



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO

CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGOS DE
DESASTRES**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“IMPACTO SOCIOECONÓMICO POR LAHARES Y CAÍDA DE CENIZA DEL
VOLCÁN COTOPAXI EN LA COMUNIDAD DE SAN AGUSTÍN DE CALLO DEL
CANTÓN LATACUNGA, EN EL PERIODO AGOSTO - DICIEMBRE 2024”**

AUTOR(A) (ES):

ROBERTH JAVIER NASIMBA DE LA CRUZ

MARIA DE LOS ANGELES PUNINA ESPIN

DIRECTOR(A)

Ing. Gloria Piedad Iñiguez

**GUARANDA – ECUADOR
2024**

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi en la comunidad de San Agustín de Callo del Cantón Latacunga, en el período agosto - diciembre 2024”

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento primero a Dios por darme salud y fuerza para seguir adelante con mi carrera universitaria a mis padres, que han sido mi mayor fortaleza y fuente de inspiración. Su amor, dedicación y sacrificio han sido esenciales para que pudiera alcanzar esta meta. Siempre me han enseñado a no rendirme y a dar lo mejor de mí en todo lo que hago. Gracias por su apoyo constante, por ser mi ejemplo de esfuerzo y por estar a mi lado en cada paso de este proceso.

Al Ing. Gloria Iñiguez tutor de presente proyecto investigativo, le agradezco profundamente por su orientación, paciencia y apoyo a lo largo de este proceso.

María de los Ángeles Punina Espín

Primeramente, agradecer a Dios por haberme permitido culminar mis estudios con éxito quien fue mi fuente de fortaleza en los momentos más difíciles, guiándome en este camino académico y bendiciéndome con la capacidad de aprender hasta alcanzar una de mis metas propuestas en mi vida.

A mis padres: Inés y Wilson mil gracias por haber hecho muchos sacrificios para que pudiera continuar con mis estudios y a su vez superarme como persona, ustedes siempre estuvieron dándome consejos, apoyándome anímicamente y económicamente.

Gracias a mi abuelita que con sus consejos dados he sido una persona con principios y valores, aunque tu partida fue dolorosa sé que me estas cuidando y acompañando todos los días. Una vez más quiero agradecer a mi hermana Gaby y a mi sobrino Liam por estar pendiente de mí.

Finalmente agradecer de todo corazón a mi novia Leonela que con su amor y comprensión a estado dándome ánimos en esta travesía académica, gracias a todos ustedes por su apoyo incondicional

Roberth Javier Nasimba De La Cruz

DEDICATORIA

A toda mi familia les dedico este logro es el resultado de su amor incondicional, su apoyo constante y su fe en mí. Gracias por ser mis pilares, por enseñarme los valores de la perseverancia, el sacrificio y la pasión por aprender. Cada sacrificio que hicieron y cada palabra de aliento me han impulsado a seguir adelante, incluso cuando las dificultades parecían insuperables. Ustedes son mi mayor fuente de inspiración y sin su amor y guía, este camino nunca habría sido posible. Esta tesis es, sin duda, un reflejo de su dedicación y esfuerzo, que me han permitido llegar hasta aquí.

Cada sacrificio que hicieron y cada palabra de aliento me han impulsado a seguir adelante, incluso cuando las dificultades parecían insuperables.

Les agradezco profundamente por todo lo que me han dado, no solo en este proyecto, sino a lo largo de toda mi vida.

Con todo mi amor y gratitud

María de los Ángeles Punina Espín

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis padres, ya que sin ellos no hubiera obtenido este logro tan importante en mi vida, además de haberme forjado como la persona que soy actualmente, muchos de mis logros no los hubiera realizado sin su ayuda, gracias por el apoyo moral en los momentos que más los necesite siempre confiaron en mi brindándome todo su amor son los mejores padres del mundo.

Roberth Javier Nasimba De La Cruz

El suscrito Ingeniera Gloria Piedad Iñiguez , en calidad de **TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, docente de la Universidad Estatal de Bolívar.

CERTIFICA

Que la Sr. **ROBERTH JAVIER NASIMBA DE LA CRUZ**, portadora de la cédula 1727669481 y la Srta. **MARIA DE LOS ANGELES PUNINA ESPIN** portadora de la cédula 0250069093, estudiantes de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO, culminados en la Carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres, modalidad presencial, una vez revisado el documento “**IMPACTO SOCIOECONÓMICO POR LAHARES Y CAÍDA DE CENIZA DEL VOLCÁN COTOPAXI EN LA COMUNIDAD DE SAN AGUSTÍN DE CALLO DEL CANTÓN LATACUNGA, EN EL PERIODO AGOSTO - DICIEMBRE 2024**”, pueden proceder a realizar el proceso del empaste de su proyecto de investigación.

Guaranda, 07 de abril del 2025.

Atentamente,



.....
ING. GLORIA PIEDAD IÑIGUEZ

Tutor del proyecto de investigación.

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, **Roberth Javier Nasimba De La Cruz** y **María De Los Ángeles Punina Espín**, portadoras de la Cédula de Identidad No. 172766948-1 y No. 025006909-3 en calidad de autoras y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: **Impacto Socioeconómico Por Lahares Y Caída De Ceniza Del Volcán Cotopaxi En La Comunidad De San Agustín De Callo Del Cantón Latacunga, En El Periodo Agosto - Diciembre 2024.**, modalidad proyecto de investigación, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El (los) autor (es) declara (n) que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.



.....
**Roberth Javier Nasimba
De La Cruz**



.....
**María de los Ángeles Punina
Espín**

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA.....	4
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR Y PAR ACADÉMICO	5
INTRODUCCIÓN.....	14
JUSTIFICACIÓN.....	17
RESUMEN.....	19
ABSTRACT	20
CAPÍTULO I.....	21
FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	21
1.1 Planteamiento del Problema	21
1.2 Formulación del Problema.....	22
1.3 Preguntas de Investigación	23
1.4 Hipótesis	23
1.5 Objetivo General:	23
1.5.1 Objetivo específicos:	23
CAPÍTULO II.....	30
MARCO TEÓRICO	30
2.1 Referencial o Georreferencial.....	30
2.2 Amenazas volcánicas específicas	39
2.2.1 Lahares.....	39
2.1.2 Caída de Ceniza.....	40
2.1.3 Flujos piroclásticos	41
2.3 Antecedentes (académicos y artículos de investigación)	42

2.4 Científico (bases teóricas en la que fundamenta la investigación).....	46
2.5 Impacto Socioeconómico de Erupciones Volcánicas	48
2.7 Evaluación de impactos sectoriales	51
2.7.1 Agricultura y ganadería	51
2.7.2 Turismo y servicios	51
2.7.3 Infraestructura y vivienda.....	51
2.8 Percepción y gestión del riesgo	52
2.9 Métodos de evaluación de riesgos e impactos.....	53
2.9.1 Modelo de evaluación de riesgos volcánicos:	53
2.9.2 Evaluación de Medios de Vida Sostenibles.....	53
2.10 Legal.....	53
2.11 Conceptual (glosario de términos).....	57
CAPITULO III.....	60
METODOLOGÍA	60
3.1. Tipo de Investigación	60
3.2. Enfoque de la Investigación	61
3.3. Métodos de Investigación.....	61
3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos.....	62
3.5. Universo, Población y Muestra	63
3.6. Técnicas de análisis y procesamiento de la información.....	65
CAPITULO IV.....	66
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	66
O1. Caracterizar las amenazas volcánicas, lahares y caída de ceniza flujos piroclásticos del volcán Cotopaxi en la comunidad San Agustín de Callo	66

4.1.1.Género	66
4.1.2.Etnia.....	67
4.1.3.Procesos de capacitación	69
4.1.4.Peligros asociados a una posible erupción del volcán Cotopaxi	69
4.1.5.Tipo de apoyo más necesario para su comunidad ante una posible erupción del volcán Cotopaxi.	71
O2. Determinar niveles de impacto y exposición en los componentes sociales y productivos la comunidad San Agustín de Callo	72
4.1.6.Nivel de educación	72
4.1.7.Ocupación y tiempo de estadía.....	74
4.1.8.Generación de recursos económicos.....	76
4.1.9.Acceso a seguridad social.....	77
4.1.10.Acceso a vivienda.....	77
4.1.11.Tipo de vivienda	79
4.1.12.Estado de la vivienda.....	84
4.1.13.Pérdidas económicas.....	86
4.1.14.Valor aproximado de las pérdidas económicas	88
4.1.15.Preparación ante una posible erupción del volcán Cotopaxi	94
4.1.16.Plan de emergencia.....	95
4.1.17.Ha participado en algún simulacro de evacuación	95
4.1.18.Tiene un plan familiar para actuar en caso de erupción	95
4.1.19.Cuenta con un kit de emergencia en casa	96
4.1.20.Si tuvieras que evacuar, dispones de un lugar donde quedarse	96
4.1.21.Estarías dispuesto usted a participar en procesos de capacitación sobre prevención de riesgos volcánicos	96

4.1.22.Reubicación permanente en caso de riesgo volcánico.....	96
4.2 Impactos según variables y niveles de riesgo	96
4.3 Resiliencia de la comunidad	99
4.4 Comprobación de hipótesis	99
O3. Proponer medidas de mitigación y adaptación en el sector social productivo ante la amenaza del proceso eruptivo del volcán Cotopaxi en la comunidad de San Agustín de Callo.	101
CAPITULO V.	108
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
5.1Conclusiones.....	108
5.2 Recomendaciones.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable independiente: Lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	25
Tabla 2. Operacionalización de variable dependiente: Impacto socioeconómico en la comunidad de San Agustín de Callo.	26
Tabla 3 Género de las familias San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi	66
Tabla 4 Etnia familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	68
Tabla 5. Conocimiento de los peligros asociados a una posible erupción de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	70
Tabla 6. Tipo de apoyo solicitado por las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	71
Tabla 7. Nivel de educación de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	73
Tabla 8. Ocupación de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	75
Tabla 9. Ingresos económicos de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	76
Tabla 10. Acceso a vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la	

evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	78
Tabla 11. Tipo de vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	83
Tabla 12. Estado de la vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	85
Tabla 13. Pérdidas económicas en erupciones volcánicas de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	87
Tabla 14. Valor aproximado de las pérdidas económicas de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	89
Tabla 15. Análisis de correlación.	91
Tabla 16. Preparación ante una posible erupción de las familias de San Agustín - de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	94
Tabla 17 Evaluación de impacto según variables y niveles de riesgo	97
Tabla 18 Tabla cruzada de peligros asociados a la erupción del volcán Cotopaxi y pérdidas económicas.	100
Tabla 19 Prueba de Chi-cuadrado.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo digital del terreno de la zona proximal del Cotopaxi. Se incluyen las principales poblaciones y los drenajes que nacen de los glaciares del volcán. (RSa= río Salto; RPt= río Pita, RTy = río Tamboyacu; RTa= río Tambo; RCt= río Cutuchi;.....	30
Figura 2 Cráter del volcán Cotopaxi con emisión de gases.....	31
Figura 3 Cráter y flancos del volcán Cotopaxi.....	32
Figura 4 Mapa de peligros simplificado en el que se muestra las zonas del Cotopaxi que podrían ser afectadas en caso de producirse flujos de lava, flujos piroclásticos o lahares secundarios.....	34
Figura 5 Flujos piroclásticos descendiendo por los flancos del volcán Mayón (Filipinas) durante una erupción en septiembre de 1984. Abajo: esquema del aspecto de los flujos piroclásticos descendiendo sobre los flancos del Cotopaxi.	38
Figura 6 Género de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi	67
Figura 7 Etnia de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi	68
Figura 8 Conocimiento de los peligros de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	70
Figura 9 Tipo de apoyo para las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán	

Cotopaxi.	71
Figura 10 Nivel de educación de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	73
Figura 11 Ocupación de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	75
Figura 12 Ingreso a seguridad social de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	77
Figura 13 Acceso a vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	78
Figura 14 Tipo de vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	83
Figura 15 Estado de la vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.....	85
Figura 16 Pérdidas económicas en erupciones volcánicas de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	88
Figura 17 Preparación ante una posible erupción de las familias de San Agustín - de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.	94

INTRODUCCIÓN

El volcán Cotopaxi, se localiza en la parte Oriental de la Cordillera de los Andes ecuatorianos, es considerado uno de los volcanes más activos y peligrosos a nivel mundo que representando una amenaza constante para las comunidades aledañas. Con una altura de 5.897 metros sobre el nivel del mar (Mothes et al., 2017), ha tenido explosiones que alcanzaron un índice de voladura de 4-5 y una vasta historia de generaciones de lahares (Aguilera et al., 2004; Pistolesi et al., 2014).

Los lahares producidos por el volcán han afectado considerablemente a las aldeas, ciudades e infraestructuras de sus alrededores. Se han registrado y datado unas 19 fases eruptivas, lo que arroja una frecuencia de recurrencia de erupciones cada 117 ± 70 años durante los últimos 2200 años (Barberi et al., 1995), generando impactos significativos en la región (Mothes et al., 2017).

Los lahares, escombros y flujos de lodo originados por el deshielo del casquete glaciar durante una erupción volcánica, pueden desplazarse a gran velocidad por los valles circundantes, pueden destruir infraestructuras, viviendas y sistemas de riesgo, generando pérdidas materiales y económicas considerables. (Amani et al., 2020). Por otro lado, la caída de ceniza representa las mayores amenazas para las poblaciones cercanas al Cotopaxi (Ordóñez et al., 2013), puede tener efectos prolongados y de amplio alcance, puede contaminar fuentes de agua, causar problemas respiratorios en la población, afectar los cultivos, pastos y ganadería, afectando directamente el bienestar socioeconómico de las comunidades (Caselli et al., 2021; Hall & Mothes, 2008; Ramón, 2019).

El impacto socioeconómico derivado de la actividad volcánica del Cotopaxi no es un tema nuevo, ya que eventos anteriores han demostrado la vulnerabilidad de las poblaciones cercanas. Durante las erupciones volcánicas del año 1877 y 2015, la caída de ceniza y los lahares provocaron daños importantes en la zona centro del Ecuador,

afectando no solo a la infraestructura, sino también a la actividad agrícola y ganadera, que representa una de las principales fuentes de bienestar económico de la población (Aguilar et al., 2017). Sin embargo, los efectos específicos sobre las comunidades rurales, como San Agustín de Callo, son menos conocidos y requieren un análisis detallado para entender las repercusiones directas e indirectas que estos fenómenos naturales tienen sobre su economía y sociedad.

La localidad de San Agustín de Callo, con su historia y fuerte dependencia de la agricultura y el turismo, se encuentra en una posición particularmente vulnerable ante estos fenómenos volcánicos. Los impactos socioeconómicos de una erupción del Cotopaxi en esta región pueden ser profundos y duraderos, afectando no solo la infraestructura física, sino también la estructura social y económico de la población (Toulkeridis et al., 2018).

En un contexto social, estas preocupaciones podrían requerir acciones preparatorias o de contingencia adicionales en respuesta a los fenómenos de agitación volcánica o la preparación para una erupción, dado que la organización y la preparación de las comunidades y de quienes las gestionan se verán perturbadas e incluso modificados en el contexto de una incertidumbre significativa (Barclay et al., 2008).

La importancia de este estudio radica en su capacidad para guiar la formulación políticas de gestión de riesgos y estrategias de mitigación más eficaz. Al comprender mejor los impactos socioeconómicos específicos en San Agustín de Callo, se pueden desarrollar planes de contingencia más adaptados y resilientes.

El objetivo principal de esta investigación es analizar el impacto socioeconómico causado por los lahares y la caída de ceniza generados en la comunidad de San Agustín de Callo. La investigación contempla primero, la caracterización detallada de las amenazas volcánicas específicas que afectan a la comunidad; segundo, la determinación de los

niveles de impacto y exposición en los componentes sociales y productivos; y finalmente, la propuesta de estrategias medidas de reducción y adaptación basadas en los hallazgos determinados. Los resultados permitirán implementar estrategias de mitigación más efectivas y contribuirán significativamente a ampliar nuestro entendimiento sobre la vulnerabilidad de las comunidades andinas ante los riesgos volcánicos.

JUSTIFICACIÓN

El volcán Cotopaxi, reconocido como uno de los más activos y peligrosos del mundo, las erupciones explosivas han estado acompañadas de flujos piroclásticos y lahares, estos últimos afectan con frecuencia a los valles adyacentes. La erupción más reciente comenzó en octubre de 2022 y consistió en columnas de ceniza y caída de ceniza. El 2023 se caracterizó por una actividad similar. Este volcán representa una amenaza constante para las comunidades aledañas, especialmente debido a la generación de lahares y caída de ceniza durante sus erupciones (Global Volcanism Program, 2024).

La comunidad de San Agustín de Callo, dada su proximidad al volcán, se encuentra en una posición particularmente vulnerable, con su economía dependiente de sectores como la agricultura y el turismo, altamente susceptibles a los impactos de la actividad volcánica. Aunque existen estudios sobre los efectos de las erupciones del Cotopaxi en áreas más amplias y urbanas, se ha prestado menos atención a los impactos específicos en comunidades rurales como San Agustín de Callo. Esta investigación señala la necesidad de comprender cómo las amenazas volcánicas influyen en el tejido social y productivo, económico de esta comunidad en particular.

Al caracterizar las amenazas volcánicas y evaluar los niveles de impacto y exposición en los componentes sociales y económicos, este estudio proporcionará información para mejorar la capacidad de recuperación de la comunidad frente a futuros eventos eruptivos. Los hallazgos serán directamente aplicables para influir en la toma de decisiones relacionadas en la gestión de riesgos, la planificación territorial y establecimientos de políticas públicas en la región.

Además, con la última erupción significativa del Cotopaxi en 2015 y su historial de actividad cíclica, es crucial actualizar y profundizar nuestro entendimiento de los posibles impactos antes del próximo evento eruptivo (Aguilar et al., 2017).

Los resultados de esta investigación contribuirán al desarrollo de estrategias de mitigación más adecuadas y contextualizadas, no solo para San Agustín de Callo, sino para otras comunidades rurales en zonas de alto riesgo volcánico. Esto facilitará a las autoridades locales y nacionales elaborar planes de contingencia más eficientes y a reforzar las capacidades de preparación y respuesta ante desastres volcánicos.

RESUMEN

El estudio sobre el impacto socioeconómico de los lahares y la caída de ceniza del volcán Cotopaxi en San Agustín de Callo (Latacunga) analiza las consecuencias de estos fenómenos en una comunidad rural vulnerable. La economía local, basada en la agricultura y el turismo, se ve gravemente afectada por la actividad volcánica.

El objetivo principal fue caracterizar las amenazas, medir el impacto socioeconómico y proponer estrategias de mitigación. Se empleó un enfoque mixto: métodos cuantitativos para evaluar pérdidas económicas y daños materiales, y cualitativos para comprender la percepción y preparación comunitaria. La investigación se basa en teorías de vulnerabilidad social y sostenibilidad comunitaria, identificando factores como pobreza, infraestructura débil y baja cohesión social que agravan los efectos del volcán.

Los resultados evidencian pérdidas en infraestructura, cultivos y ganado, afectando la economía y la calidad de vida. Además, se encontró una baja preparación, ausencia de aviones de evacuación familiares y falta de recursos de emergencia. Ante esto, se propone mejorar la gestión del riesgo mediante capacitación, fortalecimiento de infraestructura y actualización de planes de contingencia. Este estudio es una herramienta clave para diseñar políticas públicas adaptadas a comunidades vulnerables, promoviendo estrategias de resiliencia ante desastres volcánicos.

Palabras claves: caída de ceniza, impacto socioeconómico, lahares, mitigación, resiliencia, riesgos, vulnerabilidad

ABSTRACT

The study on the socioeconomic impact of lahars and ashfall from the Cotopaxi volcano in San Agustín de Callo (Latacunga) analyzes the consequences of these phenomena in a vulnerable rural community. The local economy, based on agriculture and tourism, is severely affected by volcanic activity.

The main objective was to characterize the hazards, measure the socioeconomic impact, and propose mitigation strategies. A mixed approach was used: quantitative methods to assess economic losses and material damage, and qualitative methods to understand community perception and preparedness. The research is based on theories of social vulnerability and community sustainability, identifying factors such as poverty, weak infrastructure, and low social cohesion that exacerbate the effects of the volcano.

The results show losses in infrastructure, crops, and livestock, affecting the economy and quality of life. In addition, poor preparedness, a lack of family evacuation planes, and a lack of emergency resources were found. Given this, the proposal is to improve risk management through training, infrastructure strengthening, and updating contingency plans. This study is a key tool for designing public policies tailored to vulnerable communities, promoting resilience strategies in the face of volcanic disasters.

Keywords: ashfall, socioeconomic impact, lahars, mitigation, resilience, risks, vulnerability.

CAPÍTULO I.

FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del Problema

El volcán Cotopaxi, situado en la Cordillera Oriental de los Andes ecuatorianos, representa una amenaza constante para los poblados circundantes debido a su frecuente actividad volcánica. La comunidad de San Agustín de Callo, dada su proximidad al volcán, es particularmente vulnerable a los impactos de lahares y caída de ceniza. Estos fenómenos tienen efectos negativos en la infraestructura, agricultura, ganadería y turismo, sectores fundamentales para la economía local.

En 2015, la actividad del Cotopaxi llevó al Estado ecuatoriano a destinar más de \$20 millones para acciones de contingencia y prevención. Las estimaciones oficiales de ese año proyectaron que una erupción afectaría a 61,332 comercios en las provincias de Pichincha, Cotopaxi y Napo (El Telégrafo, 2015). Además, la caída de ceniza impactó de forma negativa en cultivos y ganado, provocando la descapitalización de las familias dedicadas a esta actividad debido a ventas forzadas de cultivos y ganado a bajos precios y migración (García, 2019). Se registraron también afectaciones a 10,964 animales y 5,645 hectáreas de pastos (El Telégrafo, 2015).

La Corporación de Floricultores del Sur del Ecuador estimó pérdidas potenciales de USD 125 millones por lahares, y la actividad volcánica puso en peligro el 6% de la ganadería y la cantidad diaria de 498,043 litros de leche. El Ministerio de Agricultura destinó USD 1.6 millones para proteger áreas vulnerables. La inestabilidad volcánica también intensificó la presión sobre el sector comercial, ya que afrontó un decrecimiento económico (El Comercio, 2015).

La reciente actividad del Cotopaxi, desde octubre de 2022, con emisiones de gases y ceniza, ha reafirmado la persistencia del riesgo (IGEPN, 2023a). La ceniza afectó a comunidades de la parroquia Mulaló, incluyendo San Agustín de Callo, impactando pastizales, cultivos y la producción lechera local (IGEPN, 2023b).

