

Modelación de escenarios derivados de los procesos volcánicos del Volcán Cerro Machín, como soporte en la implementación del plan de contingencia del Departamento del Quindío

Jose Alejandro Bonilla Montoya - Juan Miguel González Sánchez.

Para optar al título de Ingeniero(s) Geógrafo y Ambiental.

Tutores:

Johan Stiven Naranjo García

Ingeniero Geógrafo y Ambiental

Especialista en Gestión social y ambiental

Stephanie Galvis Causil

Geógrafa

Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Magister en Tecnologías de la Información Geográfica

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Ingenierías

Ingeniería Geográfica y Ambiental

Armenia, 2021

Agradecimientos y Dedicatoria

Llegar a este momento ha incluido aprendizajes y desaprendizajes, desarrollo de humildad, risas, lágrimas, madurez y disfrute, pero al mirar hacia atrás agradecemos primeramente a Dios que nos puso en este camino y poder a través de nuestra carrera poder ver el mundo y entender que estamos llamados a ser apoyo para la gestión integral del territorio. Nos vemos como personas que son producto de los esfuerzos y sacrificios de los demás por lo cual hoy queremos agradecer, entregando un resultado que traiga honor a cada expresión de generosidad dada.

Gracias a nuestros padres, hermanos y familia por cada sacrificio monetario, de tiempo y aún de ver a un hijo crecer. Esperamos que nuestras vidas estén al nivel de los sacrificios que han hecho por nosotros.

Gracias a nuestros tutores, Stephanie y Johan, por sacrificar de su tiempo múltiples veces, hasta altas horas de la noche para sacar este proyecto adelante, y por poder disfrutar con ustedes no solo la belleza de la académica y la técnica sino también el poder conocerlos un poco como personas y traernos hasta aquí sin rendirse, siempre con una visión que nos permitió ejecutar algo mucho más grande de lo que pensábamos.

Gracias a cada persona que fue parte del desarrollo de nuestro proceso académico, en especial a cada profesor que nos impulsó a realizar un proyecto que fuera de gran valor funcional para el departamento.

Hoy queremos entregar lo que consideramos un insumo para que nuestro departamento siga con su frente en alto aún en medio de la más grande dificultad. Los Quindianos somos gente de gran tesón y empeño, que hemos aprendido a convertir las vulnerabilidades en fortalezas y el Volcán Cerro Machín no es la excepción. Debemos aprender a convivir con el riesgo que nos rodea, es nuestro territorio, es nuestra casa, es nuestro pequeño terruño.

"¿Quién subió al cielo y volvió? ¿Quién encerró al viento en su puño? ¿Quién juntó las aguas en su manto? ¿Quién les puso límites a las extremidades del mundo? ¿Me puedes decir su nombre y el de su hijo?"

... Las palabras de Dios pasan cualquier prueba, son un escudo para los que confían en él." - Proverbio de Agur



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	6
SUB-LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	8
CUENCA DE PROBLEMATIZACIÓN	9
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	10
JUSTIFICACIÓN	12
HIPÓTESIS	17
OBJETIVOS	17
ANTECEDENTES	18
Contexto Internacional	18
Contexto Regional	19
Contexto Nacional.	19
MARCO REFERENCIAL	20
Marco Geográfico	20
Marco Teórico	26
Marco Conceptual	31
Marco Legal	41
METODOLOGÍA	45
RESULTADOS	64
Objetivo 1: Identificación de los escenarios de riesgo que se generan a partir del evento volcánico del VCM.	64
Objetivo 2: Representación de los escenarios de riesgo identificados a partir del uso de herramientas SIG.	84
Objetivo 3: Establecimiento de las posibles alternativas de respuesta ante la emergencia y recomendaciones al Plan de Contingencia del VCM, con base en las modelaciones de los escenarios.	104
CONCLUSIONES	124
RECOMENDACIONES	126
IMPACTOS ESPERADOS	127
Impacto Social	127
Impacto Ambiental	128
Impacto Económico	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXOS	134

INTRODUCCIÓN

Una erupción volcánica es un proceso natural y fundamental para los procesos de regulación de temperatura, condicionante de especies, liberación de energía entre otros procesos determinantes para la conservación del planeta (Universidad de Costa Rica. 2019), adicionalmente, también es un proceso morfodinámico que influye en la generación y cambios de montañas, topografía, clima y demás características del paisaje que dependen de este tipo de factores.

