

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS**

**CARRERA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN  
TERRITORIAL H-071**

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE  
INGENIERÍA**

**GEOGRÁFICA EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

**“ANÁLISIS DE RIESGO EN EL CANTÓN CAYAMBE, FRENTE A  
LAHARES ASOCIADOS AL VOLCÁN CAYAMBE”**

**ESTEBAN JOSUÉ GUERRERO MOYA**

**DIRECTORA: Mtr. JENNY ZAMORA**

**Quito, Febrero del 2020**

## **DEDICATORIA**

*A Dios por ser el pilar fundamental en mi vida.*

*A mis padres Ricardo y Patricia gracias por ser el ejemplo de perseverancia, comprensión y amor infinito, por tener siempre para mí las palabras de aliento necesarias para seguir adelante. A Uds. papitos por motivarme siempre a alcanzar mis metas y ser cada día mejor.*

*A mi hermano Daniel por estar siempre conmigo cuando más lo necesito sin importar el tiempo o el lugar, gracias por apoyarme siempre.*

*A Wendy Almeida, gracias mi vida por tu amor incondicional, por el apoyo que me brindas para lograr mis objetivos y motivarme a superarme cada día más. Haz sido fundamental para el desarrollo y la culminación de este sueño.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Pontificia Universidad Católica por abrirme sus puertas y permitirme cumplir este sueño.

A mi directora MSc. Jenny Zamora por su orientación y por su apoyo incondicional a lo largo de la carrera y de la disertación.

A mis lectores Mtr. Alexandra Mena y Mtr. Olga Mayorga, de igual manera por el tiempo brindado para la revisión del presente trabajo.

A cada uno de los profesores por las clases impartidas y la formación obtenida como estudiante.

A mi familia por la motivación, la fuerza y el carácter que supieron transmitirme en cada momento, en especial a mis abuelitos por enseñarme que solo con sacrificio se consiguen las cosas.

## TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	6
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICO .....	4
1.4. MARCO REFERENCIAL.....	5
1.5. MARCO TEÓRICO .....	6
1.6. MARCO CONCEPTUAL .....	7
1.7. MARCO METODOLÓGICO .....	10
CAPÍTULO 2 .....	17
CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DEL CANTÓN CAYAMBE .....	17
2.1. UBICACIÓN .....	17
2.2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DEL ÁREA DE ESTUDIO. ....	19
2.1.1. Clima.....	19
2.2.2. Geología .....	20
2.2.3 Hidrografía.....	25
2.3. CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	28
2.3.1. Caracterización de la población .....	28
2.3.2. Actividades económicas .....	31
2.3.3. Infraestructura vial. ....	36
2.3.4. Servicios básicos .....	38
CAPÍTULO 3 .....	41
AMENAZA ANTE LAHARES EN EL CANTÓN CAYAMBE ANTE UNA POSIBLE ERUPCIÓN .....	41
3.1. HISTORIA ERUPTIVA .....	41
3.2. REGISTRO DE EVENTOS .....	43
3.3. MONITOREO INSTRUMENTAL- INSTITUTO GEOFÍSICO EPN.....	44
3.4. ELABORACIÓN DEL MAPA DE AMENAZAS POR LAHARES DEL VOLCÁN CAYAMBE UTILIZANDO SIG Y CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS POTENCIALES. ....	48
3.4.1. Mapeo de la amenaza de lahares .....	49
3.5. CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS POTENCIALES.....	56

3.5.1. Estimaciones de volúmenes de flujos de lodo y lahares .....	56
3.5.2 Escenarios de amenaza por lahares primarios y secundarios en el drenaje occidental ...	57
3.5.3. Lahares Secundarios en la zona Occidental del volcán Cayambe: Análisis de Cuencas Hidrográficas y Modelamiento .....	59
3.6. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN “TABLAS RESUMEN” .....	62
3.6.1. Lahares Primarios – “Menos probable” (escenarios S2a) .....	62
3.6.3. Lahares Secundarios – “Más probable” (escenarios S2b) .....	63
CAPÍTULO 4 .....	65
VULNERABILIDAD ANTE LAHARES Y FLUJOS DE LODO EN EL CANTÓN CAYAMBE .....	65
4.1 METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD .....	65
4.2. Vulnerabilidad de los componentes territoriales .....	66
4.2.3. Infraestructura de Equipamientos para la población.....	69
4.2.4. Vulnerabilidad de sistemas económicos.....	71
.....	72
4.3. NIVELES DE VULNERABILIDAD TERRITORIAL.....	73
CAPÍTULO 5 .....	74
MAPEO DE RIESGOS ANTE LAHARES EN EL CANTÓN CAYAMBE.....	74
5.1. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE RIESGO .....	74
5.2. MAPAS DE RIESGO.....	74
5.2.1. Mapa de Riesgo ante Lahares del Componente de Infraestructura Vial.....	75
5.2.2. Mapa de Riesgo ante Lahares del Componente del Sistema Económico.....	77
5.2.3. Mapa de Riesgo ante Lahares de los Equipamientos.....	80
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	87

## INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Información fuente de la investigación .....	10
Tabla N°2: Valoración del riesgo ante lahares y flujos piroclásticos .....	14
Tabla N°3: Matriz de estaciones meteorológicas según su localización y altura .....	19
Tabla N°4: Hidrografía del cantón Cayambe.....	26
Tabla N°5: Población del cantón Cayambe .....	29
Tabla N°6: Población del cantón Cayambe por parroquia.....	29
Tabla N°7: Población por grupos de edad del Cantón Cayambe .....	30
Tabla N°8: Rama de actividad del cantón Cayambe .....	33
Tabla N° 9: Actividad económica de los establecimientos comerciales por cantidad y número de casos ocupados. ....	35
Tabla N° 10: Uso actual del suelo del cantón Cayambe .....	36
Tabla N° 11: Red vial del área urbana del Cantón Cayambe. ....	37
Tabla N° 12: Tipo de eventos eruptivos del volcán Cayambe .....	46
Tabla N° 13: Estimación del volumen de agua de glaciar derretida por la generación de flujos piroclásticos y flujos de bloques y ceniza en el volcán Cayambe y del potencial volumen de los lahares primarios, para el escenario S2, evento tipo San Marcos (año 1570). .....	56
Tabla N° 14: Lahares Primarios.....	62
Tabla N° 15: Lahares Secundarios.....	63
Tabla N° 16: Vulnerabilidad de los asentamientos poblados del cantón Cayambe.....	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
Tabla N° 17: Vulnerabilidad de la red vial del cantón Cayambe .....	67
Tabla N° 18: Vulnerabilidad de infraestructuras de servicios del cantón Cayambe.....	69
Tabla N° 19: Vulnerabilidad económica agropecuaria del cantón Cayambe. ....	71
Tabla N° 20: Riesgo ante lahares de la Funcionalidad Territorial.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla N° 21: Riesgo ante lahares de Infraestructura vial .....	75
Tabla N° 22: Riesgo ante lahares del Sistema Económico .....	77
Tabla N° 23: Riesgo ante lahares de los equipamientos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Número total de eventos sísmicos registrados por día en el Volcán Cayambe durante los años 2016 y 2017. ....	2
Gráfico N° 2: Imagen Satelital del Volcán Cayambe .....	17
Gráfico N° 3: Mapa estructural del Complejo Volcánico Cayambe.....	24
Gráfico N° 4: Pirámide poblacional del Cantón Cayambe. ....	31
Gráfico N° 5: Escenarios eruptivos para el Volcán Cayambe .....	43
Gráfico N° 6: Historia eruptiva del volcán Cayambe .....	43
Gráfico N° 7: Estaciones de monitoreo del volcán Cayambe.....	45
Gráfico N° 8: Número semanal de eventos registrados en el volcán Cayambe desde los meses de enero del 2012 a diciembre del 2018. ....	47
Gráfico N° 9: Escenario S0 de una erupción pequeña de origen freática. ....	50
Gráfico N° 10: Escenario S1 de una erupción pequeña de origen magmático. ....	51
Gráfico N° 11: Escenario S1 de una erupción pequeña de origen magmático. ....	53
Gráfico N° 12: Resultados del modelamiento con LaharFlow para lahares primarios en el río Blanco (5 Mm <sup>3</sup> ) con un MDT de 30 metros de resolución. ....	59
Gráfico N° 13: Principales drenajes en el flanco Occidental del volcán Cayambe. ....	60

## INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama N° 1: Metodología para el mapa de vulnerabilidad .....	13
Diagrama N° 2: Metodología de la investigación.....	16
Diagrama N° 3: Cálculo del riesgo por lahares del Cantón Cayambe .....	74

## INDICE DE MAPAS

Mapa N° 1: Mapa Base del Cantón Cayambe .....	18
Mapa N° 2: Mapa de Amenazas volcánicas (lahares) del Cantón Cayambe .....	64
Mapa N° 3: Mapa de Vulnerabilidad ante Lahares de los centros poblados del Cantón Cayambe .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Mapa N° 4: Mapa de Vulnerabilidad ante lahares de la infraestructura vial del Cantón Cayambe .....	68
Mapa N° 5: Mapa de Vulnerabilidad ante lahares de servicios del cantón Cayambe .....	70
Mapa N° 6: Mapa de Vulnerabilidad hacia lahares de los sistemas económicos del Cantón Cayambe .....	72
Mapa N° 7: Mapa de Riesgos ante lahares de la Funcionalidad Territorial del cantón Cayambe .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Mapa N° 8: Mapa de riesgo ante lahares de la infreestructura vial del Cantón Cayambe .....	76
Mapa N° 9: Mapa de riesgo ante lahares de los sistemas económicos del Cantón Cayambe .....	79
Mapa N° 10: Mapa de riesgos ante lahares de los equipamientos del Cantón Cayambe .....	81

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 JUSTIFICACIÓN

El Ecuador se encuentra situado en una de las áreas de más alta complejidad tectónica del mundo, en el punto de encuentro de las placas de Nazca y Sudamérica. Forma parte del denominado “cinturón de fuego del Pacífico”, con una larga serie de volcanes en su mayoría activos que constituyen una amenaza permanente, para las poblaciones que se encuentran a sus alrededores. (FAO, 2009).

En este contexto las amenazas y las vulnerabilidades tienen lugar en aquellos lugares donde los niveles o magnitudes de las amenazas, se superponen con las más altas debilidades sociales e institucionales (Romero, 2011).

En el caso del volcán Cayambe con una altura de 5790 msnm, se debe tomar en cuenta el potencial peligro al que se ven expuestos los habitantes del cantón ante una posible erupción o reactivación volcánica, ya que el riesgo por lahares constituyen uno de los peligros más representativos a los cuales se ven expuestos. Es importante considerar que sobre los 4800 msnm, el volcán está cubierto por un importante casquete glaciar que cubre un área de aproximada de 22 km<sup>2</sup> y que al alcanza un espesor de alrededor de 30 a 50 m en la zona de la cumbre.

Si nos remontamos a la historia eruptiva del volcán, este ha presentado actividad en los últimos 11800 años (Hall y Mothes , 1994). Según (Samaniego P. , Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe, 2004) los productos observados en los estudios de campo son principalmente domos o flujos de lava, flujos piroclásticos, lahares y caídas de ceniza. El registro de la actividad más reciente del Cayambe incluye 18 a 20 erupciones en los últimos 4000 años, las mismas que están distribuidas en tres periodos de actividad volcánica (Samaniego P., Monzier M., Robin C. y Hall, M. L., 1998). El primer periodo se habría dado entre 3800 y 3500 años AP; el segundo entre 2500 y 1700 años AP; y el último inició hace 1100 años. La última erupción del Cayambe ocurrió en los años 1785-1786 (Ascázubi,

1802) y se la describe como una erupción subglaciar que habría producido caídas moderadas de ceniza en Cayambe y la misma habría terminado con un flujo de lava o un lahar en 1786.

Las evidencias de la destrucción de poblados prehispánicos, resultado de las erupciones del volcán Cayambe, constituyen, los hallazgos de cerámica pre – incaica encontrada en la llanura próxima al Cayambe, en depósitos de flujos de lodo, los cuáles, han sido poco investigados (Samaniego P. , El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos., 2004). En uno de ellos se encontró restos orgánicos que fueron fechados en  $260 \pm 120$  DC. correspondiente al final del segundo periodo de actividad del volcán Cayambe (Simbaña, 2017).

Respecto a la actividad sísmica, reciente, del volcán, según los datos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional se tiene un aumento del número de sismos registrados en el año 2016 y primeros meses del año 2017, según se puede observar en el gráfico N°1 a continuación, lo que nos pone en alerta, por un posible incremento de la actividad:

Gráfico N° 1: Número total de eventos sísmicos registrados por día en el Volcán Cayambe durante los años 2016 y 2017.

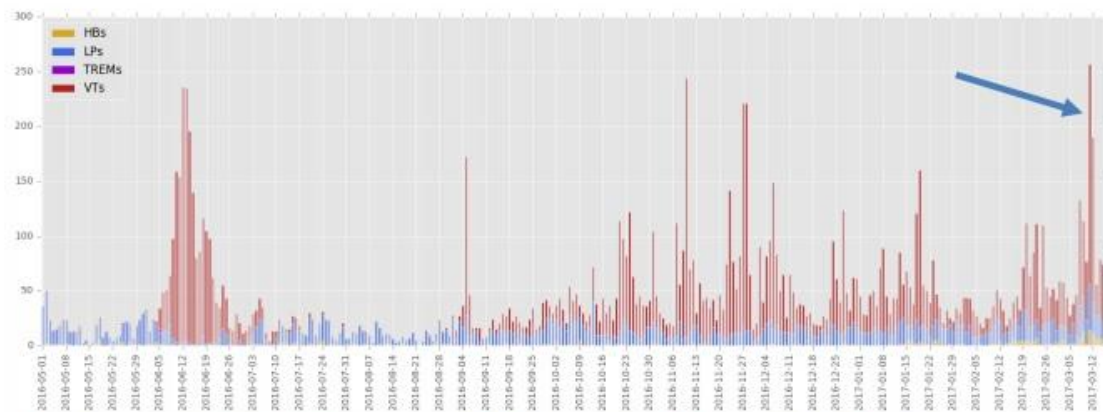


Fig.1: Número total de eventos sísmicos registrados por día en el Volcán Cayambe durante 2016 y 2017.

Fuente: IGPN, 2017

Por las razones expuestas, se ve necesario el estudio de riesgos relacionados al peligro de lahares asociados al volcán Cayambe, lo cual está en concordancia con el acuerdo nacional

para la reducción de riesgos de desastres, cuyo primer eje temático es: *“incorporar la gestión de riesgos de desastres en la planificación nacional y local”*. Adicionalmente se considera lo establecido en la ley Orgánica Reformatoria al Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización Registro Oficial suplemento No.166 del 21 de enero del 2014, que entre otras cosas menciona en *“Artículo 140, ...que “Los gobiernos autónomos descentralizados municipales adoptarán obligatoriamente normas técnicas para la prevención y gestión de riesgos en sus territorios con el propósito de proteger las personas, colectividades y la naturaleza, en sus procesos de ordenamiento territorial....”*

La actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cayambe 2015 – 2025, carece de mapas de amenaza, mapas de vulnerabilidad y mapas de riesgo, lo que no permite conocer la dimensión territorial de los fenómenos naturales y la situación de vulnerabilidad y riesgo de los poblados en el territorio. La temática de riesgos naturales no está incluida en todas las fases de construcción del PDOT. Las limitaciones del PDOT cantonal, aumentan la situación de vulnerabilidad del cantón.

El estudio que se busca presentar consiste en un análisis de la información obtenida de cartografiar las áreas y elementos que pueden tener afectaciones ante una posible erupción que desencadene eventos laharicos. Se intenta aportar con una valoración de la amenaza y vulnerabilidad, para entender de mejor manera los riesgos existentes en el cantón y a partir de esto, generar estrategias que puedan servir como base para la orientación de los esfuerzos, en la gestión de riesgo.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Hasta el momento lo que podemos conocer se han realizado mapas de peligros volcánicos sin embargo, dentro del Cantón Cayambe el tema de los riesgos apenas es abordado dentro de su actualización del Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2015-2025, gracias a esto podemos identificar la vulnerabilidad institucional frente a la carencia de mapas de riesgo o planes de contingencia, por esta razón es de suma importancia que se genere información actualizada acerca de los riesgos y amenazas a los cuales está expuesto el cantón ante una posible erupción del volcán, de esta forma se busca fomentar la cultura de

las personas de tal forma que se encuentren preparados ante cualquier posible desastre. Partiendo de estas premisas existe la necesidad de producir los documentos antes mencionados, por lo que un mapa de riesgo ante la amenaza por lahares es de suma importancia para el cantón.

El cantón Cayambe ha elaborado la actualización del Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2015-2025, el cual identifica, entre otras cosas, que: “...*El mayor peligro sería el derretimiento de los glaciares por materiales piroclásticos que provocarían flujos de lodo, y, si se confirma la existencia de domos en el complejo de cimas, podría añadirse el peligro de colapsos de domos que también producirían lahares* (GAD Cayambe, 2015)”, sin embargo lo identificado, no se profundiza en la temática de riesgos. Lo cual evidencia que, las autoridades del cantón son conscientes del peligro al que se encuentran expuestos pero al mismo tiempo carecen de información, lo que implica la inexistencia de estrategias de gestión del riesgo ante una posible erupción.

Por las razones antes mencionadas se propone realizar un estudio de riesgo por lahares y flujos de lodo ante una posible erupción del volcán Cayambe, de este modo se busca que la información generada, en el estudio, constituya un insumo para la gestión de riesgos dentro del cantón.

### 1.3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICO

- **Objetivo General:** Analizar el riesgo volcánico en el cantón Cayambe como insumo para la Gestión de riesgo con el fin de conocer el impacto económico ante una erupción, realizando un análisis multicriterio y algebra de mapas dentro de un SIG.
- **Objetivos Específicos:**
  - ✓ Identificar la amenaza ante lahares en el cantón Cayambe.
  - ✓ Realizar un análisis de vulnerabilidad económica en el cantón Cayambe.
  - ✓ Realizar mapas de los riesgos ante lahares en el cantón Cayambe.
  - ✓ Proponer estrategias de gestión de riesgo ante lahares en el Cantón.

#### **1.4. MARCO REFERENCIAL**

Gracias a la revisión de estudios previos (Samaniego 1998, Samaniego 2002, Samaniego 2004, Bernard y Samaniego 2017,) pudimos conocer la historia eruptiva del volcán, así como las fechas de ocurrencia de las principales erupciones con sus respectivas dinámicas y consecuencias y gracias a esto poder llegar a definir posibles escenarios acerca del comportamiento del volcán en un futuro.

Según (Bernard B. y Samaniego P, 2017), en el caso de que el volcán Cayambe entre en un proceso eruptivo, el peor escenario posible más probable correspondería a una erupción explosiva, o a la formación de un domo o un flujo de lava viscosa en los flancos norte occidental y oriental. De este modo se producirían lahares primarios en dirección al oriente por medio del sistema fluvial de los ríos Salado-Quijos (Samaniego P. , Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe, 2004), y en este caso podrían afectar la vía de acceso al norte del país.

Actualmente el instituto Geofísico escuela Politécnica Nacional realiza informes anuales detallando la actividad del volcán.

Según el Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización (COOTAD, 2010) establece las responsabilidades municipales en temas de riesgos, según el Art. 54: la municipalidad tiene la responsabilidad de regular y controlar las construcciones en la circunscripción cantonal, con especial atención a las normas de control y prevención de riesgos y desastres. Art. 466: Atribuciones en el ordenamiento territorial.- Corresponde exclusivamente a los gobiernos municipales y metropolitanos el control sobre el uso y ocupación del suelo en el territorio del cantón, por lo cual los planes y políticas de ordenamiento territorial de este nivel racionalizarán las intervenciones en el territorio de todos los gobiernos autónomos descentralizados, incluyendo la evaluación de riesgos de desastres. (COOTAD, 2010).

El cantón de Cayambe trabaja con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) actualizado 2015-2025, este PDOT se encuentra de acuerdo con lo estipulado en la Constitución de la República del Ecuador, el COOTAD (Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización), el COPFP (Código Orgánico de Planificación

y Finanzas Públicas), y el PNBV (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013- 2017), todo basado en la Guía de contenidos y procesos para la formulación de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de provincias, cantones y parroquias de la SENPLADES, es decir que el PDOT del cantón Cayambe si cumple con la mencionada guía y con todas las disposiciones legales. (SENPLADES, 2012)

## **1.5. MARCO TEÓRICO**

La futura disertación se enfoca en los riesgos y como mitigarlos, así podemos entender que el riesgo puede reducirse si se entiende como el resultado de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un evento, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Cardona, 1993)

En términos generales, la "vulnerabilidad" puede entenderse, entonces, como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas, y por lo tanto su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso. La diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento (Fournier, 1985). Siempre tomando en cuenta que tanto la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo tienen lugar dentro de un espacio geográfico llamado territorio.

Por lo mencionado anteriormente, se ha seleccionado la Geografía de los Riesgos, la cual, se apoya en una serie de conceptos que trascienden el marco específico de la disciplina, para incorporar los aportes que vienen generando otras ciencias (Geología, glaciología, hidrología, etc.), a través de lo cual se sigue avanzando en la compleja realidad de la amenaza, la vulnerabilidad, el riesgo y la situación de desastre (Cortéz, M, Becerra, P., 2006).

A partir de lo anterior la Geografía de los Riesgos, como campo de la ciencia social en integradora de los conocimientos mencionados anteriormente se interesa por profundizar en el análisis de las características culturales del desarrollo de los territorios (su historia, educación, economía, y política), y de la organización espacial de las sociedades, que favorecen o dificultan la prevención y la mitigación, aspectos imprescindibles en la búsqueda y aplicación de medios efectivos, que permitan reducir el impacto de los desastres (Cortéz, M, Becerra, P., 2006)

Un análisis de riesgo es un informe de situación de riesgo, con el fin de apoyar un proceso de toma de decisiones. Este análisis contempla “la magnitud estimada de pérdidas posibles generadas por un determinado evento adverso y sus efectos, sobre las personas, las actividades institucionales, económicas, sociales, y el ambiente.

## 1.6. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual reúne los conceptos más importantes que conlleva el presente estudio:

- **Lahar:** “Término indonesio que se refiere a una corriente de lodo que surge en las laderas de un volcán. Contiene detritos de todos los tamaños, generalmente angulosos y generalmente de origen volcánico. Los lahares se desplazan bajo la acción de la fuerza de gravedad. La alta capacidad de transporte y su gran movilidad se explican por una densidad considerable de masa de lodo. El lahar surge al mezclarse materiales volcánicos fríos e incandescentes con las aguas de los lagos-cráter, ríos, glaciares o aguas proluviales. Se Conocen lahares fríos y ardientes” (Lugo, 1989)
- **Lahar Ardiente:** “Corriente de material piroclástico con gran cantidad de ceniza mezclada con agua. Surge durante las erupciones explosivas de los volcanes que tiene lago cráter o hielo, puede provocarse por lluvias fuertes y deshielos de las nievas en las laderas del volcán. Los materiales de los lahares ardientes son caóticos semejantes a las nubes ardientes, pero en ellos se observan capas, se presentan gradas laterales de detritos gruesos, semejantes a las morrenas laterales de los glaciares” (Lugo, 1989).

- **Flujo piroclástico:** Los flujos piroclásticos o corrientes de densidad como ahora se les conoce, son flujos compuestos por gases y material sólido (ceniza y rocas de diverso tamaño) capaces de fluir a grandes temperaturas y velocidades y de sobrepasar obstáculos a su paso. La velocidad que alcanzan varía según la proporción de sólidos y gases (Oppenheimer, C., 2004).
- **Glaciar:** Son masas de hielo depositadas durante los períodos climáticos glaciales o de baja temperatura y que bajo la influencia de la gravedad se desplazan según la topografía desde la cumbre de un volcán. Existen varias formas de clasificar a un glaciar. Su morfología es controlada por la topografía. En el Ecuador, se encuentran a partir de los 4900 msnm (Rivera, 2009)
- **Glaciar Fósil:** también llamado glaciar rocoso o zona de hielo muerto, son cuerpos formados mayoritariamente de rocas, depósitos morrénicos finos, y de hielo. Poseen una geometría en forma de lengua o lóbulo y su origen es glaciar. (Rivera, 2009)
- **Amenaza natural:** “Evento, fenómeno o actividad potencialmente perjudiciales que podrían causar pérdida de vidas o lesiones, daños materiales, sociales o económicos, o degradación ambiental. Las amenazas incluyen condiciones que pueden materializarse en el futuro” (SNGR, “Glosario de términos y abreviaturas, 2015).
- **Vulnerabilidad:** “Corresponde a las condiciones, factores y procesos que aumentan la susceptibilidad y exposición de una comunidad o sistema al impacto de las amenazas, y a los factores que dañan su resiliencia” (SNGR, “Glosario de términos y abreviaturas, 2015)
- **Riesgo:** “El riesgo es una condición latente que, al no ser modificada o mitigada a través de la intervención humana o por medio de un cambio en las condiciones del entorno físico-ambiental, determina un nivel de impacto social y económico hacia el futuro, cuando un evento físico se presente. Este riesgo se expresa y se concreta con la existencia de población humana e infraestructuras

expuestas al posible impacto de los diversos tipos de eventos físicos posibles, y que, además, se encuentra en condiciones de “vulnerabilidad”, es decir, en una condición que predispone a la sociedad y sus medios de vida a sufrir daños y pérdidas. El nivel del riesgo estará condicionado por la intensidad o magnitud posible de los eventos físicos, y el grado o nivel de la exposición y de la vulnerabilidad” (Narváez et al., 2009).