La actividad reciente del Cotopaxi, incluyendo las erupciones del año 2015 y la actividad registrada en 2022-2023, señala la necesidad de cuantificar los potenciales impactos socioeconómicos, tales como daños a infraestructuras (viviendas, caminos y servicios básicos), pérdidas en la agricultura y ganadería debido a la caída de cenizas volcánicas, impacto en la economía local por la paralización de actividades productivas y costos en la gestión de riesgos y evacuaciones, entre otros. Sin embargo, zonas habitadas en el sector noroccidental del Cotopaxi, como Hacienda Baños, , Ticatilín, San Francisco de Chasqui, San Agustín de Callo y San Ramón, tienen una menor probabilidad de ser impactados por flujos piroclásticos y flujos de lava en caso de que ocurra una erupción moderada a grande. Sin embargo podría verse afectada si se produce una erupción de gran magnitud (Índice de explosividad volcánica VEI > 4-5) (Mothes et al., 2016).

A pesar de los estudios existentes sobre los impactos de las erupciones del Cotopaxi en áreas más amplias y urbanas, existe una brecha en la investigación sobre los efectos socioeconómicos específicos en comunidades rurales como San Agustín de Callo. Esto dificulta a la creación de estrategias de mitigación y planes de contingencia adaptados a las necesidades particulares de esta comunidad.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo afectan los lahares y la caída de ceniza del volcán Cotopaxi en los componentes sociales y económicos de la comunidad de San Agustín de Callo, y qué

estrategias pueden fortalecer su resiliencia ante estos riesgos volcánicos, en el período agosto - diciembre 2024?

1.3 Preguntas de Investigación

1. ¿Cuáles son las características específicas de las amenazas volcánicas (lahares, caída de ceniza y flujos piroclásticos) del Cotopaxi que afectan a la comunidad de San Agustín de Callo?
2. ¿Cuáles son los niveles de impacto en los componentes sociales y productivos de San Agustín de Callo frente a estas amenazas volcánicas?
3. ¿Cómo han afectado las erupciones pasadas del Cotopaxi a la economía y el tejido social de San Agustín de Callo?
4. ¿Qué estrategias de mitigación y preparación se pueden implementar para reducir el impacto socioeconómico de futuras erupciones en la comunidad?

1.4 Hipótesis

Los lahares y la caída de ceniza del volcán Cotopaxi generan un impacto socioeconómico negativo en las actividades económicas principales en la comunidad de San Agustín de Callo, en el cantón Latacunga.

1.5 Objetivo General:

Analizar el impacto socioeconómico ante una posible erupción del volcán Cotopaxi en la comunidad de San Agustín de Callo.

1.5.1 Objetivo específicos:

1. Caracterizar las amenazas volcánicas, lahares y caída de ceniza flujos piroclásticos del volcán Cotopaxi en la comunidad San Agustín de Callo.
2. Determinar niveles de impacto y exposición en los componentes social y productivos la comunidad San Agustín de Callo.

3. Proponer medidas de mitigación y adaptación en el sector social productivo ante la amenaza del proceso eruptivo del volcán Cotopaxi en la comunidad de San Agustín de Callo.

Variables (Operacionalización)

De acuerdo a Guzmán (como se cita en León, 2019) la operacionalización de las variables, es aquella que se caracteriza por asignar a una variable definiciones; describiéndola en términos observables y comprobables para poder identificarla.

Tabla 1.

Operacionalización de variable independiente: Lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ÍTEMS
Fenómenos naturales asociados a la actividad volcánica que impactan el entorno y las comunidades cercanas.	1. Conocimiento y percepción sobre amenazas volcánicas	1. Conocimiento de los peligros asociados a una erupción del volcán Cotopaxi	Cuestionario	6. ¿Conoce usted los peligros asociados a una posible erupción del volcán Cotopaxi?
	2. Preparación y respuesta ante amenazas volcánicas	2. Percepción del nivel de riesgo y preparación de la comunidad		7. El volcán Cotopaxi representa un riesgo para su comunidad. ¿Qué tan preparado se siente ante una posible erupción? Marque su nivel de preparación con una x:

		3. Capacitación recibida sobre cómo actuar ante lahares y caída de ceniza		8. ¿Ha recibido capacitación sobre cómo actuar ante la presencia lahares y caída de ceniza?
--	--	---	--	---

Nota: Elaboración propia

Tabla 2.

Operacionalización de variable dependiente: Impacto socioeconómico en la comunidad de San Agustín de Callo.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ÍTEMS
Efectos y consecuencias generados por los fenómenos naturales	1. Características socioeconómicas de la comunidad	1. Características demográficas y	Cuestionario	1. Género: 2. Edad: 3. Grupo étnico al que pertenece: 4. Nivel de educación:

<p>(lahares y caída de ceniza) en los aspectos sociales y económicos de la comunidad.</p>		<p>socioeconómicas de los hogares</p>		<p>5. Ocupación y tiempo de residencia en la comunidad</p> <p>9. ¿Cuántas personas viven en su casa, incluyendo Usted (_____ personas)?</p> <p>10. ¿Cuánto dinero genera mensualmente de su trabajo? (en dólares)</p> <p>11. ¿Alguien en el hogar está afiliado o cubierto por el seguro del IESS (general, voluntario o campesino)</p> <p>12. ¿Característica de la vivienda?</p> <p>13.- ¿Cuál es el tipo de vivienda?</p> <p>14. ¿Cuál es el estado de la vivienda?</p>
	<p>2. Impacto de erupciones volcánicas anteriores</p>	<p>2. Pérdidas económicas en actividades productivas por</p>		<p>15. ¿Ha sufrido pérdidas económicas durante las erupciones anteriores o caída de ceniza?</p>

		erupciones previas		16. ¿Cuál fue el valor aproximado de las pérdidas económicas que sufrió debido a erupciones volcánicas anteriores (en USD)?
	3. Percepción de riesgo y preparación comunitaria	3. Percepción del riesgo y nivel de preparación comunitaria		17. ¿Usted conoce que en la comunidad tiene un plan de emergencia por si el Cotopaxi hace erupción 18. ¿Ha participado en algún simulacro de evacuación 19. ¿Tiene un plan familiar para actuar en caso de erupción?
	4. Medidas de mitigación y adaptación	4. Disposición a participar en programas de capacitación y apoyo		20. ¿Cuenta con un kit de emergencia en casa? 21. Si tuvieras que evacuar, ¿tiene un lugar donde quedarse?

				<p>22. ¿Estaría dispuesto Usted a participar en procesos de capacitación sobre prevención de riesgos volcánicos?</p> <p>23. ¿Qué tipo de apoyo considera más necesario para su comunidad ante una posible erupción? (Puede marcar más de uno)</p> <p>24. ¿Estaría dispuesto Usted a considerar una reubicación permanente si las autoridades lo recomiendan por el riesgo volcánico?</p>
--	--	--	--	--

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO II.

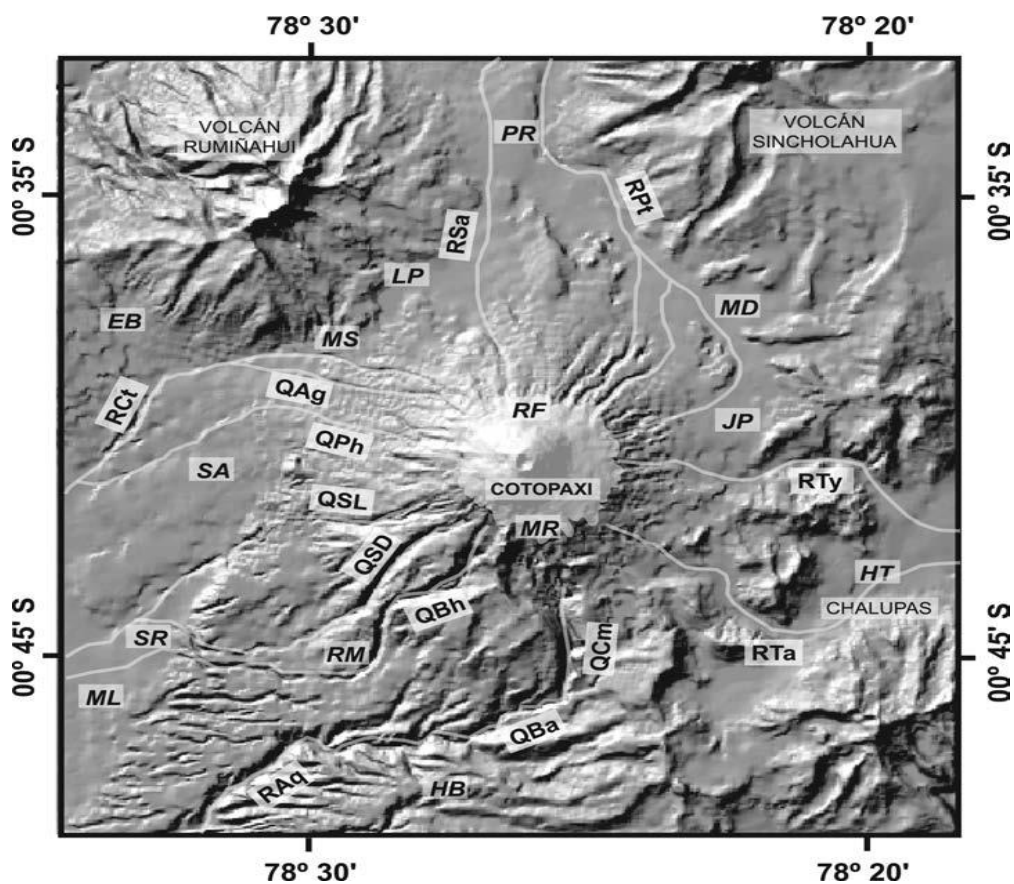
MARCO TEÓRICO

2.1 Referencial o Georreferencial

El volcán Cotopaxi, situado en la Cordillera Real de los Andes en Ecuador, se encuentra a una latitud de 0°38' Sur y una longitud de 78°26' Oeste, alcanzando una altitud de 5 897 metros sobre el nivel del mar. Este imponente volcán activo está aproximadamente 60 km al sureste de Quito y a 45 km al norte de Latacunga (figura 1). Su base abarca un área de 16x19 km, y su relieve se eleva entre 2 000 y 3 000 metros desde la base hasta la cima, con pendientes en sus flancos altos que presentan inclinaciones de hasta 30 grados (Andrade et al., 2005).

Figura 1

Modelo digital del terreno de la zona proximal del Cotopaxi.



Fuente: Andrade et al., (2005). Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. Quito: Corporación Editora Nacional.

Se incluyen las principales poblaciones y los drenajes que nacen de los glaciares del volcán. (RSa= río Salto; RPt= río Pita, RTy = río Tamboyacu; RTa= río Tambo; RCt= río Cutuchi.

El Cotopaxi cuenta con un notable casquete glaciar, cuya superficie actual se estima en aproximadamente 14 km² y su volumen se calcula en cerca de 0.7 km³ (aproximadamente 700 millones de m³) (Cáceres et al.,2004; Cáceres, 2005). Debido a los vientos húmedos que predominan y provienen de la cuenca amazónica, los glaciares del lado oriental del Cotopaxi descienden hasta una altitud de alrededor de 4,600 m en la parte oriental del cono y en la zona occidental, el glaciar alcanza solo hasta los 5,100 m (Figura 2). En las últimas décadas, se ha podido observar un evidente retroceso de los glaciares que recubren este volcán y otros en Ecuador.

Figura 2

Cráter del volcán Cotopaxi con emisión de gases.



Fuente: IGEPN, Bernard, B. (2023). *La ceniza del volcán Cotopaxi afecta a los ganaderos de Mulaló.*

El cráter del Cotopaxi es una formación casi circular, con un diámetro de 800 metros aproximadamente y una profundidad superior de 100 metros (Figura 3). En el centro del cráter, así como en sus extremos, se constata la presencia de continuas explosiones fumarólicas.

Figura 3

Cráter y flancos del volcán Cotopaxi.



Fuente: Instituto Geofísico EPN – ECUADOR, Foto: Silvia Vallejo Vargas (2012). *Vista aérea del volcán Cotopaxi.*

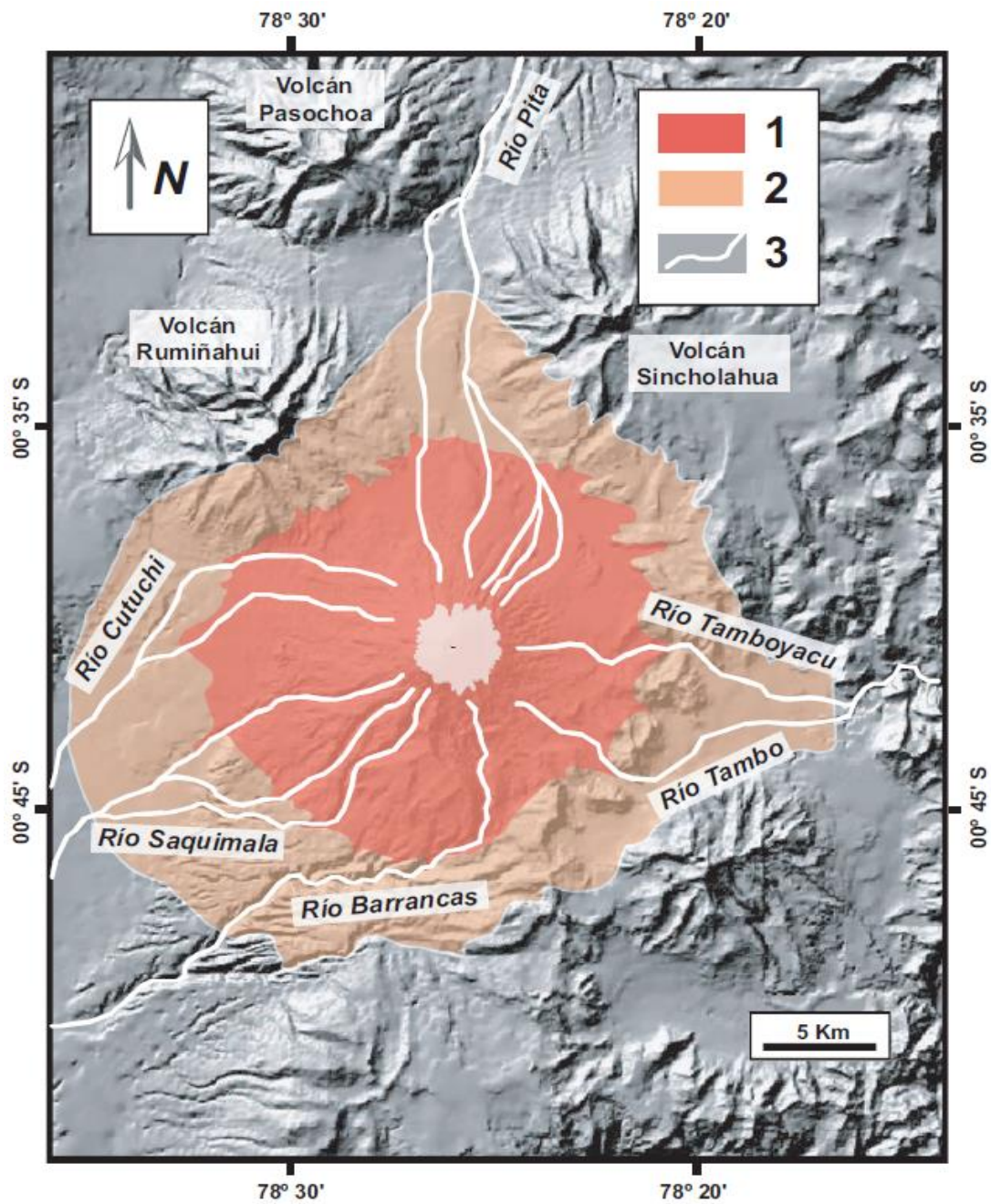
Los deshielos del Cotopaxi fluyen a través de numerosas quebradas, que alimentan tres importantes sistemas fluviales: primero, el río Cutuchi al occidente y al sur; segundo, el río Tambo, afluente del río Napo, al oriente; y tercero, el río Pita, que se dirige hacia el norte (Figura 2). En las laderas inferiores del volcán, la vegetación de páramo se extiende hasta aproximadamente 4,600 metros de altitud. A medida que ascendemos, la vegetación se vuelve escasa, dando paso a extensos

arenales y a los vestigios del descongelamiento gradual de los glaciares del volcán en las últimas décadas (Figura 4).

Este majestuoso volcán, junto con las planicies y páramos que lo rodean, forma parte del Parque Nacional del Cotopaxi, una valiosa zona turística destinada a la recreación y la conservación de bosques y fauna. Cada año, miles de visitantes acuden al Parque del Cotopaxi. Asimismo, las áreas situadas en el Valle Interandino, al occidente del volcán, son de gran relevancia agrícola y ganadera, aportando significativamente a la economía de la región.

Figura 4

Mapa de peligros simplificado en el que se muestra las zonas del Cotopaxi que podrían ser afectadas en caso de producirse flujos de lava, flujos piroclásticos o lahares secundarios.



Fuente: Andrade et al., (2005). *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*. Quito: Corporación Editora Nacional.

Los peligros de gran magnitud se describen a continuación: 1) Zona de posible influencia afectada por flujos piroclásticos y flujos de lava en caso de una erupción grande, como en el año de 1877 (Escenario III); 2) Zona de posible influencia afectada por flujos piroclásticos y flujos de lava en caso de una erupción muy grande (Escenario IV); 3) Algunos cauces notorios podrían ocurrir lahares secundarios. (Escenarios I y II) (modificado de Hall, et al., 2004a y 2004b).

Las erupciones del Cotopaxi han generado abundantes cantidades de material lítico, flujos piroclásticos, flujos de cenizas y lava, además de grandes lahares (Barberi et al.1995; Hall y Mothes 2008; Biass y Bonadonna 2011). Algunos de estos lahares han alcanzado el Océano Pacífico, desplazándose a más de 200 km de distancia (Aguilera et al., 2004; Pistolesi et al., 2013).

Las erupciones más recientes en el Cotopaxi se registraron entre 1975-1976 y 2001-2002, y se caracterizaron por un aumento en la actividad fumarólica, una elevada sismicidad y deformaciones en el terreno (Molina et al.,2008). La actividad fumarólica representa una preocupación, ya que puede transferir calor a la capa de hielo, lo que podría provocar flujos de escombros no eruptivos o lahares.

Cerca del Cotopaxi se encuentra la comunidad de San Agustín de Callo, situada en la parroquia rural de Mulaló, en el cantón de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Esta zona es de gran relevancia histórica y geográfica, y la comunidad se alza a 3. 150 metros sobre el nivel del mar, en las laderas del volcán, uno de los más emblemáticos y activos de Ecuador. San Agustín de Callo es conocida por su Hacienda San Agustín de Callo, una antigua edificación que fue palacio Inca y posteriormente un convento colonial, destacándose como uno de los sitios arqueológicos más importantes del país.

La cercanía al volcán Cotopaxi expone a sus habitantes a varios riesgos volcánicos, lo que ha motivado a las autoridades locales y a la Secretaría de Gestión de Riesgos a poner en marcha

programas de capacitación sobre autoprotección y evacuación. Los residentes afirman estar preparados para enfrentar posibles erupciones, aunque manifiestan su preocupación por la falta de infraestructura adecuada que permita una evacuación rápida, como el mantenimiento de las vías de escape. (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. 2022).

Además de su riqueza arqueológica, San Agustín de Callo es también un punto turístico de interés, ofreciendo actividades como cabalgatas, caminatas y excursiones por la región, lo que lo convierte en un lugar atractivo para quienes visitan el Parque Nacional Cotopaxi.

El crecimiento demográfico y la falta de gestión del uso de la tierra en zonas potencialmente afectadas por la erupción de grandes volcanes cubiertos de nieve, como el volcán Cotopaxi en Ecuador, hacen que la mitigación de riesgos sea muy difícil. De hecho, la reducción del riesgo implica la minimización de las interacciones entre las actividades humanas y los peligros volcánicos.

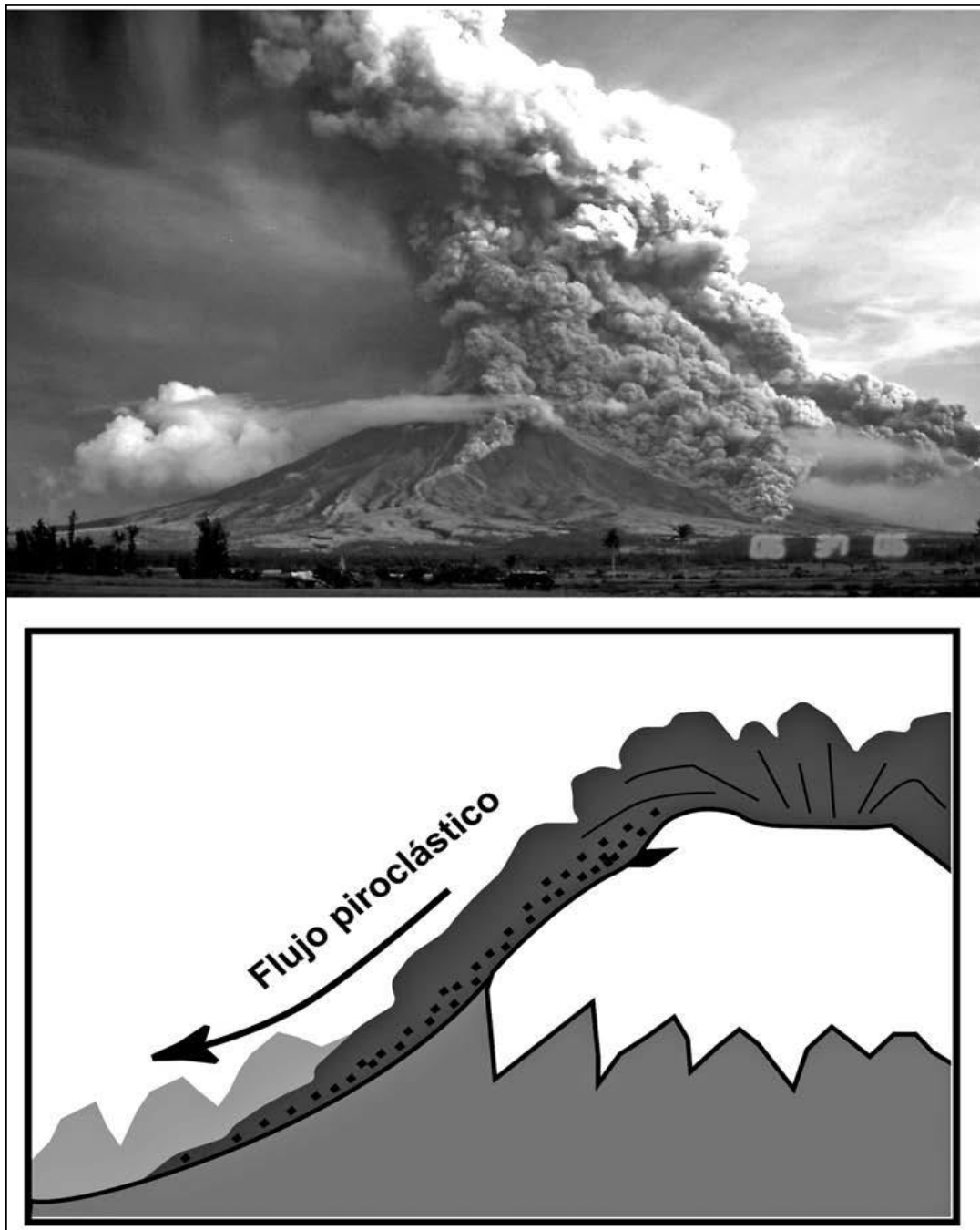
El volcán Cotopaxi, uno de los estratovolcanes más activos de la Cordillera Oriental de los Andes ecuatorianos, ha experimentado erupciones con un Índice de Explosividad Volcánica (VEI) mayor o igual a 3 en un promedio de cada 117 años a lo largo de los últimos dos milenios (Barberi et al. , 1995; Hall y Mothes, 1995). La vulnerabilidad a los peligros volcánicos ha aumentado con la creciente urbanización del valle interandino, especialmente los peligros relacionados con flujos de escombros o lahares (lahar es un término indonesio para flujos de escombros e hiperconcentrados que se originan en un volcán) (Andrade et al., 2005).