El departamento del Quindío presenta una sujeción a este tipo de procesos eruptivos en su formación lo que desemboca en su riqueza edafológica haciéndolo un suelo ideal para la agricultura, sin embargo también representa una amenaza para la vida como se conoce actualmente debido a la cercanía que se tiene con las comunidades, así como la proyección que se hace a partir de los registros encontrados por el INGEOMINAS (hoy en día Servicio Geológico Colombiano: SGC. 2002), en especial por el Volcán Cerro Machín (VCM) , al cual se circunscribe esta investigación, dado la influencia de los vientos de la zona cuando ha hecho explosión, lo cual ha generado columnas de hasta dos metros de alto de material piroclástico acumulado, por lo que los procesos de desarrollo que caracterizan a la sociedad y el modelo de vida se verían altamente afectados. En esto se incluyen las edificaciones actuales, los modelos de agricultura, medios de transporte y mercancía, componentes económicos, establecimientos de salud, entre todo lo demás que se conoce como “normalidad” se verá interrumpido por un proceso con fecha indeterminada, dado que no es posible determinar cuántos días puede durar el evento.

Según el mapa explicativo del INGEOMINAS (2003) sobre el VCM se encuentran 12 efectos sobre la población, que se generan a partir del evento volcánico, los cuales se mencionan a continuación:

- Oscurecimiento y dificultades respiratorias por la presencia de partículas finas suspendidas en el aire.
- Incendios forestales o de viviendas.
- Cubrimiento y enterramiento de la superficie y las estructuras.

- Intoxicaciones.
- Obstrucción de drenajes naturales y artificiales.
- Pérdida parcial o total de cultivos y ganado.
- Daños por sobrecarga en estructuras livianas y líneas de conducción eléctrica.
- Daños por corrosión a elementos metálicos.
- Contaminación de fuentes de agua por sólidos y químicos.
- Daños a la vegetación y desprotección del suelo.
- Lluvias por efecto de partículas que hacen de núcleo en la atmósfera.
- Afectación al transporte aéreo y terrestre.

Estos son los escenarios a los que se enfrentaría el departamento del Quindío bien sea de forma individuales, simultáneos o en diferentes temporalidades ante este tipo de evento, sin embargo aunque la amenaza se encuentra identificada así como parte de los escenarios, no se tiene totalmente determinada su afectación debido a que no se ha hecho el cruce de información de manera contextualizada y cuantitativa a la realidad del departamento. Un análisis simple a los estudios del INGEOMINAS (2002) indica que con base en las erupciones pasadas del VCM el transporte de ceniza para municipios como Salento, Calarcá y Armenia podría acarrear hasta 40 centímetros de ceniza volcánica, suficiente para contaminar las fuentes hídricas y afectar la salud de los quindianos, así como las fuentes de ingreso de la mayoría de la población del departamento.

Con el fin de poder acercarse a una dimensión de lo que implicaría esta cantidad debe multiplicarse esos 40 centímetros por un cuadrado de 100 centímetros por 100 centímetros con el fin de identificar el volumen. Ahora bien, Esquivel y Castillo (2015) indican que una capa de ceniza seca de 10 centímetros, dependiendo de la densidad de la ceniza ($400-700 \text{ Kg/m}^3$), puede alcanzar una carga de entre 40-70 Kilogramos por metro cuadrado, y si se analiza la misma cantidad húmeda puede resultar entre un 50% y un 100% más pesada por lo que podría llegar a ser de hasta 100 a 125 kilogramos por metro cuadrado. Si se analiza la realidad departamental y municipal frente a esta posibilidad y cuantos daños podría causar, ¿Cómo se proyectan las afectaciones con los datos de INGEOMINAS (2002) donde indican, como se mencionaba previamente, una capa de hasta 40 centímetros? Se comienza

a hablar entonces de 160 - 280 kilogramos por metro cuadrado para ceniza seca y 400 - 500 kilogramos por metro cuadrado en ceniza húmeda.