- **Gestión del Riesgos:** “Se refiere a un proceso social cuyo fin último es la previsión, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con el logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles” (Narváez et al., 2009). Mitigación: “Actividades y medios empleados para reducir o limitar los efectos negativos de los eventos adversos en la gestión del riesgo” (SNGR, “Glosario de términos y abreviaturas, 2015).
- **Prevención:** “Conjunto de acciones cuyo objeto es evitar que sucesos naturales o generados por la actividad humana, causen eventos adversos” (SNGR, “Glosario de términos y abreviaturas, 2015).
- **Estrategias de Gestión de Riesgos:** “Las estrategias para reducir los desastres fortalecen la posibilidad de reducir o de mitigar las pérdidas humanas, económicas y sociales causadas por los desastres y, de esa manera, facilitar un crecimiento sostenido, fin de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales, en la Gestión del Riesgo” (UNDRR, 2001).
- **Territorio:** es un sistema complejo que da cuenta de una forma particular de apropiación del espacio natural por parte de un grupo social, generando relaciones dinámicas productivas, sociales, políticas e institucionales y una cultura que recoge los códigos, valores e identidad. El territorio se basa en un sentido de adscripción y pertenencia (Buitelaar, 2015).

## 1.7. MARCO METODOLÓGICO

### Fase 1: Recopilación de Información Secundaria

Esta fase consta de un reconocimiento del perfil territorial del cantón Cayambe, basándose en la información generada en el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón, información cartográfica base y temática generada por instituciones públicas (Sistema Nacional de Información, en dónde se encuentra la información generada por instituciones tales como: Secretaría del Agua, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Instituto Geográfico Militar, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, organizaciones no Gubernamentales (ONGs); informes y publicaciones del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, relacionados con la actividad volcánica del volcán, con el fin de generar información cartográfica que pueda servir de base para el desarrollo de la investigación.

La información cartográfica que se generará en el desarrollo de la investigación, nos permitirá identificar la vulnerabilidad del cantón, la amenaza de lahares y el riesgo que tiene el cantón ante la ocurrencia de una erupción volcánica que genere lahares.

Para poder realizar los diferentes mapas dentro del estudio se necesitará la siguiente información.

Tabla N°1: Información fuente de la investigación

<b>COBERTURA</b>	<b>FUENTE</b>	<b>ESCALA</b>	<b>AÑO</b>
Vías	<b>IGM</b>	<b>1:50.000</b>	<b>2013</b>
Uso de Suelo	<b>MAGAP</b>	<b>1:50.000</b>	<b>2013</b>
Mapa de Peligros Volcánicos	<b>IGPN</b>	<b>1:100.000</b>	<b>2017</b>
Infraestructura	<b>IEE</b>	<b>1:50.000</b>	<b>2013</b>
Elaborado por: Guerrero J, 2019			

Los métodos que se piensan utilizar son Álgebra de mapas y Evaluación Multicriterio, mediante la utilización de SIG, al integrar diferentes herramientas de geo procesos para coberturas tipo vector y ráster, y así obtener la información requerida.

## **Fase 2: Identificar y mapear la amenaza y la vulnerabilidad.**

La identificación de la amenaza se la realiza en base a la información y cartografía desarrollada por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional del Ecuador y a la elaboración propia de un mapa de peligros, que puede permitir la construcción de diferentes escenarios. El mapa de amenaza será realizado con las herramientas Lahar Flow y Volc-Flow”, que son códigos computacionales utilizados para modelar diferentes tipos de fenómenos y los cuales has sido desarrollados por los Departamentos de Ciencias de la Tierra y Matemáticas de la Universidad de Bristol, tomando en cuenta la erupción moderada tipo San Marcos S2. Para este escenario el criterio con el que se estudia la amenaza es que para el área afectada de las erupciones menos frecuentes, se considere un peligro medio y alto según el alcance de la erupción tipo San marcos.

### **Mapas de Amenazas**

El Mapa de Amenazas por peligros volcánicos, es responsabilidad de los especialistas del instituto Geofísico de la escuela Politécnica nacional por lo que los cambios que se planean realizar serán mínimos pero necesarios. Esta información será usada como base para medir el grado de amenaza; alto, medio o bajo, de los lahares y flujos piroclásticos en relación con el cantón Cayambe.

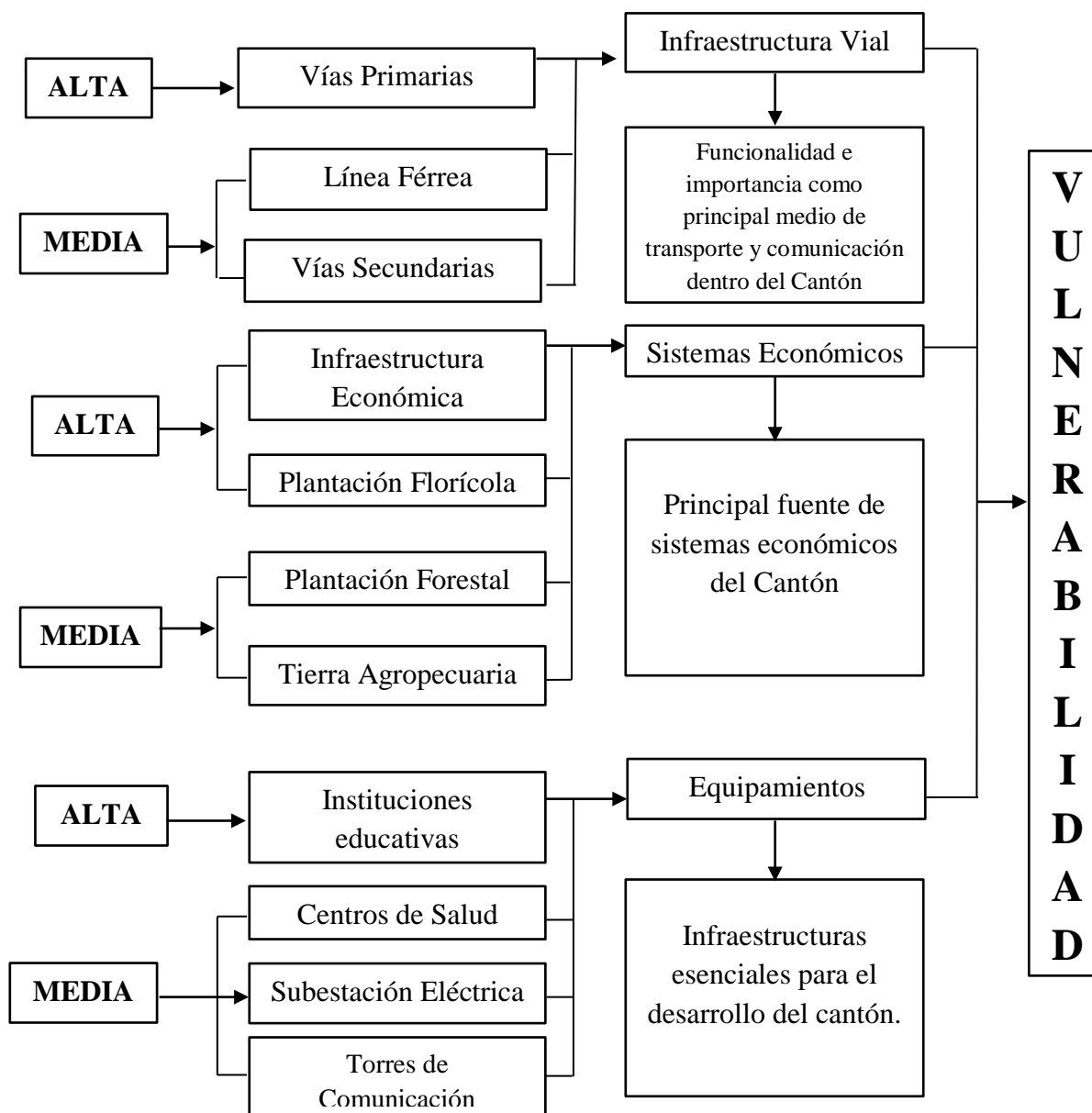
- **Realizar un análisis de vulnerabilidad y elaborar Mapas de Vulnerabilidad**

El análisis de vulnerabilidad se guiará de la Propuesta Metodológica de análisis de vulnerabilidad a Nivel Municipal (SNGR, “Propuesta metodológica. análisis de Vulnerabilidades a nivel Municipal”, 2012). Esta metodología entiende al territorio como expresión de vulnerabilidades y riesgos. Se detalla a nivel cantonal, los factores de

vulnerabilidad relacionados a la posible afectación ante eventos adversos de los asentamientos humanos, infraestructuras, actividades económicas; que devienen en algún tipo de vulnerabilidad, es decir los elementos esenciales del territorio. Se busca estimar la vulnerabilidad económica en diferentes niveles, ofreciendo cartografía y un diagnóstico de las áreas o elementos considerados como vulnerables, a través de una ponderación. Y así generar diferentes propuestas que en un futuro puedan ser útiles para el cantón y así ayuden en la prevención, mitigación y gestión de las diferentes vulnerabilidades a las que puede estar expuesto en un momento de crisis.

El Mapa de Vulnerabilidad económica se dividirá en 3 componentes principales: Infraestructura Vial, Sistemas Económicos y equipamientos para la población, los mismos que serán trabajados con coberturas en formato shapefile determinadas de la siguiente manera:

Diagrama N° 1: Metodología para el mapa de vulnerabilidad



Elaborado por: Guerrero J, 2019

Hay que tomar en cuenta que al momento de utilizar las capas de Infraestructura económica e infraestructura vial se utilizó la operación de generalización; exageración, que consiste en aumentar su tamaño dentro del mapa para que pueda interpretarse con mayor facilidad y no perder información en la representación (Oyala, 2014).

A cada mapa de vulnerabilidad se piensa dar un peso ponderado, que va de 1 a 3 y también una variación de colores, que serían rojo, amarillo y blanco; para de esta manera, determinar su grado de vulnerabilidad con respecto a sus características.

**Fase 3: Integrar los resultados obtenidos mediante un análisis multicriterio y algebra de mapas, combinado con un SIG.**

Se busca que el mapa de amenaza por lahares, mismo que delimita una zona de afectación del territorio y el mapa de vulnerabilidad económica, sean ponderados con valores asignados al área de estudio, para la vulnerabilidad y la amenaza el peso ponderado será de uno a tres, y de esta forma se hace un cruce o superposición de capas de información geográfica para así obtener el mapa de riesgo ante lahares y flujos piroclásticos.

Tabla N°2: Valoración del riesgo ante lahares

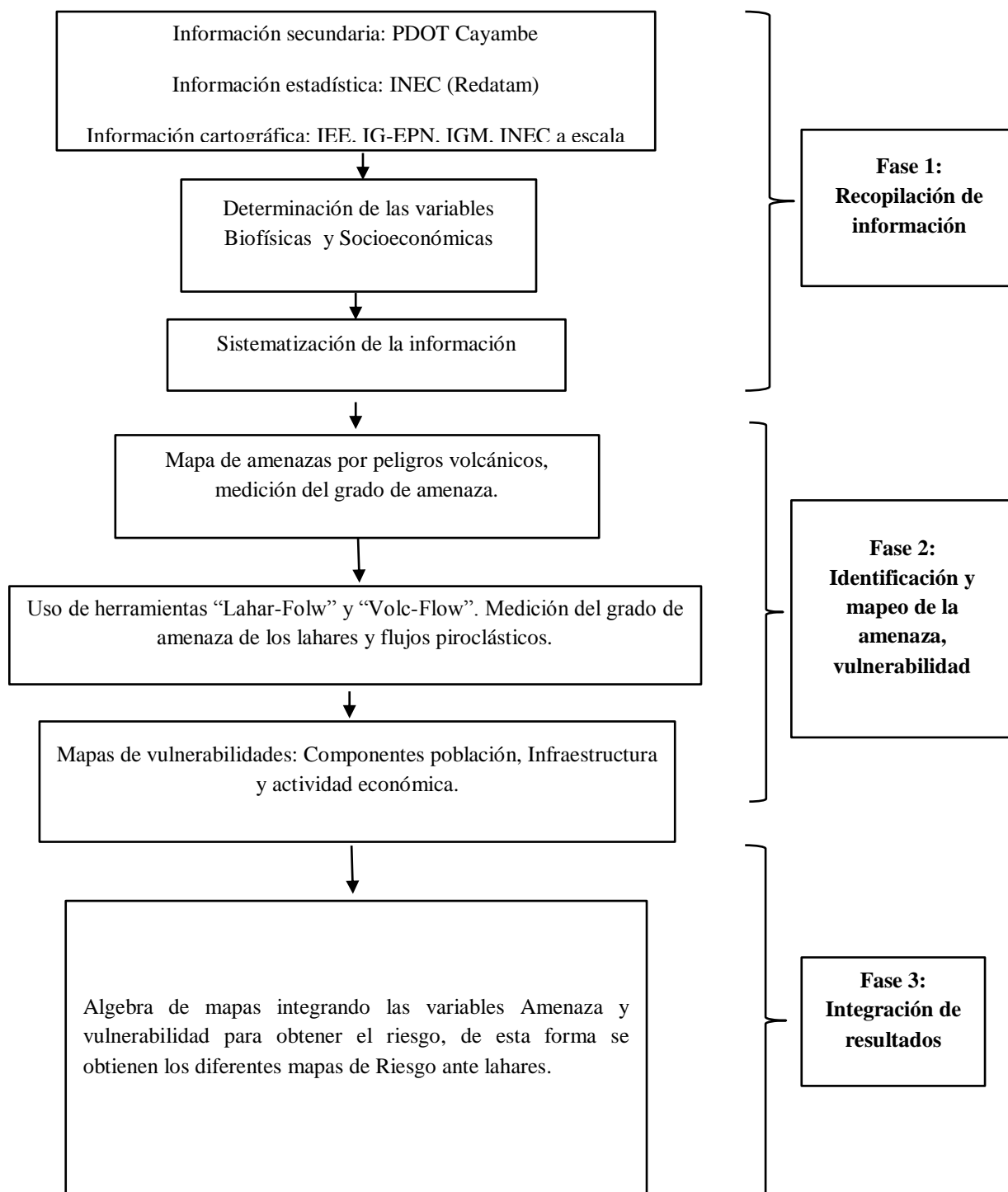
		AMENAZA		
		BAJA (1)	MEDIA (2)	ALTA (3)
VULNERABILIDAD	BAJA (1)	BAJO	BAJO	MEDIO
	MEDIA (2)	BAJO	MEDIO	ALTO
	ALTA (3)	MEDIO	ALTO	ALTO
Elaborado por: Guerrero J, 2019				

Para la elaboración del mapa de riesgo se consideró el grado de amenaza correspondiente a los distintos tipos de lahares, posibles escenarios y el grado de vulnerabilidad del territorio.

Esta información se almacenó en capas temáticas y fue procesada en el software ARCGIS 10.3. Mediante la superposición de las capas temáticas del territorio con análisis multicriterio en el software, se obtuvo de manera cuantitativa el grado de riesgo. Brindando de esta manera la información base para generar estrategias de gestión de riesgo.

El análisis multicriterio se define como un modelo de evaluación que parte de confrontar distintas variables que pueden estar en conflicto y afronta el problema entre la preferencia o selección de un conjunto de alternativas reales, en presencia de diversos criterios, delimitados entre sí. Para este análisis se considerará la erupción moderada tipo San Marcos S2. Se busca realizar un Mapa de riesgo ante lahares del cantón Cayambe para cada componente.

Diagrama N° 2: Metodología de la investigación



Elaborado por: Guerrero J, 2020

## CAPÍTULO 2

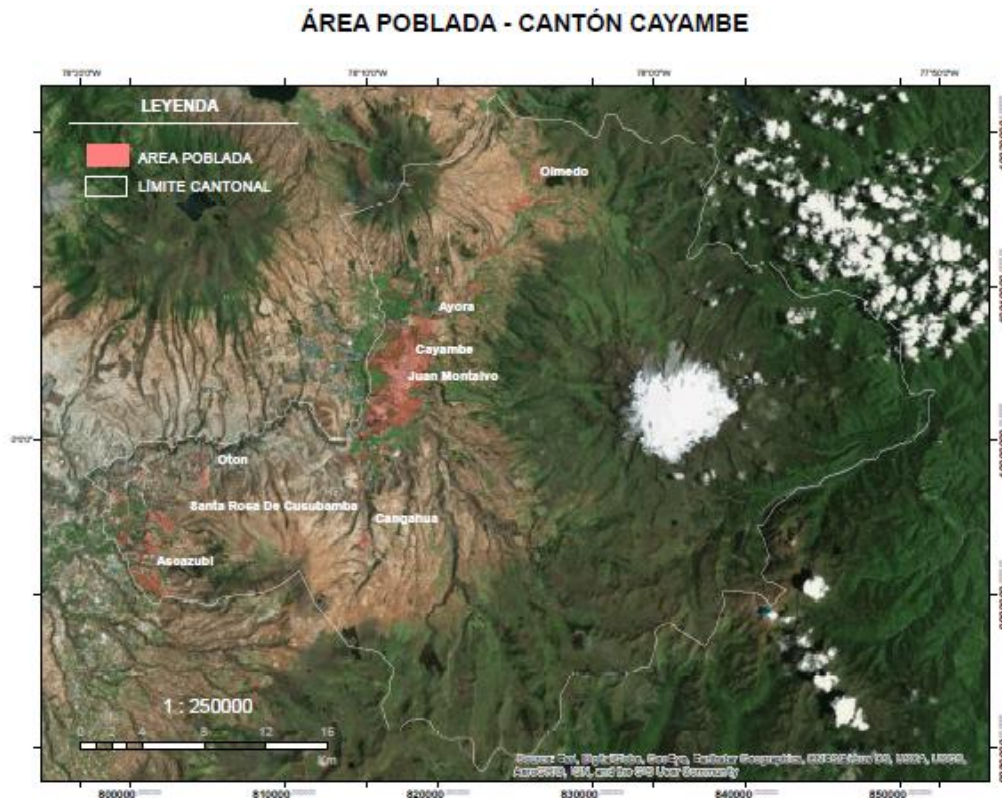
### CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DEL CANTÓN CAYAMBE

#### 2.1. UBICACIÓN

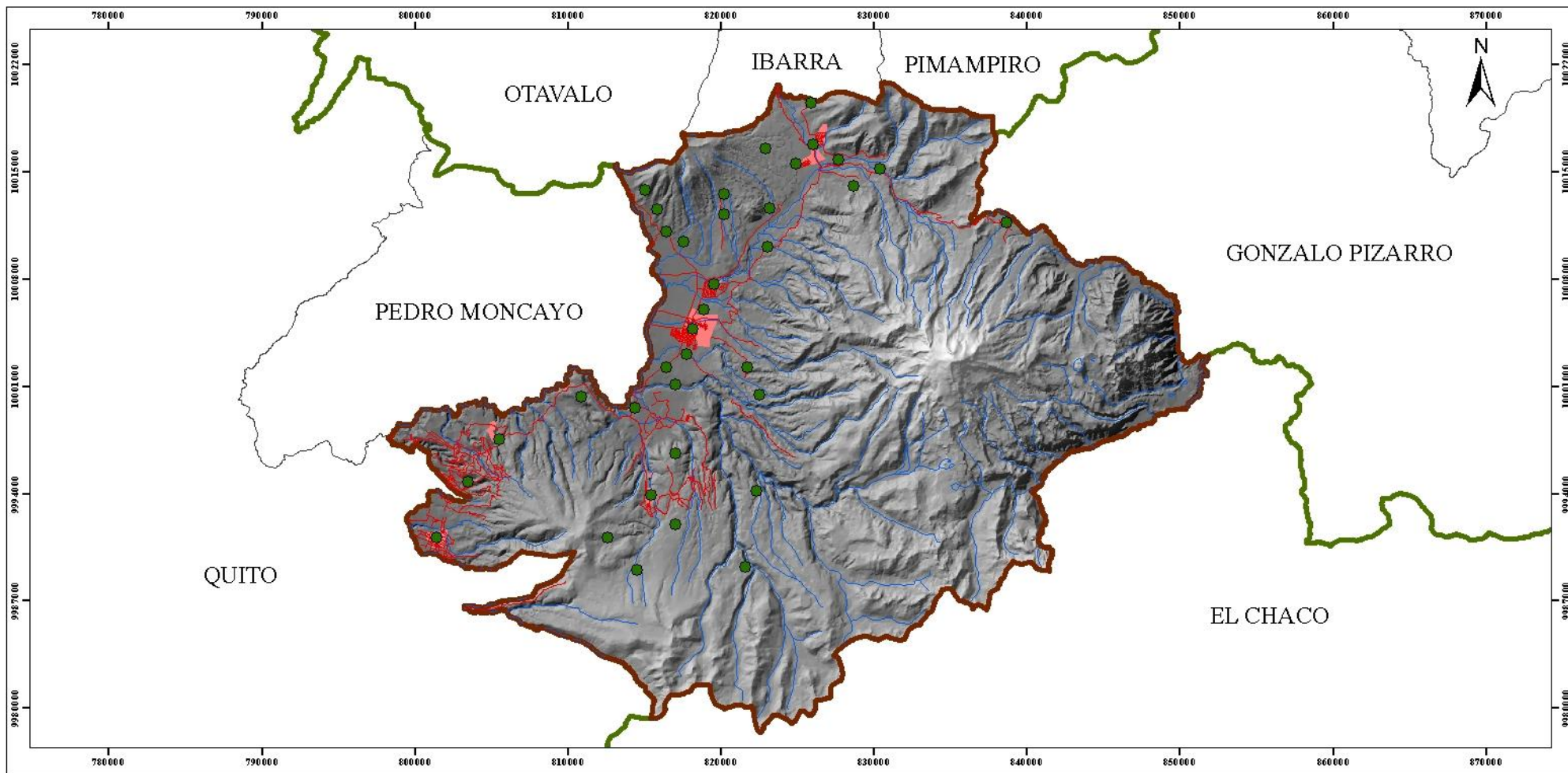
El cantón Cayambe se encuentra ubicado al Noreste de la provincia de Pichincha, al pie del nevado que lleva su nombre; posee una extensión de 1.350 km<sup>2</sup>; su cabecera cantonal tiene su mismo nombre, la fecha de cantonización fue el 23 de Julio de 1.883.

Sus límites son: al NORTE la provincia de Imbabura al SUR con el Distrito Metropolitano de Quito; al ESTE la Provincia de Napo y Sucumbíos; y al OESTE con el cantón Pedro Moncayo.

Gráfico N° 2: Imagen Satelital del Volcán Cayambe



Fuente: Google, 2019



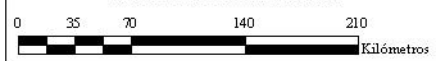
**SIMBOLOGÍA**


- Asentamientos Humanos
- Red Vial
- Hidrografía
- Centros Poblados
- Cantón Cayambe
- Límite Provincial
- Límite Cantonal

**UBICACIÓN CON RESPETO A LA PROVINCIA**



**ESCALA GRÁFICA 1:250.000**



 <p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR                  FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS                  ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS                  CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL</p>	
<p>Contenido: Mapa Base Cantón Cayambe</p>	
<p>Elaboración: Josué Guerrero</p>	<p>Revisado por: Jenny Zamora</p>
<p>Dátum: WGS 84</p>	<p>Sistema de referencia: UTM</p>
<p>Escala: 1 150 000</p>	<p>Zona 17 Sur</p>
<p>Fuente: Instituto Geográfico Militar, Instituto Ecuatoriano Espacial</p>	

## 2.2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

### 2.1.1. Clima

El clima del Cantón Cayambe se encuentra denotado por los siguientes parámetros climáticos como: precipitación, temperatura media, temperaturas medias máxima y mínima, temperaturas máximas y mínimas absolutas, nubosidad, velocidad del viento, humedad relativa y heliofanía, los cuales se los mide a través de la siguientes estaciones meteorológicas que se encuentran según su ubicación en coordenadas planas y según su altura en el cantón y que se ha medido en un periodo de 25 años que son:

Tabla N°3: Matriz de estaciones meteorológicas según su localización y altura

CÓDIGO	ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTURA msmm
		ESTE	NORTE	
M023	Olmedo-Pichincha	825692	1001569	3120
M344	Cangahua	815332	9993576	3140
M359	Cayambe	818117	1000560	2840
M566	Ascazubi Inamhi	801828	9991375	2580
M628	Hda. Pesillo	826871	1001756	3160
Fuente: IEE-MAGAP, 2013				
Elaborado por: Guerrero J, 2019				

La temperatura oscila entre 8° y 18° centígrados, en promedio sin embargo en las zonas que rodean al nevado la temperatura puede llegar a 0°C, el cantón Cayambe tiene la humedad relativa cercana al 80%, Cayambe tiene un altitud: 2.700 a 5.790m.s.n.m, su clima es frío – templado.