El Cotopaxi produjo lahares devastadores en todos sus flancos durante cada una de sus erupciones históricas (Humboldt, 1810; Sodiro, 1877; Wolf, 1878; Hall et al., 2005; como se citó en Ettinger et al., 2007).

Las descripciones de la actividad histórica del volcán Cotopaxi (Humboldt, 1810; Wolf, 1878) sugieren que todos los lahares importantes fueron provocados por erupciones (Aguilera *et al.*, 2004). Desde 1532, Cotopaxi ha producido 13 episodios de actividad, de los cuales los más destacados fueron los de 1742-1744, 1768 y 1877. En estos períodos eruptivos, se registraron caídas de ceniza, escorias y piedra pómez, flujos piroclásticos, lava y lahares (Figura 5). Durante la erupción de 1877, tres lahares siguieron los ríos Pita y San Pedro por el flanco norte, afectando a las comunidades de Sangolquí, San Rafael y Tumbaco (Sodiro, 1877; Wolf, 1878; citados en Ettinger *et al.* , 2007).

Figura 5

Flujos piroclásticos descendiendo por los flancos del volcán Mayón (Filipinas) durante una erupción en septiembre de 1984. Abajo: esquema del aspecto de los flujos piroclásticos descendiendo sobre los flancos del Cotopaxi.



Fuente: Foto cortesía de C. Newhall, USGS, en Andrade et al., (2005). Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. Serie Los peligros volcánicos en Ecuador, N 3. Corporación Editora Nacional, IG-EPN

Las consecuencias de los lahares del Cotopaxi son conocidas principalmente por su impacto en las ciudades situadas en los lados norte, noroeste, suroeste y sur del volcán (D'Ercole, 1991, 1996).

Entre 1742 y 1744, así como en 1877, once lahares significativos se desplazaron por el flanco sur de la cuenca del río Cutuchi, repercutiendo en los pueblos de Latacunga, Salcedo y Baños. Los lahares de 1877, en particular, tuvieron un grave impacto en las zonas adyacentes al Cotopaxi, resultando en la trágica pérdida de más de 1000 vidas, así como en la muerte de numerosos animales de granja y la devastación de infraestructuras (d'Ercole, 1996).

Para la cuenca oriental del sistema fluvial Tambo-Tamboya-Napo, se reportan pocos detalles excepto los relatos de Sodiro (1877); que incluso en Puerto Napo a 124 km del volcán, hubo víctimas mortales de nativos y destrucción de casas y embarcaciones por un lahar generado por la erupción de 1877. Desde 1877 la población de esta zona se ha multiplicado por diez.

2.2 Amenazas volcánicas específicas

2.2.1 Lahares

Los lahares son flujos de lodo y escombros volcánicos que descienden por las laderas de un volcán y se desplazan a través de los valles cercanos. En el caso del Cotopaxi, estos flujos se originan principalmente por el derretimiento rápido del casquete glaciar durante una erupción, mezclándose con materiales volcánicos y sedimentos previamente presentes en la zona (Pistolesi et al., 2013).

Según investigaciones de Mothes et al. (2016), los lahares del Cotopaxi pueden alcanzar velocidades de hasta 100 km/h en las partes más altas del volcán, con volúmenes que superan varios millones de metros cúbicos. Esta combinación de velocidad y cantidad convierte a los

lahares en una de las amenazas más serias para las comunidades cercanas, como es el caso de San Agustín de Callo.

Los impactos potenciales de los lahares incluyen:

- Destrucción de infraestructura (viviendas, carreteras, puentes)
- Inundaciones y cambios en la morfología del terreno
- Víctimas humanas y ganado
- Pérdidas en el ganado
- Contaminación hídricas

2.1.2 Caída de Ceniza

La ceniza volcánica son partículas finas menor a 2 mm de roca pulverizada y vidrio volcánico que son expulsadas a la atmósfera durante una erupción (Volcanic Ash Advisory Center, 2021).

Las consecuencias de la caída de ceniza pueden variar según el grosor de la capa acumulada y pueden incluir:

- Problemas respiratorios y oculares en la población
- Contaminación de fuentes de agua
- Daños a cultivos y pastos, afectando la agricultura y ganadería
- Colapso de techos por el peso de la ceniza acumulada
- Interrupción de servicios eléctricos y de comunicaciones
- Problemas en el transporte terrestre y aéreo

Estudios de Biass y Bonadonna (2011) sugieren que, en una erupción de magnitud similar a la de 1877, San Agustín de Callo podría experimentar una acumulación de ceniza de entre 10 y 30 cm, lo cual tendría impactos significativos en la comunidad.

2.1.3 Flujos piroclásticos

Según Delgado (2002), los flujos piroclásticos son mezclas secas y calientes, con temperaturas que oscilan entre 300 y 800 °C, que consisten en escombros piroclásticos y gases. Estos flujos se desplazan a ras de la superficie a velocidades que pueden variar desde 10 hasta varios cientos de metros por segundo. Cada flujo piroclástico se compone de dos partes: por un lado, un flujo basal, que es denso y se mantiene cerca del suelo; y por el otro, una oleada en forma de nube turbulenta de ceniza que puede preceder o desplazarse sobre el flujo basal. Además, las nubes convectivas de ceniza a menudo se asocian con los flujos piroclásticos, formando un depósito de caída de tefra.

Los flujos piroclásticos están formados por varias maneras:

- Debido al colapso gravitacional de columnas eruptivas de gran altura.
- Generadas por las columnas eruptivas de la escasa de la altura que se derraman sobre el filo del cráter y que pueden previas en el desarrollo de una columna eruptiva de gran altura.
- El colapso gravitacional o explosiva de domos lávicos y flujos de lava a temperaturas elevadas.

Una vez que el flujo se inicia, varios procesos lo sustentan, uno de ellos es el de la fluidización parcial del flujo por medio del escape de gases. Los gases contenidos en el flujo provienen de:

- La desgasificación de los piroclastos en el flujo

- Aire y gases magmáticos atrapados durante la formación del flujo
- Aire recogido durante el avance del frente del flujo
- Vaporización del agua de superficie.

Los flujos piroclásticos exhiben una notable variedad en su composición, temperatura, volumen y tasa de erupción, lo que se traduce en un extenso rango de distancias que pueden alcanzar. La movilidad de estos flujos depende de su composición: aquellos compuestos por bloques y cenizas son menos móviles y suelen limitarse a varias decenas de kilómetros del cráter de emisión. En contraste, los flujos piroclásticos de tipo pumítico, que se componen principalmente de lapilli y ceniza, tienen el potencial de recorrer distancias de hasta 200 kilómetros de su origen, abarcando áreas que van desde miles hasta decenas de miles de kilómetros cuadrados. La inercia que poseen los flujos piroclásticos pumíticos, debido a su considerable masa y velocidad, les permite superar barreras topográficas de cientos de metros de altura, lo que les confiere la capacidad de afectar regiones que están más allá de las cuencas hidrográficas que desembocan en el volcán de donde proceden.

Por su masa, alta temperatura, gran velocidad y considerable energía potencial, estos flujos representan una grave amenaza, pudiendo causar asfixia, enterramiento, incineración e impacto. Además de estos efectos directos, pueden interactuar con cuerpos de agua superficial, generando lahares y torrentes que ocasionan daños significativos en zonas más bajas. Asimismo, los flujos piroclásticos tienen la capacidad de provocar incendios que pueden propagarse mucho más allá de los límites del flujo mismo.

2.3 Antecedentes (académicos y artículos de investigación)

En la actualidad, alrededor de 800 millones de personas residen en zonas volcánicas activas o en sus cercanías (Brown et al. , 2015). La mayoría de esta población se encuentra en países de

ingresos bajos y medios, es decir, aquellos con un ingreso nacional bruto anual per cápita inferior a 12,700 dólares estadounidenses. La región más amplia de América Latina, que abarca desde México hasta América Central, el Caribe y América del Sur, alberga aproximadamente 330 centros volcánicos del Holoceno, en comparación con los 84 situados en Europa. Cabe destacar que una cuarta parte de las muertes atribuidas a fenómenos volcánicos a nivel mundial ha tenido lugar en esta región (Phillipson et al., 2013).

Los desastres volcánicos se encuentran entre los desastres naturales menos auditados y, por lo tanto, nuestro conocimiento sobre el impacto de la actividad volcánica más allá de las pérdidas de vidas es en gran medida incompleto (Benson, 2006; Auker et al., 2013). Una enorme incertidumbre rodea las estimaciones de pérdidas indirectas, por ejemplo, enfermedades o hambruna con resultado de la actividad volcánica. Además, la mayor vulnerabilidad humana, los impactos financieros directos e indirectos de la actividad volcánica pueden ser inmensos, como lo demostró la erupción relativamente pequeña del volcán Eyjafjallajökull de Islandia en abril de 2010 y la interrupción asociada del transporte aéreo.

En la actualidad el estudio sobre el impacto ambiental y socioeconómico del volcán Turrialba en Costa Rica, realizado entre 1980 y 2015 por Duarte (2015) fue dividido en cuatro períodos: 1980-1995: Baja actividad y primeros estudios del volcán, 1996-2005: Aumento de la actividad sísmica y cambios en la caldera, 2005-2010: Expansión de fumarolas, éxodo de población local y daños ambientales y 2010-2015: Erupciones reáticas y freatomagmáticas con impactos más severos. Sus hallazgos incluyen: graves daños a ecosistemas y calidad del aire en los alrededores, impactos socioeconómicos como desplazamiento de población y pérdidas agrícolas, recientes erupciones con cenizas afectando áreas urbanas y el aeropuerto, y cambios morfológicos significativos en el cráter.

En su investigación Alonso y Marín (2008) sobre el Impacto social y económico de la erupción del volcán Jorullo en México, se destaca que este evento tuvo repercusiones económicas

y sociales profundas, manifestándose en pérdidas y materiales materiales significativas y en la destrucción de importantes extensiones de tierras agrícolas. La aparición del volcán también afectó a la población en su conjunto, quienes perdieron sus hogares y cultivos, lo que desencadenó una movilidad social. Los efectos devastadores de la erupción del Jorullo fueron considerables, y la reactivación económica de ciertas estancias y haciendas resultante del desastre natural fue muy lenta.

Un estudio llevado a cabo por Pavon et al. (2022) sobre el impacto socioeconómico de los lahares y la caída de ceniza provocados por la erupción del volcán Cayambe en las actividades florícolas de Cayambe y Pedro Moncayo, Ecuador, reveló que espesores de ceniza entre 20 y 50 mm representan el principal desafío, afectando al 81.46% de la superficie cultivable y generando pérdidas que superan los 300 millones de dólares en plantas e invernaderos. En cuanto a los lahares, se estima que las pérdidas afectarán los suelos, con un costo aproximado de 45 millones de dólares en el caso de los lahares primarios y 15 millones en los secundarios. Por lo tanto, una erupción del volcán Cayambe requiere atención especial debido a su significativo impacto socioeconómico a nivel local y nacional, considerando que las exportaciones de flores son un sector clave para el país.

El reciente crecimiento de los asentamientos humanos en la región de Cotopaxi desde la década de 1950, sumado a la escasez de datos socioeconómicos disponibles, destaca la necesidad de seguir investigando en esta área. Esto incluye el desarrollo de una base de datos de Sistema de Información Geográfica (SIG) y el análisis de la percepción del riesgo por parte de la población. Esta combinación de información social y económica con trabajo de campo y análisis continuos proporcionaría la base para la actualización del mapa de riesgos que tenga en cuenta los diferentes niveles de desarrollo local. Un problema crítico que surge de los lahares de Cotopaxi es una cuestión similar que se encuentra a menudo en el campo del análisis de riesgo volcánico: la baja

tasa de recurrencia de los lahares exige que eduquemos a las personas en riesgo con regularidad (Ettinger et al., 2007).

Las zonas de gran altitud no están pobladas (Cotopaxi es parte de un parque nacional), el sector expuesto a un alto riesgo de inundaciones por flujos hiperconcentrados se ubica, no sólo al pie del volcán, sino en las regiones más pobladas a distancia. de aproximadamente 120 km (tercera zona). Un mapa de vulnerabilidad preliminar tomó en cuenta las aldeas, la infraestructura socioeconómica y el uso de la tierra, que fueron identificados en el terreno o en los mapas. El cruce de estos dos mapas permitió obtener un tercero, preliminar, que incluye cuatro categorías diferentes de riesgos, cada una de las cuales se subdivide en dos clases (alta o baja) según los grados de vulnerabilidad y peligros (Ettinger et al., 2007).

La gestión eficaz de una crisis volcánica suele implicar varios componentes integrales, que en la mayoría de los casos pueden agruparse en tres elementos principales (De la Cruz-Reyna et al., 2000):

- a) Identificación de las áreas amenazadas por un volcán determinado, junto con la definición de las probabilidades de que se produzcan fenómenos volcánicos peligrosos específicos en un intervalo de tiempo determinado. Esto genera una visión estática de los peligros potenciales que plantea el volcán que muestra actividad, representada más comúnmente como un mapa de zonificación de peligros.
- b) Monitoreo geofísico, geoquímico y por teledetección del volcán en actividad (en tiempo real, en la medida de lo posible) para documentar sus cambios de estado y evaluar el nivel de peligros potenciales asociados. Para que sea útil, la información científica sobre el volcán debe interpretarse y traducirse en términos de escenarios de peligro, incluida la posibilidad de que la intensificación de la actividad culmine en erupción, la naturaleza y el tamaño de la erupción prevista, el alcance de los procesos peligrosos, etc. Los datos obtenidos mediante el monitoreo

volcánico proporcionan la única base científica para hacer una estimación dinámica de la probabilidad de ocurrencia de escenarios particulares en el corto plazo. La confiabilidad y eficiencia de estos escenarios dependen críticamente de la cantidad y calidad de los datos de monitoreo y de la capacidad de los miembros de los equipos científicos para intercambiar propuestas, llegar a acuerdos y alcanzar un consenso y tomar decisiones.

- c) Desarrollo e implementación de un sistema alerta e y respuesta ante amenazas que permiten a las autoridades civiles y a los ciudadanos vulnerables adoptar medidas de reducción de acuerdo con el nivel de riesgo predeterminados. Un sistema de comunicación y alerta eficiente debe ser capaz de generar un nivel similar de conciencia y percepción del riesgo dinámico en el equipo científico para determinar responsabilidades los posibles resultados de la actividad volcánica, las autoridades responsables de la toma de decisiones y la población en riesgo.

2.4 Científico (bases teóricas en la que fundamenta la investigación)

2.4.1 Teoría de la vulnerabilidad social ante desastres naturales:

Esta teoría, desarrollada por Wisner, Blaikie, Cannon y Davis (2004), argumenta que los desastres no son simplemente eventos naturales, sino el resultado de la interacción entre amenazas naturales y condiciones sociales vulnerables. La vulnerabilidad se define como las características de una persona o grupo que influyen en su capacidad para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural.

La teoría identifica varios factores que contribuyen a la vulnerabilidad:

- **Factores económicos:** La pobreza y la falta de recursos incrementan ante una erupción volcánica.

- **Factores sociales:** La cohesión social y las redes de apoyo comunitario pueden impactar en la capacidad de respuesta y la recuperación, falta de redes de apoyo, marginación.
- **Factores políticos:** La ausencia de representación, gobernanza débil, bajo grado de participación en la toma de decisiones y la eficacia de las políticas de gestión de riesgos afectan la vulnerabilidad.
- **Factores físicos:** La condición de la infraestructura y la ubicación de los asentamientos irregulares en las zonas de peligro, la infraestructura deficiente, la ubicación peligrosa es importante.

En el contexto, de esta investigación, esta teoría permitió comprender cómo las características socioeconómicas de San Agustín de Callo influyen en su vulnerabilidad ante los peligros volcánicos del Cotopaxi.

2.4.2 Modelo de resiliencia comunitaria:

Norris y cols. (2008) sugieren que la resiliencia comunitaria es un proceso que conecta un conjunto de capacidades adaptativas en red, lo que conduce a un funcionamiento y adaptación positivos tras una perturbación. En su propuesta, se identifican cuatro conjuntos de estas capacidades adaptativas:

- **Desarrollo económico:** Diversidad económica, equidad en la distribución de recursos.
- **Capital social:** Redes de apoyo, sentido de comunidad, apego al lugar.
- **Información y comunicación:** Sistemas de comunicación, narrativas compartidas.
- **Competencia comunitaria:** Acción colectiva, empoderamiento, habilidades para la resolución de problemas.

Este modelo sugiere que las comunidades pueden fortalecer estas capacidades para mejorar su resiliencia ante desastres. Este estudio, determinó como San Agustín de Callo ha desarrollado (o podría desarrollar) estas capacidades para enfrentar los riesgos volcánicos.

2.5 Impacto Socioeconómico de Erupciones Volcánicas

De acuerdo a Czerny, M., & Czerny, A. (2020) Entre los aspectos clave de los estudios asociados a la ocurrencia de fenómenos naturales adversos se encuentran los relacionados con los efectos de dichos eventos, en función de su frecuencia, intensidad y tipo, y su influencia sobre la vida y los asentamientos humanos. La complejidad de los fenómenos involucrados, combinada con sus consecuencias (en situaciones en las que es necesario examinar las causas y buscar soluciones para limitar o compensar los impactos), requiere análisis de carácter holístico, además de multidisciplinarios y multifacéticos.

Y, como los fenómenos naturales desfavorables y su alcance de impacto deben ser analizados y objeto de acciones a escala global, por lo que es cada vez más necesario adoptar un enfoque interdisciplinario para la formulación de preguntas y la búsqueda de perspectivas de investigación (Felgentreff y Glade 2008).

En Ecuador, en el año 2015, el gobierno asignó más de 20 millones de dólares para llevar a cabo acciones de contingencia y prevención ante la actividad del volcán Cotopaxi. Las estimaciones oficiales indicaron que, en el caso de una erupción, se verían afectados 61,332 negocios en las provincias de Cotopaxi (34,042), Pichincha (25,410) y Napo (1,880) (TELEGRAFO, 2015). La caída de ceniza del Cotopaxi impactó de inmediato los cultivos, afectando el 80% de la superficie sembrada de maíz, así como la producción de cebada y papa. La ganadería, que incluye ganado vacuno, porcino y ovino, también se vio seriamente perjudicada, repercutiendo directamente en los ingresos económicos de las familias.

La consecuencia más significativa fue la descapitalización, ya que la escasez de alimentos para el ganado obligó a la venta de animales a precios muy bajos y provocó la migración de algunos habitantes de la zona (García, 2019). Se estimó que, en las regiones afectadas, alrededor de 10,964 animales sufrirían las consecuencias (1,756 en Pichincha y 9,208 en Cotopaxi), así como 5,645 hectáreas de pastos (627 en Pichincha y 5,018 en Cotopaxi). Ante esta situación, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura (MAGAP) implementó albergues para proteger al ganado, brindándoles alimentación y atención médica. En Pichincha, se habilitaron dos albergues con capacidad aproximada para 50 cabezas de ganado cada uno, mientras que en Cotopaxi se establecieron seis albergues para 1,800 animales (TELEGRAFO, 2015).

La actividad del volcán Cotopaxi amenazó seriamente la economía local, la Corporación de Floricultores del Sur estimó pérdidas potenciales de USD 125 millones por posibles lahares volcánicos. La amenaza se extiende también al sector ganadero y agrícola, donde Cotopaxi representa el 6% del ganado nacional (620,983 cabezas) y produce diariamente 498,043 litros de leche. El Ministerio de Agricultura ha destinado USD 1.6 millones para proteger 16,500 hectáreas y 20,000 bovinos. Adicionalmente, el sector comercial, ya afectado por la situación económica del país con un decrecimiento del 5-10% en el primer semestre de 2015, enfrenta mayor presión debido a la incertidumbre volcánica que influyó en los movimientos económicos de julio y agosto, que alcanzaron USD 2.4 y USD 4.9 millones respectivamente (El Comercio, 2015). Se declaró en alerta amarilla a las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Napo, y Estado de Excepción en Machachi, Lasso y Mulaló, que son las poblaciones potencialmente afectadas por lahares (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2024).

A partir de mediados de octubre del 2022 el Cotopaxi empezó un nuevo periodo eruptivo caracterizado por emisiones de gases y ceniza de baja magnitud (IGEPN, 2023a). La ceniza del volcán Cotopaxi, afectó a seis comunidades de la parroquia Mulaló en Latacunga, afectando

particularmente a Macaló Grande, San Ramón, Ticatilín, Santa Rita, Colcas y San Agustín de Callo. El material volcánico, descrito como grueso y negro, ha cubierto pastizales, cultivos y techos, provocando una disminución del 10% en la producción lechera local que normalmente alcanza los 5,000 litros diarios (IGEPN, 2023b).

2.6 Modelo de impacto económico de desastres naturales:

Este modelo analiza cómo los desastres naturales afectan a las economías locales y regionales, dados los efectos directos e indirectos (Rose, 2004), se distingue entre:

Efectos directos: Daños inmediatos a la infraestructura, propiedades y recursos naturales.

Efectos indirectos: Interrupciones en la actividad económica, pérdidas de ingresos.

Efectos macroeconómicos: Impactos a largo plazo en el crecimiento económico, empleo, etc.

Los estudios muestran que la erupción de 2015 del volcán Cotopaxi y otras anteriores han generado impactos devastadores en la infraestructura, agricultura, y actividades económicas de las regiones aledañas. Esto incluye pérdida de cosechas, daño a propiedades, y desplazamiento de personas.

El análisis de la vulnerabilidad en zonas rurales como San Agustín de Callo revela que la dependencia económica de la agricultura y el turismo las hace más propensas a sufrir consecuencias socioeconómicas prolongadas debido a los desastres volcánicos.