Las afectaciones a los techos, a la salud, a los sistemas de producción agropecuaria, las industrias, los sistemas de infraestructura y viales, y todos los que componen la sociedad indican una realidad imperante de intervención y análisis del evento, pero no desde un imaginario sino desde los datos, cuantificación y modelación. Esto pensado solamente desde el escenario de transporte eólico de material piroclástico.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN



**PLANIFICACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA PLATAFORMA
TERRITORIAL BAJO UN MODELO SUSTENTABLE DE GESTIÓN
AMBIENTAL**

La línea de investigación a la cual se suscribe el proyecto es la de “**Planificación y consolidación de la plataforma territorial bajo un modelo sustentable de gestión ambiental y desarrollo social**”, debido a que la gestión de riesgos se considera fundamental en la planificación y gestión del territorio, tomando como referencia que todo evento natural que represente una amenaza para el territorio y las comunidades, se debe analizar de forma detallada y contextualizada a las características y determinantes del lugar, propendiendo por un desarrollo sostenible a partir de la creación de una plataforma territorial con significado y necesidad de estudio en profundidad, generando que dicha propuesta de ordenamiento, adquiera relevancia, en el abordaje normativo, instrumental y técnico siendo este último al cual se incorpora la presente investigación, esto pensado desde el proceso normativo en el país como la ley 388 (1997) donde se identifica al ordenamiento territorial como fundamento para el desarrollo territorial, y se hace una planificación espacial física que desemboca en la planificación económica y socio cultural de un municipio.

Las amenazas (UNGRD, 2017) son procesos naturales de modificación, transformación o regulación del medio que al manifestarse en un fenómeno físico generan un peligro latente generando una interrupción al desarrollo cultural, económico, ambiental, y los otros ámbitos que dinamizan el territorio. Desde esta perspectiva se logra comprender que una amenaza es un peligro latente, el desastre no existe donde no hay un desarrollo antropogénico, y por tanto como en su compilado explica Maskrey (1993) el desastre no es natural, sino que el evento en sí es parte del entorno.

Con lo anterior explicado, se encausa al riesgo como proceso social debido a que cuando estos se activan o desarrollan el nivel de vulnerabilidad que tengan estos componentes determina la capacidad de destrucción que puede llegar a tener. La vulnerabilidad entonces juega un papel fundamental debido a que esta es la que determina el nivel de preparación y por lo tanto destrucción en un territorio.

En consecuencia, a lo anterior, y haciendo una equivalencia, se puede analizar el evento del Terremoto del eje cafetero (1999), donde no se contempló el riesgo asociado, en los procesos de planeación territorial, dado la inexistencia de herramientas normativas y técnicas que lograran solventar esta necesidad en ese momento o haciéndolo de carácter obligatorio como el Decreto 1807 (2014) con los cuales se busca, hoy en día, establecer sostenibilidad territorial. Esto tiene relevancia, debido a que tuvo gran influencia en el proceso de atención del desastre de 1999; así pues, el proceso de gestión territorial cobra sentido, no solamente apelando a la formulación de herramientas e instrumentos como los planes de ordenamiento territorial en la planificación espacial y física, o los planes de desarrollo en la escala socio económica, sino que comprende una alta dependencia del grado de vulnerabilidad territorial representado en su relación social, ideológica, educativa, ecológica o institucional con el posible evento.

SUB-LÍNEA DE INVESTIGACIÓN



La Gestión del Territorio entonces, es la sublínea de investigación, debido a que este proceso concebido como conjunto de actividades, se encuentra encaminado hacia la implementación de acciones que permitan enfrentar una situación que determina las condiciones mismas del territorio. Por esto, el análisis de escenarios que es la unidad de análisis temático considera las demás variables territoriales como sector salud, comunicaciones, educación, infraestructura y otros componentes, como pilares en la generación de puntos estratégicos o líneas de acción para la amenaza que representa el VCM para el departamento del Quindío.

La gestión del territorio se materializa a través de planes, donde no se trata solamente de incluir las amenazas haciendo mención, sino que hay que generar planes de contingencia ante las amenazas dando a conocer a los habitantes del territorio cuál debe ser el proceder para enfrentar dicha afectación. Estas metodologías de mitigación y contingencia se ven representadas en las estrategias municipales de respuesta a emergencias (EMRE) y los planes municipales de gestión de Riesgo (PMGRD), y deben ser articuladas por escenario incluyendo los derivados, no solamente por el evento principal.