Dentro del cantón existen zonas cuya precipitación anual promedio está entre los 500 mm<sup>3</sup>, llegando en otras zonas hasta los 2100 mm<sup>3</sup>. En todo el cantón siendo las precipitaciones más fuertes en la parte alta del cantón en la zona que limita con el oriente, específicamente con las provincias de Sucumbíos y el Napo.

Para la parroquia urbana o cabecera cantonal de Cayambe la situación es algo diferente, ya que las precipitaciones en la zona baja de la parroquia, zona Sur-Este están comprendidas en el orden de los 1100 a 1600 mm<sup>3</sup>/año, mientras que en el sector donde se encuentra el área urbana estos valores descienden, encontrándose en valores de entre 500-1000 mm<sup>3</sup>/año. Lo que da como resultado una parroquia y un cantón con precipitaciones heterogéneas, siendo importantes en las zonas altas del cantón y parroquia cercanas al parque nacional Cayambe.

### **2.2.2. Geología**

Según (GAD Cayambe, 2015) la geología del cantón Cayambe se caracteriza por 9 formaciones geológicas, las cuales se describen a continuación:

- **Volcánicos Angochagua (P<sub>I-An</sub>) Plioceno:** Esta formación se encuentra principalmente en el norte del cantón formando relieves con pendientes fuertes y formas de cimas agudas. Constan de lavas, brechas volcánicas y tobas derivadas de erupciones pliocénicas del Angochagua. Las lavas son andesíticas y basálticas columnares, de color gris, compactas, grano fino a medio, constituidas de fenocristales de plagioclasas, clinopiroxenos y ortopiroxenos. El espesor de esta formación es de 1200 metros (GAD Cayambe, 2015).
- **Volcánicos Indiferenciados (P<sub>v</sub>) Pleistoseno:** Se encuentran al Suroeste del Cantón Cayambe, formando relieves volcánicos colinados muy altos, los cuales se encuentran constituidos de lavas andesíticas porfiríticas y piroclástos (GAD Cayambe, 2015).
- **Formación Chiche (Q<sub>CH</sub>) Pleistoseno:** Esta formación se encuentra principalmente en la parte sur occidental del cantón formando vertientes abruptas, gargantas y terrazas colGADIPas. De la base hacia arriba se encuentra constituida de conglomerados, tobas aglomeráticas, microconglomerados y brechas volcánicas en forma de mantos rítmicos y estratificados. El espesor de esta formación sobrepasa los 100 metros (GAD Cayambe, 2015).

- **Volcánicos Cayambe (Q<sub>y</sub>).Cuaternario:** Esta formación geológica corresponde a productos volcánicos que están depositados en la parte Este del cantón en las cercanías del volcán Cayambe. Están constituidos de lavas, brechas volcánicas, aglomerados y piroclastos. Las lavas son andesíticas con altos contenidos de piroxeno. El espesor de esta formación supera los 600 m (GAD Cayambe, 2015).
- **Formación Cangahua (Q<sub>c</sub>) Cuaternario:** Esta formación se encuentra distribuida en todo el cantón como una capa de cobertura sobre el suelo, la cual se constituye de toba volcánica y ceniza. En la base de esta formación se encuentran piroclastos de pómez en capas de 2 a 4 m de espesor. La toba es de grano fino a medio, de color amarillento; cubriendo a estos depósitos se encuentran capas de ceniza de color variable desde gris a amarillenta. En ciertos lugares el espesor supera los 80 metros (GAD Cayambe, 2015).
- **Depósito glaciar (d<sub>g</sub>) Cuaternario:** Esta formación está representada por morrenas y depósitos fluvio – glaciales, la cual se constituye por rocas volcánicas redondeadas a subangulares en una matriz arenosa arcillosa poco consolidada, fragmentos de varios tamaños de andesitas y rocas afines a cada sector. En el cantón se presentan en la unidad ambiental Cimas Frías de las Cordilleras Heredadas de Formas Paleoglaciales en valles en U y morrenas en las cercanías del volcán Cayambe (GAD Cayambe, 2015).
- **Depósito aluvial (Q<sub>1</sub>) Cuaternario:** Estos depósitos se localizan en los márgenes de los principales ríos del cantón. Están constituidos de clastos subredondeados a redondeados de diferente composición y tamaño (gravas, arenas, limos y arcillas). Se encuentran distribuidos en la parte central y occidental del cantón formando valles y terrazas aluviales, originados por los drenajes (GAD Cayambe, 2015).
- **Depósito coluvial (Q<sub>2</sub>) Cuaternario:** Estos depósitos corresponden a superficies planas, los cuales aparecen al pie de una ladera como resultado del transporte gravitacional de los materiales resultantes de la desintegración de relieves primarios, están compuestos de material suelto y heterogéneo, suelo y clastos de

diferente tamaño. Se encuentran en menor cantidad que los otros depósitos, repartidos a lo largo del cantón (GAD Cayambe, 2015).

- **Depósitos coluvio aluviales (Q<sub>3</sub>) Cuaternario:** Estos depósitos corresponden a clastos subredondeados y subangulares, asociados a material limoso y arenoso. Este material rellena los valles formados por los ríos y parte de las cuencas hidrográficas. Se encuentran repartidos en la parte sur y norte del cantón (GAD Cayambe, 2015).

### **2.2.2.1. Geología del complejo volcánico Cayambe**

El Complejo Volcánico Cayambe (CVC) presenta una base aproximadamente rectangular (24 km E-W por 18 km N-S), ubicada a una altura de 2800-3000 msnm (metros sobre el nivel del mar) en la parte occidental y:3400-3800 msnm en la parte oriental. La parte superior del complejo, alargada en dirección E-W, está constituida por una cumbre principal (5 790 m) y una cumbre secundaria (5 487 m) ubicada a 1.5 km al Este de la primera. Sobre los 4800 msnm, el complejo está cubierto por un importante casquete glacial que cubre un área de aproximadamente 22 km<sup>2</sup> Y que alcanza un espesor de 30-50 m en la cumbre. De este casquete glacial descienden grandes lenguas glaciares hasta los 4400 m en el flanco oriental, mientras que en el flanco occidental, más seco, los glaciares llegan hasta una altura de 4600- 4800 m. El complejo volcánico Cayambe, está formado por tres edificios sucesivos (Samaniego P. , El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos., 2004).

El "Viejo Cayambe" (VCAY) es un edificio lávico, bastante erosionado, ubicado en la parte occidental del complejo volcánico y que se construyó durante el Pleistoceno (Samaniego P. , El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos., 2004). Considerando la inclinación de los flujos de lava que constituyen los remanentes de este edificio, se puede inferir que la parte central del mismo se ubicó aproximadamente en la parte central del complejo y que alcanzó una altura de 4 300-4 400 msnm. El reconocimiento de importantes secuencias pumíticas en la parte SW del complejo (río Guachalá) y a la forma arqueada del valle del río Blanco, sugieren que la evolución de este edificio terminó con la formación de una caldera de colapso asociada a una importante actividad piroclástica. Las rocas de este edificio constituyen una serie

andesítica de medio-K (57-73 wt% SiO<sub>2</sub>), siendo las dacitas y las riolitas escasas y restringidas exclusivamente a la etapa terminal de este edificio. La mineralogía característica del VCAY incluye la presencia de plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y óxidos de Fe-Ti.

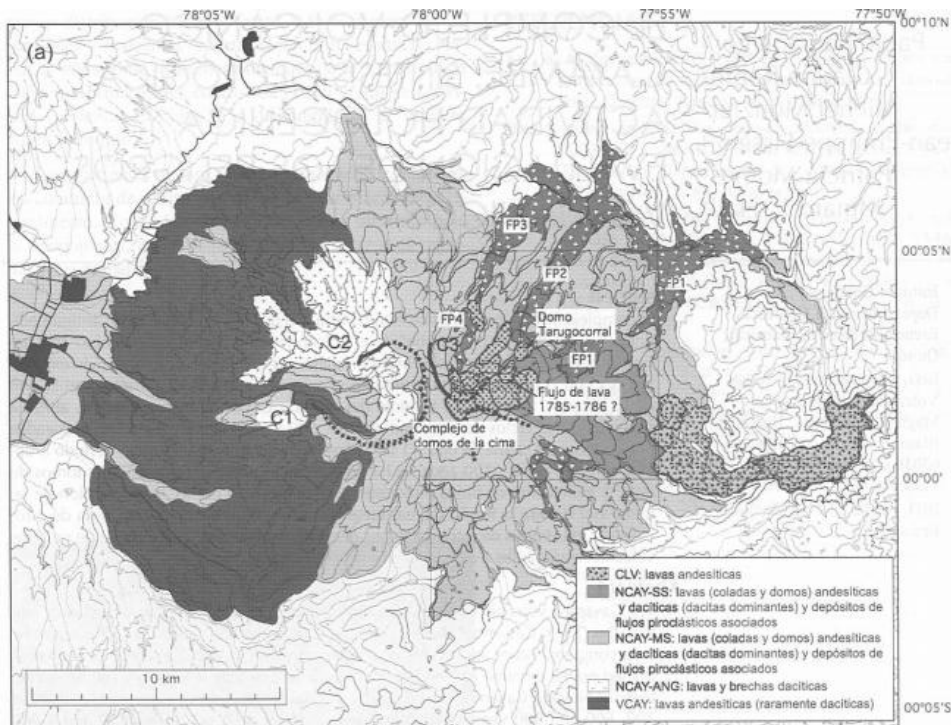
El edificio actual o "Nevado Cayambe" (NCAY) es un estratovolcán compuesto, construido sobre los remanentes orientales del volcán de base durante el Pleistoceno superior y el Holoceno. Las correlaciones estratigráficas con una capa guía regional nos permiten determinar que la edad de este edificio es inferior a 0.165 Ma. Petrográficamente las rocas de este edificio constituyen también una serie calco-alkalina de medio-K (58-69 wt% SiO<sub>2</sub>), siendo en este caso las dacitas más abundantes que las andesitas. La mineralogía característica de las lavas del NCAY está constituida por la presencia de plagioclasa, anfíbol, ortopiroxeno, clinopiroxeno y óxidos de Fe-Ti. El NCAY está constituido por tres edificios sucesivos:

- El cono del Angureal (NCAY-ANG) es el edificio que marca la transición entre el volcán de base y el volcán reciente. Se trata de un edificio bastante erosionado, cortado por el profundo valle del río Blanco. La reconstrucción de este edificio basada en la inclinación de los flujos de lava del mismo implica que su cumbre se ubicó aproximadamente a 3 km al oeste de la cumbre actual y su altura fue de alrededor de 5200 m. La estructura en forma de herradura abierta hacia el occidente ubicada en la cabecera del río Blanco sugiere la ocurrencia de un colapso sectorial, el cual debió afectar las secuencias volcánicas de este cono y del edificio subyacente (VCAY) (Samaniego P., El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos., 2004).
- El edificio que forma la cumbre principal del complejo (NCAY-MS) es un edificio complejo, coronado por un complejo de domos somitales. Este edificio ha presentado diferentes fases de construcción (flujos y domos de lava) y de destrucción del edificio (erupciones ignimbríticas y colapsos sectoriales). En particular se debe señalar la ocurrencia de dos colapsos sectoriales que afectaron los flancos W y N. El colapso del flanco occidental se evidencia por la estructura en

herradura de la cabecera del río Blanco y los depósitos de avalancha que afloran en el río Blanco, Granobles y Guachalá; mientras que los productos del colapso del flanco norte, constituyen el depósito de avalancha del río San Pedro. La cumbre secundaria del complejo (NCA Y-SS) fue construida sobre el flanco occidental del NCA Y-MS. Este edificio se encuentra exento de erosión glacial, lo cual sugiere una edad holocénica (post-glacial) (Samaniego P. , El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos., 2004).

Finalmente, en el extremo oriental del complejo se encuentra un pequeño edificio satélite, el “Cono de la Virgen” (CLV), igualmente de edad holocénica y caracterizado por la generación de importantes coladas de lava dirigidas hacia el oriente. Estas rocas son andesitas ricas en K (59-60 wt% SiO<sub>2</sub>) diferentes del resto de rocas del complejo.

Gráfico N° 3: Mapa estructural del Complejo Volcánico Cayambe



Fuente: (Samaniego P. , El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos., 2004)

### **2.2.3 Hidrografía**

Tomando como base la división hidrográfica de cuencas y sub cuencas realizadas por MAGAP-CLIRSEN y aprobadas en el 2002 por el Comité Interinstitucional, se delimitó la cuenca, las sub cuencas y micro cuencas sobre cartas topográficas digitales y curvas de nivel a escala 1:50.000 entregadas por el IGM.

Los conceptos generales sobre división hidrográfica que se tomaron en cuenta son: Cuenca hidrográfica que es el área limitada por la divisoria de aguas en la cual escurre el agua que se recoge en un solo cauce y que desemboca directamente al mar o sale del territorio nacional; sub cuenca es el área que drena directamente al cauce principal de la cuenca hidrográfica; y, micro cuenca es el área donde se recoge el agua que alimenta al cauce principal de la sub cuenca.

El cantón Cayambe se encuentra entre las cuencas hidrográficas del Río Napo que tiene una extensión de 924,04 km<sup>2</sup>, la cuenca hidrográfica perteneciente al río Esmeraldas con una extensión de 17,94km<sup>2</sup>, y la cuenca del Río Mira con una extensión 17,94 km<sup>2</sup> (GAD Cayambe, 2015).

Cayambe está conformado por tres sub cuencas hidrográficas principales como son las de río Mira, río Esmeraldas y río Napo. A su vez estas sub cuencas contienen microcuencas que se detallan en la tabla N°4, hay que tomar en cuenta que los ríos y quebradas por donde se pueden movilizar los lahares en el caso de una erupción está resaltados en color amarillo (GAD Cayambe, 2015).

Como se muestra en la tabla N°4, en el caso de una erupción, 12 micro cuencas serían las afectadas por los lahares, las mismas que se encuentra dentro de la cuenca del río Esmeraldas, que a su vez representa uno de los más importantes de la costa ecuatoriana. Nace de los deshielos y vertientes del Cayambe, el Antizana, el Sincholagua, el Cotopaxi, el Illiniza, el Atacazo y el Pichincha; que descienden hacia el oeste convertidos en pequeños riachuelos, y se forma de la unión de los ríos Blanco y Quinindé, al sureste de la provincia de su mismo nombre (Pino, 2018).

Tabla N°4: Hidrografía del cantón Cayambe.

Nombre Cuenca	Nombre Subcuenca	Nombre Microcuenca
Río Napo	Río Coca	Río Oyacachi
		Río Sarayacu
		Río Cascabel
		Río Quebra Canillas
		Río Clavadero
		Drenajes Menores
		Río Azuela
		Río Cedro
Río Esmeraldas	Río Guayllabamba	Quebrada Ñañoloma
		Quebrada Verde Tola
		Quebrada Cariacu
		Quebrada De Paquistancia
		Quebrada Puluwi
		Río Blanco
		Quebrada Pulamarín
		Río Upayacu
		Drenajes Menores
		Río Monjas
		Río Cangahua
		Río Purlugara
		Quebrada Yasnan
		Quebrada Portada
		Río Coyago
		Quebrada Navas Potrero
		Quebrada Buitreyacu
		Río Sayaro
Quebrada Paqui Estancia		

		Río Puructog
		Río Uravia
		Río Guachala
		Quebrada Del Diablo
		Quebrada Sambuco
		Quebrada Santa Ana
		Río La Chimba
		Quebrada Angacaja
		Quebrada Rumichaca
		Quebrada Allpachaca
		Quebrada San Carlos
		Quebrada De Otón
		Quebrada Arrayán
		Quebrada La Chimba
		Quebrada Tunas
		Quebrada Yapacamba
		Quebrada Cariacu
		Quebrada Ugshapaba
		Quebrada Arrayán
Río Mira	Río Mira	Río Itambi
		Río Pisque
		Río Tahuando
		Quebrada Arrayan Cuchu
Fuente Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GADIP Cayambe, 2015		
Elaborado por: Guerrero J, 2019		

Es importante conocer que la micro cuenca del río blanco abarcaría el principal problema dentro del cantón en el caso de una erupción por su cercanía con la ciudad Cayambe, se identificó que la amenaza potencial por lahares en caso de una erupción se localizan de forma concentrada en la cuenca baja, las características hidrogeomorfológicas de la cuenca

favorecen en gran medida la ocurrencia de deslizamientos de terreno e inundaciones. (Ferrerías, 2003)

### **2.3. CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Cayambe tiene 2 parroquias urbanas: Juan Montalvo y Ciudad de Cayambe y 6 parroquias rurales: Ascázubi, Cangahua, Olmedo, Otón, San José de Ayora y Santa Rosa de Cusubamba. La población del cantón Cayambe es de: 85.795 hab. (INEC-2010), repartida de la siguiente manera:

- Población urbana: 39.028 habitantes
- Población rural: 46.767 habitantes.

El idioma es el español y el Kichwa que se habla en algunas comunidades indígenas del pueblo Kayambi.

Cayambe tiene un altitud: 2.700 a 5.790 m.s.n.m., su clima es frío – templado y su temperatura oscila entre 8° y 22° centígrados, con una humedad relativa cercana al 80% y precipitación media anual de 600 – 800 mm.

Accesibilidad: Panamericana Norte Eje vial E35. La actividad económica principal está centrada en la producción florícola para exportación y la tradicional producción ganadera que abastece a la industria láctea.

#### **2.3.1. Caracterización de la población**

Según los datos del último censo de población realizado por el INEC en el año 2010, Cayambe tiene una población total de 85.795 habitantes, de los cuales el 51,08% son mujeres y 48,92% son hombres. 46.767 personas que es el 54,51% ubicadas en el área rural y 39.028 (45,49%) en el área urbana, es decir el la población de Cayambe se encuentra ubicada mayoritariamente en el área rural.

Tabla N°5: Población del cantón Cayambe

<b>Indicador</b>	<b>Total</b>	<b>Urbano</b>	<b>Rural</b>
Población Total	85.795	39.028	46.767
Población femenina	43.828	19.808	24.020
Población masculina	41.967	19.220	22.747
Fuente: INEC, REDATAM 2010			
Elaborado por: Guerrero J, 2019			

A continuación se detalla los principales poblados del cantón Cayambe y su población por habitantes así como en porcentaje:

Tabla N°6: Población del cantón Cayambe por parroquia.

<b>PARROQUIA</b>	<b>Población (Hab)</b>	<b>Población %</b>
<b>CAYAMBE</b>	50829	59,24
<b>ASCAZUBI</b>	5050	5,89
<b>CANGAHUA</b>	16231	18,92
<b>OLMEDO (PESILLO)</b>	6772	7,89
<b>OTON</b>	2766	3,22
<b>SANTA ROSA DE CUZUBAMBA</b>	4147	4,84
<b>TOTAL</b>	85795	100
Fuente: PDOT Cayambe, 2015		
Elaborado por: Guerrero J, 2019		

Como se muestra la mayor cantidad de población se encuentra asentada en la cabecera parroquial que es Cayambe, de tal forma que el 59,24% de la población del cantón se

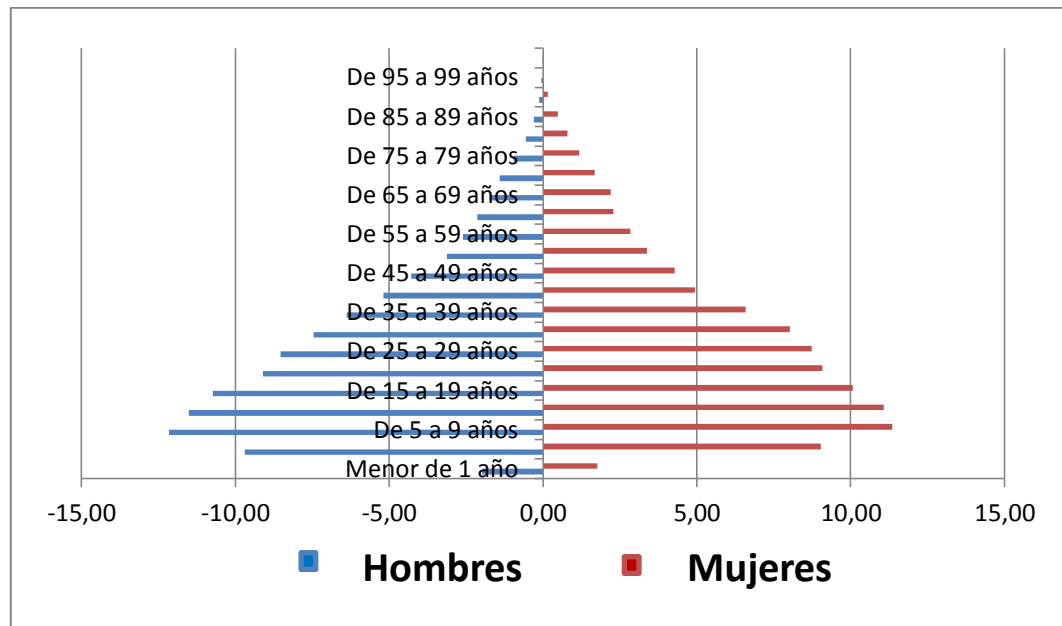
encuentra en esta urbe lo que trae consigo relaciones poblaciones así como demandas más complejas en este sector del cantón.

La parroquia Cangahua es la segunda más poblada con 16231 habitantes equivalente a 18.92% de la población total del cantón muy por debajo de lo que tiene la parroquia Cayambe, la tercera parroquia más poblada del cantón es la parroquia Olmedo (Pesillo) con 6772 habitantes que corresponden al 7.89% de población del cantón, la parroquia Ascazubi tiene 5050 habitantes y esto equivale al 5.89% mientras que las parroquias de Otón y Cusubamba equivale al 8,05% del total de la población del cantón. A continuación se muestra la pirámide poblacional del cantón Cayambe por edad y sexo.

Tabla N°7: Población por grupos de edad del Cantón Cayambe

	Hombre	Mujer	Total
Menor de 1 año	828	773	1601
De 1 a 4 años	4065	3955	8020
De 5 a 9 años	5100	4978	10078
De 10 a 14 años	4830	4852	9682
De 15 a 19 años	4503	4415	8918
De 20 a 24 años	3821	3980	7801
De 25 a 29 años	3583	3830	7413
De 30 a 34 años	3130	3520	6650
De 35 a 39 años	2675	2886	5561
De 40 a 44 años	2175	2167	4342
De 45 a 49 años	1797	1874	3671
De 50 a 54 años	1310	1484	2794
De 55 a 59 años	1094	1247	2341
De 60 a 64 años	898	1002	1900
De 65 a 69 años	730	964	1694
De 70 a 74 años	593	733	1326
De 75 a 79 años	400	518	918
De 80 a 84 años	231	347	578
De 85 a 89 años	127	214	341
De 90 a 94 años	53	69	122
De 95 a 99 años	20	16	36
De 100 años y mas	4	4	8
<b>Total</b>	41967	43828	85795
Fuente: INEC, 2010			
Elaborado por: Guerrero J, 2019			

Gráfico N° 4: Pirámide poblacional del Cantón Cayambe.



Fuente: SNI- Censo 2010

Como se muestra, existe igual cantidad de habitantes hombres y mujeres entre las edades menores a un año hasta los diecinueve años, mientras que en las edades de los 24 a los 34 años las mujeres tienen una ligera mayoría. Para las edades de 35 años en adelante hasta los 94 años la población se equipara. Así mismo hay una tasa de natalidad baja, mientras que la población se va incrementando a partir de los 4 años teniendo su pico más alto en niños que se encuentran en la edad de 10-14 años, que es la mayor cantidad de población que tiene el cantón, la población desciende levemente en grupos de edad de 15-19 años y mantiene este descenso hasta los grupos de edad mayores a los 90 años. Por lo que se puede decir entonces que Cayambe es un cantón con población mayormente joven ubicados entre los 5-24 años.

### 2.3.2. Actividades económicas

Según los datos del censo 2010 el 42,60 % de la población ocupada se relaciona con el sector económico primario; en Cayambe este se relaciona especialmente con la agricultura, la producción florícola y las actividades agropecuarias y de producción lechera, este es un concepto amplio que no diferencia entre sistemas de producción, pero que es indispensable

para ubicar la vocación productiva del territorio. El sector económico terciario, con el 32,34 % de la población ocupada; en el caso de Cayambe, se relaciona con la provisión de servicios y está fuertemente vinculado con el volumen de mano de obra que captura la floricultura y los servicios conexos con la producción primaria. El sector secundario es el que menor población ocupada tiene (14,39 %) abarca actividades relacionadas a la construcción e industrias manufactureras. El 2,17 % y 8,49 % representa a trabajadores nuevos y no declarados. Al desagregar por rama de actividad, se evidencia en principio, las principales actividades generadoras de empleo. Además permite analizar el desempeño de los sectores del sistema económico local (GAD Cayambe, 2015).

