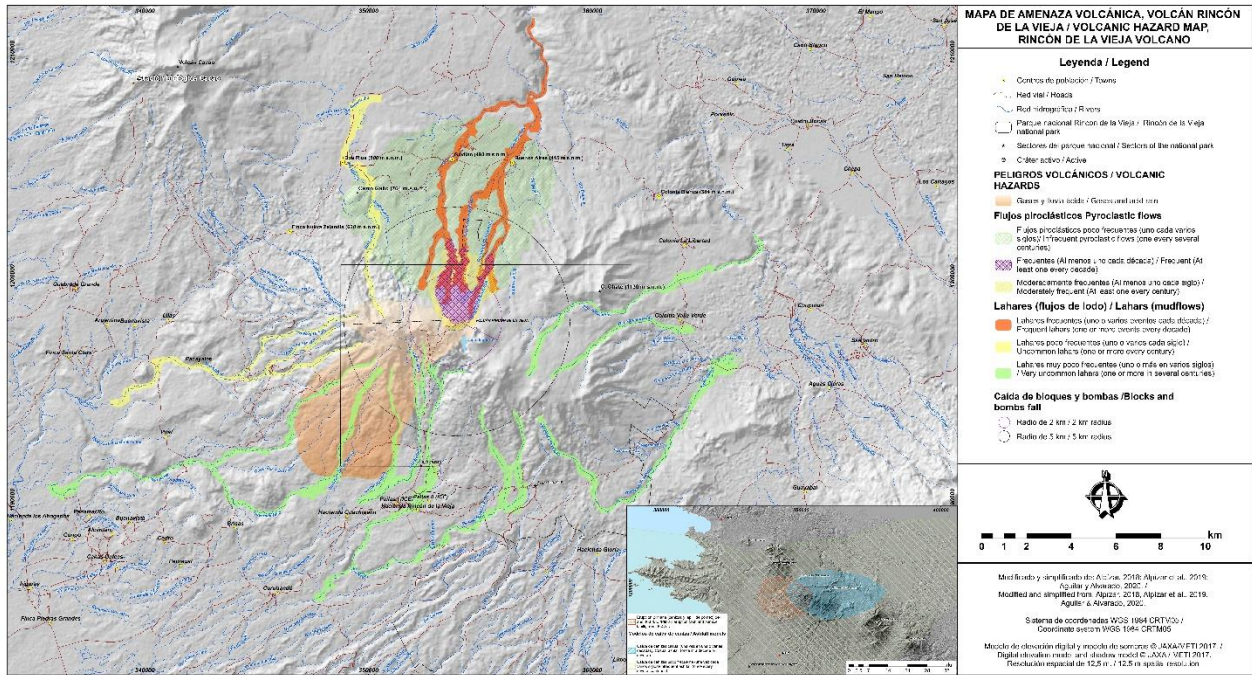
4- Indicador de percepción del peligro volcánico

Variables	Cantidad	Nivel
Ha sufrido afectación directa por la actividad volcánica en algún momento. <input type="checkbox"/>		1-2 bajo 3-4 medio
No tiene conocimiento de erupciones históricas en la comunidad. <input type="checkbox"/>		5 y más
No estaría dispuesto a dejar su hogar ante una emergencia. <input type="checkbox"/>		Alto
No confía en las instrucciones del Comité Local de Emergencias <input type="checkbox"/>		
Los desastres naturales se lo asocia a una fuerza divina o ser superior. <input type="checkbox"/>		
La actividad eruptiva lo percibe como algo cotidiano. <input type="checkbox"/>		
Tiene medios para movilizarse en caso de una emergencia \geq <input type="checkbox"/>		

Anexo 2: Metodología de investigación



Anexo 3: Mapa de amenaza volcánica del volcán Rincón de la Vieja



Anexo 4: Detalle zona norte del mapa de amenaza volcánica del volcán Rincón de la Vieja