CUENCA DE PROBLEMATIZACIÓN



Partiendo de la gestión del territorio y su materialización en los planes tanto de ordenamiento como de desarrollo territorial, como ya se hacía la diferenciación previamente, se hace imperante el entendimiento de todas los escenarios de riesgo que se identifiquen como consecuencia de un posible evento del volcán Cerro Machín y que podrían afectar el departamento del Quindío; dentro de lo cual se encuentra la cuenca de problematización de Gestión del riesgo de desastres (GRD) para el desarrollo territorial con visión holística.

La GRD va más allá del solo reconocimiento las amenazas naturales a las cuales está expuesto en el departamento del Quindío, en este caso de una erupción del volcán cerro machín, sino que se debe pensar, en como estos procesos volcánicos podrían afectar a cada una de las dinámicas que lo conforman, cuáles van a ser los más afectados y como se debe dar una alternativa de respuesta con base en esa caracterización.

Con esta perspectiva de gestión del territorio, y articulando con la gestión del riesgo, la cual a través de la Ley 1523 (2012), indica los 3 procesos base de trabajo del Sistema nacional de gestión de riesgo de desastres (SNGRD), que son: Conocimiento del riesgo, Reducción del riesgo y Manejo del desastre; es allí donde se centra este trabajo de grado, amparado en el proceso de Conocimiento del Riesgo y en los subprocesos de Identificación y caracterización de escenarios de riesgo, Análisis de riesgos, Monitoreo del riesgo y comunicación del riesgo, de forma contextualizada a las necesidades del departamento del Quindío.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El Volcán Cerro Machín (VCM), es considerado por varios autores, entre ellos Cepeda (et al, 1995), INGEOMINAS (2003) y Rueda (2000) como una de las amenazas naturales que más riesgo representa para la sociedad actual en el centro de Colombia, inclusive es nombrado como la “mayor amenaza volcánica de Colombia” (Fundación Cosmos. 2008).

Este gran Cerro, tiene como una de sus cualidades principales ser un volcán de tipo Pliniano, en otras palabras, el Volcán Cerro Machín es un volcán explosivo; el cual a nivel nacional, es uno de los que más alto daño puede llegar a causar debido a las características de su explosión, comparadas con volcanes similares como el Santa Helena cuando en 1980, hizo explosión generando una catástrofe que tuvo un saldo de 57 personas fallecidas, 200 casas destruidas, 47 puentes afectados, 24 kilómetros de vías del tren y 300 Kilómetros de autopistas destruidas, adicionalmente hubo pérdidas por la industria agropecuaria (producción de Heno) y forestal superior a los 500 Millones de USD y los costos de limpieza de casi 400 millones de USD, esto sin contar pérdidas de viviendas (CIDBIMENA, 2020).

Se debe tener en cuenta que era una población que contaba con un plan de contingencia y la densidad poblacional era mucho menor a la que se tiene y está proyectada para el departamento del Quindío, así como los procesos agroproductivos son totalmente diferentes y mucho más diversificados, por lo que un evento así puede llegar a generar mayores efectos en poblaciones más concentradas como la nuestra.

El Producto interno bruto del Quindío para el año 2018 (DANE, 2020) fue del 0,8 en el margen nacional, esto en pesos representa 13.609.307 miles de millones sin sumar las proyecciones de crecimiento, teniendo en cuenta también que la mayoría de este ingreso es del sector primario, es decir producción agraria y de extracción, este sería el más afectado en caso del evento. Adicionalmente la población del departamento continúa en crecimiento y con base en las proyecciones del 2018 del mismo DANE, indica que para el 2025 casi un millón de personas, sin traer a colación fenómenos como el turismo, que dependiendo de la época del año puede estar entre 200.000 - 300.000 personas más. Si se compara lo que sucedió en el monte Santa Helena con el departamento del Quindío el mismo proceso hace un llamado al análisis de las condiciones de preparación.

El Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2020) indica que, para el departamento del Quindío, la mayor afectación va a estar dada por 2 procesos a partir de la erupción

volcánica, los cuales corresponden a la caída de piroclastos y los eventos sísmicos (Tremores) que se puedan generar antes y durante la liberación de energía.

Ahora bien, hay 2 departamentos que podrían ser los principalmente afectados, y corresponden al departamento del Tolima y el Quindío; claramente el departamento del Tolima podría llegar a presentar la mayor afectación, tal como lo da a conocer el mapa de amenaza del VCM (INGEOMINAS, 2002), donde muestra procesos por caída de piroclastos, proyectiles balísticos, lahares, entre otros, que se encuentran determinados como Amenaza Alta por el mismo mapa; sin embargo, para el departamento del Quindío la escena es diferente, debido a que sus afectaciones podrían ser son como mencionó Henao (2014) “amenazas residuales”, indicando que son consecuencia del evento principal que es la erupción. Pero el hecho de que no sean parte del evento central no significa que su grado de riesgo sea más bajo o de menor importancia, por el contrario, son este tipo de procesos los que han dado forma al departamento.

El INGEOMINAS (2002) definió 12 efectos que pueden generarse a partir de los escenarios planteados en el mapa de amenaza y si bien se identifican algunos de los efectos como: oscurecimiento y dificultades respiratorias por la presencia de partículas finas suspendidas en el aire, Incendios forestales o de viviendas, cubrimiento y enterramiento de la superficie y las estructuras, Intoxicaciones, obstrucción de drenajes naturales y artificiales, pérdida parcial o total de cultivos y ganado, entre otros tipos de daños y afectaciones; actualmente no hay especificidad frente al modelamiento o acercamiento a una cuantificación de lo que la caída y la acumulación de piroclastos transportados por el viento representa para el departamento del Quindío. La identificación de estos escenarios queda sin utilidad real si no son analizados a una escala detallada en condiciones contextualizadas del territorio que se vería afectado, por lo que la necesidad sale a flote en la pregunta

¿Cuáles son los escenarios de riesgo específicos derivados de los procesos eruptivos del Volcán Cerro Machín para el departamento del Quindío y cuáles podrían ser los impactos a la comunidad y el territorio?

JUSTIFICACIÓN

Una erupción volcánica es un proceso natural y fundamental para los procesos de regulación de temperatura, condicionante de especies, liberación de energía entre otros procesos determinantes para la conservación del planeta (Universidad de Costa Rica. 2019), adicionalmente, también es un proceso morfodinámico que influye en la generación y cambios de montañas, topografía, clima y demás características del paisaje que dependen de este tipo de factores.

Ahora bien, el proceso eruptivo del Volcán Cerro Machín (VCM) es muy representativo dado que el flanco suroccidental de la cordillera central donde se encuentra el departamento del Quindío, presenta una sujeción a sus procesos eruptivos para su riqueza edafológica haciéndolo un suelo ideal para la agricultura, sin embargo también representa una amenaza para la vida como se conoce actualmente debido a la cercanía que se tiene con las comunidades, así como la proyección que se hace a partir de los registros encontrados por el INGEOMINAS (hoy en día Servicio Geológico Colombiano: SGC. 2002) dado la influencia de los vientos de la zona cuando ha hecho explosión, lo cual ha generado columnas de hasta dos metros de alto de material piroclástico acumulado, por lo que los procesos de desarrollo que caracterizan a la sociedad y el modelo de vida se verían altamente afectados. En esto se incluyen las edificaciones actuales, los modelos de agricultura, los procesos de transporte con sus medios, componentes económicos, establecimientos de salud, entre todo lo demás que se conoce como “normalidad” se verá interrumpido por un proceso con fecha indeterminada.

Para el Quindío, hay un documento institucional que funciona como base de protocolos y distribuye responsabilidades entre entidades, en caso de la eventualidad de erupción denominado “Plan departamental de contingencia por eventual erupción del volcán Cerro Machín” (2012), sin embargo, este no contempla todos los escenarios que se pueden desencadenar a partir del evento, sino que se hace mención a los efectos del estudio del INGEOMINAS. Es entonces donde la investigación cobra sentido, indicando que con esta

se busca identificar cuántos escenarios de riesgo se producen a partir del evento de erupción y cuál es su grado de afectación aproximado en las condiciones actuales del departamento.