Las actividades agro productivas tienen mayor peso de ocupación en el sector rural y el sector urbano tiene como principal actividad el comercio, en donde la mayoría de establecimientos tienen la misma actividad, como resultado de un alto nivel de intermediación en un sistema basado en la producción primaria, la provisión de servicios conexos y el comercio.

Tabla N°8: Rama de actividad del cantón Cayambe

Sector	Rama de actividad (Primer nivel)	Urbano	%	Rural	%
PRIMARIO	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	5650	16	11186	32
	Explotación de minas y canteras	16	0	14	0
SECUNDARIO	Industrias manufactureras	1785	5	952	3
	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	24	0	13	0
	Distribución de agua, alcantarillado y gestión de desechos	55	0	71	0
	Construcción	697	2	2079	6
TERCIARIO	Comercio al por mayor y menor	3148	9	1058	3
	Transporte y almacenamiento	1012	3	555	2
	Actividades de alojamiento y servicio de comidas	857	2	209	1
	Información y comunicación	234	1	62	0
	Actividades financieras y de seguros	160	0	31	0
	Actividades inmobiliarias	22	0	5	0
	Actividades profesionales, científicas y técnicas	354	1	72	0
	Actividades de servicios administrativos y de apoyo	458	1	267	1
	Administración pública y defensa	526	1	317	1
	Enseñanza	953	3	286	1
	Actividades de la atención de la salud humana	329	1	160	0
	Artes, entretenimiento y recreación	67	0	24	0
	Otras actividades de servicios	380	1	119	0
	Actividades de los hogares como empleadores	494	1	586	2
	Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales	7	0	1	0
TOTAL		17228	49	18067	51
Fuente: INEC, REDATAM 2010					
Elaborado por: Guerrero J, 2019					

La mayor actividad de los habitantes del cantón Cayambe es la agricultura, que entre los principales cultivos destacan el trigo, cebada, papas, lenteja y maíz, destinados al mercado local y nacional; es conocida por ser una de las ciudades más importantes en la producción de flores a nivel mundial. La infraestructura y servicios de la industria manufacturera y alimenticia levantada en el interior del cantón son:

- 6 registros de acopio
- 1 registro de fábrica de agua aromáticas
- 3 registros de industria alimenticia
- 4 registros de florícolas
- 3 registros de procesadoras
- 2 registros de avícolas
- 1 registro de centro agrícola
- 1 registro de municipio

Establecimientos económicos Según los datos del censo económico 2010, en Cayambe el 53% de establecimientos se desempeña en la actividad comercial el 11% forma parte del sector industrial manufacturero; el 34% pertenece al sector servicios y el 2% se ubica entre la Agricultura y la construcción. Del mismo modo se presenta la relación de la actividad económica de los establecimientos con el número de ocupados, en donde los establecimientos comerciales ocupan el 35% de las personas, las industrias manufactureras e industriales ocupan el 16% y el resto es servicios, excepto el 3,5% perteneciente al rubro agricultura.

Tabla N° 9: Actividad económica de los establecimientos comerciales por cantidad y número de casos ocupados.

Actividad	Cantidad	Ocupados
<b>Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores</b>	1.483	2.878
<b>Industrias manufactureras</b>	327	1.306
<b>Actividades de alojamiento y de servicio de comidas</b>	298	687
<b>Otras actividades de servicios</b>	207	325
<b>Información y comunicación</b>	162	295
<b>Enseñanza</b>	57	1.265
<b>Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social</b>	56	253
<b>Actividades profesionales, científicas y técnicas</b>	46	101
<b>Artes, entretenimiento y recreación</b>	30	53
<b>Actividades de servicios administrativos y de apoyo</b>	22	81
<b>Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca</b>	21	274
<b>Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria</b>	18	206
<b>Transporte y almacenamiento</b>	18	97
<b>Actividades financieras y de seguros</b>	11	143
<b>Construcción</b>	7	13
<b>Actividades inmobiliarias</b>	6	11
<b>Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado</b>	3	25
<b>Distribución de agua; alcantarillado, gestión de desechos y actividades de saneamiento</b>	2	9
<b>Total</b>	<b>2.774</b>	<b>8.022</b>
Fuente: INEC, REDATAM 2010		
Elaborado por: Guerrero J, 2019		

### 2.3.2.1. Uso de Suelo

De acuerdo a la capa de uso de la tierra del año 2013, la principal superficie ocupada de la zona rural, es la destinada a la ganadería (principalmente vacuno para la producción de

leche) con 28,13 % del total cantonal. La agricultura representa el 14,53 % de la superficie total cantonal, especialmente con cultivos de: misceláneos de ciclo corto, maíz suave, cebada, trigo, papa, haba, quinua; especies forestales 8,07%, piscícolas con el 0,01 % y granjas avícolas con el 0,08 % (GAD Cayambe, 2015).

Tabla N° 10: Uso actual del suelo del cantón Cayambe

Ocupación	Uso de la tierra	Superficie (ha)	Porcentaje % *
Agro	Agrícola	11227,7	14,53
	Forestal	6234,4	8,05
	Pecuario (pasto cultivado)	21719,5	28,13
	Piscícola	10,97	0,01
	Avícola	65,65	0,08
Sin uso para el agro	No aplicable	37551,15	49,2
Total cantonal		76809,37	100
Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2013			
Elaborado por: Guerrero J, 2019			

### 2.3.3. Infraestructura vial.

Es claro que contar con un mayor acceso a más y mejores carreteras facilita el desplazamiento de la población hacia otros territorios. La facilidad en el desplazamiento permite ampliar el mercado de productos, especialmente agrícolas, ofrecer mano de obra, acceder a servicios médicos básicos, así como también a servicios de educación de mejor calidad (Pérez G. J., 2005).

Acorde a lo expresado por el (GAD Cayambe, 2015), el cantón Cayambe se encuentra atravesado por la vía Panamericana de sur- oeste a noroeste, vía que comunica la capital nacional y el sur del país con las provincias de Imbabura y Carchi.

La red vial dentro del área urbana se caracteriza por vías pavimentadas de dos o más carriles; la mayoría en buen estado. En zonas periféricas predominan las vías lastradas de una o dos carriles

Tabla N° 11: Red vial del área urbana del Cantón Cayambe.

VÍAS	KM	PORCENTAJE (%)
Pavimentada o asfaltada, dos o más vías	72,28	3,26
Revestimiento suelto o ligero, dos o más vías	106,96	4,83
Pavimentada o asfaltada, una vía	0,22	0,01
Revestimiento suelto o ligero, una vía	468,01	21,13
Camino de verano	777,13	35,08
Autopista, pavimentada o asfaltada, más de dos vías con parterre o separador	6,53	0,29
Calle	245,13	11,07
Sendero	75,97	3,43
Herradura	463,03	20,9
<b>Total</b>	<b>2215,26</b>	<b>100</b>
Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2013; GADIP Cayambe, 2015		
Elaborado por: Guerrero J, 2019		

Al encontrarse la infraestructura vial de mejor calidad dentro del área urbana estas facilitan la movilización de las personas para los habitantes situados en este sector de la urbe, además que permite integrar de mejor forma los barrios en esta área de la ciudad, así como le permite proyectarse turísticamente, entre otros beneficios que ofrece el tener vías asfaltadas

### **2.3.4. Servicios básicos**

#### **2.3.4.1. Educación**

En el cantón Cayambe existen alrededor de 119 establecimientos educativos, de los cuales 96 son fiscales, 1 municipal y 22 particulares. Existe una parcial distribución equilibrada entre establecimientos en el área rural como urbana, siendo 49.6 % y 50.4 % respectivamente. De estos establecimientos 57 se encuentran comprobados y 62 sin comprobar, de éstos últimos se priorizó su validación, obteniendo 100 registros distribuidos por todo el cantón.

En el área urbana de Cayambe existen 42 centros entre aquellos de educación primaria, secundaria y unidades educativas que son parte de la dinámica territorial de la parroquia y a su vez del cantón. Sin embargo, Cayambe no cuenta con infraestructura de tercer nivel apropiada para la demanda que un cantón de estas características genera.

El nivel de instrucción más alto dentro del cantón Cayambe es el primario con 39,41%, en segundo lugar se encuentra el nivel secundario con un 20,43%, seguido por la categoría educación básica del 11,67%. El nivel mínimo registrado corresponde al postgrado con solo el 0,34% (GAD Cayambe, 2015).

A nivel parroquial, el nivel de instrucción primario registra un alto porcentaje principalmente en la parroquia Olmedo con un total de 53,99%. Para el caso del nivel de educación secundario es la parroquia Ascázubi que registra mayor porcentaje con un 25,24%. En cuanto al nivel superior y de posgrado sólo la cabecera cantonal refleja un porcentaje alto de 11,95% y 0,49% respectivamente, comparado con las otras parroquias.

Por otro lado a nivel cantonal, el nivel de educación de posgrado no alcanza un porcentaje significativo y éste se encuentra alrededor del 0,34%, siendo la población de la cabecera cantonal quienes aportan más a este porcentaje.

#### **2.3.4.2. Cobertura de salud**

En el cantón Cayambe, según fuentes del Ministerio de Salud Pública, se registran seis centros de salud, un hospital cantonal llamado Raúl Maldonado Mejía y seis dispensarios del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social del Seguro Campesino. Hospital base presta

servicios de medicina interna, pediatría, cirugía general, traumatología, medicina general (médico rural o médico general), enfermería (enfermera rural o enfermera general), auxiliar de enfermería, inspección sanitaria y obstetrix (parto culturalmente aceptado y anticoncepción). Los centros de salud son los más utilizados por la población, prestan servicios de prevención, promoción, recuperación de salud, servicio odontológico, emergencia, etc.; las mismas que brindan atención durante 8 horas al día.

En la parroquia Cayambe existen 17 unidades de salud pertenecientes tanto al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), como al Ministerio de Salud Pública (MSP), estos centros de salud se encuentran cercanos entre si y ubicados en la parte central de la ciudad. En la parroquia urbana se encuentran los centros de salud más grandes del cantón, como la UAA de Cayambe y el hospital de Cayambe.

#### **2.3.4.3. Infraestructura de Energía Eléctrica**

De la información disponible se puede decir que Cayambe depende en su generación eléctrica de centrales de generación que están fuera del territorio, y que apenas hay una subestación de transmisión en el territorio del Cantón. Sin embargo de esto según los datos disponibles, el 94% de los usuarios potenciales cuentan con energía eléctrica, sin poder dilucidar si este suministro está en las zonas rurales o urbanas y en qué proporción se entrega el servicio (GAD Cayambe, 2015).

#### **2.3.4.4. Telecomunicaciones**

En el cantón Cayambe existen 38 campos de antenas de infraestructura de telecomunicación en el interior del cantón, en la que tenemos la siguiente información:

- 31 registros de antenas de telecomunicaciones
  - 12 registros de antenas CONECEL -CLARO
  - 2 registros de antenas OTECEL -MOVISTAR
  - registros de antenas repetidoras de internet

- registros de antenas repetidoras de radio
  - 9 registros de antenas de telecomunicación
- 7 registro de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones –CNT
- 5 registros de antenas repetidoras CNT
  - 2 registros de centrales telefónicas.

## CAPÍTULO 3

### AMENAZA ANTE LAHARES EN EL CANTÓN CAYAMBE ANTE UNA POSIBLE ERUPCIÓN

#### 3.1. HISTORIA ERUPTIVA

Según los estudios realizados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, y el artículo de Samaniego (2017); el volcán Cayambe muestra que el volcán ha tenido erupciones de menor tamaño como la ocurrida en 1785-1786 (Samaniego P. , 1998). Según los datos obtenidos en la turbera, el Cayambe ha tenido ~15 erupciones de tamaño similar o un poco más grande que la erupción de 1785-1786 en los últimos 4000 años (Samaniego P. , Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe, 2004). No se tiene mucha información sobre estos eventos por lo cual es necesario recurrir a análogos en la literatura o erupciones en Ecuador para definir estos escenarios. En base a la descripción de (Ascázubi, 1802) se puede esperar una erupción de tamaño similar a las erupciones del Cotopaxi (2015, umbral bajo) o Tungurahua (Julio 2013, Febrero-Abril 2014, umbral alto) (Hall et al., 2015; Bernard et al., 2016). En este tipo de erupción los dinamismos son muy variados y podrían producirse erupciones hidromagmáticas y/o vulcanianas. Los fenómenos asociados a este escenario son principalmente caídas de piroclastos y lahares pequeños. Este escenario es más probable que el escenario “San Marcos” ya que es por lo menos 3 veces más frecuente en los últimos 4000 años. El escenario “1785-1786” podría ser asimilado al escenario S1 en Mastin et al. (2009) en el cual el análogo a nivel mundial sería la erupción del volcán Ruapehu en 1996.

Existe un caso particular si se diera el crecimiento de un domo en la cumbre o en el sector occidental lo que podría afectar al flanco occidental del volcán. Sin embargo este caso no ha ocurrido en los últimos 10 000 años. El escenario “San Marcos” podría ser asimilado al escenario S2 que sería muy parecido a la erupción del volcán Spurr en 1992. El segundo escenario corresponde a una erupción más grande ( $IEV \geq 4$ ). En este escenario se propone que el colapso de una columna eruptiva grande (tipo

Reventador 2002) produzca corrientes de densidad piroclásticas que afectarían todos los flancos del volcán formando grandes lahares. En este caso el alcance de la caída de tefra sería mucho más importante que en el escenario tipo San Marcos (Samaniego P. , Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe, 2004). No hay evidencias geológicas de una erupción de este tamaño en los últimos 10 000 años. En la historia geológica del Cayambe hay un gran depósito de corriente de densidad piroclástica de tipo “ignimbrita” en el valle del Río la Chimba con un espesor estimado entre 60 y 80 m. La edad del evento “la Chimba” es probablemente un poco mayor a 10 000 – 11 000 años AP (Samaniego P. , 1998).

Por las similitudes (historia volcánica, naturaleza, composición de las lavas) entre el Cayambe y los otros volcanes antes mencionados se estima que un escenario “la Chimba” es posible aunque muy poco probable. El escenario “la Chimba” podría ser asimilado al escenario S3 que sería parecido a erupción del volcán Mount St. Helens en 1980. En el mapa de peligros (Pablo Samaniego Michel Monzier, 2002) aparece también el límite para una avalancha de escombros hacia el Norte o hacia el Occidente. Esto se basa en la ocurrencia de avalanchas de escombros (por lo menos dos) en la historia del volcán. Además las similitudes entre el Cayambe y otros volcanes como el Mount St. Helens (Mullineaux, 1981) apoya la posibilidad de un evento similar aunque sea muy poco probable.

En los últimos años, y en particular desde la reactivación del Cotopaxi en 2015, el Cayambe ha sido una de la montañas más escaladas en Ecuador lo que presenta un problema de seguridad para los andinistas en caso de una erupción muy pequeña de tipo freática. En 2014, la erupción freática del Ontake San (Japan) cobró la vida de por lo menos 58 personas (Internacional, 2014) siendo la erupción más mortífera en Japón en más de un siglo. Las erupciones freáticas son imprevisibles y comunes en volcanes con casquete glaciar como el Cayambe. En este escenario el principal peligro son los proyectiles balísticos en la zona cercana al cráter. Este escenario se podría comparar a las erupciones del Guagua Pichincha (1981, 1993). Proponemos llamar este escenario S0. Finalmente la erupción del Nevado de Huila en 2008 (Pulgarín et al., 2015) permite definir un último escenario basado en la similitud de composición, casquete glaciar, y dinamismos eruptivos

con el Cayambe. Durante esta erupción de tamaño pequeño se produjo un lahar gigante de ~350-400 millones de m<sup>3</sup>. Este tipo de evento es muy poco frecuente pero, debido a las similitudes entre el Cayambe y el Nevado de Huila, es necesario considerarlo.

Gráfico N° 5: Escenarios eruptivos para el Volcán Cayambe

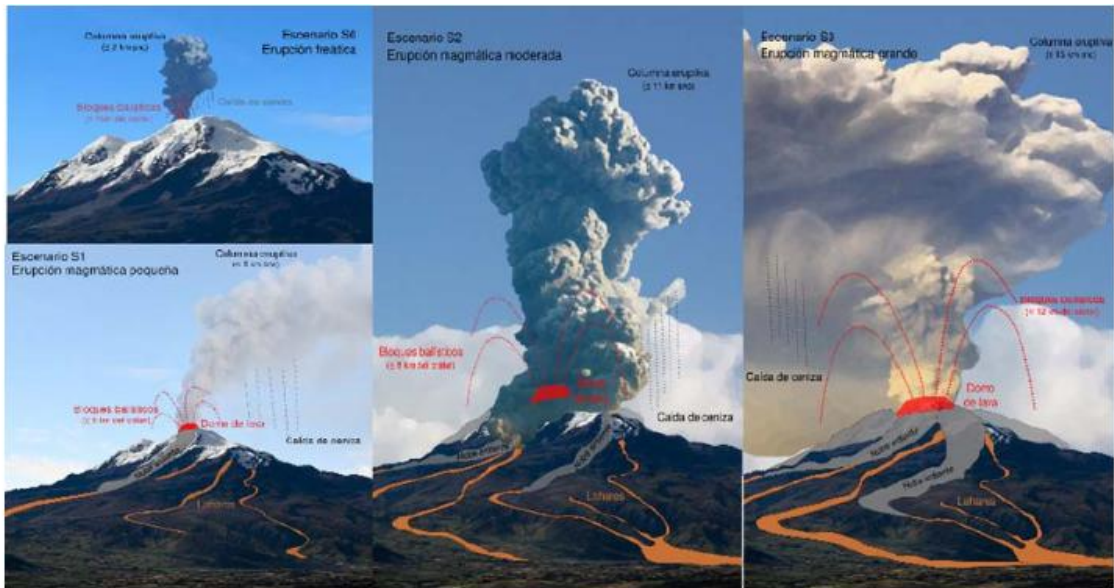


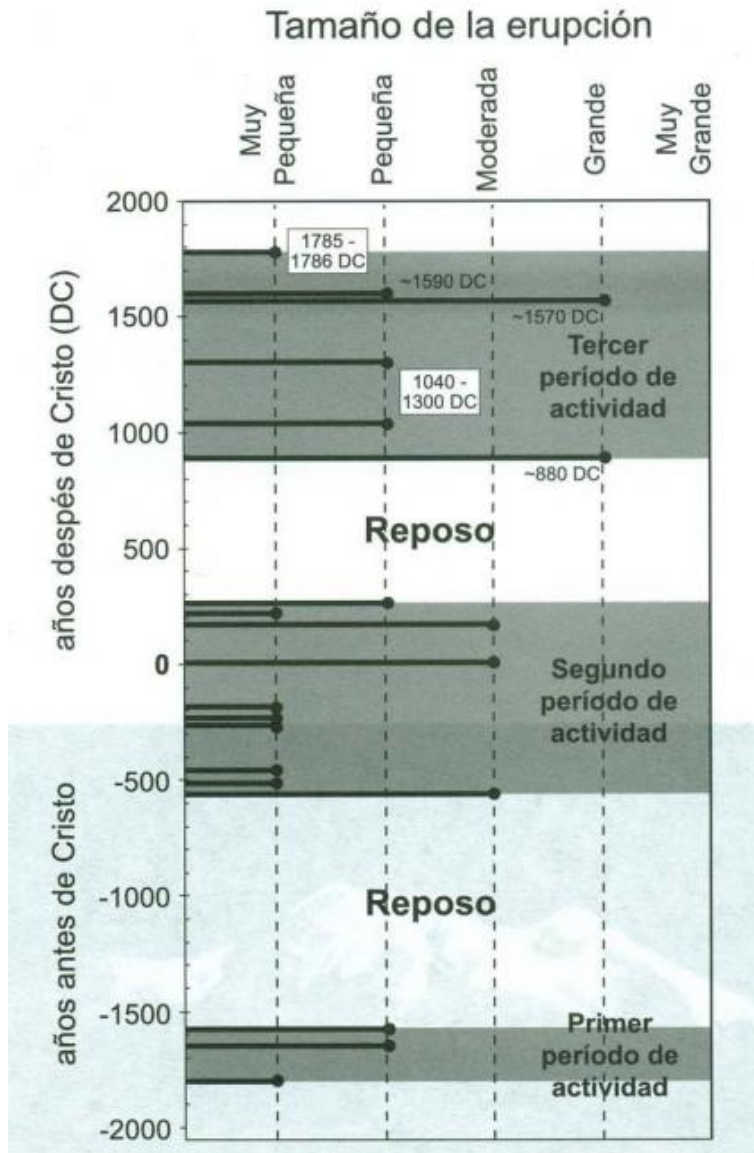
Figura 1: Escenarios eruptivos para el volcán Cayambe. S0: erupción freática; S1: tipo "1785-1786"; S2: tipo "San Marcos"; S3: tipo "la Chimba".

Fuente: IGPN, 2017

### 3.2. REGISTRO DE EVENTOS

Según (Samaniego P., Monzier M., Robin C. y Hall, M. L., 1998) en los últimos 4000 años han ocurrido entre 18 y 20 eventos eruptivos, de los cuales el más reciente tuvo lugar entre 1785-1786 (Ascázubi, 1802); estadísticamente el volcán Cayambe tiene un periodo de recurrencia de 200 años. Además, se han identificado tres periodos de actividad intercalados por periodos de reposo de entre 600 a 1000 años (Samaniego P., El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos., 2004)). De esta cronología es lógico suponer que, en algún momento de la prehistoria, la población local se enfrentó a alguno de estos procesos eruptivos y que, además, existen pruebas contundentes de tales eventos que han sido poco investigados. (Simbaña E., 2017).

Gráfico N° 6: Historia eruptiva del volcán Cayambe



Fuente: IGPN, 2017

### 3.3. MONITOREO INSTRUMENTAL- INSTITUTO GEOFÍSICO EPN

Para entender mejor el monitoreo instrumental se debe tener en cuenta los siguientes términos:

- VTs: evento vulcano – tectónico.
- HBs: eventos híbridos.

- LPs : eventos asociados al movimiento de fluidos.

En el año 2018 en el volcán Cayambe se evidencia un descenso en el número de sismos al pasar de 13313 en el 2017 a 5696 en el 2018. La actividad estuvo caracterizada principalmente por eventos asociados a la resonancia de fluidos, en menor número por eventos de fractura y se registraron pocos de sismos tipo híbridos (IGPN, 2019).

Se localizaron un total de 661 eventos, de los cuales los eventos VT poseen las localizaciones más confiables. Estos eventos se concentran en la zona central del volcán y las profundidades no superan los 20 km. El evento más grande registrado tuvo una magnitud de 2.5 MLv, mientras que la mayoría de los eventos tuvieron magnitudes entre 0.5 y 1.5 MLv, lo que indica una alta capacidad de detección de la red (IGPN, 2019).

La red de monitoreo instrumental del volcán Cayambe tiene tres estaciones sísmicas permanentes (CAYR, CAYA y ANGU) y cuatro estaciones de deformación (GPS: CYMI y CYFR). Para la clasificación de eventos se usa la estación de periodo corto CAYR con transmisión digital hacia Quito.

Gráfico N° 7: Estaciones de monitoreo del volcán Cayambe



Fuente: IGPN, 2017

## Sismos

Durante el año 2018 se registró un total de 5696 eventos. La Tabla 1 muestra un descenso en el número de eventos al comparar con la actividad registrada en el año 2017, en el que se registró un total de 13313 eventos.