2.7 Evaluación de impactos sectoriales

2.7.1 Agricultura y ganadería

La agricultura y la ganadería son sectores particularmente vulnerables a los impactos volcánicos. Estudios realizados por Sword-Daniels et al. (2011) en otras regiones volcánicas muestran que la caída de ceniza puede causar:

- Daños a cultivos por defoliación y acidificación del suelo.
- Contaminación de pastos, afectando al ganado.
- Disminución en la producción de carne y leche.

2.7.2 Turismo y servicios

El sector turístico, importante para la economía de San Agustín de Callo, puede verse severamente afectado. Investigaciones de Becken y Hughey (2013) sobre el impacto de desastres naturales en el turismo indican:

- Cancelaciones inmediatas y disminución a largo plazo de visitas
- Daños a la infraestructura turística
- Impactos en la imagen del destino turístico

2.7.3 Infraestructura y vivienda

Los lahares y la acumulación de ceniza pueden provocar daños significativos a la infraestructura. Según Jenkins et al. (2015):

- Los lahares pueden destruir completamente estructuras en su camino

- La acumulación de ceniza puede provocar el colapso de techos, especialmente en estructuras más débiles.
- Los sistemas de agua, electricidad y comunicaciones pueden verse interrumpidos.

2.8 Percepción y gestión del riesgo

2.5.1 Teoría de la percepción del riesgo:

Esta teoría argumenta que la percepción del riesgo es subjetiva y está influenciada por factores psicológicos, sociales, institucionales y culturales. Identifica dos factores principales que influyen en la percepción del riesgo:

- "Riesgo temido": relacionado con la falta de control, el potencial catastrófico y las consecuencias fatales.
- "Riesgo desconocido": relacionado con la novedad y el retraso en las manifestaciones de daño (Slovic, 1987).

En el contexto de riesgos volcánicos, estudios como el de Bird et al. (2010) han encontrado que:

- La familiaridad con el volcán puede llevar a una subestimación del riesgo
- La experiencia previa con erupciones influye significativamente en la percepción del riesgo.
- Factores culturales y socioeconómicos afectan la interpretación de las amenazas volcánicas.

2.9 Métodos de evaluación de riesgos e impactos

2.9.1 Modelo de evaluación de riesgos volcánicos:

Este modelo proporciona un marco para evaluar y cuantificar los riesgos asociados con la actividad volcánica, incluyendo lahares y caída de ceniza, son herramientas gráficas para evaluar la probabilidad de varios escenarios eruptivos y sus consecuencias (Newhall & Hoblitt, 2002). Este modelo implica:

- Identificar posibles eventos volcánicos
- Estimar las probabilidades de cada evento
- Evaluar las consecuencias potenciales

Para el Cotopaxi, estudios como los de Mothes et al. (2017) han aplicado este enfoque, identificando escenarios que van desde erupciones menores con caída de ceniza limitada hasta eventos mayores con lahares significativos. Este modelo permitió caracterizar las amenazas específicas que el Cotopaxi representa para San Agustín de Callo.

2.9.2 Evaluación de Medios de Vida Sostenibles.

Este enfoque, desarrollado por Scoones (1998), examina cómo los desastres afectan los diferentes capitales (humano, social, natural, físico y financiero) de una comunidad.

La implementación de estos métodos en San Agustín de Callo permitió una evaluación exhaustiva del impacto socioeconómico que podría ocasionar una erupción del Cotopaxi, lo que a su vez facilitó la elaboración de estrategias efectivas de mitigación y adaptación.

2.10 Legal

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

Publicado en el Registro Oficial el 20 de octubre de 2008, Edición Especial N. 449.

Estado: Vigente

CAPÍTULO PRIMERO - SECCIÓN NOVENA

GESTIÓN DEL RIESGO

Art. 389.- El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objeto de minimizar las condiciones de vulnerabilidad. El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.

5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.

6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional.

LEY DE SEGURIDAD PÚBLICA Y DEL ESTADO 2009.

Publicado en el Registro Oficial Suplemento 42.

Estado: Vigente

Capítulo III -De los órganos ejecutores

Art. 11.- De los órganos ejecutores. - Los órganos ejecutores del Sistema de Seguridad Pública y del Estado estarán a cargo de las acciones de defensa. Orden público, prevención y gestión de riesgos, conforme lo siguiente:

d) de la gestión de riesgos. - La prevención y las medidas para contrarrestar, reducir y mitigar los riesgos de origen natural y antrópico o para reducir la vulnerabilidad, corresponden a las entidades públicas y privadas, nacionales, regionales y locales. La rectoría la ejercerá el Estado a través de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos.

Título VI. De los estados de excepción

Capítulo II. De los casos de los estados de excepción

Art 34.- De la coordinación en caso de desastres naturales.- En caso de desastre naturales la planificación, organización, ejecución y coordinación de las tareas de prevención, rescate, remediación, rescate y auxilio estarán a cargo del organismo responsable de la defensa civil, bajo

la supervisión y control del Ministerio de Coordinación de Seguridad o quien haga sus veces, preservando el mantenimiento del orden público y el libre ejercicio de los derechos y libertades ciudadanas garantizados en la Constitución.

El organismo responsable de la defensa civil actuará en coordinación con los gobiernos autónomos descentralizados y la sociedad civil, también contará con el apoyo de las Fuerzas Armadas y otros organismos necesarios para la prevención y protección de la seguridad, ejecutará las medidas de prevención y mitigación necesarias para afrontarlos y minimizar su impacto en la población.

REGLAMENTO A LA LEY DE SEGURIDAD PÚBLICA Y DEL ESTADO 2010

Estado: Reformado

Título II. Del sistema de seguridad pública y del Estado

Capítulo I. De los órganos ejecutores

Art. 3.- Del órgano ejecutor de Gestión de Riesgos. - La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos es el órgano rector y ejecutor del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos.

Dentro del ámbito de su competencia le corresponde:

- a) Identificar los riesgos de orden natural o antrópico, para reducir la vulnerabilidad que afecten o puedan afectar al territorio ecuatoriano;
- b) Generar y democratizar el acceso y la difusión de información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo;
- c) Asegurar que las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión;
- d) Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción;

e) Coordinar los esfuerzos y funciones entre las instituciones públicas y privadas en las fases de prevención, mitigación, la preparación y respuesta a desastres, hasta la recuperación y desarrollo posterior;

f) Diseñar programas de ejecución, capacitación y difusión orientados a fortalecer las capacidades de las instituciones y ciudadanos para la gestión de riesgos, y;

g) Coordinar la cooperación de ayuda humanitaria e información para enfrentar situaciones emergentes y/o desastres derivados de fenómenos naturales, socio naturales o antrópicos a nivel nacional e internacional.

2.11 Conceptual (glosario de términos)

Dentro de esta investigación utilizaremos varias palabras técnicas que necesariamente deben ser conceptualizadas:

Lahar: Flujo de lodo, rocas y agua que se desplaza por las laderas de un volcán, generalmente causado por el derretimiento de nieve o hielo durante una erupción volcánica (Vallance, 2000).

Tefra: Término general para referirse a todo material sólido expulsado por un volcán durante una erupción, incluyendo ceniza, lapilli y bombas volcánicas (Cas & Wright, 1987).

Flujo piroclástico: Describe una mezcla de gases calientes, cenizas y fragmentos de roca que se desplaza a gran velocidad por las laderas de un volcán durante una erupción explosiva (Branney y Kokelaar, 2002).

Estratovolcán: Nos dice que es un volcán con forma cónica, compuesto por múltiples capas de lava endurecida, tefra y cenizas volcánicas (Schmincke, 2004).

Resiliencia: Se trata de la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad que esta expuesta a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz (UNISDR, 2009).

Vulnerabilidad: Son las condiciones establecidas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que incrementan la susceptibilidad de una comunidad ante el impacto de amenazas (UNISDR, 2009).

Mitigación de riesgos: Se refiere a la reducción o limitación de los efectos adversos asociados con amenazas y desastres (UNISDR, 2009).

Percepción del riesgo: Es el juicio subjetivo que las personas formulan sobre las características y la gravedad de una amenaza (Slovic, 1987).

Ceniza volcánica: Consiste en fragmentos de roca y vidrio volcánico con un diámetro inferior a 2 mm, expulsados durante una erupción (Schmincke, 2004).

Lahares secundarios: son flujos de lodo volcánico que se generan tras una erupción, generalmente como resultado de intensas precipitaciones que movilizan depósitos de ceniza (Vallance, 2000).

Índice de Explosividad Volcánica (VEI): Es la escala que va del 0 al 8, que mide la explosividad de las erupciones volcánicas en la capacidad del volumen de material expulsado y la altura de la columna eruptiva (Newhall y Self, 1982).

Peligro volcánico: Se refiere a la probabilidad de que un área concreta sea impactada por procesos o productos volcánicos potencialmente dañinos en un período determinado (Tilling, 1989).

Riesgo volcánico: Es el resultado de la probabilidad de que ocurra un evento volcánico y las consecuencias que podría tener, en términos de pérdidas humanas y materiales (Blong, 1996).

Zonificación de peligros volcánicos: Se trata de la clasificación de un área en diferentes zonas de peligro, basada en la probabilidad de ser afectada por fenómenos volcánicos (Crandell et al. , 1984).

Impacto socioeconómico: Hace referencia a los efectos de un evento o fenómeno sobre las condiciones sociales y económicas de una población, incluyendo cambios en empleo, ingresos, salud, educación y calidad de vida (Lindell y Prater, 2003).

Capacidad adaptativa: Se trata de la habilidad de un sistema para ajustarse a cambios, mitigar posibles daños, aprovechar oportunidades o enfrentar sus consecuencias (IPCC, 2007).

Gestión integral del riesgo: Se trata de un proceso sistemático que emplea directrices administrativas, estructuras organizativas, habilidades y capacidades operativas para implementar políticas efectivas y potenciar las herramientas de respuesta. Todo ello con el objetivo de minimizar el impacto negativo de las amenazas y reducir la probabilidad de que se produzcan desastres (UNISDR, 2009).

Monitoreo volcánico: Vigilancia continua de la actividad de un volcán mediante diversos métodos como sismología, geodesia, geoquímica y observación visual (Scarpa & Tilling, 1996).

CAPITULO III.

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

El presente proyecto de investigación se enfoca en analizar el impacto socioeconómico de los lahares y la caída de ceniza del volcán Cotopaxi en la comunidad de San Agustín de Callo, situada en el cantón de Latacunga.

Se trata de una investigación descriptiva, evaluativa y aplicada. Este estudio se clasifica como descriptivo, ya que su objetivo es caracterizar y analizar un fenómeno específico: los efectos socioeconómicos que provocan los lahares y la ceniza volcánica en la comunidad de San Agustín de Callo.. Esto permitió detallar características y perfiles importantes de la comunidad, así como los efectos de las amenazas volcánicas en su contexto particular. En este caso el propósito es la generación de conocimiento que pueda ser utilizado para proponer soluciones prácticas a problemas reales, en este caso, el riesgo que representan los lahares y la caída de ceniza.

De acuerdo a Salinas et al., (2012). “los estudios descriptivos son aquellos que se relacionan con los objetos, fenómenos, sujeto, etc. En descripción general o parte como unidad técnica, métodos, proceso, procedimiento, incluidas estructuras moleculares o atómicas, organismos vivos, ya que son microorganismos o macroorganismos o virus hasta vertebrados, incluso el hombre, que sean considera innovadoras por lo tanto deben ser nuevas para la ciencia, es decir, que en este tipo de investigación se parte del supuesto que la descripción que se va a realizar no ha sido hecha anteriormente. Este tipo de investigación fue útil para describir el tema del estudio.” (p. 18).

3.2. Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación es mixto, ya que combina tanto métodos cuantitativos como cualitativos. El enfoque cuantitativo se utilizó para medir los niveles de impacto socioeconómico en la comunidad, mientras que el enfoque cualitativo se empleará para interpretar las percepciones de los habitantes sobre la amenaza del volcán Cotopaxi y sus efectos, por lo tanto, esto contribuyó a responder el planteamiento del problema de investigación, además facilitó la elaboración de las conclusiones y recomendaciones. Según Hernández et al., (2008) “los métodos mixtos constituyen un conjunto de procedimientos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la obtención y el análisis de datos tanto cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para efectuar inferencias basadas en la recopilación de datos y lograr una mejor comprensión del fenómeno de los estudios” (p. 46).

3.3. Métodos de Investigación

Se utilizó dos métodos principales en esta investigación:

Método descriptivo: Se empleó para caracterizar las amenazas volcánicas y su impacto en la comunidad de San Agustín de Callo. Según, Guevara (2020), “la investigación descriptiva tiene como objeto analizar las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades personas, objetos y procesos” (p. 5).

Método correlacional: Se utilizó para determinar la relación entre las variables socioeconómicas y la exposición a las amenazas volcánicas. El análisis de los datos permitió identificar las relaciones existentes de las variables en estudio. En su estudio, Hernández et al., (2013) señala que “la Investigación Correlacional es el estudio que tiene un propósito evaluar la relación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables. Las correlaciones se representan en una hipótesis sometidas a una prueba” (p. 121).

Para identificar la relación existente entre las variables en estudio, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman (1904). Este coeficiente nos proporcionó un valor sobre la asociación entre la variable dependiente e independiente. Para calcular el coeficiente de correlación de Spearman, se utilizó la siguiente fórmula:

$$p = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N (N^2 - 1)}$$

(Spearman,1904)

Dónde:

p= Es la medida de correlación

D= Diferencias entre los correspondientes estadísticos en orden de X-Y

N= Número de parejas de datos

3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

Para la recopilación de datos se utilizó las siguientes técnicas e instrumentos:

La encuesta constó de un cuestionario estructurado para recoger información sobre las condiciones socioeconómicas de los habitantes de la comunidad, así como su percepción del riesgo de erupción del volcán. De acuerdo a Martínez, (2010), “la encuesta constituye un instrumento de investigación para obtener información de personas mediante el uso de cuestionarios elaborados en forma previa para recopilar información detallada. Esta metodología involucra la interacción de personas a través de preguntas diseñadas para obtener una comprensión detallada de la problemática y posibles soluciones” (p. 50).

En este estudio, la encuesta (estratigrafía socioeconómica MIES), constó de un cuestionario estructurado para recoger información sobre las condiciones socioeconómicas de los habitantes de la comunidad, así como su percepción del riesgo de erupción del volcán.

Para obtener datos, se utilizó un cuestionario organizado basado en la clasificación socioeconómica del MIES, modificado para evaluar la repercusión socioeconómica de los lahares y la caída de ceniza en la localidad de San Agustín de Callo. Esta herramienta facilitó la recolección de datos sobre las circunstancias demográficas, financieras y la preparación de las familias frente a riesgos volcánicos.

3.5. Universo, Población y Muestra

“Las estadísticas tienen una población o universo de todos los valores variables, de alta calidad o cuantitativos, continuos o discretos. La población puede ser limitada o interminable, específica o abstracta” Corral, L. (2019).

"Las pruebas son parte de la población. Las estadísticas nos dan principios y métodos que nos permiten tener conclusiones razonables sobre las características de la población basadas en pruebas. En general, las poblaciones son muy grandes y a menudo insuperables. Incluso si conociera todas las cualidades de las personas con las que trabaja, no sería práctico para el tiempo y otros recursos. Por esta razón, en la investigación, trabajamos con las pruebas "Corral, L. (2019).

Para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizó la fórmula de muestreo para poblaciones finitas.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{E^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

- n = Tamaño de la muestra
- N = Tamaño de la población (7.360 personas)
- Z = Valor Z correspondiente al nivel de confianza (para un 95%, $Z=1,96$)
- p = Proporción esperada (si no se conoce, se asume 0,5)
- $q = 1-p$ (proporción complementaria)
- E = Margen de error permitido (8% o 0,08)

Cálculo del tamaño de la muestra:

a) Determinamos los valores:

- $N=7,360$
- $Z=1,96$ (para un nivel de confianza del 95%)
- $p=0,5$
- $q=0,5$
- $E=5\%$

Sustituimos estos valores en la fórmula:

$$n = \frac{7.360 * (1,96)^2 * 0,5 * 0,5}{(0,05)^2 * (7.360 - 1) + (1,96)^2 * 0,5 * 0,5}$$

$$n = \frac{7.360 * 3,8416 * 0,25}{0,0025 * 7.359 + 3,8416 * 0,25}$$

$$n = \frac{7.360 * 0,9604}{18,3975 + 0,9604}$$

$$n = \frac{7.068,544}{19,3579}$$

$$n = 365,15$$

Redondeando al número entero más cercano, se necesita una muestra de aproximadamente 365 personas.

3.6. Técnicas de análisis y procesamiento de la información

La investigación llevada a cabo es de carácter descriptivo, centrada en el impacto socioeconómico de los lahares y la caída de ceniza del volcán Cotopaxi en la comunidad de San Agustín de Callo, ubicada en el cantón Latacunga. La naturaleza descriptiva de esta investigación busca caracterizar y analizar un fenómeno específico: los efectos de las amenazas volcánicas en esta comunidad. Esto permitió detallar características y perfiles importantes de la comunidad, así como los impactos socioeconómicos derivados de estos riesgos. Según Salinas et al. (2012), "Un estudio descriptivo trata sobre una descripción de un objeto, fenómeno o proceso y busca crear un conocimiento útil para recomendar soluciones prácticas a problemas reales" (p. 18).

Para el análisis de la información, se aplicó una encuesta estructurada a los residentes para conocer sus percepciones sobre los riesgos volcánicos. Para comprobar la hipótesis planteada en esta investigación se utilizó la prueba de chi-cuadrado. Los datos obtenidos fueron sistematizados e interpretados utilizando el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), una herramienta estadística que facilita el análisis de datos en las ciencias sociales. Los resultados se presentaron de manera gráfica para hacerlos más comprensibles y accesibles.

Finalmente, se revisaron las políticas públicas existentes, se desarrollarán planes de contingencia específicos, para el planteamiento de la propuesta de medidas de mitigación y adaptación en el sector social productivo.

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados

El análisis de los datos recopilados a través de la encuesta aplicada a las familias de San Agustín de Callo se observa lo siguiente.

01. Caracterizar las amenazas volcánicas, lahares y caída de ceniza flujos piroclásticos del volcán Cotopaxi en la comunidad San Agustín de Callo

4.1.1. Género

Según los análisis realizados, el 60% de los encuestados de las familias de San Agustín de Callo son hombres y el 40% son mujeres, como se detalla en la (tabla 3 y figura 6).

Tabla 3

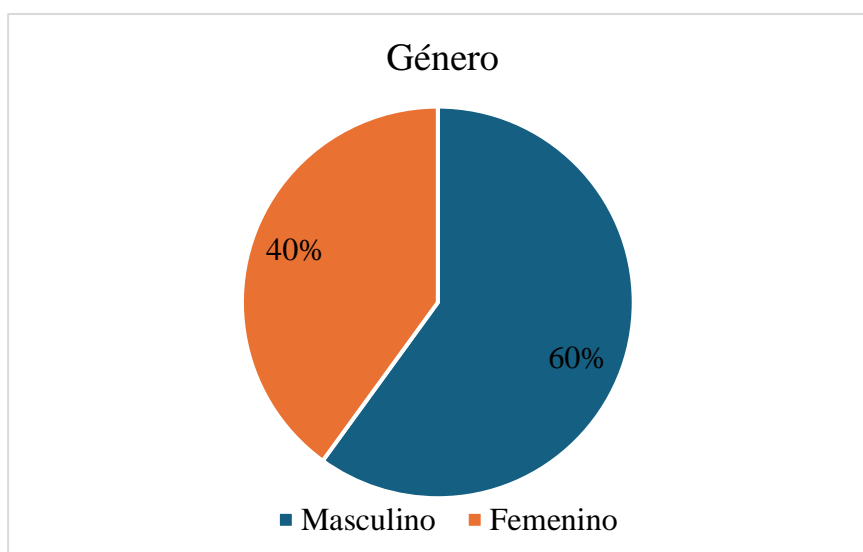
Género de las familias San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi

Género	Frecuencia	Porcentaje (%)
Masculino	219	60
Femenino	146	40
Total	365	100

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Figura 6

Género de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi



4.1.2. Etnia

La tabla 4 muestra la composición étnica de las familias encuestadas en la comunidad de San Agustín de Callo, de acuerdo con los datos obtenidos: El 68% de los encuestados se identifican como mestizos, lo que representa la mayoría de la población. El 22% corresponde a personas que se autodenominan indígenas, reflejando la importancia de las comunidades originarias en la zona de estudio. Finalmente, el 10% se identifican como blancos, constituyéndose un grupo minoritario (figura 7).

El análisis de la composición étnica permite comprender la diversidad cultural de la comunidad de San Agustín de Callo y cómo los diferentes grupos étnicos pueden verse afectados de manera distinta por los impactos socioeconómicos de eventos como la caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Tabla 4

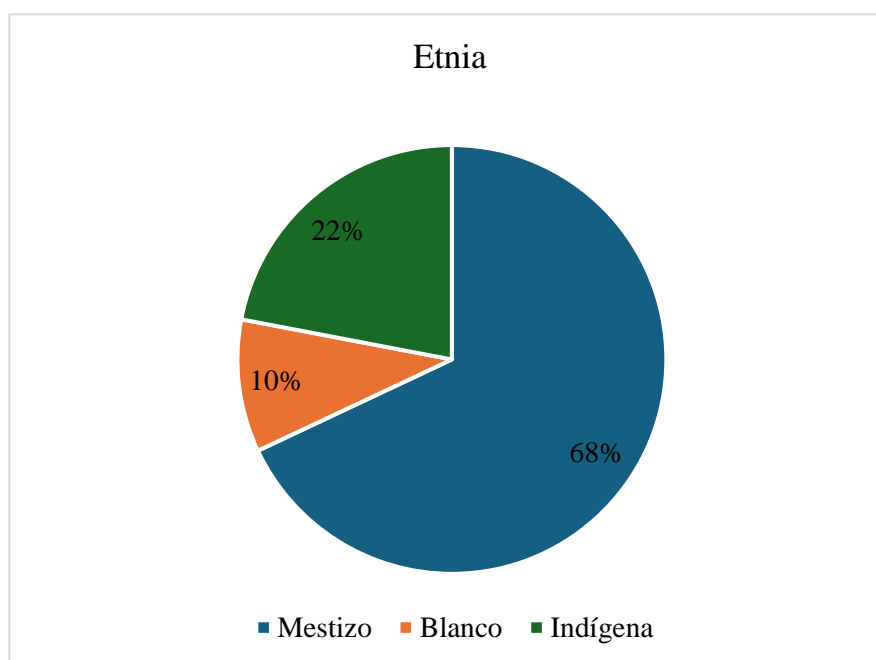
Etnia familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Etnia	Frecuencia	Porcentaje (%)
Mestizo	248	68,0
Blanco	37	10,0
Indígena	80	22,0
Total	365	100,0

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Figura 7

Etnia de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi



4.1.3. Procesos de capacitación

Los habitantes de la comunidad de San Agustín de Callo mencionan que el 100% de los habitantes ha participado en procesos de capacitación, los resultados de la encuesta indican haber recibido temáticas sobre análisis de amenazas y riesgos, de autoprotección, identificación de zonas seguras, rutas de evacuación y puntos de encuentro. Además, socialización de albergues, y el funcionamiento de los sistemas de alerta.