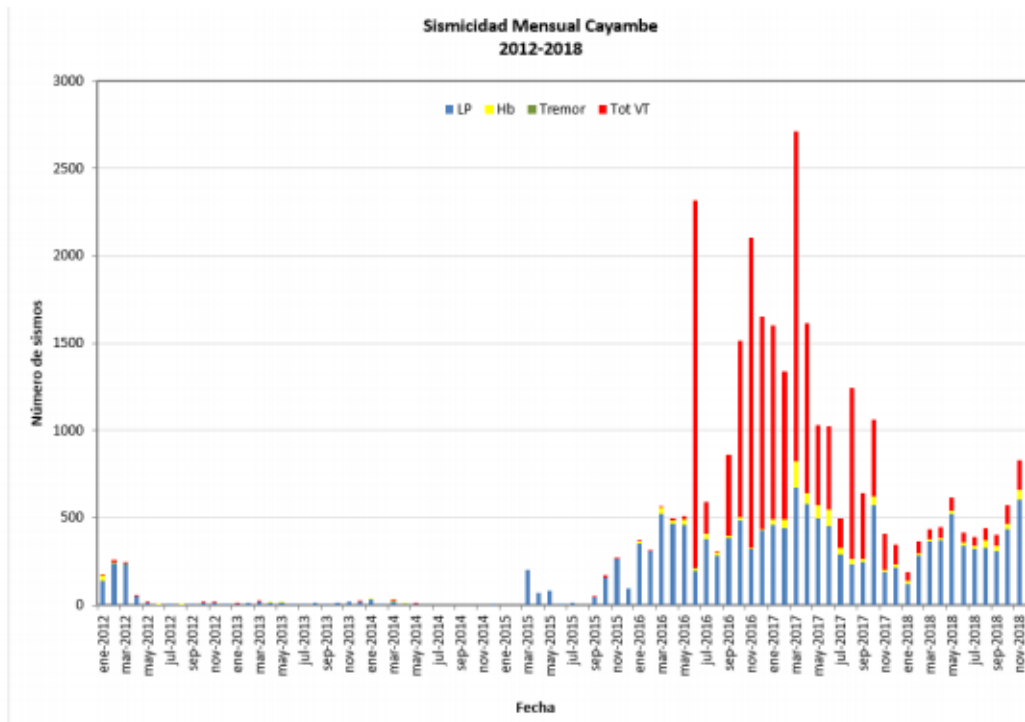
Tabla N° 12: Tipo de eventos eruptivos del volcán Cayambe

<b>Tipo de eventos</b>	<b>Número de eventos 2018</b>
Híbridos (HBs)	307
Asociados al movimiento de fluidos (LPs)	4392
Tremores	0
Volcano-tectónicos (VTs)	942
Tectónicos	55
<b>Total general</b>	<b>5696</b>
Fuente: Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, 2019	
Elaborado por: Guerrero J, 2019	

El mes que mayor actividad presentó es noviembre con un total de 834 sismos (14.6% del total de eventos), mientras que el mes con menos actividad fue el mes de enero con 203 sismos (3.6% del total de eventos).

El siguiente gráfico muestra la evolución mensual de la sismicidad desde el año 2012 hasta diciembre del 2018, aquí se muestra como en el 2017 se registró una actividad más alta y caracterizada principalmente por eventos de fractura o volcano-tectónicos, seguido en número por eventos asociados al movimiento de fluidos, mientras que en el 2018 se la actividad se caracterizó principalmente por la presencia de eventos asociados a de movimientos de fluidos o largo período. Esta actividad estuvo seguida en número por eventos asociados al movimiento de fluidos y finalmente, el número de eventos híbridos generados a partir de una fractura y una posterior intrusión de fluidos a dicha fractura, es muy bajo.

Gráfico N° 8: Número semanal de eventos registrados en el volcán Cayambe desde los meses de enero del 2012 a diciembre del 2018.



Fuente: IGPN, 2017

## Emisión de SO2

A lo largo de este año se registraron grandes variaciones (entre 31 y 648 t/d) en los flujos máximos diarios de SO<sub>2</sub>, con un promedio de emisión diaria de 255 t/d. El máximo valor de desgasificación se registró el 10/09/2018, este valor es un tanto anómalo pues es demasiado elevado y no está asociado a ningún cambio en la actividad del volcán. Los números de medidas válidas para el 2018 han sido bastante bajos. El número de medidas válidas diarias máximas, mínimas y promedio son de 8, 1 y 2 respectivamente. El número de medidas válidas es bajo durante el 2018, debido a la baja/nula actividad superficial registrada por el Cayambe en 2018 (IGPN, 2019).

En el 2018 se registró un total de 5696 eventos, marcando un descenso en el número de eventos al comparar la actividad con el año 2017, periodo en el que se registró un total de 13313 eventos y su actividad estuvo caracterizado por evento de fractura. En el 2018 estuvo caracterizada por eventos de tipo LP's, estos sismos están asociados a la resonancia de fluidos, esta actividad está seguida por la presencia en número de VT's que son generados por el fracturamiento de roca y se registró pocos eventos híbridos los cuales se asocian a fractura de roca y un subsecuente ingreso de fluidos. Se localizaron un total de 661 eventos: 520 LP's, 113 VT's, 24 HB's y 4 tectónicos. Los eventos que mejores parámetros de localización tuvieron fueron los eventos híbridos y de fractura. La mayor parte de los eventos se concentra en la zona central del volcán y sus profundidades no superan los 20 km de profundidad. El evento de mayor magnitud registrado fue de 2.5 MLv (IGPN, 2019).

El análisis de las series temporales registradas por las bases GPS del volcán, no evidencian un proceso importante de deformación, producida por la actividad interna del volcán. El promedio de emisión para el 2018 es de 255 t/d y la emisión total acumulada fue de aprox. 11650 toneladas. Se registró un pico en la emisión de SO<sub>2</sub>, mostrando un máximo de 648 t/d (10/09/2018) y los vientos tuvieron una orientación preferentemente orientada hacia el W, con ligeras variaciones en todas direcciones (IGPN, 2019).

#### **3.4. ELABORACIÓN DEL MAPA DE AMENAZAS POR LAHARES DEL VOLCÁN CAYAMBE UTILIZANDO SIG Y CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS POTENCIALES.**

El mapeo de la amenaza está realizado por un proceso digital, a través de un Sistema de Información Geográfica y la construcción de los escenarios con el soporte de la información bibliográfica existente.

### **3.4.1. Mapeo de la amenaza de lahares**

#### **3.4.1.1 Evaluación del Mapa de Peligros del Volcán Cayambe**

Este Mapa publicado el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional constituye el primer documento cartográfico en el que se delimitan las áreas de los peligros asociados al volcán Cayambe, incluyendo áreas de peligro ante potenciales lahares. El Mapa es tomado como referencia para comenzar con la delimitación de áreas amenazadas por lahares, ya que consta de dos zonificaciones ante lahares:

1. Zona de peligros proximales: corresponde a un área cercana al volcán, que puede ser afectada por lahares y otros fenómenos volcánicos, se encuentra sobre todos los flancos del edificio del volcán.
2. Zona de peligros distales: corresponde a las áreas fuera de los flancos del volcán, donde los lahares podrían recorrer el fondo de quebradas.

Para el cantón Cayambe, estos flujos se desplazarán por el cauce del río Blanco. La zona de peligros distales cuenta con límites ajustados a dos distintos escenarios: Un escenario de mayor peligro, el cual representa un área de afectación que supone una inundación que alcance hasta 80 metros sobre el fondo del cauce, y un escenario de menor peligro, el cual representa un área de afectación con una inundación supuesta de hasta 120 metros sobre el fondo del cauce.

#### **3.4.1.2 Construcción de escenarios potenciales**

Los escenarios eruptivos del volcán Cayambe están basados en: 1) el actual conocimiento geológico, geofísico, geoquímico y geocronológico del volcán (Samaniego P. , Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe, 2004) y 2) observaciones realizadas en otros volcanes con comportamientos similares a los del Cayambe, y se la contempla puesto que no existen registros históricos sobre erupciones pasadas a excepción del reportado por Ascazubi en (Ascazubi, 1802). Los escenarios eruptivos fueron contruidos en base a estos

dos conocimientos por parte de expertos del Instituto Geofísico y se resumen a continuación:

### **S0: Erupción freática muy pequeña.**

En este escenario la columna eruptiva alcanzaría hasta 2 km sobre el nivel del cráter, con caída de bloques balísticos cerca del cráter ( $\leq 1$  km). La ceniza en la parte alta del volcán dependiendo de la dirección y velocidad del viento (Fig. 5). Las erupciones freáticas son comunes en volcanes con casquete glaciar como el Cayambe y son por naturaleza imprevisibles. Ejemplos en Ecuador de erupciones freáticas de tamaño y dinamisismos similares a S0 son las del Guagua Pichincha en 1981, 1993 y 1998-1999. Al momento de escribir esta memoria, la ocurrencia de un escenario S0 a mediano plazo es posible pero imprevisible (IGEPN, Informe Especial N° 5- Volcán Cayambe , 2016). No se espera que ocurran lahares primarios asociados a este tipo de erupciones, aunque lahares secundarios pueden ser posibles.

Gráfico N° 9: Escenario S0 de una erupción pequeña de origen freática.



Fuente: IGPN, 2017

### **S1: Erupción pequeña (episodio 1785-1786)**

En este escenario se podrían formar columnas eruptivas de hasta 5 km snc, con caída de bloques balísticos limitados a la parte alta del volcán ( $\leq 5$  km de alcance). Caídas de ceniza y lapilli podrían alcanzar las zonas pobladas de Cayambe, Ayora, Olmedo y Pesillo si la dirección del viento es hacia el occidente. También se podrían formar lahares secundarios por los drenajes occidentales y orientales del volcán. En este escenario es posible la formación de un nuevo domo de lava o flujo de lava probablemente hacia el Norte o el

Oriente. También es posible la generación de nubes ardientes (flujos piroclásticos) probablemente hacia el Norte o el Oriente. En este caso, lahares primarios de tamaño moderado a grande ocurrirían en los drenajes orientales del volcán. Se considera que este escenario representa el periodo eruptivo del cayambe de los años 1785-1786 observado y reportado por Ascazubi en (Ascazubi, 1802). Ejemplos recientes en Ecuador de erupciones de tamaño y dinanismos similares a S1 son las del Cotopaxi en Agosto-Noviembre 2015 (umbral bajo) o del Tungurahua en Julio 2013, Febrero y Abril 2014 (umbral alto). Al momento, la ocurrencia de un escenario S1 a mediano plazo es poco probable si no hay cambios en los parámetros de monitoreo.

Gráfico N° 10: Escenario S1 de una erupción pequeña de origen magmático.



Fuente: IGPN, 2017

Para determinar las características de los lahares a modelarse se consideró el escenario más probable del mapa de peligros publicado en 2002 y actualizado en 2017, el escenario S2 (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

Durante la historia eruptiva del volcán Cayambe se evidencia la existencia de varios eventos eruptivos y por tanto, se consideraron dos alternativas para la erupción: a)

S2a (más probable), si la erupción ocurre en la cumbre Oriental, se producirían lahares secundarios de tamaño moderado en los drenajes occidentales por la removilización de ceniza acumulada en las partes altas del volcán y b) S2b (menos probable), si la erupción ocurre en la cumbre Occidental, se producirían lahares primarios grandes en los drenajes del río Blanco y Guachalá por el derretimiento súbito de una porción de la capa nieve y hielo del glaciar del volcán debido a la ocurrencia de flujos piroclásticos (Samaniego P. , Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe, 2004). Ejemplos recientes en Ecuador de erupciones de tamaño y dinámicos similares a S2 son las del Guagua Pichincha en Octubre 1999 (umbral bajo) y del Reventador en Noviembre 2002 (umbral alto). La frecuencia de estos eventos en el Cayambe es de ~5 eventos en los últimos 4000 años (Samaniego P. , El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos., 2004)

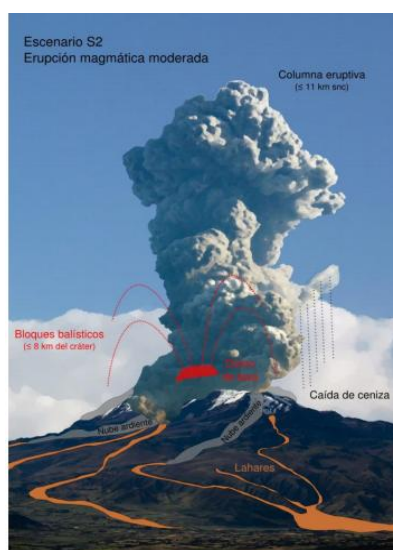
**S2: Erupción moderada tipo San Marcos (escenario del mapa de peligros, evento más grande esperado, año 1570)**

En este escenario se podría formar una columna eruptiva de hasta 11 km snc, aunque la columna podría llegar a mayor altura al momento de la apertura del conducto, al inicio del evento, La caída de bloques balísticos podría alcanzar los flancos medios del volcán ( $\leq 8$  km de alcance). Caídas de ceniza y lapilli ocurrirían en las zonas pobladas de Cayambe, Ayora, Olmedo y Pesillo si la dirección predominante del viento es hacia el occidente. También podría caer ceniza en zonas más lejanas como Otavalo (WNW), Ibarra (NNW) y Quito (WSW) (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

En los drenajes Orientales (Azuela, San Jerónimo, Clavadero, Huataringo) que desembocan en el río Salado, se podrían formar lahares primarios grandes provocados por el derretimiento parcial de la nieve y el glaciar durante la ocurrencia de nubes ardientes en el flanco norte u oriental (Escenario S2a), por otro lado en los drenajes occidentales (ríos La Chimba, Cariacu, Blanco, Monjas, Sayaro, Guachalá) podrían ocurrir lahares secundarios de tamaño moderado (provocados por lluvias fuertes y/o el derretimiento paulatino del glaciar debido a la acumulación de ceniza en las partes altas y la removilización de grandes volúmenes de ceniza y material suelto en las partes altas del volcán). Sin embargo, en caso

de que la erupción ocurra en la zona de la cumbre máxima o el flanco occidental (Escenario S2b), y que además se formen nubes ardientes, podrían producirse lahares primarios de tamaño moderado a grande que descieran los drenajes de los ríos Blanco y Guachalá. Ejemplos en Ecuador de erupción de tamaño y dinanismos similares a S2 son las del Guagua Pichincha en Octubre 1999 (umbral bajo) y del Reventador en Noviembre 2002 (umbral alto). Frecuencia en el Cayambe: ~ 5 eventos en los últimos 4000 años (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

Gráfico N° 11: Escenario S1 de una erupción pequeña de origen magmático.



Fuente: IGPN ,2017

### 3.4.1.3 Reconstrucción y actualización del Mapa de Peligros del Volcán Cayambe.

El primer Mapa de Amenazas del Volcán Cayambe fue publicado por el Instituto Geofísico en Agosto del 2002, y en el mismo se representa el escenario eruptivo S2 (tipo San Marcos), descrito arriba y que ocurrió aproximadamente en el año (Samaniego P. , Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe, 2004). Tanto la base topográfica como las herramientas computacionales utilizadas para la elaboración de dicho mapa fueron las más sofisticadas con las que se disponía en ese entonces. Sin embargo, en vista de la coyuntura

actual, se ha constatado la necesidad de realizar una actualización de este mapa, ya que se cuenta con nuevas bases topográficas y herramientas computacionales que permiten realizar simulaciones más confiables de los fenómenos volcánicos y a escalas de mayor detalle. El presente trabajo corresponde solamente a la actualización de las zonas de amenaza por lahares en el flanco occidental del volcán. A continuación se presentan brevemente las herramientas computacionales que han sido utilizadas.

- **VolcFlow**

Es un código computacional que utiliza ecuaciones de la mecánica de medios fluidos para simular flujos volcánicos. Fue desarrollada por Karim Kelfoun en el laboratorio de Magmas y Volcanes. Este modelo utiliza como parámetros de entrada un modelo digital de terreno (MDT) y parámetros físicos que describen la reología del fluido como son: viscosidad, densidad del flujo, cohesión, fricción basal, erosión, tiempo de alimentación, tiempo de duración del fenómeno, volumen, entre otros. Este modelo es compatible con Matlab y permite simular diferentes tipos de flujos volcánicos. Ha sido utilizado a nivel mundial para modelar diferentes eventos asociados a los peligros volcánicos (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

- **Laharflow**

Es un código computacional que utiliza ecuaciones de la mecánica de fluidos para simular lahares. Fue desarrollado recientemente por los Departamentos de Ciencias de la Tierra y Matemáticas de la Universidad de Bristol y al igual que el anterior, utiliza como parámetro de entrada un modelo digital de terreno, pero además toma en cuenta parámetros descriptores de la reología del flujo como los coeficientes de rugosidad Chézy (fluido turbulento), de Coulomb (flujo granular) y de Voellmy (fluid + grains), así como el volumen y el hidrograma del lahar estudiado. Este modelo funciona en la plataforma Linux y está escrito en código Python. Permite simular flujos de lodo (lahares), tomando en cuenta la conservación de masa, sólidos y energía cinética. Se ha utilizado para simular el flujo de lodo del Nevado del Ruiz de 1985, lahares secundarios del volcán Cotopaxi y Tungurahua. En vista que el presente estudio requiere el más alto grado de detalle posible, el uso de este modelo fue limitado porque solamente pudo tomar en cuenta un MDT de 30

metros de resolución (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

Se ha tenido que realizar este proceso para poder usufructuar el Mapa de Peligros del Volcán Cayambe, debido a que la base cartográfica con la que fue elaborado es distinta a la existente en la actualidad.

Este proceso constó de tres partes:

1. Mapeo de Peligros del Volcán Cayambe: El documento es de carácter público, por lo que se procedió a mapear utilizando los shape files disponibles dentro de un software SIG.
2. Reconstrucción de las áreas de amenaza por lahares y flujos piroclásticos escenario S2 (Tipo San Marcos): En primer lugar se realizó un modelamiento de los flujos piroclásticos (nubes ardientes) debido a que de ellos depende la formación de lahares primarios. Mientras más grandes sean los flujos piroclásticos más amplio será el derretimiento del glaciar del volcán Cayambe y finalmente más grandes serán los lahares primarios formados. El modelamiento de los flujos piroclásticos del escenario S2 fue realizado con el código VolcFlow (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017)

Como resultado del modelamiento de flujos piroclásticos se puede concluir que los drenajes de la zona Norte y Oriental serían los que mayores probabilidades tienen de formar lahares primarios (derretimiento parcial de nieve y glaciar) sin importar que la erupción ocurra en la cumbre Oriental u Occidental del volcán Cayambe. Por otra parte, los drenajes: al occidente (Río Blanco) y sur-occidente (Río Guachalá) se verían afectados por lahares primarios solamente si la erupción ocurre en la cumbre occidental o en el flanco occidental del volcán, escenario S2b (ver sección sobre escenarios eruptivos).

3. Actualización del Mapa de Peligros del Volcán Cayambe: Una vez reconstruidas las áreas de inundación por potenciales lahares y flujos piroclásticos en zonas de peligros. El resultado de este proceso es el Mapa de Peligros Actualizado del Volcán Cayambe.

### 3.5. CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS POTENCIALES

#### 3.5.1. Estimaciones de volúmenes de flujos de lodo y lahares

Con los resultados obtenidos se puede hacer una aproximación del área del glaciar que sería afectada por flujos piroclásticos y con ello estimar el volumen de agua que potencialmente se produciría por el derretimiento parcial del glaciar y daría lugar a la formación de lahares primarios.

Tabla N° 13: Estimación del volumen de agua de glaciar derretida por la generación de flujos piroclásticos y flujos de bloques y ceniza en el volcán Cayambe y del potencial volumen de los lahares primarios, para el escenario S2, evento tipo San Marcos (año 1570).

Escenario	Tipo de Flujo Piroclástico	Drenaje Afectado	Área del glaciar afectado por los Flujos Piroclásticos	Volumen de agua derretida asumiendo 5m de espesor (Thouret, 1990)	Volúmen del Lahar Primario
S2a “Erupción en la cumbre Oriental”	Flujo Piroclástico (Tungurahua 2006)	Oriental	3,3 km <sup>2</sup>	16 Mm <sup>3</sup>	29 Mm <sup>3</sup>
	Flujo de Bloques y Ceniza (Merapi 2010)	Oriental	4,4 km <sup>2</sup>	22 Mm <sup>3</sup>	40 Mm <sup>3</sup>
S2b “Erupción en la cumbre Occidental”	Flujo Piroclástico (Tungurahua 2006)	Sur y Occidental	1,6 km <sup>2</sup>	8 Mm <sup>3</sup>	14.5 Mm <sup>3</sup>
		Oriental	6 km <sup>2</sup>	30 Mm <sup>3</sup>	54.5 Mm <sup>3</sup>
	Flujo de Bloques y Ceniza (Merapi 2010)	Sur y Occidental	1,9 km <sup>2</sup>	10 Mm <sup>3</sup>	18 Mm <sup>3</sup>
		Oriental	6,9 km <sup>2</sup>	35 Mm <sup>3</sup>	64 Mm <sup>3</sup>
Fuente: IGPN, 2017					
Elaborado por: Guerrero J, 2019					

En la tabla se presentan los diferentes escenarios y los volúmenes de agua que potencialmente podrían generarse para cada caso en las principales cuencas hidrográficas volcán. Dichos volúmenes resultan de multiplicar la superficie del glaciar potencialmente afectado por los flujos piroclásticos, por un espesor de hielo fundido de 5 metros. Dicho espesor es un valor promedio de observaciones que se han hecho en otros volcanes con

casquete Glaciar. A ese volumen agua se le debe añadir un 45-50% adicional correspondiente al material rocoso que forma parte del lahar. Así, este análisis permitió definir un volumen total máximo para lahares primarios en la zona Norte y Oriental de aproximadamente 50 millones de m<sup>3</sup>. Mientras que para la zona Occidental el volumen total máximo de lahares sería de 15 millones de m<sup>3</sup>. Estos volúmenes totales fueron utilizados para realizar el modelamiento de lahares primarios (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

### **3.5.2 Escenarios de amenaza por lahares primarios y secundarios en el drenaje occidental**

#### **3.5.2.1. Lahares Primarios.**

Están relacionados a erupciones volcánicas explosivas de gran magnitud y se generan cuando durante un evento eruptivo se produce el derretimiento de grandes volúmenes de nieve y hielo de los glaciares y/o la liberación súbita de una laguna cratérica en un tiempo relativamente corto (algunos minutos) generando una mezcla de: rocas, material fino y agua. El flujo formado puede transportarse largas distancias a grandes velocidades (50-70 km/h) (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

#### **3.5.2.2. Modelamiento de lahares primarios**

Los drenajes Occidentales del Cayambe, en especial el río Blanco y el río Guachalá, nacen de los deshielos del glaciar del volcán Cayambe transitan por zonas en donde existe población, como la ciudad de Cayambe e infraestructura expuesta, como las piscinas de Ishigto) y finalmente desembocan en el río Pisque. En vista de que dichos drenajes podrían ser afectados por lahares primarios durante una erupción como en el escenario S2, se procede a realizar simulaciones que permitan definir las zonas que podrían ser afectadas durante un evento de este tipo (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

### **3.5.2.3. Parámetros iniciales:**

- Volumen total de los lahares primarios: 15 millones de m<sup>3</sup> (Río Blanco 5 Mm<sup>3</sup>, Río Guachalá 10 Mm<sup>3</sup>)
- Modelo Digital de Terreno (MDT) a resolución de: 10 y 4 metros.

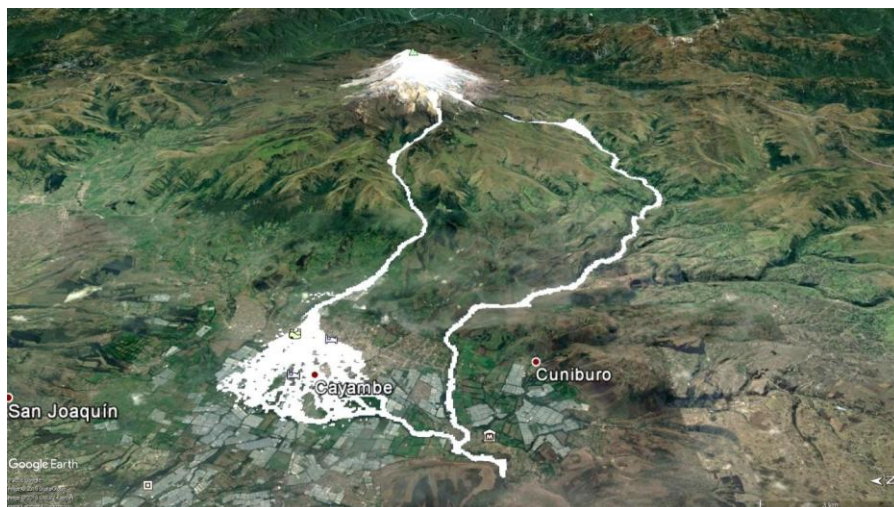
### **3.5.2.4. VolcFlow:**

El volumen total máximo del lahar, estimado en la sección 7 (15 millones de m<sup>3</sup>) fue dividido entre los drenajes que potencialmente serían afectados por flujos piroclásticos para los escenarios S2b (erupción en la cumbre Occidental, Fig. 8). Los resultados obtenidos de la simulación de lahares primarios para este escenario con un modelo digital de terreno de 10 metros de resolución. Puesto que la zona del río Blanco es el área con población más expuesta se realizaron simulaciones de lahares primarios en una escala de mayor detalle utilizando un modelo digital de terreno (MDT) de 4 metros de resolución y un volumen de 5 millones de m<sup>3</sup>. En los resultados de esta simulación se puede constatar que los depósitos de los lahares primarios para la zona de Cayambe tendrían espesores entre 0.5 y 2 metros. Por otra parte la simulación a detalle (sector del río Blanco) canaliza el volumen del flujo lahárico y por tanto este no se desborda de su cauce natural como sucede con la simulación a 10 metros. Sin embargo, la verificación de campo permitió constatar que en erupciones pasadas los lahares sí se han desbordado y han afectado el sector conocido como la “Remonta”, razón por la cual esta área será considerada en el mapa de amenazas (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

### **3.5.2.5. LaharFlow:**

Con el objetivo de contrastar los resultados del modelamiento obtenidos con VolcFlow se utilizó la herramienta LaharFlow para lo cual se consideraron los drenajes del río Blanco y Guachalá y un modelo digital de terreno de 30 metros de resolución. A pesar de que la zona potencialmente inundada presenta grandes diferencias con las definidas con VolcFlow, los espesores, caudales y velocidades obtenidos con estas dos herramientas son congruentes.

Gráfico N° 12: Resultados del modelamiento con LaharFlow para lahares primarios en el río Blanco y río Purlugara (5 Mm<sup>3</sup>) con un MDT de 30 metros de resolución.



Fuente: IGPN, 2017

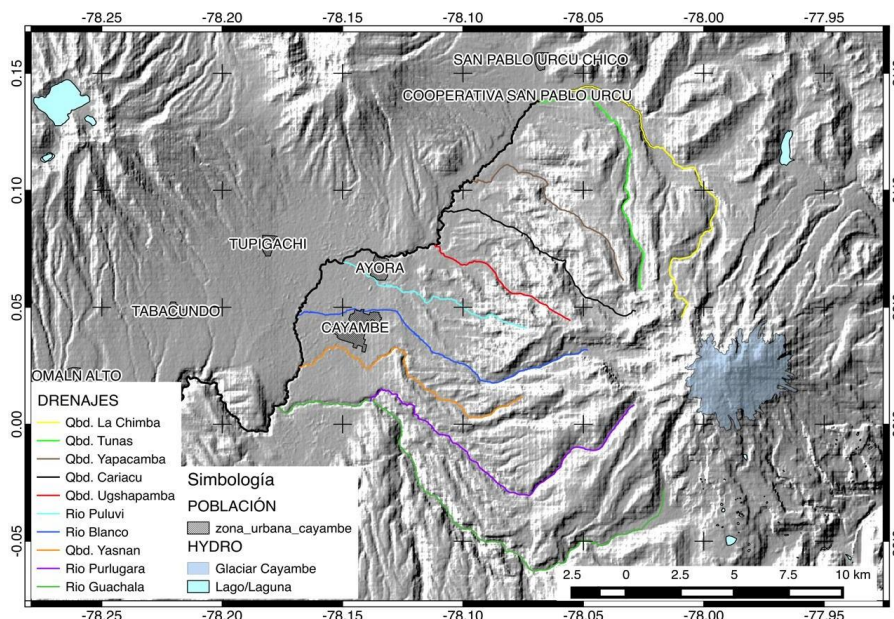
### 3.5.3. Lahares Secundarios en la zona Occidental del volcán Cayambe: Análisis de Cuencas Hidrográficas y Modelamiento

Los lahares secundarios se originan generalmente por lluvias torrenciales y/o continuas que ocurren sobre los flancos de volcanes que se encuentran cubiertos por material rocoso suelto y propenso a la erosión por agua. Si este material es depositado regularmente puede ser removilizado por las lluvias y producir lahares de magnitud, alcance y velocidad menores a los lahares primarios, pero mucho más frecuentes. Deshielos, ruptura y desborde de lagunas superficiales y/o intraglaciares también son fuentes de agua responsables de generar este tipo de lahares como los ocurridos en el Volcán Chimborazo entre diciembre 2015 y enero 2017 (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

### 3.5.3.1. Reconocimiento de los drenajes (quebradas y ríos) que potencialmente podrían producir lahares secundarios

En base a los escenarios eruptivos definidos previamente (sección 5) se considera como lo más probable que en los drenajes de los ríos la Chimba, Blanco, Guachalá (Fig. 12) puedan ocurrir lahares secundarios de tamaño moderado.

Gráfico N° 13: Principales drenajes en el flanco Occidental del volcán Cayambe.



Fuente: IGPN, 2017

Los drenajes mostrados en colores en la figura representan las quebradas y ríos más importantes hacia el flanco occidental de los cuales, las quebradas de: La Chimba, Tunas, Río Blanco, Purlugara y Guachalá, tienen mayores probabilidades de producir lahares secundarios voluminosos puesto que sus drenajes nacen en zonas más altas del Cayambe, donde existe mayor probabilidad de acumular ceniza durante un periodo eruptivo.

### **3.5.3.2. Estimación de los volúmenes máximos de lahares secundarios para estas quebradas**

Este tipo de estudios deben considerar:

- Cartografía a detalle de los depósitos no consolidados en las zonas altas del volcán (morrenas, corrientes de densidad piroclástica, depósitos de caída, etc.), mapas de pendientes a detalle, medidas de infiltración de agua lluvia en diferentes ambientes (roca y material suelto), ensayos de densidad, entre otros. Estos estudios se encuentran en desarrollo por parte del personal del IGEPN, pero requieren de tiempo para ser terminados en su totalidad.
- Por otra parte los registros recientes y la experiencia que el Instituto Geofísico tiene con este tipo de fenómenos nos permitieron tomar como referencia casos similares que han ocurrido en el Ecuador como: Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo. De esta experiencia se sabe que lahares secundarios suelen tener volúmenes entre 100 mil m<sup>3</sup> (Tungurahua, Cotopaxi) y 700 mil m<sup>3</sup> (Chimborazo). Bajo estas consideraciones se tomó como el peor escenario 1 millón de m<sup>3</sup> en los drenajes occidentales (La Chimba, Tunas, Río Blanco, Purlugara y Guachalá). Para el río Blanco se consideró un volumen de 2,5 millones de m<sup>3</sup> con el objetivo de guardar un margen de seguridad por si llegase a ocurrir un evento que rompa los registros recientes. Estos volúmenes totales fueron utilizados para realizar simulaciones de lahares secundarios para la zona occidental (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

### **3.5.3.3. Modelamiento de lahares secundarios en la zona occidental del volcán Cayambe.**

Se utilizó un volumen máximo de 1 millón de m<sup>3</sup> de volumen de lahares secundarios por quebrada para los drenajes occidentales y el código VolcFlow. Los resultados obtenidos con un modelo digital de terreno (MDT) de 10 metros de resolución.

El modelamiento de lahares secundarios muestra que los espesores de depósito que se esperarían en los drenajes del flanco Occidental serían menores a 10 metros y que en general estarían restringidos al cauce natural del río. Sin embargo, en las zonas en donde el río se vuelve menos profundo los lahares tienden a desbordarse e inundar zonas aledañas más amplias. Esto sucede claramente en la zona ubicada al occidente del río San José en Ayora y sobretodo con el río Blanco una vez que llega a la ciudad de Cayambe (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

Puesto que el río Blanco es un drenaje donde pueden ocurrir lahares secundarios voluminosos y que en esta zona hay mucha población potencialmente expuesta, se realizaron simulaciones a una escala de 4 metros de detalle sola para esta área con volúmenes de 1 y 2.5 millones de m<sup>3</sup>. Los resultados obtenidos de esta nueva simulación se muestran a continuación. Los resultados muestran espesores de depósito menores a los 5 metros en la ciudad de Cayambe, los sitios con mayor afectación serían los más cercanos al drenaje del río Blanco, los puentes que cruzan este drenaje en el sector del Centro Geriátrico producirían un efecto de represamiento lo que provocaría que el lahar se desborde inundando zonas aledañas (IGEPN, Actualización del mapa de amenazas por lahares para la zona occidental del volcán Cayambe, 2017).

### 3.6. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN “TABLAS RESUMEN”

#### 3.6.1. Lahares Primarios – “Menos probable” (escenarios S2a)

Tabla N° 14: Lahares Primarios

Poblado	Distancia desde la fuente	Tiempo de arribo	Velocidad promedio	Espesor	Caudal
Cayambe	10 km	00h30 a 00h40	15-20 km/h	1 – 7 metros	2000-4000 m <sup>3</sup> /s
Ishigto	24 km	01h00-01h10	20-24 km/h	2-10 metros	6500-7500 m <sup>3</sup> /s
Fuente: IGP, 2017					
Elaborado por: Guerrero J, 2019					

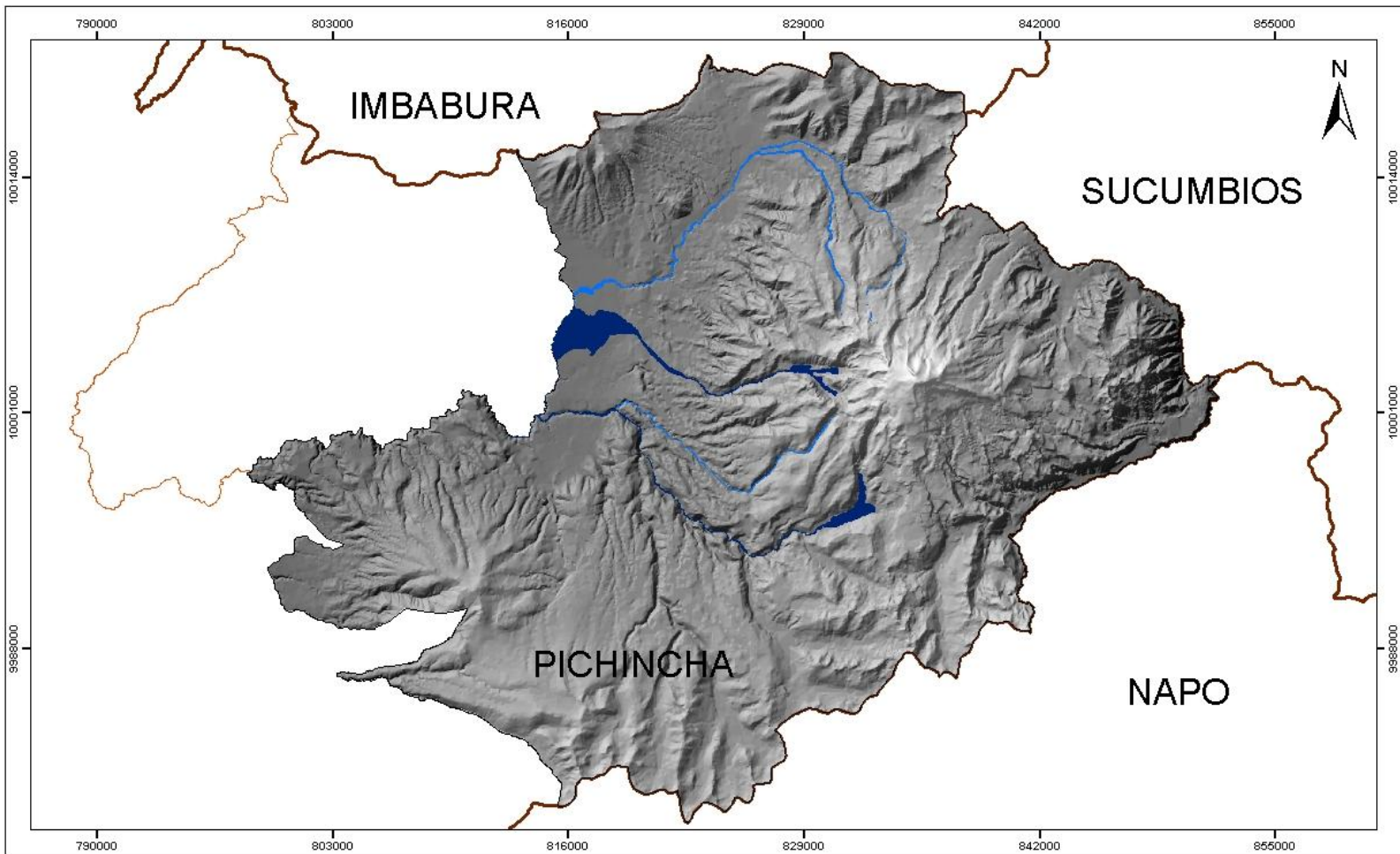
### 3.6.3. Lahares Secundarios – “Más probable” (escenarios S2b)

Tabla N° 15: Lahares Secundarios

Poblado	Distancia desde la fuente	Tiempo de arribo	Velocidad promedio	Espesor	Caudal
Cayambe	10 km	00h40 a 01h00	10-13 km/h	1 - 3 metros	180-700 m <sup>3</sup> /s
La Chimba	Qbd. La Chimba: 5 km	00h30-00h40	8-10 km/h	1 - 3 metros	200-900 m <sup>3</sup> /s
	Qbd. Tunas: 10 km	00h40-00h45	13-15 km/h		360-1200 m <sup>3</sup> /s
Ishigto	Qbd. Purlugara: 19 km	01h15-01h40	12-16 km/h	2-7 metros	300-1600 m <sup>3</sup> /s
	Río Guachalá: 24 km				
Muyurco	11-15 km	01h00-01h30	10-15 km/h	1-5 metros	250-1300 m <sup>3</sup> /s
Ayora	18-22 km	01h30-02h00	9-12 km/h	2-7 metros	450-1500 m <sup>3</sup> /s
Fuente: IGPN, 2017					
Elaborado por: Guerrero J, 2019					

# AMENAZAS VOLCÁNICAS (LAHARES) - CANTÓN CAYAMBE

Ecuador: 1:240.000



**LEYENDA**

**NIVEL DE AMENAZA**

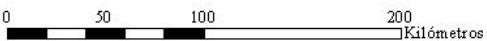
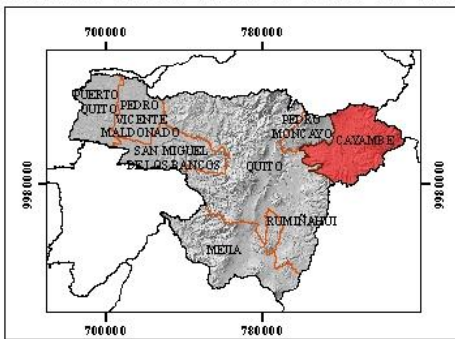
**FLUJOS DE LODO Y ESCOMBROS (LAHARES)**


- Lahares Primarios
  - Alta
  - En caso de una erupción tipo S2b.
- Lahares Secundarios
  - Media
  - En caso de una erupción tipo S2a.

## UBICACIÓN CON RESPECTO A LA PROVINCIA

**SIMBOLOGÍA**

- Cayambe
- Límite Provincial
- Límite Cantonal




**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
 FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
 ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
 INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Mapa N° 1	Contenido: Mapa de Amenazas Volcánicas (Lahares) del cantón Cayambe
Elaboración: Josué Guerrero	Revisado por: Msc. Jenny Zamora
Dátum: WGS 84	Sistema de referencia: UTM
Escala: 1 : 240 000	Zona 17 Sur
Fuente: Instituto Geográfico Militar, IEE, EPN	

## **CAPÍTULO 4**

### **VULNERABILIDAD ANTE LAHARES Y FLUJOS DE LODO EN EL CANTÓN CAYAMBE**

#### **4.1 METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD**

Para determinar la vulnerabilidad de los diferentes componentes estudiados, se toma en cuenta la funcionalidad territorial que se refiere a las interacciones que existen dentro de un territorio sobre un aspecto determinante, y a las características de estas interacciones, garantizando así el desarrollo del territorio.

Los centros poblados, el patrimonio cultural o las unidades ambientales forman parte de estas interacciones, sin embargo dado que el análisis tiene un enfoque netamente económico se analizarán solo los componentes que afecten directamente a las actividades económicas del cantón si ocurriera una erupción que provoque lahares los cuales son eventos destructivos, que han perjudicado poblaciones y que han demostrado ser fatales en diversas partes del mundo. Estos componentes son: infraestructura vial, sistemas económicos e equipamientos para la población.

Se procedió a compilar la información geográfica en el área de estudio, en lo referente a: ubicación de edificaciones y estructuras, cobertura vial, acceso uso del suelo (MAGAP). Se procedió a aplicar el análisis multicriterio y a valorar cada variable a través de ponderaciones, por la importancia económica y de funcionalidad que tiene el cantón dentro de la Provincia de Pichincha, además se procedió a dar un peso ponderado a estas variables.

La vulnerabilidad de infraestructura vial tiene una importancia significativa para el cantón, debido a que estos elementos son indispensables para el transporte y movilización de las personas dentro del cantón.

La vulnerabilidad de sistemas económicos fue estimada en base al uso del suelo en el área de estudio, y a las infraestructuras dedicadas a actividades económicas, debido a que la mayoría de la población del Cantón está dedicada a actividades agropecuarias, tomando en cuenta que la principal actividad que generan ingresos

dentro del cantón son las florícolas, además de que el uso de suelo en actividades agropecuarias cubre un 50 % del área de estudio. Estas actividades constituyen una fuente de ingreso económico o de subsistencia para los pobladores.

## **4.2. Vulnerabilidad de los componentes territoriales**

A continuación, se detallan los elementos de cada uno de los componentes de vulnerabilidad.

Se debe destacar que para determinar los niveles de vulnerabilidad, en los diferentes componentes territoriales se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: primero que tan esencial es una variable para el territorio y como este se puede verse afectado en su funcionalidad al momento de verse expuesto ante una amenaza, en este caso los lahares. Y segundo, el costo que tendría reparar o reconstruir las variables afectadas.

### **4.2.2. Vulnerabilidad infraestructura vial**

Las redes de vialidad y servicios: “son infraestructuras esenciales para el desenvolvimiento normal de una población y, en caso de desastres, son primordiales para garantizar el funcionamiento normal, la atención de emergencias, la pronta recuperación y rehabilitación del territorio”. (SNGR, 2011).

#### **4.2.2.1. Red vial**

La red vial del área de estudio fue obtenida a partir de un shape del IGM, de acuerdo al catálogo de objetos del IGM (IGM, 2011) y se las ha clasificado para el estudio en: Vías asfaltadas o pavimentadas de dos carriles y Vías lastradas de un carril.

La vía asfaltada de dos carriles del área de estudio corresponde la vía panamericana norte, es la vía de mayor importancia en el área de estudio, debido a que es la que conecta a los poblados rurales, con la parte urbana del cantón y otros centros poblados. Las vías lastradas

de un carril conectan a algunos centros de densidad media y también conectan las zonas agropecuarias con los centros poblados de mayor importancia.

La exposición de estos elementos ante la amenaza de lahares puede derivar en la obstrucción o pérdida de tramos de carreteras, dificultando la accesibilidad en el territorio y provocando la paralización de las actividades económicas.

#### 4.2.2.2. Línea Férrea

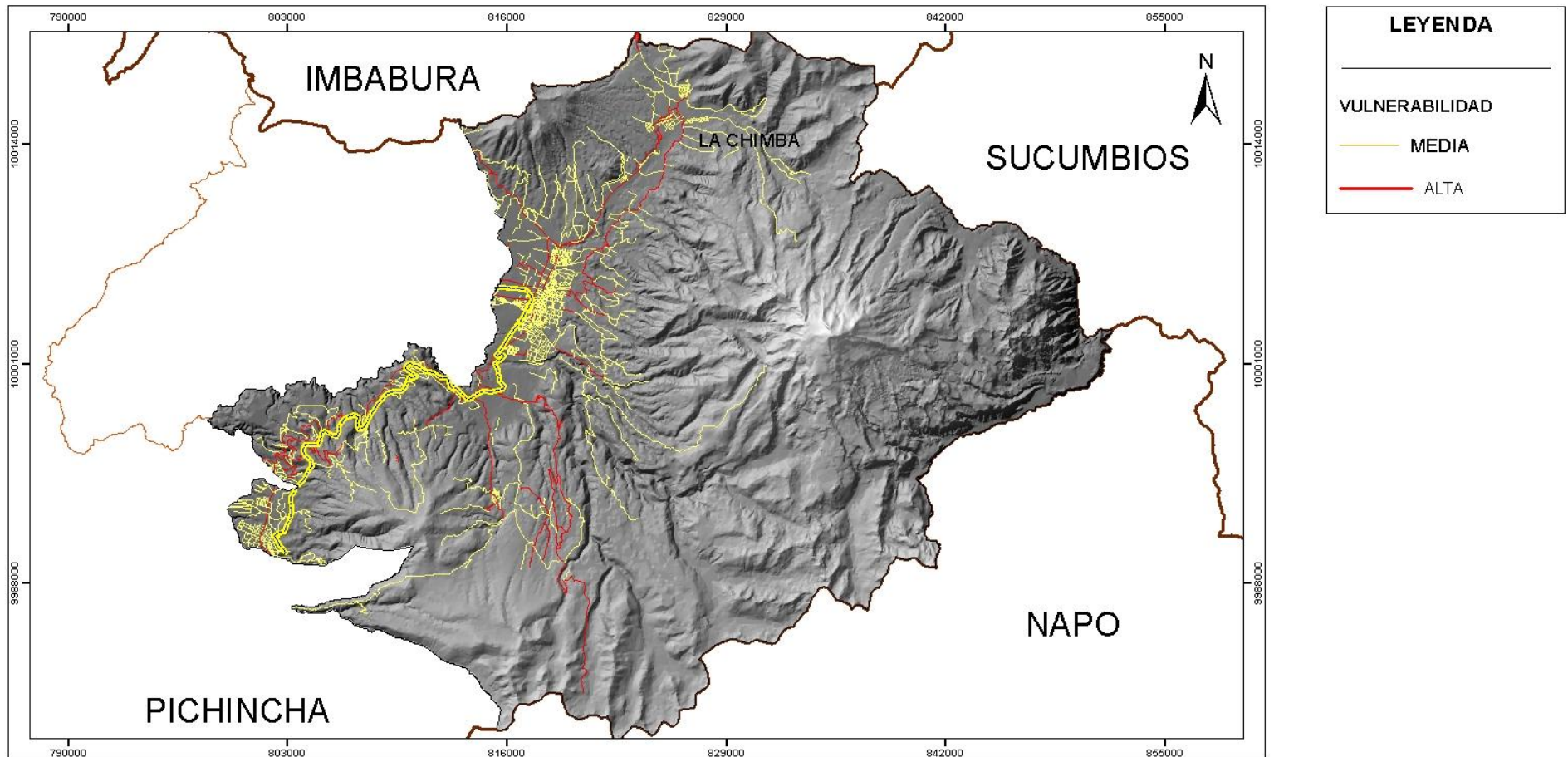
Una línea férrea atraviesa el área de estudio. Su vulnerabilidad es media, debido a que es la única vía férrea que atraviesa de Norte a Sur la región Sierra, conecta varios lugares de interés turístico que alimentan la economía que se encuentra cerca de la línea férrea.

Tabla N° 16: Vulnerabilidad de la infraestructura vial del cantón Cayambe

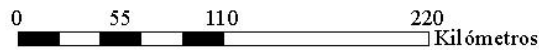
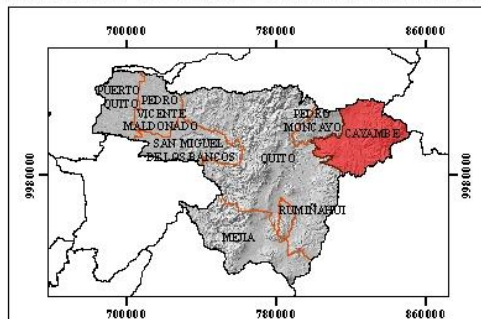
Vías		Vulnerabilidad
Vías asfaltadas, pavimentadas o lastradas de dos carriles	Primarias	Alta
Línea Férrea		Media
Vías lastradas de un carril y Calles	Secundarias	Media
Fuente: IGM. 2015		
Elaborado por: Guerrero J, 2019		


# VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ANTE LAHARES DEL CANTÓN CAYAMBE

Ecuador: 1:230.000



## UBICACIÓN CON RESPECTO A LA PROVINCIA



 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL	
Mapa N° 3	Contenido: Mapa de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante lahares del cantón Cayambe
Elaboración: Josué Guerrero	Revisado por: Msc. Jenny Zamora
Dátum: WGS 84	Sistema de referencia: UTM
Escala: 1 : 230 000	Zona 17 Sur
Fuente: Instituto Geográfico Militar, IEE, EPN	

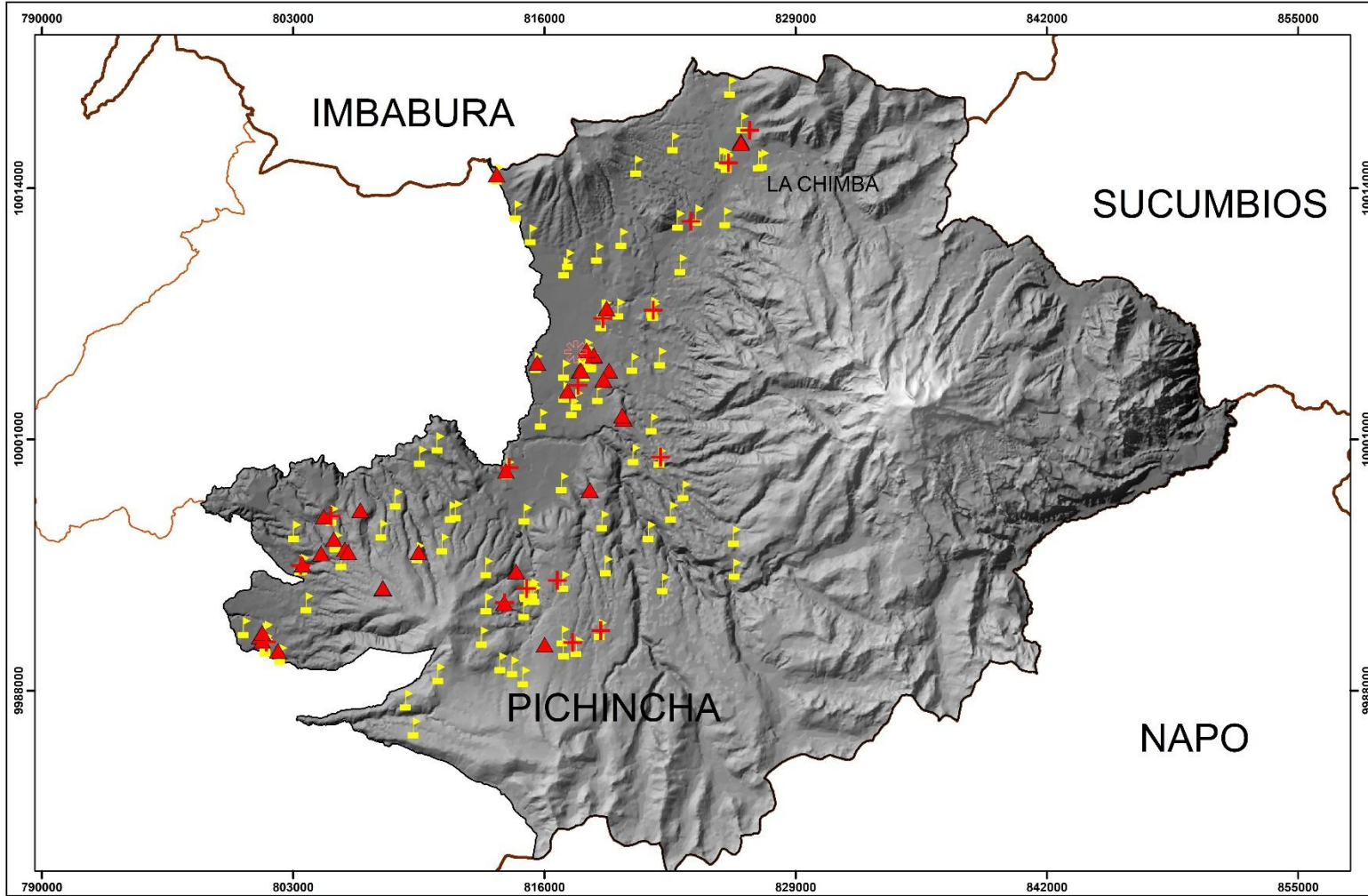
### 4.2.3. Infraestructura de Equipamientos para la población

Las infraestructuras de servicios como: centros de salud y centros educativos, subestaciones eléctricas y torres de comunicación constituyen elementos esenciales dentro de la funcionalidad del territorio, y concentran a la población que necesita de estos servicios. En el área de estudio existen 17 centros de salud avalados por el Ministerio de Salud, 100 instituciones educativas, una subestación eléctrica y 38 torres de comunicación. Se valoró su vulnerabilidad en función de su importancia dentro de la funcionalidad del territorio.