Según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SGR, 2022), más de 300 familias que residen en las faldas del volcán Cotopaxi, específicamente en la comunidad de San Agustín de Callo, parroquia Mulaló, cantón Latacunga, participaron en un proceso de capacitación impartido por la SGR. Estas jornadas estuvieron enfocadas en la autoprotección y la gestión de amenazas volcánicas, fortaleciendo la preparación de la comunidad.

4.1.4. Peligros asociados a una posible erupción del volcán Cotopaxi

De acuerdo con los resultados obtenidos, el conocimiento de los peligros asociados a una posible erupción del volcán Cotopaxi en la zona de San Agustín de Callo muestra que la mayoría de las personas encuestadas identifican la caída de ceniza como el principal riesgo (39 %), Esto es indiscutible, ya que la ceniza volcánica tiene efectos visibles y directos en la vida cotidiana de los habitantes, causando problemas respiratorios, daños a cultivos y afectación a infraestructuras.

Otro peligro importante identificado por los habitantes son los flujos piroclásticos (30 %) y la caída de lahares (25 %), fenómenos extremadamente peligrosos debido a su velocidad y poder destructivo, mientras que el 6 % menciona otros peligros como deslizamientos de tierra, problemas respiratorios y daños a la infraestructura., como se observa en la tabla 5 y figura 8.

Tabla 5.

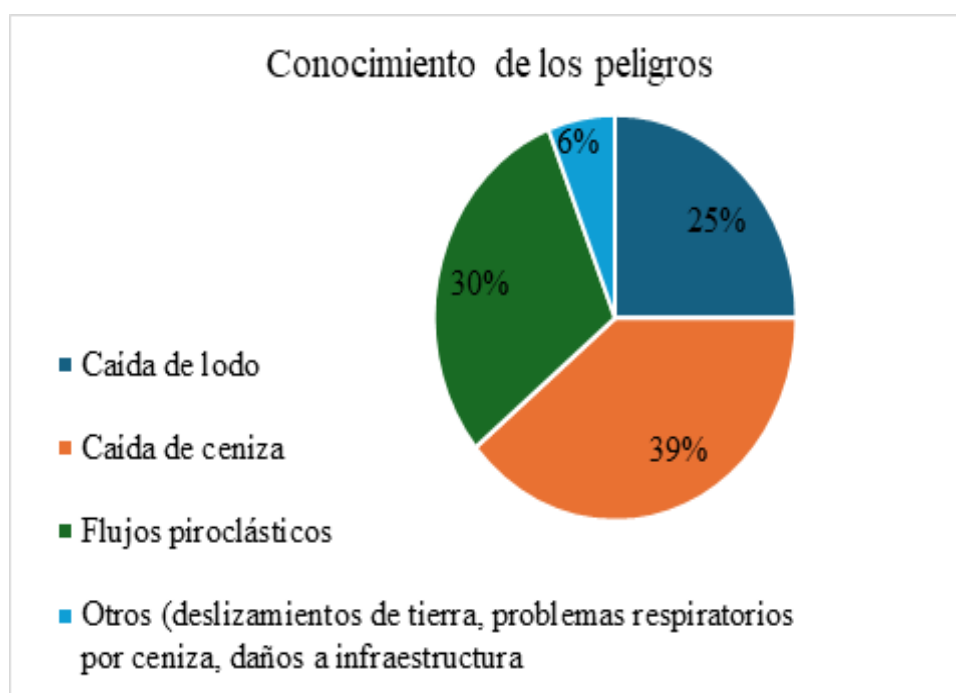
Conocimiento de los peligros asociados a una posible erupción de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Conocimiento de los peligros	Porcentaje (%)
Caída de lahares	25%
Caída de ceniza	39%
Flujos piroclásticos	30%
Otros (deslizamientos de tierra, problemas respiratorios por ceniza, daños a infraestructura)	6%
Total	100%

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Figura 8

Conocimiento de los peligros de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi



4.1.5. Tipo de apoyo más necesario para su comunidad ante una posible erupción del volcán Cotopaxi.

La tabla 6 presenta el tipo de apoyo más necesario para las familias de San Agustín de Calle, el apoyo relacionado con la agricultura y ganadería es el más demandado por las familias de San Agustín de Callo, con el 71,1% priorizando ayudas en estas áreas, lo que refleja su dependencia en estas actividades como principal fuente de subsistencia. Por otro lado, el 18,4% de las familias solicita exclusivamente apoyo económico, evidenciando la necesidad de recursos económicos para enfrentar daños o pérdidas ocasionadas por el impacto volcánico. El 7,9% manifiesta la necesidad de un apoyo combinado en términos económicos, agrícolas y ganaderos, lo que indica una dependencia múltiple y la búsqueda de soluciones integrales. Finalmente, un 2,6% menciona otras necesidades, probablemente relacionadas con educación, salud o infraestructura (figura 9).

Tabla 6.

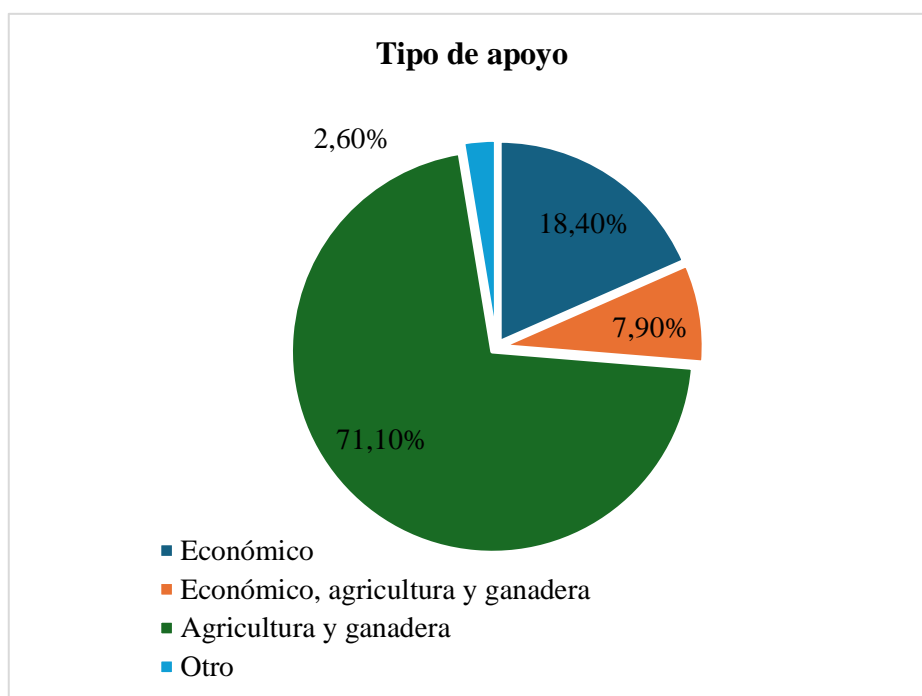
Tipo de apoyo solicitado por las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Tipo de vivienda	Frecuencia	Porcentaje (%)
Económico	67	18,4
Económico, agricultura y ganadera	29	7,9
Agricultura y ganadera	260	71,1
Otro	9	2,6
Total	365	100,0

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Figura 9

Tipo de apoyo para las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.



O2. Determinar niveles de impacto y exposición en los componentes sociales y productivos la comunidad San Agustín de Callo

4.1.6. Nivel de educación

La Tabla 7 presenta la distribución del nivel educativo de las familias encuestadas en la comunidad de San Agustín de Callo, los datos obtenidos muestran que el 54% de los encuestados posee un nivel de educación secundaria, constituyendo la mayoría en la población analizada. El 31% cuenta con educación primaria. El 9% de las familias no tiene educación formal. Finalmente, el 6% ha alcanzado estudios de nivel superior, destacando la necesidad de fortalecer la formación académica en la zona (figura).

Estos resultados muestran la importancia del nivel educativo al momento de diseñar estrategias de mitigación, porque este factor influye en la capacidad de las familias para enfrentar situaciones de riesgo. Un mayor nivel educativo facilita la comprensión de información técnica sobre el evento, mejora el acceso a programas de ayuda y asistencia, y favorece la adopción de medidas preventivas. En contraste, un menor nivel educativo puede dificultar la interpretación de datos clave y limitar las posibilidades de respuesta frente a una emergencia.

Tabla 7.

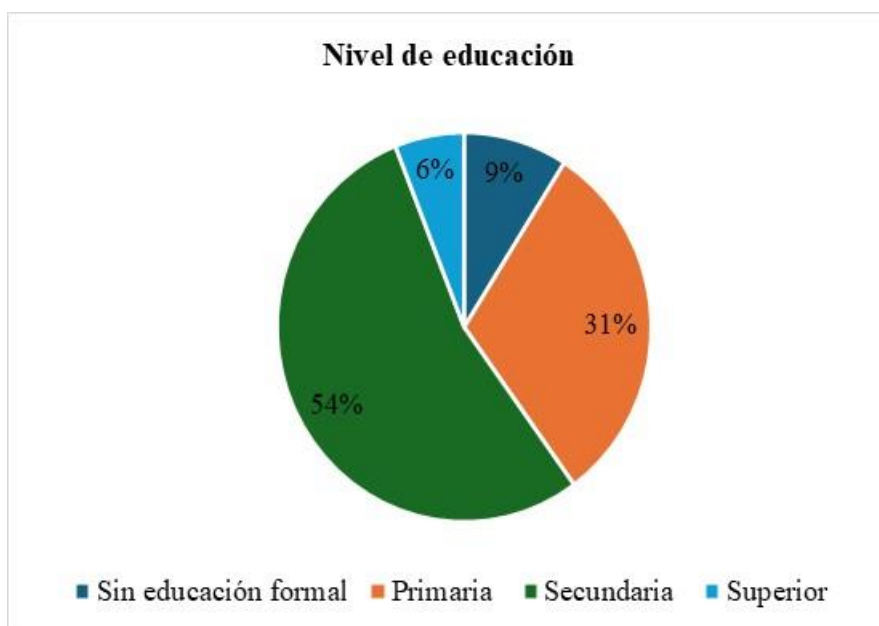
Nivel de educación de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Nivel de educación	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sin educación formal	33	9,0
Primaria	113	31,0
Secundaria	197	54,0
Superior	22	6,0
Total	365	100,0

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Figura 10

Nivel de educación de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.



4.1.7. Ocupación y tiempo de estadía

La tabla 8 detalla las principales ocupaciones de las familias encuestadas en la comunidad de San Agustín de Callo, de acuerdo con los resultados, el 50% de las familias se dedica a la agricultura, el 30% está vinculado a la ganadería, en forma conjunta estas actividades representan el 80% de las ocupaciones, destacando su importancia en la economía local. Mientras que el 11% trabaja en el comercio, finalmente, el 9% de los encuestados son empleados en los sectores público o privado (figura 11).

Estos resultados evidencian la dependencia de las familias de las actividades agrícolas y ganaderas, las cuales son especialmente vulnerables, ya que las familias dedicadas a estas actividades tienen dificultades para generar ingresos económicos suficientes para satisfacer sus necesidades básicas, especialmente en tiempos de crisis.

Tabla 8.

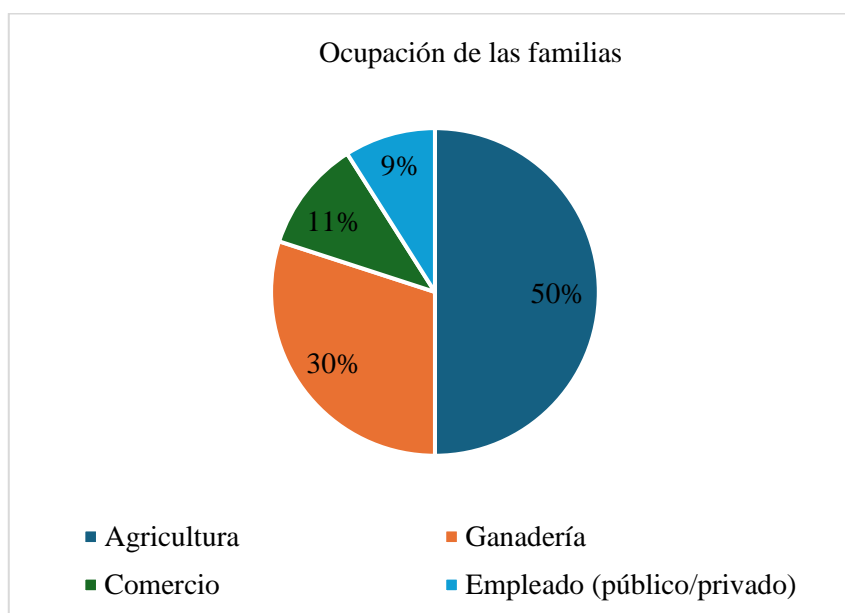
Ocupación de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Ocupación de las familias	Frecuencia	Porcentaje (%)
Agricultura	183	50,0
Ganadería	110	30,0
Comercio	40	11,0
Empleado (público/privado)	33	9,0
Total	365	100,0

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Figura 11

Ocupación de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.



4.1.8. Generación de recursos económicos

La tabla 9 presenta los resultados de los ingresos económicos mensuales de las familias de San Agustín de Callo, estos ingresos se han categorizado en tres rangos: menos de 400 dólares, entre 401 y 800 dólares, y de 801 a 1200 dólares.

La mayoría de las familias de la comunidad (63%) tienen ingresos mensuales inferiores a 400 dólares, lo que podría limitar su capacidad preparación y respuesta ante desastres naturales. El 33% de las familias percibe entre 401 y 800 dólares al mes, mientras que en el rango de 801 a 1200 dólares solo el 4% de las familias cuenta con este nivel de ingresos, siendo la minoría en la comunidad de San Agustín de Callo.

Tabla 9.

Ingresos económicos de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Ingresos	Frecuencia	Porcentaje (%)
Menos de 400 dólares	230	63,0
Entre 401 y 800 dólares	120	33,0
De 801 a 1200 dólares	15	4,0
Total	365	100,0

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

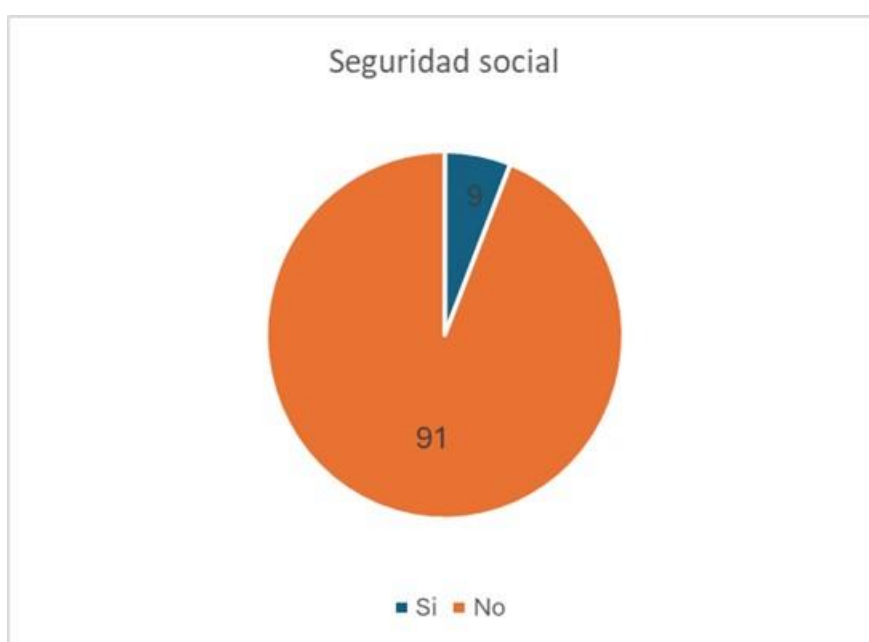
El análisis de las tablas 7 y 8, muestra que el 50 % de las familias se dedica a la agricultura y el 30 % a la ganadería, por lo que sus ingresos son menores a 400 dólares. Por otro lado, los comerciantes (11 %) y empleados públicos o privados (9 %) tienen una mayor estabilidad económica, por lo que el rango de sus ingresos está entre 401 y 800 dólares (33 %) o incluso en el segmento de 801 a 1200 dólares (4 %), ya que sus ingresos suelen ser más regulares y menos dependientes de factores externos como el clima o las condiciones del suelo.

4.1.9. Acceso a seguridad social

El 91% de las familias de San Agustín de Callo carece de acceso a seguridad social, mientras que el 9% señala contar con este beneficio social (figura 12).

Figura 12

Ingreso a seguridad social de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.



4.1.10. Acceso a vivienda

La tabla 10 describe el acceso de vivienda de las familias de San Agustín de Callo, el 82% de las familias cuenta con vivienda propia. Sin embargo, en contextos de desastre, estas familias podrían enfrentar pérdidas materiales significativas si sus viviendas no están adaptadas para resistir los efectos de lahares o ceniza volcánica. Por otro lado, el 14% de las viviendas de las familias son de herencia, lo que podría estar asociado con estructuras más antiguas y posiblemente menos preparadas para resistir desastres naturales (figura 13).

Tabla 10.

Acceso a vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

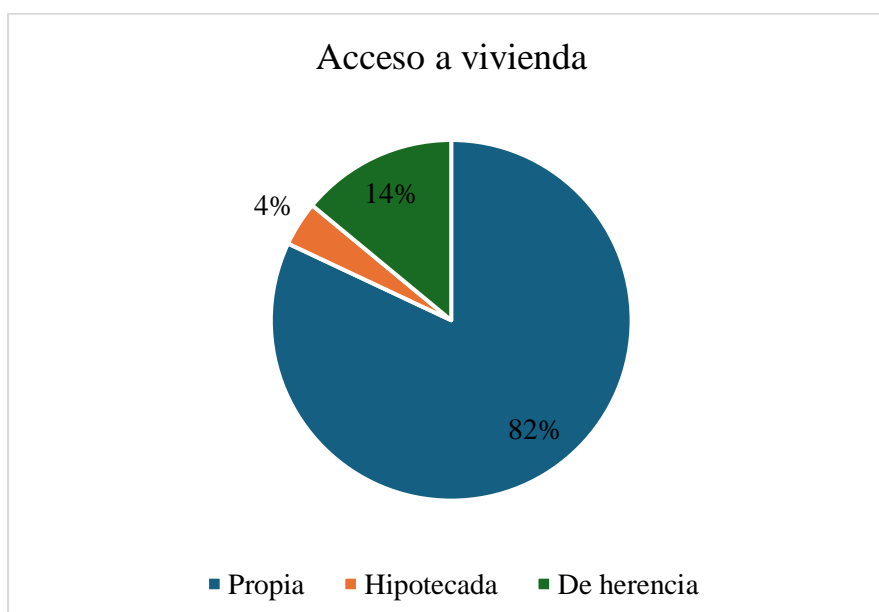
Acceso a vivienda	Frecuencia	Porcentaje (%)
Propia	299	82,0
Hipotecada	15	4,0
De herencia	51	14,0
Total	365	100,0

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Finalmente, el 4% de las viviendas de las familias están hipotecadas, representando una proporción pequeña dentro de la comunidad.


Figura 13

Acceso a vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.



4.1.11. Tipo de vivienda

En San Agustín de Callo, es una comunidad ubicada en la provincia de Cotopaxi, Ecuador, donde existen varios tipos de vivienda que reflejan la diversidad cultural y socioeconómica. A continuación, se detallan algunos de los tipos de vivienda más comunes:

Tipos de Vivienda	Imagen
<p>La mediagua es un tipo de vivienda común en áreas rurales de Ecuador, como en San Agustín de Callo. Se caracteriza por ser una construcción sencilla, generalmente de materiales como adobe, madera, caña, zinc o paja. La estructura suele ser de una sola habitación, aunque algunas pueden tener un pequeño anexo para almacenamiento o espacio para los animales. El techo de zinc o paja ofrece algo de protección, pero estas viviendas no están bien aisladas y pueden carecer de servicios básicos como agua corriente y electricidad.</p>	 A photograph of a traditional thatched-roof hut (mediagua) in a rural setting. The structure is built with dark, textured walls, possibly made of adobe or woven materials. The roof is steeply pitched and covered in thick, brown thatch. A blue barrel is visible next to the hut. The background shows green trees and a clear sky.

El **rancho** es otro tipo de vivienda rural muy común en San Agustín de Callo. Se construye con materiales más duraderos que la mediagua, como madera, ladrillo o adobe, y su techo generalmente es de zinc o teja, con varias habitaciones y espacios para vivir, trabajar y almacenar productos agrícolas. Las paredes de este tipo de vivienda son más resistentes que las de la mediagua, proporcionando una mayor protección contra el clima. Sin embargo, aún puede carecer de algunos servicios básicos.



La **choza** o **cabaña** es una vivienda tradicional que se encuentra en zonas rurales y se construye con materiales locales y naturales. Las chozas en San Agustín de Callo pueden estar hechas de caña, barro, paja o madera, con techos de palma o paja. Son viviendas sencillas, pero adaptadas al clima de la región, ofreciendo una buena ventilación natural. Las cabañas o chozas suelen tener una o dos habitaciones y se utilizan tanto



<p>para vivir como para almacenar productos agrícolas.</p>	
<p>La casa independiente es un tipo de vivienda más común en áreas urbanas o semiurbanas de San Agustín de Callo. A diferencia de las viviendas anteriores, las casas independientes son estructuras más grandes y robustas, construidas generalmente con ladrillo, cemento o bloques, y con techos de teja o zinc. Estas viviendas están diseñadas para ofrecer más comodidad y privacidad a las familias, y suelen tener varias habitaciones, baños, cocina, y en muchos casos, acceso a servicios básicos como electricidad, agua potable y alcantarillado. Las casas independientes son típicas de las familias que tienen mayores recursos o que se encuentran en un proceso de urbanización. También son más duraderas y funcionales para el día a día de las familias.</p>	

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Las viviendas en San Agustín de Callo reflejan las diferentes condiciones socioeconómicas y geográficas de la región. Las mediaguas y chozas son comunes en las zonas rurales, mientras

que las casas independientes son más frecuentes en áreas semiurbanas o urbanizadas. Cada tipo de vivienda se adapta a las necesidades y recursos de las familias, y su construcción depende en gran medida de los materiales disponibles en la región.