Tabla N° 17: Vulnerabilidad de infraestructuras de servicios del cantón Cayambe

<b>Infraestructura de servicio</b>	<b>Vulnerabilidad</b>
Centros de salud	<b>Alta</b>
Subestación Eléctrica	<b>Alta</b>
Torre de Comunicación	<b>Alta</b>
Instituciones educativas	<b>Media</b>
<b>Fuente: IEE 2015</b>	
<b>Elaborado por: Guerrero J, 2019</b>	

# VULNERABILIDAD DE LOS EQUIPAMIENTOS ANTE LAHARES DEL CANTÓN CAYAMBE

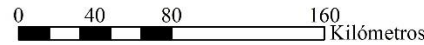
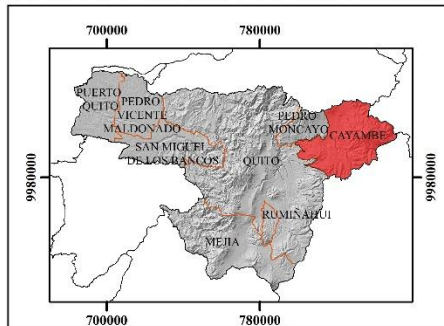


## LEYENDA

### VULNERABILIDAD

- MEDIA
- ALTA

## UBICACIÓN CON RESPETO A LA PROVINCIA



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Mapa N°3

Contenido: Vulnerabilidad de Los Equipamientos para la población ante lahares del cantón Cayambe.

Elaboración: Josué Guerrero

Revisado por: Msc. Jenny Zamora

Dátum: WGS 84

Sistema de referencia: UTM

Escala: 1 : 220000

Zona 17 Sur

Fuente: Instituto Geográfico Militar, IEE, IGEPN

#### 4.2.4. Vulnerabilidad de sistemas económicos

Se ha tomado la cobertura y uso de suelo como variable para identificar la vulnerabilidad económica debido a que en el área de estudio prevalecen las actividades agropecuarias y la mayor parte de la población se ocupa en estas actividades. Se ha clasificado el uso y cobertura del suelo, y se le ha asignado un grado de vulnerabilidad según la importancia económica del uso de suelo, ya que, en caso de un evento adverso, la pérdida de cultivos o pastizales se traduce en pérdidas económicas para la población.

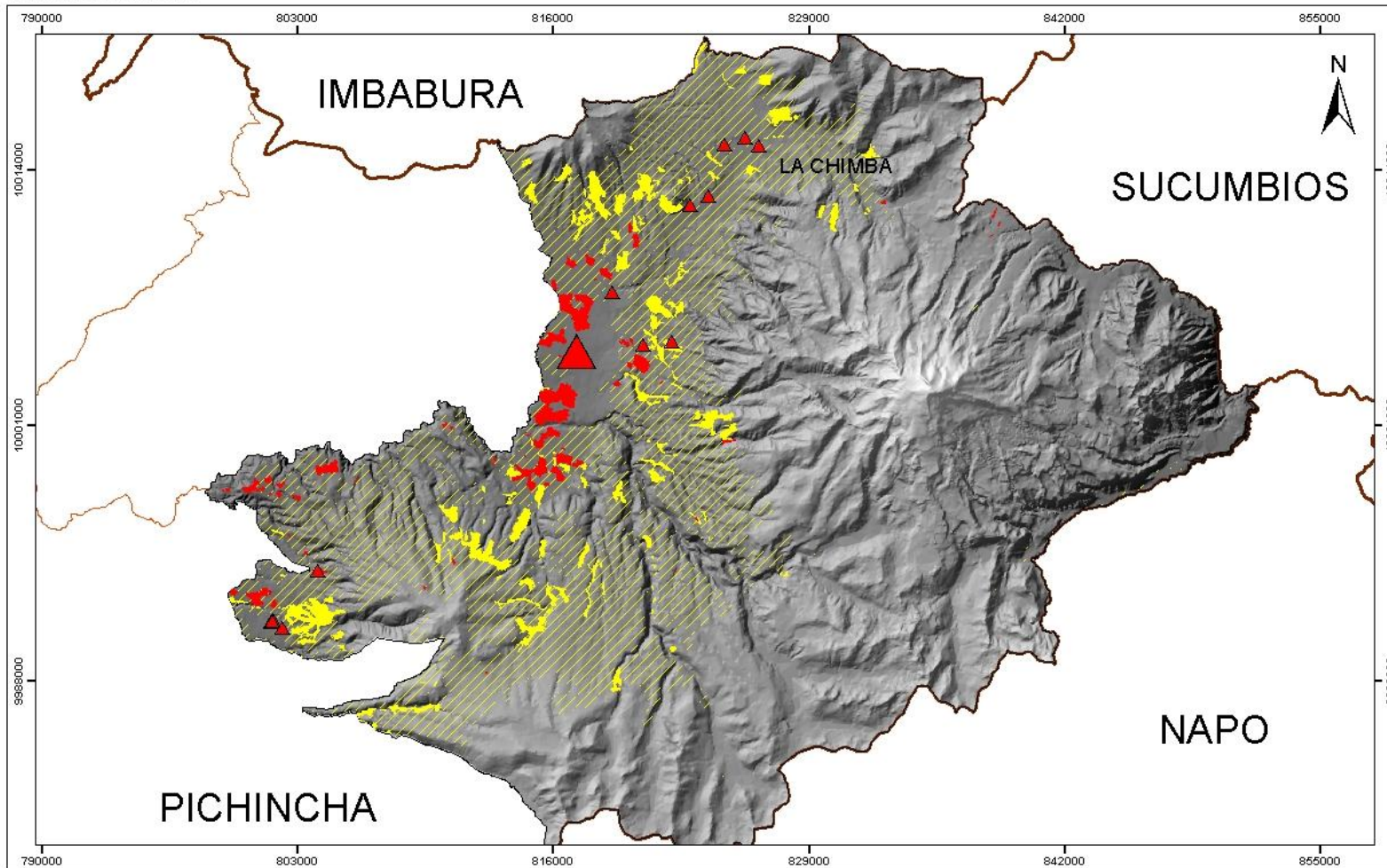
Hay que destacar que para realizar el mapa de Vulnerabilidad de sistemas económicos, se exageró la capa de infraestructuras económicas, para que de este modo se pueda visualizar de mejor forma. Al mismo tiempo se agrupó las infraestructuras económicas concentradas dentro de la zona urbana para obtener el mismo resultado.

Tabla N° 18: Vulnerabilidad de sistemas económicos del cantón Cayambe.

Cobertura y uso de suelo		Vulnerabilidad
Productivo	Infraestructura Económica	<b>Alta</b>
	Plantación Florícola	<b>Alta</b>
	Plantación Forestal	<b>Media</b>
	Tierra Agropecuaria	<b>Media</b>
Fuente: MAGAP, IEE 2014		
<b>Elaborado por:</b> Guerrero, 2019		

# VULNERABILIDAD DE SISTEMAS ECONÓMICOS DEL CANTÓN CAYAMBE

Ecuador: 1:220.000



## LEYENDA


VULNERABILIDAD

— MEDIA

— ALTA

## UBICACIÓN CON RESPETO A LA PROVINCIA



 <p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL</p>	
Mapa N° 5	Contenido: Mapa de vulnerabilidad de sistemas económicos del Cantón Cayambe
Elaboración: Josué Guerrero	Revisado por: Msc. Jenny Zamora
Dátum: WGS 84	Sistema de referencia: UTM
Escala: 1 : 220 000	Zona 17 Sur
Fuente: Instituto Geográfico Militar, IEE, EPN	

### **4.3. NIVELES DE VULNERABILIDAD TERRITORIAL**

**Vulnerabilidad alta:** En esta categoría, principalmente se incluyen las principales fuentes de ingresos económicos para el cantón, ya que aquí se encuentra las vías principales como la panamericana Norte, o las plantaciones florícolas que son la principal fuente de ingresos económicos, los mismos que se encuentran ubicados muy próximos al cauce del río Blanco. Además, incluye áreas donde se encuentran elementos estructurales como infraestructuras como la subestación eléctrica. Esta categoría es importante porque al ser afectado influye directamente con el funcionamiento normal de la provincia de Pichincha, así mismo, los costos y el tiempo de reparación en caso de producirse un evento de estas magnitudes serían mayores por lo que su vulnerabilidad es alta.

**Vulnerabilidad Media:** En esta categoría se agrupan principalmente las áreas con presencia de infraestructura vial que sirve como conexión y medios de transporte de los productos a ser comercializados dentro y fuera del cantón, tales como vías lastradas de un carril o las calles de la ciudad Cayambe, las cuales son esenciales en el área de estudio. También podemos representar terrenos destinados a actividades agropecuarias (cultivos y pastizales). Cuentan con muy poco abastecimiento de equipamientos y se encuentran a grandes distancias de las vías asfaltadas.

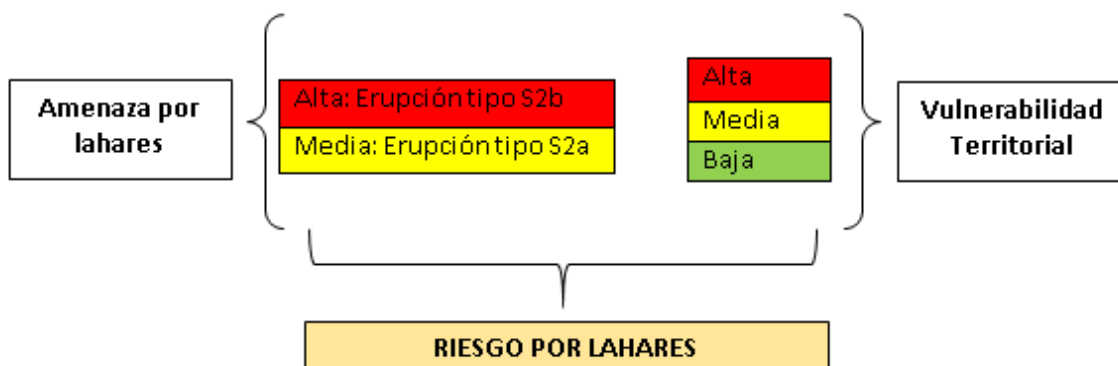
## CAPÍTULO 5

### MAPEO DE RIESGOS ANTE LAHARES EN EL CANTÓN CAYAMBE

#### 5.1. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE RIESGO

Una vez obtenidos los Mapas de Amenaza y Vulnerabilidad Territorial, se procedió a unir estas dos coberturas a través de la unión de las capas ráster. En primer lugar, se evaluó el riesgo ante cada componente de vulnerabilidad, del cual se obtuvieron tres mapas de riesgo, y finalmente se obtuvo un Mapa Síntesis de Riesgo.

Diagrama N° 3: Cálculo del riesgo por lahares del Cantón Cayambe



Elaborado por: Guerrero J, 2020.

#### 5.2. MAPAS DE RIESGO

A continuación, se describe el nivel de riesgo por exposición de los componentes del área de estudio, para dar mayor especificidad a los resultados cartográficos. Estos elementos están contenidos en cuatro categorías: componente poblacional, estructural, patrimonial y componente económico.

### 5.2.1. Mapa de Riesgo ante Lahares del Componente de Infraestructura Vial

Con la aplicación de la metodología presentada en el Diagrama N°3, se obtuvo un Mapa de Riesgo de Infraestructura Vial.

Tabla N° 19: Riesgo ante lahares de Infraestructura vial

<b>Riesgo</b>	<b>Extensión (km2)</b>	<b>Porcentaje del área de estudio</b>
Alto	0.08	88.89
Medio	0.01	11.11
	<b>0.09</b>	<b>100</b>
<b>Elaborado por: Guerrero, 2019</b>		

#### **Riesgo Alto**

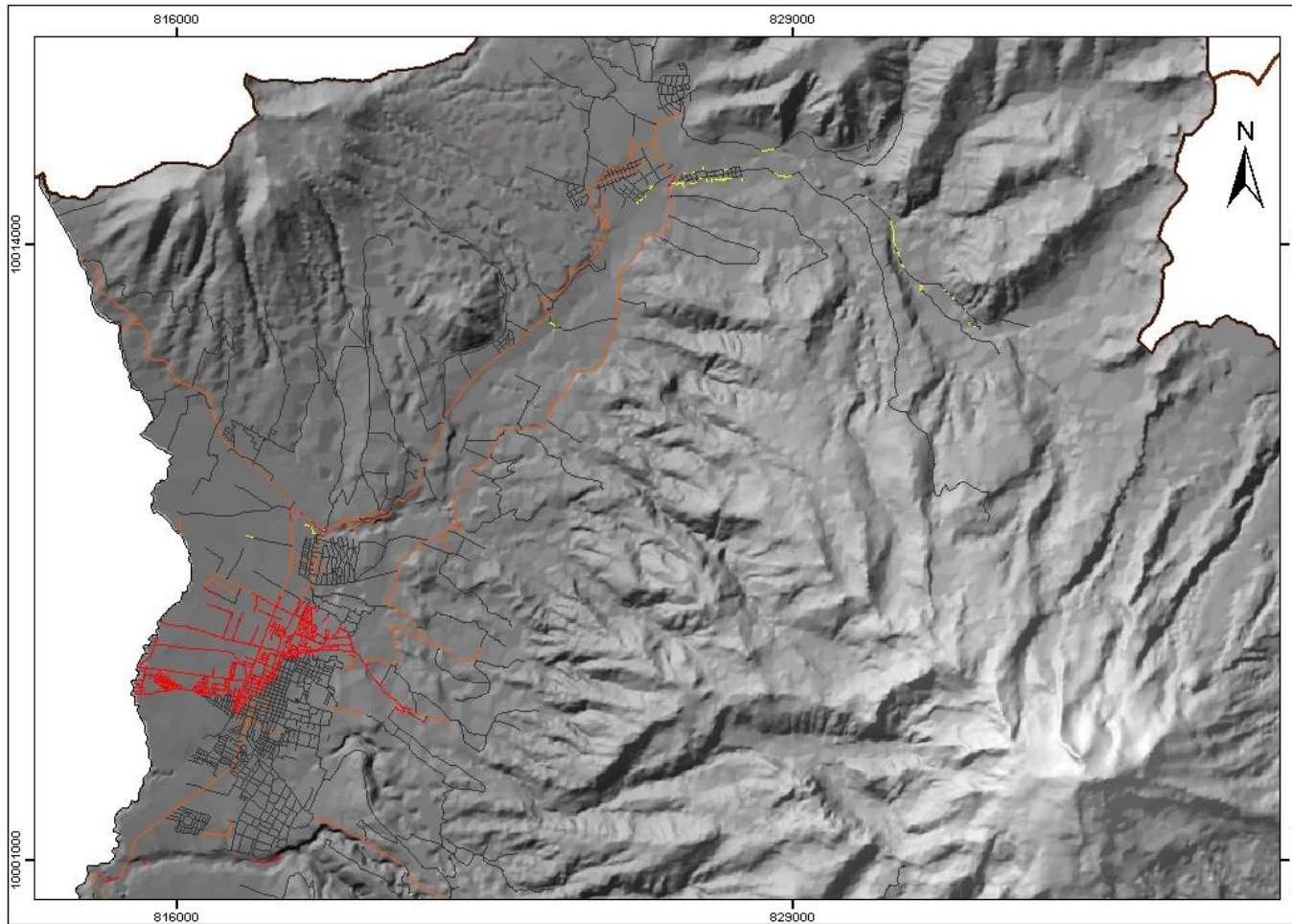
Representa un área de 0.08 kilómetros cuadrados, principalmente las calles de la ciudad Cayambe y la Panamericana Norte, que es la principal vía de comunicación y transporte del Cantón. Las cuales afectan directamente a las actividades económicas del cantón.

#### **Riesgo Medio**

Esta área de riesgo representa 0.01 kilómetros cuadrados. Referentes a vías lastradas de un carril, las mismas que son utilizadas para la comercialización de productos y movilización de las personas.

# RIESGO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ANTE LAHARES DEL CANTÓN CAYAMBE

Ecuador: 1:220.000



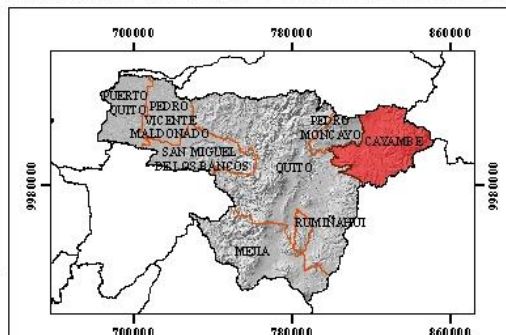
## LEYENDA


		Vulnerabilidad Vial	
		Vías Principales	Vías Secundarias
Medio	1	3	2
	2	6	4

Nivel de Riesgo	
2	Medio
3	Alto
4	Alto
6	Alto

## UBICACIÓN CON RESPECTO A LA PROVINCIA

SIMBOLOGÍA	
	Vías Primarias S/A
	Vías Secundarias S/A
	Cayambe
	Límite Provincial
	Límite Cantonal



 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL	
Mapa N° 7	Contenido: Mapa de riesgo de la infraestructura vial ante lahares del Cantón Cayambe
Elaboración: Josué Guerrero	Revisado por: Msc. Jenny Zamora
Dátum: WGS 84	Sistema de referencia: UTM
Escala: 1 : 240 000	Zona 17 Sur
Fuente: Instituto Geográfico Militar, IEE, EPN	

### 5.2.2. Mapa de Riesgo ante Lahares del Componente del Sistema Económico

Con la aplicación de la metodología presentada en el diagrama N°3, se obtuvo un Mapa de Riesgo de Sistemas Económicos, compuesto de 3 niveles. Los elementos económicos tienen que ver con el uso agrícola: Plantaciones florícolas, plantaciones forestales y tierra agropecuaria. Son elementos importantes ya que el área de estudio depende principalmente de estas actividades. Un evento adverso podría generar pérdidas económicas a los pobladores.

Tabla N° 20: Riesgo ante lahares del Sistema Económico

Riesgo	Rango	Extensión (km2)	Porcentaje
Alto	3 - 6	256	5,69
Medio	2	993	22,06
<b>Elaborado por: Guerrero, 2019</b>			

#### Riesgo Alto

Corresponde al área más representativa, con las principales plantaciones florícolas y tierras cultivadas, las cuales se encuentran en las áreas con mayor amenaza ante lahares con alta posibilidad de ocurrencia. La ocurrencia de un lahar, por pequeño que sea, generaría pérdidas económicas, ya que las florícolas se perderían, de la misma forma algunas infraestructuras se verían afectadas las cuales son las siguientes:

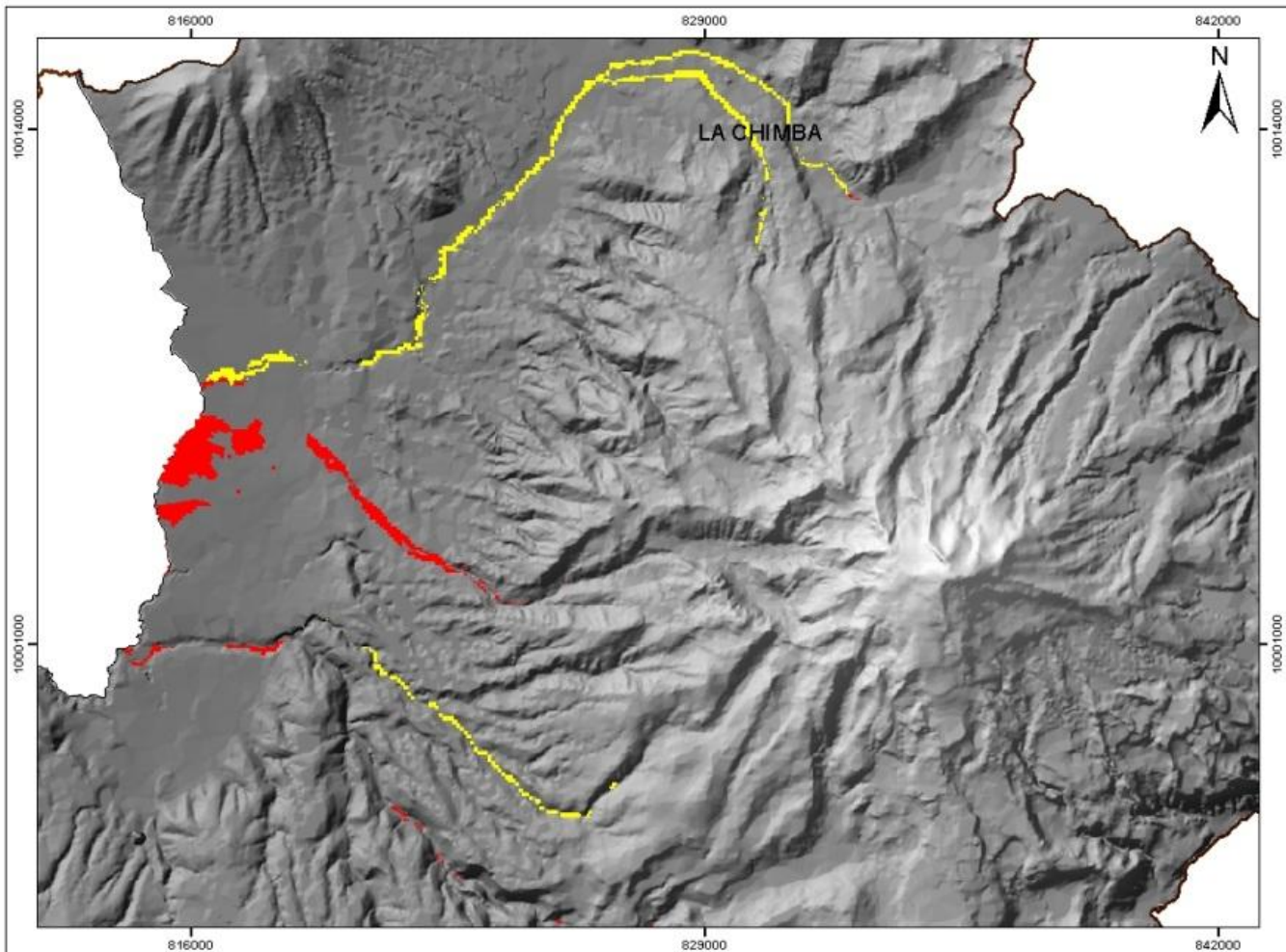
- Ind. Florícola Flor Aroma SA
- Ind. Nestlé
- Ind. Florícola Qualisa
- Ind. Centro Agrícola Cantón Cayambe
- Ind. Florícola Flower Fest
- Ind. Productos González.

## **Riesgo Medio**

Esta área de riesgo se caracteriza por contener principalmente terrenos de cultivo y pastizales amenazados (Tierra agropecuaria), con una menor posibilidad de ser afectadas por lahares, los cuales representan una pérdida económica menor, que los terrenos usados con actividades agro-productivas.

# RIESGO DE LOS SISTEMAS ECONÓMICOS DEL CANTÓN CAYAMBE

Ecuador: 1:120.000



## LEYENDA

Vulnerabilidad de los Sistemas Económicos					
Nivel de Amenaza		Infraestructura Económica	Plantaciones Florícolas	Plantaciones Forestales	Tierra Agropecuaria
		Alto	Alto	Medio	Medio
		3	3	2	2
Medio	1	3	3	2	2
Alto	2	6	6	4	4

Nivel de Riesgo	
2	Medio
3	Alto
4	Alto
6	Alto

## UBICACIÓN CON RESPETO A LA PROVINCIA

SIMBOLOGÍA	
	Cayambe
	Limite Provincial
	Limite Cantonal



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
 FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
 ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
 INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Mapa N° 8      Contenido: Mapa de riesgo de los sistemas económicos ante lahares del Cantón Cayambe

Elaboración: Josué Guerrero	Revisado por: Msc. Jenny Zamora
Dátum: WGS 84	Sistema de referencia: UTM
Escala: 1 : 240 000	Zona 17 Sur
Fuente: Instituto Geográfico Militar, IEE, EPN	

### **5.2.3. Mapa de Riesgo ante Lahares de los Equipamientos**

Con la aplicación de la metodología presentada en el diagrama N°3, se obtuvo un Mapa de Riesgo de Equipamientos, compuesto de 3 niveles. Los elementos económicos tienen que ver con el uso agrícola: Plantaciones florícolas, plantaciones forestales y tierra agropecuaria. Son elementos importantes ya que el área de estudio depende principalmente de estas actividades. Un evento adverso podría generar pérdidas económicas a los pobladores.

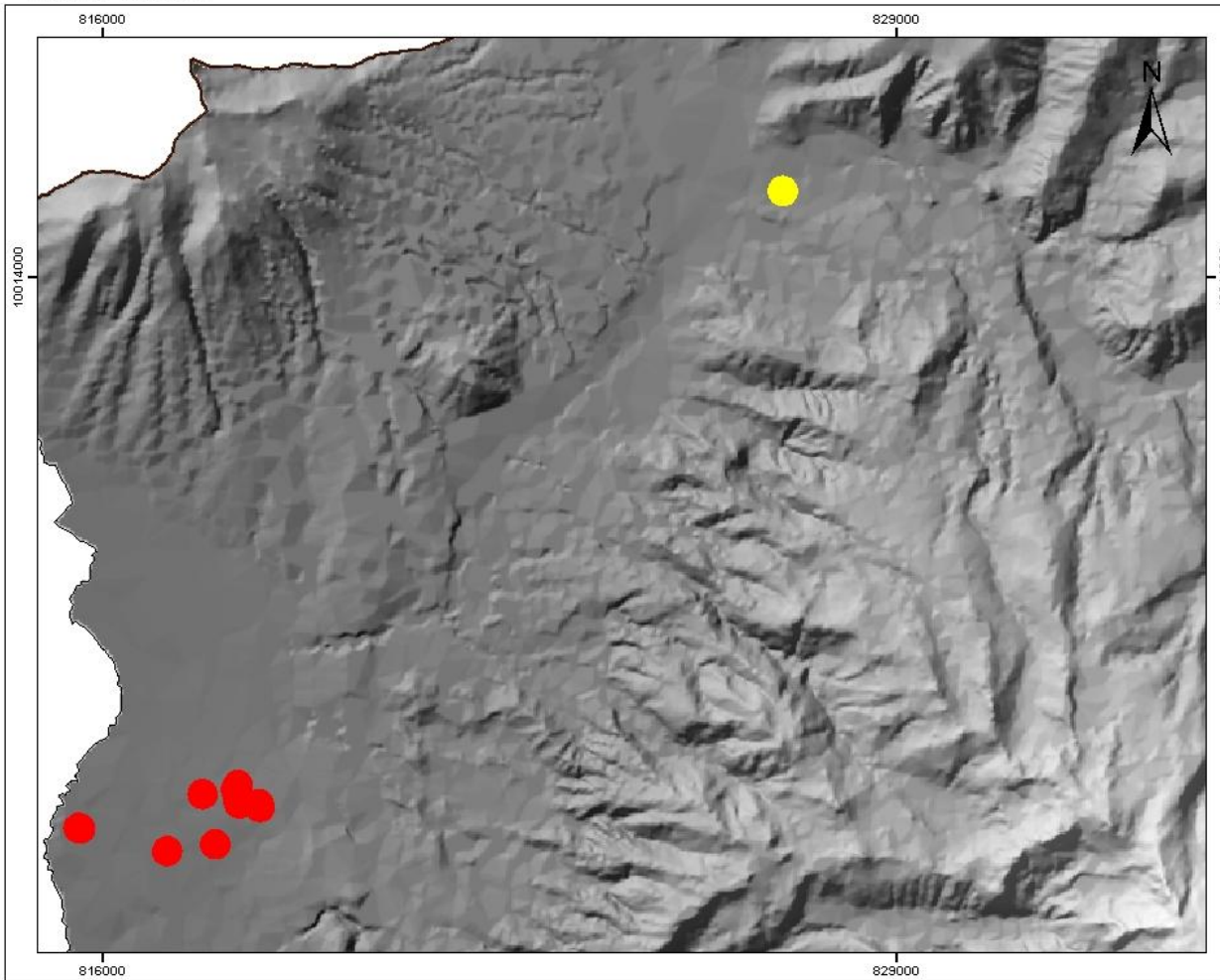
El centro de formación Comunitario La Chimba tiene un riesgo medio.

Los equipamientos que tienen un riesgo alto ante lahares provocados por el volcán Cayambe son:

- Escuela Sumakwawa
- Central CNT Camellones
- Centro Gerontológico de Cayambe
- Unidad Educativa Municipal Cayambe
- CIBV Cayambe
- Instituto Técnico Nelson Torres
- Antena Alegro/CNT
- 2 Antena Claro
- Subestación eléctrica Cayambe

# RIESGO DE EQUIPAMIENTOS DEL CANTÓN CAYAMBE

Ecuador: 1:50.000



## LEYENDA

Nivel de Amenaza		Vulnerabilidad de los Equipamientos			
		Centros de Salud	Torres de Comunicación	Subestación Eléctrica	Instituciones Educativas
Alto	3	3	3	2	
Medio	1	3	3	2	
Alto	2	6	6	4	

Nivel de Riesgo	
2	Medio
3	Alto
4	Alto
6	Alto

## UBICACIÓN CON RESPETO A LA PROVINCIA

SIMBOLOGÍA	
	Cayambe
	Límite Provincial
	Límite Cantonal



<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR          FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS          ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS          INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL</p>	
Contenido: Mapa de Riesgos de los Equipamientos ante Lahares	
Elaboración: Josué Guerrero	Revisado por: Msc. Jenny Zamora
Dátum: WGS 84	Sistema de referencia: UTM
Escala: 1 : 220000	Zona 17 Sur
Fuente: Instituto Geográfico Militar, IEE, EPN	

## CONCLUSIONES

- El área de estudio se localiza en la parte occidental del cantón Cayambe, en los flancos del volcán Cayambe, el cual puede ser considerado relativamente como un volcán Potencialmente Activo, debido a que su última erupción ocurrió en el 1786, según IG-EPN. Una posible reactivación del volcán podría desembocar en la generación de lahares ardientes.
- El río Blanco es el principal drenaje por el cual se trasladarían los lahares. Este río atraviesa poblaciones asentadas en la ciudad de Cayambe, la cual presentan un mayor nivel de amenaza, debido a su ubicación próxima al cauce del río Blanco y por su cercanía al volcán Cayambe. Las cabeceras parroquiales presentan un nivel de amenaza bajo.
- Las herramientas Volc-Flow y Lahar Flow han mostrado resultados favorables en el área de estudio, demarcando adecuadamente los escenarios de amenaza, tanto de lahares primarios, como de lahares secundarios. Sin embargo, el Mapa de Amenazas por Lahares y Flujos de Lodo puede ser mejorado, en función de su exactitud y su escala, mediante el uso de Modelos digitales de elevación más precisos y, el uso de software más especializado, que permitan realizar mejores simulaciones para evaluar la amenaza. Estos recursos no se usaron debido a que representan costos altos. Sin embargo, en este estudio se establecen escenarios de potenciales lahares, precisando la posibilidad de ocurrencia.
- La población ubicada sobre las áreas con mayor amenaza es la Ciudad de Cayambe, es mayoritariamente población asentada en zonas urbanas, y además es vulnerable por su funcionalidad dentro de la Provincia de Pichincha.
- Mediante el uso herramientas informáticas, del SIG, y del procesamiento de información pertinente, se logra cartografiar niveles de vulnerabilidad, en base a

una ponderación de los elementos esenciales del territorio en función de la importancia de estos, partiendo del criterio de exposición y sus posibles afectaciones territoriales, de este modo se obtuvo cuatro mapas temáticos de vulnerabilidad.

- Considerando los dos escenarios de posible afectación, en función de la posibilidad de ocurrencia y el volumen de los flujos, y diferentes niveles de vulnerabilidad territorial, se genera cuatro mapas de riesgo temático, mediante los cuales se logró identificar distintos niveles de riesgo respecto a los componentes vulnerables del territorio. Se llegó a estimar niveles de riesgo respecto las infraestructuras esenciales y las actividades económicas lo cual permite una interpretación específica del riesgo y estimar la extensión territorial del riesgo a diferentes niveles.
- Finalmente se generan los Mapas de Riesgo ante Potenciales Lahares del Cantón Cayambe, que muestra el riesgo de manera integral en el cantón.
- Se debe hacer énfasis en la infraestructura vial ya que la panamericana cuenta con 41,3 kilómetros que atraviesan longitudinalmente al cantón y la misma tiene un riesgo alto en frente a lahares, lo que representaría un gran gasto y al mismo tiempo afectaría directamente la funcionalidad del cantón.
- Dentro de la cabecera cantonal Cayambe, un total de 3.58 kilómetros cuadrados se enfrentan en un nivel de riesgo alto
- Los mapas de riesgo sirven para el mejoramiento de la formulación de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantonal, ya que cumplen las características establecidas por la SENPLADES Y SNGR, contribuyendo a mejorar la gestión de riesgo ante futuros eventos adversos.

- Se han identificado áreas habitadas con un alto nivel de amenaza, las cuales requieren de intervención inmediata por parte del GAD cantonal, y otras entidades competentes.
- Las florícolas que se encuentran concentradas junto a la cabecera cantonal, ciudad de Cayambe, serían las de mayor afectación por el flujo de lahares primarios del río Blanco, lo cual se evidencia con la simulación de una erupción tipo San Marcos.

## **RECOMENDACIONES**

Para las Estrategias de Gestión ante los riesgos por lahares del cantón Cayambe.

Las estrategias de prevención de desastres propuestas son las siguientes:

- 1** Fortalecimiento de la gestión de riesgo en el GAD del cantón Cayambe: Se pretende mejorar la Gestión de Riesgo del GAD, para que de este modo se pueda tener una pronta y eficiente respuesta en el caso de una posible erupción del volcán Cayambe, para de este modo poder dar cumplimiento a lo expresado en la Constitución de la República del Ecuador, sobre todo mediante la prevención ante el riesgo y la minimización de la condición de vulnerabilidad.
- 2** Integrar una unidad de Gestión de riesgo, la misma que deberá: - Estudiar, evaluar y utilizar inmediatamente los mapas que muestran el riesgo de manera integral en el cantón: - Mapa de Amenaza por Lahares del Volcán Cayambe, - Mapas de Vulnerabilidades, y - Mapa de Riesgo ante Potenciales Lahares del Cantón Cayambe.
- 3** Incorporar estos mapas, dentro de la actualización del PDOT, para tener un conocimiento específico y más completo sobre las amenazas, vulnerabilidades y riesgos, y sus implicaciones territoriales. - Mejorar el equipo técnico, incorporando profesionales que manejen información cartográfica, con el fin de monitorear de manera precisa los escenarios de posibles desastres.
- 4** Realizar diferentes investigaciones que cuenten con el apoyo de otras instituciones, para mejorar el conocimiento de la amenaza presente en el cantón y establecer

diferentes mecanismos de respuesta ante desastres como: talleres, capacitaciones, simulacros, sistemas de alertas, entre otros.

- 5 Preparar los planes de contingencia ante posibles eventos que puedan afectar a la población y a las infraestructuras presentes en el área, con la creación de una mancomunidad entre los GAD parroquiales que presenten la amenaza de lahares del volcán Cayambe. Acciones como la prestación de servicios de manera complementaria, el intercambio de información, la subsidiariedad, pueden ayudar a cohesionar estos territorios, de modo que las áreas bajo situación de amenaza puedan ser tratadas de manera integral. Además, esto ayudaría a que la problemática tenga mayor incidencia política frente al gobierno provincial y la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, y también, frente a organismos internacionales y demás instituciones, que puedan estar interesados en ayudar a tratar el problema.
- 6 Fomentar la participación de los ciudadanos en la prevención de desastres. Se pueden implementar acciones específicas, con el apoyo de diversas instituciones, para promover las capacidades locales desde su organización comunitaria.

Las estrategias de reacción ante desastres están orientadas a gestionar los elementos del territorio, en un momento de crisis por la ocurrencia de un desastre.

- 1 Activación del Comité de Operaciones de Emergencia: el cual se mantiene en sesión permanente, para poner en acción a los elementos que permitan asegurar y dar atención a la población afectada en caso de presentarse un desastre, protegiendo la vida humana y las necesidades básicas de las personas afectadas, a través de la operación de planes de contingencia que puedan existir. El COE deberá disponer y utilizar de la información y los resultados del presente estudio, y la SNGR, podrá declarar el nivel de alerta, en función de cómo evolucione la amenaza.
- 2 Generación de información actualizada sobre la evolución de la amenaza: La institución científica – técnica encargada del monitoreo de volcanes (IG-EPN) deberá considerar este estudio y continuamente actualizar la información pertinente, sobre el estado de la amenaza.

Las estrategias de mitigación de riesgos naturales están orientadas a reducir el nivel de riesgo en el territorio.

- 1** Capacitación de la ciudadanía: respecto a la amenaza a la que están expuestos, para concientizar el riesgo en el territorio y para que puedan actuar según los planes ya realizados, en respuesta a una posible emergencia, utilizando los recursos y protocolos ya establecidos. Esta capacitación puede darse mediante visitas de equipos técnicos, a través del desarrollo de proyectos específicos, la realización de talleres, etc.
- 2** Construcción de infraestructuras para mitigar afectación física: Los flujos de lodo pequeños y concentrados, pueden ser controlados en su trayectoria, para evitar daños en viviendas, torres de transmisión o áreas de cultivos, a través de la construcción de gaviones, o estructuras similares, en las áreas donde la amenaza sea más latente. Esto depende de un estudio detallado a una escala menor.

Las estrategias de reconstrucción ante desastres comprenden medidas dirigidas a: “el restablecimiento y al mejoramiento de los servicios públicos dañados por un evento adverso, evitando que se repitan las condiciones de vulnerabilidad, o que se construyan nuevos factores de riesgo” (SNGR, 2014).

- 1** Inicialmente es necesario para evaluar los elementos afectados, y restablecer la funcionalidad de estos, para que el territorio regresa a funcionalidad habitual, en el menor tiempo posible. Esto estará realizado por el COE cantonal.

## BIBLIOGRAFÍA

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). 2002.” Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales en el ámbito municipal de Nicaragua: Guía para el especialista”.Managua. NI. Tomado de: <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc14893/doc14893.htm>

Albán, F. (2015). *Impactos potenciales del Cambio Climático en la biodiversidad de ecosistemas de alta montaña o páramo de Ecuador*. Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de Repositorio PUCE: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8747>

Ascázubi, J. (1802). *Letter to Baron von Humboldt*. In: “von Humboldt A, *Briefe aus Amerika, 1799-1804*”. Berlin, 1993: herausgegeben von Ulrike Moheit, Akademik Verlag.

Bernard B. y Samaniego P. (2017). *Escenarios eruptivos en el volcán Cayambe y construcción de un árbol de eventos*. Quito, Ecuador: Extended abstract volume of the 8th JCT.

Borrini-Feyerabend, G., Dudley, N., Jaeger, T., Lassen, B., Broome, N., Philips, A., & Sandwith, T. (2014). *Gobernanza de áreas protegidas*. Gland - Suiza: UICN.

Cardona, O. D. (1993). Obtenido de <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>

Challenger, A. (2009). *Introducción a los Servicios Ambientales*. México D.F: SEMARNAT.

Columba, K. (2013). *Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador*. Quito - Ecuador : Ziette Diseño.

COOTAD. (2010). *Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización*. Obtenido de [http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_org.pdf](http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf)

Cortéz, M, Becerra, P. (2006). “*Geografía de los riesgos una propuesta pedagógica para el municipio de Yumbo*”. Recuperado el 01 de 10 de 2018

Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegida*. Gland - Suiza: UICN.

ECOPAR. (2015). “*Asi nos adaptamos las comunidades del paramo al cambio climatico*”. Graphos: Quito.

ECOPAR. (2015). “*Adaptándonos al Cambio Climático en las Alturas*”. Chimborazo.

Edin, D. (2014). *LOS ENFOQUES DE LA GEOGRAFÍA EN SU EVOLUCIÓN COMO CIENCIA*. Recuperado el 31 de mayo de 2017, de Revista Geográfica Digital: <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo21/archivos/cuadra14.pdf>

- FAO. (2009). *FAO*. Recuperado el 01 de 10 de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/013/i1255b/i1255b02.pdf>
- Fournier, d. (1985). "The Quantification of Seismic Hazard for the Purposes of Risk Assessment". En d. Fournier. *International Conference on Reconstruction, Restauration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas*.
- GAD Cayambe. (2015). "*Actualizacion del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Chimborazo 2015-2025*". Recuperado el 01 de 10 de 2018, de <http://181.112.151.230:8081/attachments/download/676/PDOT%20cant%C3%B3n%20Cayambe%20%202015-2025.pdf>
- GAD El Triunfo. (2014-2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia rural El Triunfo*. El Triunfo, Tungurahua.
- GPM-CONGOPE. (2013). *Sistema de Áreas de Conservación de la Provincia de Manabí*. Portoviejo, Manabí: CONGOPE.
- Guevara, M., Flores, M., & Téllez, M. (2015). Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales desde la visión de las comunidades indígenas: Sierra Norte del Estado de Puebla. *Nova Scientia*.
- Hall y Mothes . (1994). *Tefroestratigrafía Holocénica de los volcanes principales del Valle Interandino*. Quito, Ecuador: . Corporación Editora Nacional y Colegio de Geógrafos del Ecuador.
- Hofstede, R. (2014). "*Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*". Recuperado el 03 de mayo de 2017, de UICN Web Site: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>
- IDESMAC. (2012). *Manual para el fortalecimiento de los administradores de las Áreas Naturales Protegidas Comunitarias*". México D.F: IDESMAC.
- IGEPN. (2018). *IGEPN*. Recuperado el 02 de 10 de 2018, de <https://www.igepn.edu.ec/cayambe-informes/cay-mensuales/cay-m-2018/21424-informe-mensual-cayambe-agosto-2018/file>
- IGM. (2011). *Geoportal*. Recuperado el 10/11/2019, de [http://www.geoportaligm.gob.ec/cartografia/50kxcartas/1%20Informaci%C3%B3n\\_Adicional/CATALOGO\\_OBJETOS\\_IGM-Vers-4.pdf](http://www.geoportaligm.gob.ec/cartografia/50kxcartas/1%20Informaci%C3%B3n_Adicional/CATALOGO_OBJETOS_IGM-Vers-4.pdf)
- INEC. (2010). *Redatam*. Recuperado el 23 de 02 de 2018, de <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>

- INRENA-GTZ/PDRS. (2008). *Caja de herramientas para la gestión de áreas de conservación. Fascículo 3: ¿Cómo establecer áreas de conservación? El proceso y el expediente técnico*. Lima: INRENA.
- IPCC. (2014). *Anexo B. Glosario de Términos*. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de IPCC Org: <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- Jaramillo, N. (2013). *Análisis del Pensamiento de Ángel Modesto Paredes*. Recuperado el 25 de mayo de 2017, de Repositorio UTPL: <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8043/1/Salgado%20Jaramillo%20Nataly%20Stefania.pdf>
- Lugo, J. (1989). *"Diccionario Geomorfológico"*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- MAE. (2016). *Acuerdo Ministerial 83: PROCEDIMIENTOS PARA LA DECLARACION Y GESTION DE AREAS PROTEGIDAS*. Quito - Ecuador: MAE.
- MAE. (2013). *Manual para la gestión operativa de las áreas protegidas del Ecuador*. Quito: MAE.
- MAGAP. (2007). *Acuerdo Ministerial 012: Reglamento Interno de la Comuna Cruz Loma*. Quito - Ecuador: MAGAP.
- Marchioni, M. (2007). *Organización y desarrollo de la comunidad*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2017, de UNED - Madrid: [http://extension.uned.es/archivos\\_publicos/webex\\_actividades/4698/acomunitariaponencia13b.pdf](http://extension.uned.es/archivos_publicos/webex_actividades/4698/acomunitariaponencia13b.pdf)
- Ocaña, G. (2002). Un modelo de aplicación de SIG y evaluación multicriterio al análisis de la capacidad del territorio en relación a funciones turísticas en TURITEC'2002.
- ONU. (2013). *Desarrollo sostenible*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2017, de ONU: <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Pinesco, K. (2006). *ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA ECONÓMICA PARA LOS GOBIERNOS LOCALES*. Lima - Perú: CONAM.
- Rivera, A. (2009). *Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago de Chile*. Obtenido de <http://documentos.dga.cl/GLA5194v1.pdf>
- Romero, H. (2011). (C. d. Naturales., Ed.) Recuperado el 01 de 10 de 2018, de <http://documentos.dga.cl/GLA5194v1.pdf>
- Samaniego P., Monzier M., Robin C. y Hall, M. L. (1998). *Late Holocene eruptive activity at Nevado Cayambe Volcano*. Ecuador: Bulletin of Volcanology .

- Samaniego, P. (1998). Late Holocene eruptive activity at Nevado Cayambe Volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 59:451-459.
- Samaniego, P. (2004). El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos. En P. Samaniego, *El Complejo Volcánico Cayambe, Síntesis geológica, actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos*. Quito: Investigaciones en Geociencias, Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional.
- Samaniego, P. (2004). *Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe*. Quito, Ecuador: Instituto Geofísico.
- SENPLADES. (2011). *Guía para la creación de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Provincial, cantonal y parroquial*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/luisarguaith/guia-para-planesdeordenamientoterritorial-por-senplades>
- SENPLADES. (2012). *Guía para la creación de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Provincial, cantonal y parroquial*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/luisarguaith/guia-para-planesdeordenamientoterritorial-por-senplades>
- Simbaña, E. (2017). *EVIDENCIAS DE LA DESTRUCCIÓN DE POBLADOS PREHISPÁNICOS POR LAHARES DEL VOLCÁN CAYAMBE EN LA SIERRA NORTE*. Recuperado el 01 de 10 de 2018, de [https://www.researchgate.net/publication/316847162\\_Evidencias\\_de\\_la\\_destruccion\\_de\\_poblados\\_prehispanicos\\_por\\_lahares\\_del\\_volcan\\_Cayambe\\_en\\_la\\_Sierra\\_Norte](https://www.researchgate.net/publication/316847162_Evidencias_de_la_destruccion_de_poblados_prehispanicos_por_lahares_del_volcan_Cayambe_en_la_Sierra_Norte)
- SNGR. (2012). *Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos*.
- SNGR. (2015). *Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos*. Obtenido de <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wpcontent/>
- UICN. (1980). *Estrategia Mundial para la Conservación*. UICN-PNUMA-WWF.
- UICN. (24 de Noviembre de 2010). *Categorías de Manejo de Áreas Protegidas de la UICN*. Recuperado el 3 de Enero de 2017, de NATURE NEEDS HALF: <https://natureneedshalf.org/categorias-de-manejo-de-areas-protegidas-de-la-uicn/>
- UICN; GTZ. (2002). *Planes de Manejo. Conceptos y Propuestas*. Recuperado el 23 de Enero de 2018, de UICN: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2003-046-Es.pdf>
- UNDRR. (2001). *Estrategía internacional para la reducción de desastres*.
- UNEP. (2015). *Managing fragile ecosystems: Sustainable mountain development, Agenda 21*. UNEP.