La tabla 11 muestra el tipo de vivienda de las familias de San Agustín de Callo, proporcionando una orientación de las condiciones habitacionales de esta comunidad y su posible vulnerabilidad ante lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

El 55% de las familias viven en mediaguas, que son estructuras temporales o de construcción básica. Estas viviendas son generalmente menos resistentes a los efectos de fenómenos volcánicos, como la caída de ceniza o el impacto de lahares. El 29% de las familias habita en casas independientes, que ofrecen mayor resistencia dependiendo de los materiales y el diseño de construcción. Los ranchos, al igual que las mediaguas, suelen estar contruidos con materiales rudimentarios, lo que los hace susceptibles a daños significativos durante un desastre natural, estos representan el 9%. Finalmente, el 7% de las familias vive en chozas o cabañas, contruidos con materiales naturales como madera o paja, lo que también implica una alta vulnerabilidad frente a riesgos volcánico (figura 14).

Tabla 11.

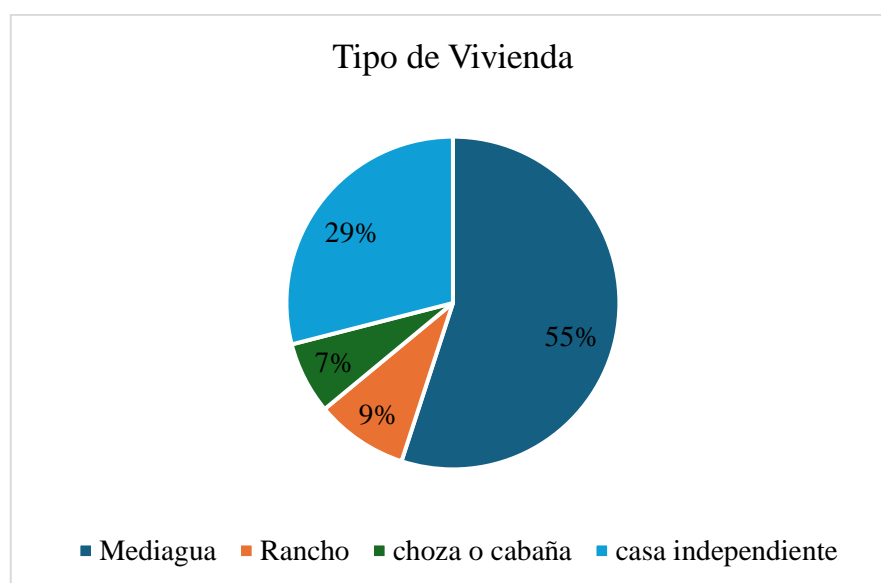
Tipo de vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Tipo de vivienda	Frecuencia	Porcentaje (%)
Mediagua	201	55,0
Rancho	33	9,0
choza o cabaña	26	7,0
casa independiente	106	29,0
Total	365	100,0

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Figura 14

Tipo de vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.



4.1.12. Estado de la vivienda

En la provincia de Cotopaxi, la calificación del estado de las viviendas según riesgos y desastres se realiza en el marco de la evaluación de riesgos naturales, como terremotos, lahares, caída de ceniza de los volcanes (como el Cotopaxi), inundaciones, deslizamientos de tierra y otros fenómenos climáticos. Esta calificación tiene como objetivo identificar las vulnerabilidades de las viviendas para priorizar las intervenciones y mejorar la seguridad de los habitantes.

La clasificación de las viviendas en **Buen Estado**, **Aceptable**, **Regular** y **Malo** se realiza según una serie de criterios y evaluaciones, que incluyen la resistencia estructural, la ubicación, los materiales de construcción, y la capacidad de la vivienda para soportar eventos adversos. A continuación, se detallan los factores clave que se consideran para esta calificación:

- Las **viviendas en buen estado** están construidas con materiales resistentes, como cemento o ladrillo, y cumplen con normativas de seguridad sísmica o volcánica. No presentan daños visibles y cuentan con servicios básicos adecuados.
- Las **viviendas en aceptable estado** son funcionales, pero pueden tener daños menores como grietas o fisuras. Requieren reparaciones menores o mantenimiento, aunque los servicios básicos están presentes.
- Las **viviendas en regular estado** presentan daños significativos, como grietas grandes o filtraciones, y requieren atención urgente para evitar riesgos en caso de desastres naturales.
- Las **viviendas en mal estado** tienen daños graves, como grietas grandes o techos colapsados, y están construidas con materiales deteriorados. Son altamente vulnerables y necesitan intervención inmediata.

La tabla 12 analiza el estado de las viviendas de las familias de San Agustín de Callo, los resultados muestran diferencias en su capacidad de resistencia ante eventos volcánicos. Solo el

21% de las viviendas se encuentra en buen estado, lo que representa una minoría con infraestructura óptima para soportar los efectos de un desastre natural. El 40% de las viviendas está en condiciones aceptables, lo que significa que, aunque no son ideales, podrían resistir parcialmente los impactos, dependiendo de factores como su exposición y diseño. Por otro lado, el 38% de las viviendas se clasifica en condiciones regulares, lo que evidencia una notable vulnerabilidad, ya que estas estructuras podrían sufrir daños significativos frente a fenómenos intensos. Finalmente, el 1% de las viviendas está en mal estado, lo que indica un alto riesgo de colapso o daño severo ante cualquier impacto relacionado con la actividad volcánica del Cotopaxi u otro fenómeno natural (figura 15).

Tabla 12.

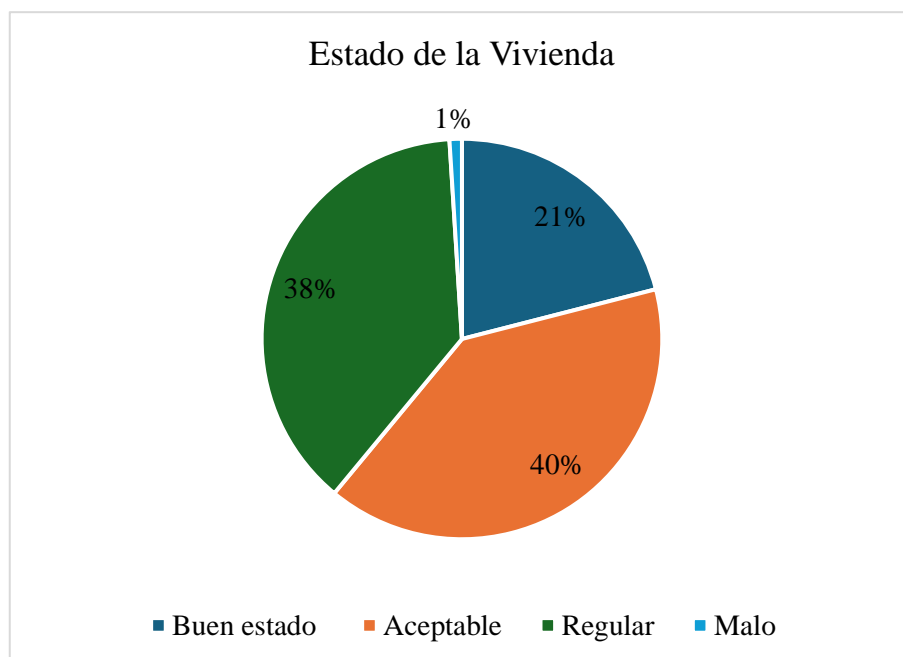
Estado de la vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Tipo de vivienda	Frecuencia	Porcentaje (%)
Buen estado	77	21,0
Aceptable	146	40,0
Regular	139	38,0
Malo	4	1,0
Total	365	100,0

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Figura 15

Estado de la vivienda de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.



4.1.13. Pérdidas económicas

Los resultados muestran los tipos de pérdidas económicas sufridas por las familias de San Agustín de Callo debido a la actividad volcánica del Cotopaxi en la tabla 13. La pérdida de cultivos combinada con daños en la infraestructura es la más frecuente (27,18%), seguida de las pérdidas exclusivamente en infraestructura (18,45%) y la pérdida solo de cultivos (24,27%). Otros impactos incluyen la reducción en los ingresos económicos (13,59%) y combinaciones de múltiples factores, como la pérdida de cultivos junto con reducción de ingresos (3,88%) o pérdida de animales e infraestructura (3,88%) (tabla 13 y figura 16).

Estos datos destacan por su impacto predominante en la agricultura e infraestructura, lo que resalta la necesidad de estrategias integrales de recuperación económica y protección de bienes en la comunidad.

Tabla 13.

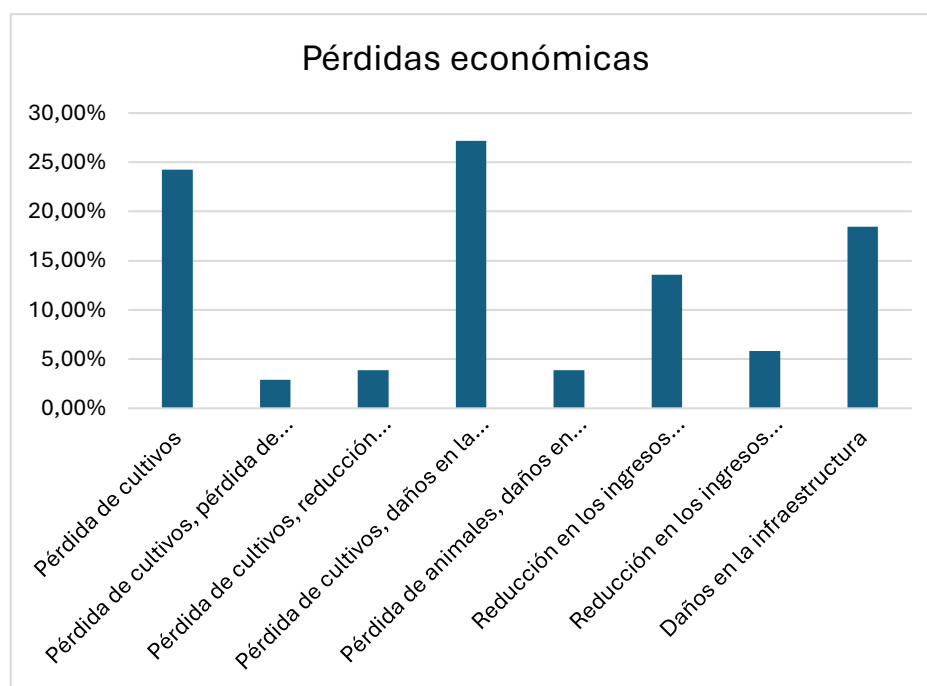
Pérdidas económicas en erupciones volcánicas de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Pérdidas económicas	Frecuencia	Porcentaje (%)
Pérdida de cultivos	89	24,27
Pérdida de cultivos, pérdida de animales	11	2,91
Pérdida de cultivos, reducción en los ingresos económicos	14	3,88
Pérdida de cultivos, daños en la infraestructura	99	27,18
Pérdida de animales, daños en la infraestructura	14	3,88
Reducción en los ingresos económicos	50	13,59
Reducción en los ingresos económicos, daños en la infraestructura	21	5,84
Daños en la infraestructura	67	18,45
Total	365	100

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Figura 16

Pérdidas económicas en erupciones volcánicas de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.



4.1.14. Valor aproximado de las pérdidas económicas

La tabla 14 presenta el valor aproximado de las pérdidas económicas estimadas por las familias de San Agustín de Callo ante los efectos de lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi. Los datos reflejan variabilidad en las pérdidas económicas, desde montos pequeños hasta valores significativos, lo que evidencia diferencias en el impacto económico según las características de las viviendas, los bienes afectados y las condiciones socioeconómicas.

El 35,92% de las familias reporta pérdidas cercanas a los 1.000 dólares, constituyendo el grupo más numeroso. Otro 14,56% estima pérdidas de aproximadamente 1.500 dólares, estos dos rangos concentran casi el 51% de las afectaciones reportadas. Las familias con pérdidas menores a 1.000 dólares representan un 30,09%, siendo casos con menor nivel de impacto económico. Las

familias con pérdidas superiores a los 2.000 dólares constituyen un 8,74%. Finalmente, el 0,97% de las familias reporta pérdidas de 5.000 dólares, representando los casos más críticos dentro de la muestra.

Tabla 14.

Valor aproximado de las pérdidas económicas de las familias de San Agustín de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Valor económico	Frecuencia	Porcentaje
100	11	2,91
460	11	2,91
500	18	4,85
600	21	5,83
650	7	1,94
750	4	0,97
800	21	5,83
850	7	1,94
900	18	4,85
1000	131	35,92
1200	4	0,97
1500	53	14,56
1800	4	0,97
2000	32	8,74
2200	4	0,97
2500	18	4,85
5000	4	0,97
Total	365	100,00

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Con base a los resultados, se confirma la hipótesis alterna: Los lahares y la caída de ceniza del Cotopaxi han causado impactos socioeconómicos negativos en San Agustín de Callo. Debido a que las pérdidas económicas ocasionadas por el volcán Cotopaxi han afectado la comunidad de San Agustín de Callo. El 27,18% de las familias ha reportado pérdidas tanto en cultivos como en infraestructura, mientras que un 24,27% ha sufrido afectaciones exclusivamente en cultivos. Además, el 18,45% de los hogares ha experimentado daños en su infraestructura. En términos de ingresos económicos, el 13,59% de las familias reportaron reducción en los mismos.

En cuanto a la evaluación de las pérdidas económicas, los datos muestran que el 35,92% de las familias ha reportado pérdidas de hasta \$1,000, mientras que un 14,56% ha registrado pérdidas aproximadas de \$1,500. En casos más extremos, un pequeño porcentaje de la población, 0,97%, ha indicado pérdidas de hasta \$5,000. Por otro lado, la relación entre ingresos y ocupación demuestra que la comunidad enfrenta un alto nivel de vulnerabilidad. El 63% de las familias cuenta con ingresos inferiores a \$400, lo que limita su capacidad de recuperación ante desastres naturales. Además, la economía local depende en gran medida de actividades altamente susceptibles a la actividad volcánica, ya que el 50% de la población se dedica a la agricultura y un 30% a la ganadería. Estos sectores son particularmente frágiles frente a la caída de ceniza y los lahares, lo que acentúa aún más el impacto socioeconómico en la comunidad.

La tabla 15 muestra la relación entre las variables sociales, económicas y estructurales de la comunidad San Agustín de Callo. Este análisis permite identificar pautas significativas que influyen en la vulnerabilidad y capacidad de respuesta ante los riesgos volcánicos. Por ejemplo, se examinan conexiones entre niveles de educación, ocupación, ingresos económicos y el estado de la vivienda, así como su impacto en la disposición a evacuar y las pérdidas sufridas. Estos resultados son clave para diseñar estrategias enfocadas en fortalecer la resiliencia de la comunidad frente a desastres.

Tabla 15.

Análisis de correlación.

Correlación de Spearman		V3. Etnia	V4. Educación	V5. Ocupación y tipo de residencia	V7. Volcán riesgo para la comunidad	10. Dinero mensual	V11. Afiliado IESS	V12. Características Vivienda	V13. Tipo de vivienda	V14. Estado de la vivienda	V15. Pérdidas económicas	V16. Valor - pérdidas económicas	V21. Evacuatiene-donde- quedarse	V23. Tipo de Apoyo	V24. Estar a dispuesto evacuar
V3. Etnia	Coefficiente de correlación		-0,226*	-0,200*	-0,119	-0,037	-0,025	-0,016	-0,096	0,250*	-0,133	0,089	0,068	0,104	0,069
	Sig. (bilateral)		0,024	0,046	0,239	0,714	0,806	0,875	0,341	0,012	0,209	0,377	0,502	0,536	0,493
V4. Educación	Coefficiente de correlación	-0,22*		0,421**	0,087	0,187	0,094	-0,127	-0,056	-0,174	0,205	-0,002	-0,066	-0,080	0,093
	Sig. (bilateral)	0,02		0,000	0,391	0,062	0,353	0,207	0,580	0,084	0,052	0,982	0,516	0,634	0,355
V5. Ocupación y tipo de residencia	Coefficiente de correlación	-0,20*	0,421**		,212*	0,315**	-0,113	-0,193	0,149	-0,267**	0,536**	0,103	-0,134	-0,367*	0,136
	Sig. (bilateral)	0,04	0,000		0,034	0,001	0,265	0,055	0,139	0,007	0,000	0,306	0,183	0,024	0,178
V7. Volcán riesgo para la comunidad	Coefficiente de correlación	-0,11	0,087	0,212*		0,213*	-0,449**	0,049	0,069	-0,258**	0,169	-0,028	0,018	-0,140	-0,025
	Sig. (bilateral)	0,23	0,391	0,034		0,034	0,000	0,631	0,496	0,010	0,108	0,781	0,861	0,403	0,804
V10. Dinero mensual	Coefficiente de correlación	-0,03	0,187	0,315**	0,213*		-0,306**	-0,098	0,397**	-0,476**	0,324**	0,013	-0,198*	-0,599**	0,086
	Sig. (bilateral)	0,71	0,062	0,001	0,034		0,002	0,333	0,000	0,000	0,002	0,895	0,049	0,000	0,393
V11. Afiliado IESS	Coefficiente de correlación	-0,02	0,094	-0,113	-,449**	-,306**		0,118	-0,128	0,180	-0,074	0,095	-0,025	0,601**	0,036
	Sig. (bilateral)	0,80	0,353	0,265	0,000	0,002		0,242	0,204	0,074	0,489	0,346	0,802	0,000	0,721
V12. Características Vivienda	Coefficiente de correlación	-0,01	-0,127	-0,193	0,049	-0,098	0,118		0,036	-0,066	-0,100	0,123	0,047	0,348*	-0,067
	Sig. (bilateral)	0,87	0,207	0,055	0,631	0,333	0,242		0,723	0,511	0,344	0,224	0,643	0,032	0,510

V13. Tipo de vivienda	Coeficiente de correlación	-0,09	-0,056	0,149	0,069	0,397**	-0,128	0,036		-0,370**	0,230*	-0,028	-0,137	-0,272	0,036
	Sig. (bilateral)	0,34	0,580	0,139	0,496	0,000	0,204	0,723		0,000	0,028	0,779	0,173	0,098	0,724
V14. Estado de la vivienda	Coeficiente de correlación	0,250*	-0,174	-0,267**	-0,258**	-0,476**	0,180	-0,066	-0,370**		-0,286**	-0,031	0,147	0,303	-0,129
	Sig. (bilateral)	0,01	0,084	0,007	0,010	0,000	0,074	0,511	0,000		0,006	0,757	0,144	0,064	0,203
V15. Pérdidas económicas	Coeficiente de correlación	-0,13	0,205	0,536**	0,169	0,324**	-0,074	-0,100	0,230*	-0,286**		-0,059	-0,150	-0,496**	0,157
	Sig. (bilateral)	0,20	0,052	0,000	0,108	0,002	0,489	0,344	0,028	0,006		0,580	0,155	0,002	0,138
V16. Valor - pérdidas económicas	Coeficiente de correlación	0,08	-0,002	0,103	-0,028	0,013	0,095	0,123	-0,028	-0,031	-0,059		0,005	0,590**	-0,008
	Sig. (bilateral)	0,37	0,982	0,306	0,781	0,895	0,346	0,224	0,779	0,757	0,580		0,958	0,000	0,940
V21. Evacuar- tiene-donde- quedarse	Coeficiente de correlación	0,06	-0,066	-0,134	0,018	-0,198*	-0,025	0,047	-0,137	0,147	-0,150	0,005		0,292	-,704**
	Sig. (bilateral)	0,50	0,516	0,183	0,861	0,049	0,802	0,643	0,173	0,144	0,155	0,958		0,076	0,000
V23. Tipo de Apoyo	Coeficiente de correlación	0,10	-0,080	-0,367*	-0,140	-0,599**	0,601**	0,348*	-0,272	0,303	-0,496**	0,590**	0,292		-0,148
	Sig. (bilateral)	0,53	0,634	0,024	0,403	0,000	0,000	0,032	0,098	0,064	0,002	0,000	0,076		0,374
V24. Estaría dispuesto evacuar	Coeficiente de correlación	0,06	0,093	0,136	-0,025	0,086	0,036	-0,067	0,036	-0,129	0,157	-0,008	-0,704**	-0,148	
	Sig. (bilateral)	0,493	0,355	0,178	0,804	0,393	0,721	0,510	0,724	0,203	0,138	0,940	0,000	0,374	

*La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Educación y Ocupación: Existe una correlación positiva moderada y estadísticamente significativa ($r = 0.421$, $p < 0.001$) entre la educación y la ocupación/tipo de residencia. Esto sugiere que, a mayor nivel educativo, existe una tendencia a tener una ocupación más estable o una mejor tipología de residencia. La relación indica que la educación puede ser un factor determinante en la movilidad social y las condiciones laborales de la población estudiada.

Ocupación y Pérdidas Económicas: Se observa una correlación positiva fuerte ($r = 0.536$, $p < 0.001$) entre la ocupación/tipo de residencia y las pérdidas económicas. Este señala que ciertos tipos de ocupación pueden estar más expuestos a riesgos económicos o que la naturaleza de la ocupación influye directamente en la vulnerabilidad económica de los individuos.

Dinero Mensual y Variables Sociales: El ingreso mensual muestra correlaciones importantes. Existe una correlación positiva moderada con el tipo de vivienda ($r = 0.397$, $p < 0.001$), lo que indica que mayores ingresos se asocian con mejores condiciones de vivienda. Asimismo, hay una correlación negativa significativa con el estado de la vivienda ($r = -0.476$, $p < 0.001$) y con el tipo de apoyo requerido ($r = -0.599$, $p < 0.001$), indicando que ingresos menores se relacionan con condiciones habitacionales poco adecuadas y mayor necesidad de apoyo.

Disposición a Evacuación: La variable más significativamente relacionada con la evacuación, muestra una fuerte inclinación negativa ($r = -0.704$, $p < 0.001$) con la disposición a evacuar. Esto sugiere que la disponibilidad de un lugar alternativo durante una evacuación es crucial para la decisión de los individuos de abandonar su zona de riesgo.

Etnia y Variables Sociales: La etnia muestra correlaciones débiles pero significativas con educación ($r = -0.226$, $p = 0.024$), ocupación ($r = -0.200$, $p = 0.046$), y el estado de la vivienda ($r = 0.250$, $p = 0.012$), lo que podría indicar la existencia de desigualdades sociales basadas en características étnicas.

4.1.15. Preparación ante una posible erupción del volcán Cotopaxi

La tabla 16 presenta los resultados del nivel de preparación ante una posible erupción del volcán Cotopaxi de las familias de San Agustín de Callo. El análisis indica que el 97% de las familias encuestadas se consideran “algo preparadas” para enfrentar una erupción volcánica. Esto sugiere un alto nivel de conciencia sobre el riesgo que representa el volcán Cotopaxi para la comunidad. A pesar del alto porcentaje de familias que se consideran preparadas, el 3% aún se considera “medianamente preparado”. Esto indica que existe un margen de mejoramiento en términos de preparación de la comunidad (figura 17).

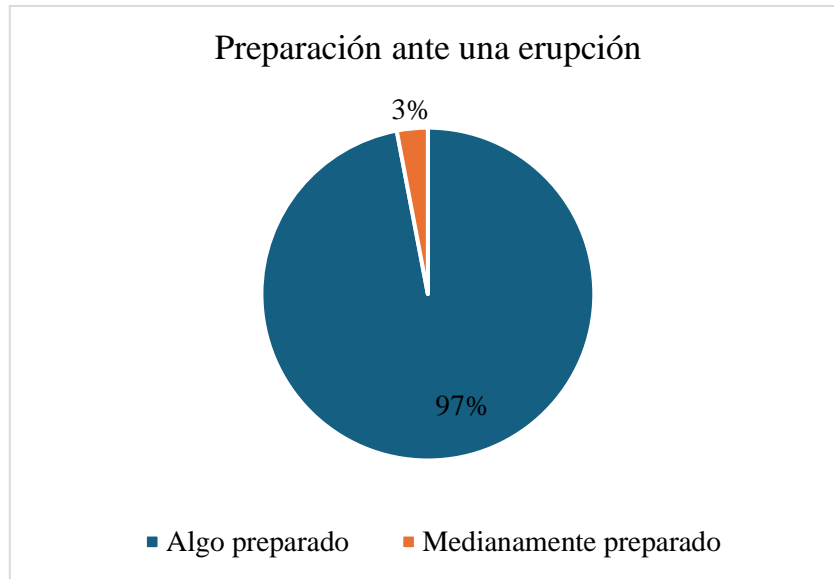
Tabla 16.

Preparación ante una posible erupción de las familias de San Agustín -de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.

Preparación de la comunidad frente al riesgo de erupción	Frecuencia	Porcentaje (%)
Algo preparado	354	97,0
Medianamente preparado	11	3,0
Total	365	100,0

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Preparación ante una posible erupción de las familias de San Agustín -de Callo para la evaluación del impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza del volcán Cotopaxi.



4.1.16. Plan de emergencia

De acuerdo con los resultados las familias de San Agustín de Callo se encuentran preparadas para enfrentar una emergencia volcánica, ya que el 100% de las familias aseguró contar con un plan de emergencia. Este hallazgo es importante porque demuestra el compromiso de la comunidad con la seguridad de sus habitantes.

4.1.17. Ha participado en algún simulacro de evacuación

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 100% de las familias de San Agustín de Callo afirmaron haber participado de simulacros de evacuación.

4.1.18. Tiene un plan familiar para actuar en caso de erupción

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 100% de las familias de San Agustín de Callo indicaron que no cuentan con un plan familiar para actuar en caso de erupción.

4.1.19. Cuenta con un kit de emergencia en casa

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 100% de las familias de San Agustín de Callo indicaron que no cuentan con un kit de emergencia en casa.

4.1.20. Si tuvieras que evacuar, dispones de un lugar donde quedarse

El 99% de las familias de las familias de San Agustín de Callo indicó no disponer de un lugar donde quedarse en caso de una erupción, mientras que apenas el 1% afirmó contar con un sitio para refugiarse.

4.1.21. Estarías dispuesto usted a participar en procesos de capacitación sobre prevención de riesgos volcánicos

El 100% de las familias de San Agustín de Callo mencionan estar dispuestos en participar en procesos de capacitación sobre prevención de riesgos volcánicos.

4.1.22. Reubicación permanente en caso de riesgo volcánico

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 98% de las familias de San Agustín de Callo indicaron que si estarían de acuerdo con un proceso de reubicación en caso de riesgo volcánico, mientras que un 2% manifestaron que no lo harían.

4.2 Impactos según variables y niveles de riesgo

Según el análisis de los aspectos económicos, sociales y estructurales indican en la tabla 17 que los niveles de riesgo predominantemente son críticos, debido a la alta vulnerabilidad de la comunidad de San Agustín de Callo frente a desastres naturales. La falta de recursos, la baja preparación y las limitaciones en infraestructura aumentan

significativamente el riesgo para la población, subrayando la necesidad urgente de implementar estrategias integrales de mitigación y fortalecimiento comunitario.

Para determinar el nivel de impacto, estos fueron clasificados de acuerdo a la Escala de Impacto de Desastres de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) en función de su severidad, de acuerdo a lo siguiente:

- Bajo. -Impacto mínimo, no compromete significativamente las condiciones de vida.
- Moderado. - Impacto manejable con recursos existentes; algunas vulnerabilidades presentes.
- Alto. - Impacto severo, requiere intervención externa para mitigar daños.
- Crítico. - Impacto extremo, compromete la seguridad y el bienestar de la población.

Tabla 17

Evaluación de impacto según variables y niveles de riesgo

Variables	Nivel de Impacto	Observaciones
	Critico (63% con ingresos <400 dólares).	Ingresos Económicos limitados afectan a la recuperación ante desastres y la capacidad de acceder a los recursos básicos como alimentos, medicinas y refugio.
	Alto (51,45% pérdidas combinadas)	Las pérdidas recurrentes en actividades productivas que afectan de manera directa la sostenibilidad económica de la comunidad

Impacto Económico	en cultivos e infraestructura).	
Impacto Social	Alto (Sólo 6% de las familias accede a la educación superior)	La falta de formación académica superior limita las oportunidades de desarrollo, la comprensión de riesgos técnicos y las habilidades para gestionar desastres
	Critico (El 94% de la población no accede seguridad)	La carencia de este beneficio deja a las familias desprotegidas frente a los costos de recuperación y atención médica en caso de emergencia
Impacto Estructural	Critico (55% en mediaguas, 21% en buen estado)	Las viviendas vulnerables no ofrecen resistencia suficiente ante eventos volcánicos, lo que incrementa el riesgo de pérdidas materiales y afectaciones físicas
	Critico (el 100% de las familias no cuentan con kits de emergencia)	La ausencia de herramientas básicas de respuesta compromete la capacidad inmediata de reacción ante un desastre
	Critico (El 100% de las familias no cuentan con planes de emergencia)	Sin planificación específica, las familias no están preparadas para actuar eficazmente durante una emergencia, aumentando los riesgos de pérdidas humanas y materiales.

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

4.3 Resiliencia de la comunidad

Para aumentar la capacidad de recuperación de San Agustín de Callo frente a los efectos del volcán Cotopaxi, se sugiere implementar tácticas centradas en la economía, la infraestructura y la educación. Se busca diversificar las maneras de generar ingresos, crear fondos de emergencia y proporcionar microcréditos para impulsar la recuperación económica. También se aconseja mejorar la infraestructura con viviendas sismorresistentes, sistemas de drenaje y albergues temporales. La educación es igualmente esencial, con entrenamientos en gestión de riesgos, prácticas agrícolas sostenibles y educación financiera.

Además, es crucial desarrollar sistemas de alerta anticipada y planes de evacuación fiables, que incluyan rutas seguras y procedimientos de comunicación ágiles. Es necesario fortalecer el tejido social a través de redes de apoyo psicológico y la implicación de la comunidad en el proceso de toma de decisiones. La colaboración con entidades gubernamentales y organizaciones no gubernamentales facilitará el acceso a recursos, así como la promoción de políticas públicas que reduzcan los riesgos. Estas acciones ayudarán a reforzar la seguridad económica y social del grupo comunitario.

4.4 Comprobación de hipótesis

- **Relación entre los peligros volcánicos y las pérdidas económicas en San Agustín de Callo**

Para los habitantes de San Agustín de Callo, la caída de ceniza es el fenómeno de mayor impacto económico con el 39%, afectando principalmente cultivos y animales con el 25%. Le siguen los flujos piroclásticos, que dañan especialmente infraestructura con el 10% y reducen sus ingresos económicos con el 11,5%. Los lahares, generan reducción de ingresos económicos con el 9% y pérdidas de sus cultivos con el 8%. Finalmente,

otros factores con el 6%, como: deslizamientos de tierra, problemas respiratorios por la ceniza y daños menores en la infraestructura, también contribuyen de forma negativa en su economía (tabla 18). A continuación, la tabla 18, muestra la distribución porcentual de las pérdidas económicas derivadas de los distintos peligros asociados a la erupción del volcán Cotopaxi.

Tabla 18

Tabla cruzada de peligros asociados a la erupción del volcán Cotopaxi y pérdidas económicas.

Pérdidas económicas						
Peligros asociados al volcán Cotopaxi	Daños en infraestructura	 Pérdida de animales	 Pérdida de cultivos	Reducción en los ingresos económicos	Total	
Caída de lahares	7,50%	0,50%	8,00%	9,00%	25,00%	
Caída de ceniza	8,00%	3,00%	22,00%	6,00%	39,00%	
Flujos piroclásticos	10,00%	1,50%	7,00%	11,50%	30,00%	
Otros	3,00%	0,00%	1,00%	2,00%	6,00%	
Total					100,00%	

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

Para determinar la relación entre los peligros volcánicos y las pérdidas económicas de los habitantes de San Agustín de Callo, se aplicó la prueba de Chi-cuadrado, esto con la finalidad de comprobar la hipótesis planteada en esta investigación.

La prueba analizó si los peligros volcánicos (como la caída de ceniza, los lahares, y los flujos piroclásticos) tienen un impacto significativo en las pérdidas económicas (como daños en infraestructura, pérdida de animales, pérdida de cultivos, etc.). El resultado muestra que el valor de p es de 0,00 menor a 0,05% y a 0,01%, esto indica que existe una relación altamente significativa entre los peligros asociados al volcán Cotopaxi y las pérdidas económicas de los habitantes de San Agustín de Callo (Tabla 19).

Tabla 19

Prueba de Chi-cuadrado

Prueba	Valor	Grados de libertad	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson.	30,08	9	0.00**
Razón de verosimilitud.	30,308	9	0.00**
Número de casos válidos.	365		

Nota. Elaboración propia con base a encuestas realizadas en la comunidad

O3. Proponer medidas de mitigación y adaptación en el sector social productivo ante la amenaza del proceso eruptivo del volcán Cotopaxi en la comunidad de San Agustín de Callo.

TEMA

“Plan de desarrollo comunitario de San Agustín de Callo frente al riesgo de erupción del volcán Cotopaxi”.

INTRODUCCIÓN

El “Plan de desarrollo comunitario de San Agustín de Callo frente al riesgo de erupción del volcán Cotopaxi”, se plantea como una respuesta integral a las múltiples vulnerabilidades identificadas en esta comunidad de la parroquia de Mulaló. Con un enfoque participativo y estratégico, el proyecto busca abordar las deficiencias en aspectos económicos, sociales, de infraestructura y preparación ante desastres volcánicos.

San Agustín de Callo enfrenta un panorama complejo: el 63% de las familias reporta ingresos mensuales inferiores a 400 dólares, cifra por debajo del costo de la canasta básica, mientras que el 94% carece de acceso a seguridad social. La precariedad de las viviendas también es alarmante, pues apenas el 21% de las estructuras se encuentran en buen estado, mientras que un 55% son mediaguas y un 16% corresponde a ranchos y chozas, altamente vulnerables a los daños que podría causar una erupción. Además, la comunidad carece casi por completo de preparación ante emergencias: el 99% no cuenta con un lugar definido para refugiarse ni con planes familiares de contingencia.

Estas condiciones se ven agravadas por la alta exposición a los riesgos asociados al volcán Cotopaxi, como la caída de ceniza, flujos piroclásticos y lahares, los cuales ya han generado pérdidas significativas en cultivos (24,27%) e infraestructura (27,18%) en eventos previos.

Frente a este diagnóstico, la propuesta plantea soluciones concretas que van más allá de la mitigación de riesgos. A través de acciones como la diversificación de ingresos, mejoras habitacionales, programas de educación y capacitación en preparación ante emergencias, se busca transformar las vulnerabilidades en oportunidades de desarrollo sostenible. Este enfoque integral apuesta por la resiliencia comunitaria y la sostenibilidad,

con el objetivo de empoderar a San Agustín de Callo para enfrentar los desafíos actuales y futuros con mayor fortaleza y capacidad de adaptación.

OBJETIVO GENERAL:

- Fortalecer la capacidad de respuesta de la comunidad de San Agustín de Callo frente a los riesgos volcánicos del Cotopaxi.

Objetivos específicos:

1. Fortalecer la gestión de riesgos y la preparación comunitaria ante emergencias volcánicas.
2. Mejorar las condiciones de vida a través de la optimización de la infraestructura habitacional promoviendo el desarrollo socioeconómico.
3. Promover la cohesión social y la equidad mediante el fortalecimiento del tejido comunitario.

METODOLOGÍA

- **Fortalecer la gestión de riesgos y la preparación comunitaria ante emergencias volcánicas.**

Fase I. Gestión informática

Actividad 1. Reunión con líderes comunitarios y organismos competentes (municipales, gubernamentales, ONG's)

Actividad 2. Talleres informativos sobre riesgos volcánicos, enfocados en los tipos de amenazas del Cotopaxi (caída de ceniza, flujos piroclásticos, lahares) y sus posibles impactos en la comunidad.

Fase II. Plan de acción

Actividad 3. Formación de brigadas comunitarias para gestión de riesgos (brigadas de evacuación, primeros auxilios, etc).

Actividad 4. Elaboración y socialización de planes familiares de evacuación con rutas de escape y puntos de encuentro.

Actividad 5. Capacitación en primeros auxilios y respuestas ante emergencias volcánicas, fortaleciendo la capacidad de la comunidad para actuar de forma autónoma ante cualquier incidente.

Actividad 6. Establecimiento de un sistema de alerta temprana, que permita la evacuación oportuna ante cualquier señal de erupción inminente.

Fase II. Evaluación y ajustes

Actividad 7. Simulacros periódicos de evacuación con la participación activa en la comunidad, para evaluar la eficacia de los planes de evacuación y las brigadas capacitadas.

Actividad 8. Retroalimentación comunitarias y ajustes al plan, con base en los resultados de los simulacros y las observaciones de la población.

- **Mejorar las condiciones de vida a través de la optimización de la infraestructura habitacional promoviendo el desarrollo socioeconómico.**

Fase I: Diagnóstico y planificación

Actividad 1: Realización de un diagnóstico de la infraestructura habitacional existente, con un enfoque en la identificación de viviendas vulnerables a la erupción volcánica.

Actividad 2: Consultoría con ingenieros y arquitectos para diseñar soluciones de refuerzo estructural y nuevas viviendas en zonas seguras.

Actividad 3: Identificación de terrenos adecuados para la reubicación de las familias más vulnerables, garantizando su seguridad frente a los riesgos volcánicos.

Fase II: Intervención y mejora

Actividad 4: Implementación de un programa de fortalecimiento habitacional, con recursos para la construcción y mejora de viviendas.

Actividad 5: Desarrollar programas de microcréditos y subvenciones para ayudar a las familias a mejorar sus viviendas, de acuerdo con sus posibilidades económicas.

Actividad 6: Diversificación económica mediante la capacitación en actividades productivas, como agricultura sostenible, ecoturismo, y oficios relacionados con la construcción, con el objetivo de aumentar los ingresos familiares.

Fase III: Monitoreo y ajuste

Actividad 7: Seguimiento de la implementación de las mejoras habitacionales, asegurando que las viviendas reforzadas sean efectivas ante posibles desastres.

Actividad 8: Revisión y ajuste de los programas de capacitación económica, adaptándolos a las realidades cambiantes de la comunidad y a los mercados locales.

- **Promover la cohesión social y la equidad mediante el fortalecimiento del tejido comunitario.**

Fase I: Diagnóstico participativo y sensibilización

Actividad 1: Realizar reuniones comunitarias para identificar las necesidades y prioridades sociales de los miembros de la comunidad.

Actividad 2: Talleres de sensibilización sobre la importancia de la cohesión social, la equidad y la inclusión, para involucrar a todos los sectores de la población en el proceso.

Actividad 3: Identificación y capacitación de líderes comunitarios que puedan impulsar procesos de inclusión, participación y resolución de conflictos dentro de la comunidad.

Fase II: Acción comunitaria

Actividad 4: Implementación de programas educativos sobre derechos humanos, participación cívica y gestión comunitaria.

Actividad 5: Desarrollo de talleres de integración comunitaria, donde se aborden temas de diversidad cultural, género y cooperación.

Actividad 6: Creación de grupos de apoyo y redes sociales locales que promuevan la solidaridad y la ayuda mutua, especialmente en tiempos de emergencia.

Fase III: Evaluación y consolidación

Actividad 7: Establecimiento de espacios de discusión y toma de decisiones colectivas, como asambleas comunitarias regulares, para garantizar que todos los sectores puedan participar en la gestión de los recursos y en la toma de decisiones importantes.

Actividad 8: Evaluación del impacto de los programas de cohesión social a través de encuestas, entrevistas y dinámicas grupales, ajustando las estrategias de acuerdo con las necesidades emergentes de la comunidad.

POSIBLES RESULTADOS

Objetivo 1. Fortalecer la gestión de riesgos y la preparación comunitaria ante emergencias volcánicas.

1. Incremento del número de familias con planes de evacuación individuales, mejorando la preparación y la capacidad de respuesta frente a un evento volcánico.
2. Creación y capacitación de brigadas comunitarias, fortaleciendo la organización local para la respuesta ante emergencias.
3. Implementación de un sistema de alerta temprana eficaz, con la participación activa de la comunidad en simulacros periódicos

Objetivo 2. Mejorar las condiciones de vida a través de la optimización de la infraestructura habitacional promoviendo el desarrollo socioeconómico.

4. Reforzamiento estructural de un mayor porcentaje de viviendas, reduciendo la vulnerabilidad frente a desastres naturales.
5. Reubicación de familias en zonas seguras, mejorando la calidad de vida y reduciendo el riesgo ante erupciones volcánicas.

6. Impulso a actividades económicas sostenibles mediante la capacitación en nuevas habilidades productivas, incrementando los ingresos de las familias afectadas.

Objetivo 3. Promover la cohesión social y la equidad mediante el fortalecimiento del tejido comunitario.

7. Aumento de la participación de la comunidad en actividades de cohesión social, como talleres educativos y eventos comunitarios, fortaleciendo la solidaridad local.
8. Desarrollo de liderazgos comunitarios con la capacidad de gestionar proyectos y recursos para mejorar las condiciones de vida de la comunidad.
9. Promoción de la inclusión social mediante la integración de diversas familias y grupos vulnerables, favoreciendo la equidad en el acceso a recursos y oportunidades.

La articulación institucional, la inclusión de tecnología innovadora y una perspectiva de sostenibilidad que asegure beneficios a largo plazo para la comunidad es lo que prioriza el plan

CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La comunidad de San Agustín de Callo reconoce los principales peligros volcánicos, como la caída de ceniza (39%), flujos piroclásticos (30%), y deslizamientos de tierra o daños a la infraestructura (6%), y su economía depende

en gran medida de la agricultura y ganadería (71,1%) sectores altamente vulnerables ante estos eventos. Además, el (55%) de las viviendas son mediaguas y sólo el 21% están en buen estado, lo que incrementa el riesgo de daños severos. Esta combinación de factores evidencia la necesidad de fortalecer la preparación y resiliencia comunitaria.

- La comunidad de San Agustín de Callo enfrenta una alta vulnerabilidad ante desastres debido a factores socioeconómicos y productivos. Solo el 6% de la población ha alcanzado educación superior, lo que limita la comprensión técnica de los riesgos. Además, el 63% de las familias tiene ingresos menores a \$400 mensuales y el 94% carece de seguridad social, reduciendo su capacidad de respuesta. La economía depende en un 80% de la agricultura y ganadería, sectores altamente expuestos a los efectos de una erupción. Esta combinación de factores incrementa el riesgo y dificulta la recuperación ante eventos adversos de la naturaleza.
- La comunidad de San Agustín de Callo enfrenta un alto riesgo ante una erupción del volcán Cotopaxi debido a la falta de planificación familiar y de kits de emergencia, así como a una baja cohesión social. Aunque el 39% identifica la caída de ceniza como una amenaza principal y el 30% los flujos piroclásticos, la comprensión técnica sigue siendo limitada. La vulnerabilidad económica es crítica, con el 63% de las familias con ingresos menores a 400 dólares y el 94% sin seguridad social. Además, el 55% de las viviendas son mediaguas y solo el 21% está en buen estado, lo que agrava la exposición al peligro. Fortalecer la participación comunitaria y mejorar la infraestructura son claves para reducir estos riesgos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es fundamental desarrollar talleres específicos sobre gestión de riesgos volcánicos que integren conocimientos teóricos y prácticos para fortalecer la preparación comunitaria. Además, se deben implementar programas de mejoramiento y reforzamiento de viviendas, priorizando aquellas con mayor vulnerabilidad estructural. La dotación de equipos básicos de emergencia, como kits con insumos esenciales y guías de actuación, garantizará una respuesta más efectiva ante

desastres. También es crucial fomentar la participación comunitaria en simulacros y estrategias de evacuación. Estas medidas reducirán el impacto de una posible erupción y fortalecerán la resiliencia de la comunidad.

- Para aumentar la resiliencia comunitaria, es crucial promover programas de capacitación técnica y acceso a educación formal, mejorando la comprensión y respuesta ante desastres. La introducción de microcréditos y la diversificación de actividades económicas reducirían la dependencia del 80% de la población en la agricultura y ganadería, sectores altamente vulnerables. Además, la implementación de sistemas de alerta temprana, combinados con simulacros periódicos, fortalecería la capacidad de reacción ante emergencias. Estos esfuerzos deben ir acompañados de estrategias de inclusión financiera y apoyo institucional para garantizar su efectividad. Una comunidad mejor preparada podrá minimizar los impactos de futuras erupciones volcánicas.
- Es crucial diseñar y ejecutar un plan integral de desarrollo comunitario que fortalezca la gestión de riesgos mediante la creación de brigadas comunitarias y la elaboración de mapas participativos. En el ámbito de infraestructura, se debe realizar un diagnóstico estructural de las viviendas, reforzarlas y reubicar a las familias en zonas de alto riesgo. La cohesión social debe promoverse mediante el fomento de liderazgos comunitarios con talleres e iniciativas inclusivas. Además, es esencial establecer alianzas estratégicas con organismos gubernamentales, universidades y ONG para optimizar recursos y conocimientos. Finalmente, se debe implementar un sistema de monitoreo y respuesta efectiva que integre tecnología e inclusión comunitaria.

BLOGRAFÍA

1. Aguilera E, Pareschi MT, Rosi M, Zanchetta G (2004). Risk from Lahars in the Northern Valleys of Cotopaxi Volcano (Ecuador). *Nat Hazards* 33:161–189.
2. Alonso Núñez, M. C., & Marín Tello, M. I. (2009). Impacto social y económico de la erupción del volcán Jorullo, Michoacán, 1759. *Tzintzun*, (49), 53-78.

3. Alonso, J., Pérez, M., & Castro, L. (2021). Metodología de la investigación: Enfoques y métodos. Editorial Académica.
4. Andrade D., Hall M., Mothes P., Troncoso L., Eissen JP., Samaniego P., Egred J., Ramón P., Rivero D., Yepes H. (2005). Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. Serie Los peligros volcánicos en Ecuador, N° 3. Corporación Editora Nacional, IG-EPN, IRD, 147 p.
5. Andrade, D., Hall, M., Mothes, P., Troncoso Salgado, L. P., Eissen, J. P., Samaniego, P., & Yepes, H. (2005). Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. Quito: Corporación Editora Nacional, CEN/Escuela Politécnica Nacional. Instituto Geofísico, IG/Institut de Recherche pour le Développement, IRD.
6. Auker MR, Sparks RSJ, Siebert L, Crossweller S, Ewert J (2013). A statistical analysis of the global historical volcanic fatalities record. *J Appl Volcanol* 2:2
7. Barberi F, Coltelli M, Frullani A, Rosi M, Almeida E (1995). Chronology and dispersal characteristics of recently (last 5000 years) erupted tephra of Cotopaxi (Ecuador): implications for long-term eruptive forecasting. *J Volcanol Geotherm Res* 69:217–239.
8. Becken, S., & Hughey, K. F. (2013). Linking tourism into emergency management structures to enhance disaster risk reduction. *Tourism Management*, 36, 77-85.
9. Benson, C. (2006). Volcanoes and the economy. In: Marti J, Ernst GGJ (eds) *Volcanoes and the environment*. Cambridge University Press, pp 440–467.
10. Biass S, Bonadonna C (2011) A quantitative uncertainty assessment of eruptive parameters derived from tephra deposits: the example of two large eruptions of Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bull Volcanol* 73:73–90. doi:10.1007/s00445-010-0404-5

11. Bird, D. K., Gísladóttir, G., & Dominey-Howes, D. (2010). Volcanic risk and tourism in southern Iceland: Implications for hazard, risk and emergency response education and training. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 189(1-2), 33-48.
12. Blong, RJ (1996). Evaluación de riesgos de peligros volcánicos. En R. Scarpa y RI Tilling (Eds.), *Monitoreo y mitigación de peligros volcánicos* (pp. 675-698). Springer.
13. Branney, MJ, y Kokelaar, P. (2002). Corrientes de densidad piroclástica y sedimentación de ignimbritas. *Sociedad Geológica de Londres*.
14. Brown SK, Auken MR, Sparks RSJ (2015) Populations around Holocene volcanoes and development of a population exposure index. In: Loughlin SC et al (eds) *Global volcanic hazards and risk 'populations around volcanoes and the development of a population exposure index*. Cambridge.
15. Cáceres, B., (2005) "Evaluación reciente del área del casquete glaciar del volcán Cotopaxi mediante la utilización de fotogrametría digital", memorias del XII Congreso Latinoamericano de Geología, Quito.
16. Cáceres, B., J. Ramírez, B. Francou, J-P. Eissen, J-D. Taupin, E. Jordan, L. Ungerechts, L. Maisincho, D. Barba, E. Cadier, R. Bucher, A. Peñafiel, P. Samaniego, y P. Mothes, (2004). "Determinación del volumen del casquete de hielo del volcán Cotopaxi", Quito, Inamhi-IRD-IG/EPN-IN-Geominas- IGM-HHUD, p. 54.
17. Cas, RA y Wright, JV (1987). *Sucesiones volcánicas modernas y antiguas: un enfoque geológico de los procesos, productos y sucesiones*. Allen y Unwin.

18. Corral, L. (2019). Estadísticas y técnicas experimentales. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19040/1/Estad%20c3%adsticas%20y%20t%20c3%a9cnicas%20experimentales.pdf>
19. Corral, L. (2019). Estadísticas y técnicas experimentales. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19040/1/Estad%20c3%adsticas%20y%20t%20c3%a9cnicas%20experimentales.pdf>
20. Crandell, DR, Booth, B., Kusumadinata, K., Shimosuru, D., Walker, GP y Westercamp, D. (1984). Libro de consulta para la zonificación de riesgos volcánicos. UNESCO.
21. Czerny, M. y Czerny, A. (2020). Procesos de urbanización en zonas amenazadas por la actividad volcánica: El caso de Latacunga al pie del Cotopaxi en Ecuador. *Miscellanea Geographica*, 24(4), 183-192.
22. De la Cruz-Reyna, S., Meli, R.P., Quaas, R.W., (2000). Volcanic crises management. In: Sigurdsson, H., Hughton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, pp. 1199–1214.
23. Delgado (2002). FLUJOS PIROCLÁSTICOS. Departamento de Vulcanología Instituto de Geofísica, UNAM. https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/vol/concepcion/mapas_amenaza/04-Texto%20flujos%20piroclasticos.pdf
24. Dercole R. (1991). Vulnerabilidad de las poblaciones ante el riesgo volcánico. El caso de la región del volcán Cotopaxi (Ecuador). Tesis, Universidad Joseph Fourier, Grenoble 1, 459 p.
25. Dercole R. (1996). Representaciones cartográficas de los factores de vulnerabilidad de las poblaciones expuestas a una amenaza volcánica. Aplicación a la región del volcán Cotopaxi (Ecuador). *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 25, 3, 479-507.

26. Duarte, E. (2015). Impacto ambiental y socioeconómico del volcán Turrialba según monitoreo realizado entre 1980 y 2015. *Ambientico*, (254), 4-17.
27. El Comercio, (2015). La agricultura e industria abarcan el 59% de la economía de Cotopaxi. Disponible en
28. Ettinger, S., Mothes, P., Paris, R., & Schilling, S. (2007). The 1877 lahar deposits on the eastern flank of Cotopaxi volcano. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 13(3), 271-280.
29. Felgentreff, C & Glade, T (eds) 2008, *Naturrisiken und Sozialkatastrophen [Riesgos naturales y desastres sociales]*, Spektrum Akademische Verlag, Berlín, Heidelberg.
30. García, (2019). Volcán Cotopaxi: prevención y gestión de riesgos. Disponible en <https://ayudaenaccion.org/proyectos/articulos/riesgos-volcan-cotopaxi/>
31. Hall M, Mothes P (2008) The rhyolitic–andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano. *Ecuador Bull Volcanol* 70(6):675–702
32. Hall ML, Mothes P. (1995). Naturaleza bimodal de la historia eruptiva del volcán Cotopaxi, Ecuador. XXI Asamblea General de IUGG, Boulder, A452, Resumen.
33. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2020). *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGraw-Hill.
34. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/agricultura-industria-provincia-cotopaxi-manufactura.html>
35. Humboldt, A. (1810). *Vistas de las Cordilleras y Monumentos de los Pueblos Indígenas de América*, 2 vols, Imprimerie de Stone JH, París.
36. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2023a). El Cotopaxi. Disponible en <https://www.igepn.edu.ec/cotopaxi>

37. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2023b). La ceniza del volcán Cotopaxi afecta a los ganaderos de Mulaló. Disponible en <https://www.elcomercio.com/actualidad/ceniza-afectacion-ganaderos-cotopaxi-mulalo.html>
38. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2012). Vista aérea del volcán Cotopaxi, Disponible en: <https://co.pinterest.com/pin/449867450255234233/>
39. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2022). Volcán Cotopaxi. Disponible en <https://www.ige.edu.ec/etiqueta/cotopaxi?inicio>
40. IPCC. (2007). Cambio climático 2007: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Cambridge University Press.
41. Jenkins, S. F., Wilson, T. M., Magill, C., Miller, V., Stewart, C., Blong, R., & Bobrowsky, P. T. (2015). Volcanic ash fall hazard and risk. In Global volcanic hazards and risk (pp. 173-222). Cambridge University Press.
42. La Primicia. (2022). Zozobra en San Agustín de Callo ante la actividad del volcán Cotopaxi. Disponible en <https://laprimicia.ec/2022/12/29/mas-necesidades-que-ayuda-por-autoridades-en-san-agustin-de-callo-ante-la-actividad-del-volcan-cotopaxi/>
43. León, J. L. (2020). Sistema de intervención para la mejora del liderazgo y su incidencia en el desempeño organizacional de la cooperativa de ahorro y crédito San José limitada [Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Magíster en Administración de las Organizaciones de la Economía Social Solidaria, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/1121/1/Tesis%20Jos%c3%a9%20Luis%20Le%c3%b3n%20Le%c3%b3n.pdf>

44. Lindell, MK y Prater, CS (2003). Evaluación de los impactos de los desastres naturales en la comunidad. *Natural Hazards Review*, 4(4), 176-185.
45. Mendoza, I., & García, R. (2019). Investigación y análisis de datos: Enfoques cuantitativos y cualitativos. Ediciones Universidad del Valle.
46. Molina I, Kumagai H, García-Aristizábal A, Nakano M, Mothes P (2008). Source process of very-long-period events accompanying long-period signals at Cotopaxi Volcano, Ecuador. *J Volcanol Geotherm Res*176:119–133
47. Mothes, P. A., Ruiz, M. C., Viracucha, E. G., Ramón, P. A., Hernández, S., Hidalgo, S., ... & Bernard, B. (2017). Communicating critical changes at Cotopaxi Volcano, Ecuador, prior to the 2015 unrest. *Advances in Volcanology*, 1-28.
48. Mothes, P. A., Yepes, H. A., Hall, M. L., Hernández, S., Ruiz, M. C., & Viracucha, E. G. (2016). Assessing impacts of Volcanic Ash Fall for epidemiological purposes: Quito and the Cotopaxi Volcano, Ecuador. *Geohazards*, 1(1), 1-12.
49. Newhall, CG y Self, S. (1982). El índice de explosividad volcánica (VEI): una estimación de la magnitud explosiva del vulcanismo histórico. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87(C2), 1231-1238.
50. Newhall, CG, & Hoblitt, RP (2002). Construcción de árboles de eventos para crisis volcánicas. *Boletín de vulcanología*, 64(1), 3-20.
51. Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F., & Pfefferbaum, R. L. (2008). Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *American journal of community psychology*, 41(1-2), 127-150
52. Norris, FH, Stevens, SP, Pfefferbaum, B., Wyche, KF, & Pfefferbaum, RL (2008). Resiliencia comunitaria como metáfora, teoría, conjunto de capacidades y

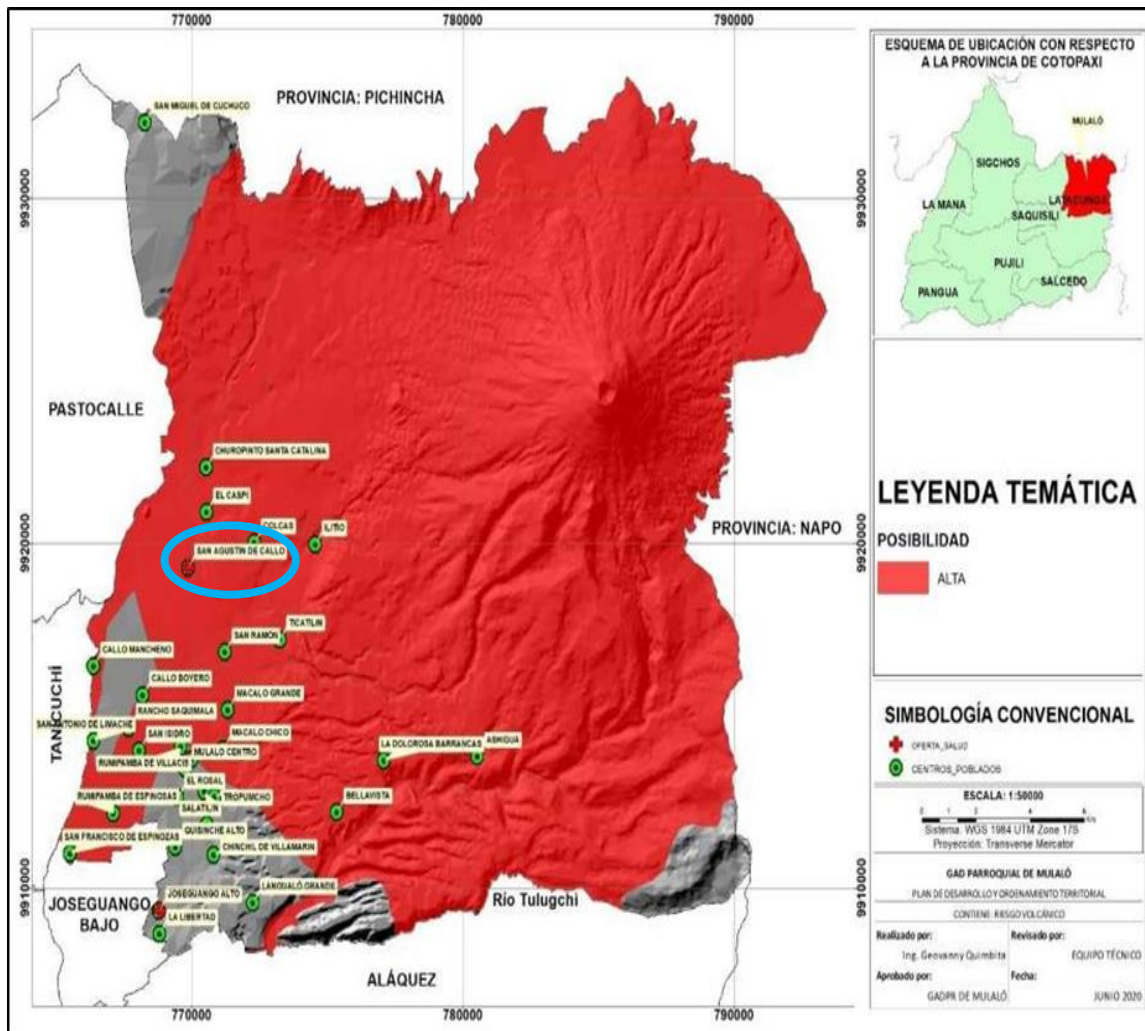
- estrategia para la preparación ante desastres. *Revista estadounidense de psicología comunitaria*, 41(1), 127-150.
53. Pavón, F., Andrade, S. D., Bernard, B., & Contreras, D. (2019). Impacto socioeconómico por lahares y caída de ceniza ante la erupción del volcán Cayambe en la actividad florícola en Cayambe y Pedro Moncayo. *Revista cartográfica*, (98), 123-143.
54. Phillipson G, Sobradelo R, Gottsmann J (2013). Global volcanic unrest in the 21st century: an analysis of the first decade. *J Volcanol Geotherm Res* 264:183–196.
55. Pistolesi, M., Cioni, R., Rosi, M., & Aguilera, E. (2013). Lahar hazard assessment in the southern drainage system of Cotopaxi volcano, Ecuador. *Natural Hazards*, 65(2), 1683-1699.
56. Rose, A. (2004). Definición y medición de la resiliencia económica ante los desastres. *Prevención y gestión de desastres: una revista internacional*, 13(4), 307-314.
57. Rose, A. (2004). Principios económicos, cuestiones y prioridades de investigación en la estimación de pérdidas por peligros. En *Modelado de los impactos espaciales y económicos de los desastres* (pp. 13-36). Springer, Berlin, Heidelberg.
58. Salas, E., & Moreno, J. (2022). *Diseño y aplicación de encuestas en la investigación social*. Editorial Universitaria.
59. Salinas, P., Cortés, M., & Iglesias, M. (2012). Capítulo III: Marco metodológico. Trabajo de grado sobre automatización de una planta productora de biodiesel. Retrieved from https://virtual.urbe.edu/tesispub/0105661/cap_03.pdf

60. Salinas, P., Cortés, M., & Iglesias, M. (2012). Capítulo III: Marco metodológico. Trabajo de grado sobre automatización de una planta productora de biodiesel. Retrieved from <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0105661/cap03.pdf>
61. Scarpa, R., y Tilling, RI (Eds.). (1996). Monitoreo y mitigación de riesgos volcánicos. Springer Science & Business Media.
62. Schmincke, HU (2004). Vulcanismo. Springer Science & Business Media.
63. Scoones, I. (1998). Sustainable rural livelihoods: a framework for analysis. IDS Working Paper 72.
64. Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, (2024). Volcán Cotopaxi. Disponible en <https://alertasecuador.gob.ec/volcan#:~:text=En%20la%20C3%BA%20reactivaci%C3%B3n%20del,afecciones%20respiratorias%20a%20los%20animales.>
65. Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2022). Capacitación a familias sobre autoprotección ante erupciones del Cotopaxi. Disponible en <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/familias-de-las-faldas-del-volcan-cotopaxi-recibieron-capacitacion-sobre-autoproteccion-y-amenazas-volcanicas/>
66. Slovic, P. (1987). Percepción del riesgo. *Science*, 236(4799), 280-285.
67. Sodiro L. (1877). Relación sobre la erupción de l Cotopaxi acaecida el día 26 de junio de 1877. Imprenta Nacional, Quito, Ecuador, 40.
68. Sword-Daniels, V. L., Rossetto, T., Wilson, T. M., & Sargeant, S. (2015). Interdependence and dynamics of essential services in an volcanic
69. TELEGRAFO, (2015). Una eventual erupción del Cotopaxi afectaría a 61.332 negocios. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/2015/1/una-eventual-erupcion-del-cotopaxi-afectaria-a-61-332-negocios>

70. Tilling, RI (1989). Peligros volcánicos y su mitigación: avances y problemas. *Reseñas de Geofísica*, 27(2), 237-269.
71. UNISDR. (2009). Terminología de la UNISDR sobre la reducción del riesgo de desastres. Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres.
72. Vallance, JW (2000). Lahares. *Enciclopedia de volcanes*, 601-616.
73. Volcanic Ash Advisory Center (VAAC). (2021). Volcanic ash advisory for the Andean region. VAAC.
74. Wisner, B., Blaikie, P. M., Cannon, T., & Davis, I. (2004). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.
75. Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., y Davis, I. (2004). *En riesgo: peligros naturales, vulnerabilidad de las personas y desastres*. Routledge.
76. Wolf T. (1878). Memoria sobre el Cotopaxi y su última erupción acaecida el 26 de junio de 1877. Imprenta de El Comercio, Guayaquil, 48 p.
77. Yépez Tito, V. P., & Castro Ortega, R. M. (2021). Estrategia educativa para mejorar conocimientos, actitudes y prácticas del personal de salud sobre inmunizaciones en el distrito 10D01 [Tesis de Maestría, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11127>

ANEXOS

ANEXOS 1. Mapa de Riesgo Volcánico de la Parroquia Mualó



Fuente: Cartografía base: IGM-2013, escala 1:50000, cartografía Temática: SENPLADES

Anexo 2. Encuesta



CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

FACULTAD DE
CIENCIAS DE
LA SALUD Y
DEL SER HUMANO

Formato de encuesta del tema “*Impacto Socioeconómico por Lahares y Caída de Ceniza del Volcán Cotopaxi en la Comunidad de San Agustín de Callo del Cantón Latacunga, en el periodo Agosto - Diciembre 2024*”



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

Objetivo: Conocer el impacto socioeconómico causado por lahares y la caída de ceniza del volcán Cotopaxi en su comunidad. Sus respuestas serán confidenciales y utilizadas únicamente para fines académicos.

Instructivo

La presente encuestas como parte de trabajo de titulación para evaluar los efectos socioeconómicos causados por las amenazas volcánicas, específicamente los lahares y la caída de ceniza, del volcán Cotopaxi en la comunidad de San Agustín de Callo. Sus experiencias y conocimientos serán de gran valor para comprender cómo estos fenómenos naturales afectan los aspectos sociales y productivos de la comunidad.

DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS

1. Género:

- Masculino - Femenino - Prefiero no decir

2.- Edad:

- 18- 30 años - 31 – 45 años - 46 – 70 años - más de 71 años

3.- Grupo étnico al que pertenece:

- Mestizo - Blanco - Afro ecuatoriano - Indígena - Negro - Mulato

4. Nivel de educación:

- Sin educación formal - Primaria - Secundaria - Superior - Postgrado

5. Ocupación y tiempo de residencia en la comunidad:

Ocupación principal:

Agricultura

Estudiante

Ganadería

Desempleado

Comercio Otro (especificar):

Empleado (sector público/privado) Cuanto tiempo vive en esta comunidad: ____

6. ¿Conoce usted los peligros asociados a una posible erupción del volcán Cotopaxi?

➤ Sí.

Los peligros que conozco son:

- Caída de lodo (Lahares)
- Caída de ceniza
- Flujos piroclásticos
- Otros (especificar): _____

➤ No.....

7. El volcán Cotopaxi representa un riesgo para su comunidad. ¿Qué tan preparado se siente ante una posible erupción? Marque su nivel de preparación con una x:

- Nada preparado
- Algo preparado
- Medianamente preparado
- Bien preparado
- Completamente preparado

8. ¿Ha recibido capacitación sobre cómo actuar ante la presencia de lodo (lahares) y caída de ceniza?

Sí No

En caso de ser afirmativo ¿Cada que tiempo?.....

9. ¿Cuántas personas viven en su casa, incluyendo Usted (____ personas)?

10. ¿Cuánto dinero genera mensualmente de su trabajo? (en dólares)

- Menos de 400 dólares 400-800 dólares 801-1200 dólares 1201-1600 dólares
- Más de 1600 dólares

11. ¿Alguien en el hogar está afiliado o cubierto por el seguro del IESS (general, voluntario o campesino)

- Si - No

12. ¿Característica de la vivienda?

Propia () En arriendo () Hipotecada () De herencia ()
y que extensión aproximada dispone: ____ hectáreas)

13.- ¿Cuál es el tipo de vivienda?

- Mediagua - rancho - choza o cabaña - casa independiente

14. ¿Cuál es el estado de la vivienda?

- Buen estado - Aceptable - Regular - Malo

15. ¿Ha sufrido pérdidas económicas durante las erupciones anteriores o caída de ceniza?

Cómo:

Pérdida de cultivos - que área o superficie?..... Daños en infraestructura

Pérdida de animales - cuántos?..... Otros (especificar): _____

Reducción en los ingresos económicos

16. ¿Cuál fue el valor aproximado de las pérdidas económicas que sufrió debido a erupciones volcánicas anteriores (en USD)?

17. ¿Usted conoce que en la comunidad tiene un plan de emergencia por si el Cotopaxi hace erupción? Sí No

18. ¿Ha participado en algún simulacro de evacuación? Sí No

19. ¿Tiene un plan familiar para actuar en caso de erupción? Sí No

20. ¿Cuenta con un kit de emergencia en casa? Sí No

21. Si tuvieras que evacuar, ¿tiene un lugar donde quedarse? Sí No

22. ¿Estaría dispuesto Usted a participar en procesos de capacitación sobre prevención de riesgos volcánicos?

Sí No Depende de la disponibilidad

23. ¿Qué tipo de apoyo considera más necesario para su comunidad ante una posible erupción? (Puede marcar más de uno)

Económico Técnico (agricultura/ganadería) Médico Psicológico Otro

(especificar): _____

24. ¿Estaría dispuesto Usted a considerar una reubicación permanente si las autoridades lo recomiendan por el riesgo volcánico? Sí No Tal vez

Gracias por su participación

ANEXOS 2. Fotografías de Aplicación de la Encuesta