El modelamiento de estos escenarios podría determinar su grado de inferencia en cada uno de los municipios del departamento y a partir de esto se determina un riesgo teniendo en cuenta el grado de vulnerabilidad que los mismos presentan. A partir de la información del Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero - Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS, hoy en día Servicio Geológico Colombiano: SGC) en su mapa de evaluación de la amenaza potencial del volcán cerro machín y la memoria explicativa del mapa de amenaza volcánica del cerro machín (INGEOMINAS, 2003) para el departamento del Quindío se encuentran 12 efectos que se generan a partir del evento volcánico, los cuales se mencionan a continuación:

- Oscurecimiento y dificultades respiratorias por la presencia de partículas finas suspendidas en el aire.
- Incendios forestales o de viviendas.
- Cubrimiento y enterramiento de la superficie y las estructuras.
- Intoxicaciones.
- Obstrucción de drenajes naturales y artificiales.
- Pérdida parcial o total de cultivos y ganado.
- Daños por sobrecarga en estructuras livianas y líneas de conducción eléctrica.
- Daños por corrosión a elementos metálicos.
- Contaminación de fuentes de agua por sólidos y químicos.
- Daños a la vegetación y desprotección del suelo.
- Lluvias por efecto de partículas que hacen de núcleo en la atmósfera.
- Afectación al transporte aéreo y terrestre.

Estos son los escenarios a los que se enfrentaría el departamento del Quindío bien sea de forma individuales, simultáneos o en diferentes temporalidades ante este tipo de evento, sin embargo aunque la amenaza se encuentra identificada así como parte de los escenarios, no se tiene totalmente determinada su afectación debido a que no se ha hecho el cruce de información de manera contextualizada y cuantitativa, por lo que documentos como Planes de Desarrollo, protocolos de emergencia, EMRE y PMGRD, deben tener estos estudios en marcha comprendiendo que de otra forma se estaría realizando proyecciones bien sea sobre supuestos o sobre limitadas relaciones de los eventos.

Vale la pena resaltar que son dos los procesos eruptivos principales que el Ingeominas (2002) identifica como causantes de los escenarios previamente mencionados que son: Caída de piroclastos por transporte eólico, espesor de acumulación entre 1 cm a 40 cm y eventos sísmicos; y como se menciona anteriormente es necesario contextualizar estas amenazas no solo a nivel del departamento a través de proyecciones sino entendiendo los cambios que ha sufrido el Quindío a partir de la identificación y la información que se tiene. El mapa de amenaza del VCM es del año 2002 y sus estudios se vienen adelantando por parte del SGC desde el año 1982.

Las proyecciones poblacionales del DANE (2018) para el año 2025 indican 905.786 personas aproximadamente de personas en el departamento del Quindío en calidad de habitantes. Lo que daría como resultado una densidad poblacional de 490 habitantes por kilómetro cuadrado. Esto debe ser tenido en consideración debido a que el manejo de una emergencia de forma efectiva depende del número de personas presentes y afectadas, pero también por cómo se planifican las estrategias de mitigación y reducción del riesgo.

Estas proyecciones buscan hacer un acercamiento frente a la necesidad que presenta actualmente el Quindío y cada municipio de la gestión del riesgo que representa el VCM contextualizado hacia cada realidad territorial. Pero los escenarios no van a ser para todos iguales entendiendo que las condiciones ambientales y sociales no son las mismas; según el mapa de INGEOMINAS (2003) municipios como Génova y Pijao podrían presentar una afectación baja con tendencia a nula, sin embargo, otros como Salento y Calarcá que

presentan la máxima cercanía al volcán por lo que los impactos serán más altos en este sector. Es por esto que el análisis debe ser implementado con una perspectiva departamental y a su vez municipal.

Casos como la erupción del Volcán Colima (Calvo. 2016) en México, el del Volcán Reventador (PAHO. 2002) dan a conocer los efectos de obstrucción de alcantarillados y sistemas de agua donde lograron quedar poblaciones sin el servicio de acueducto y sin cómo mantener un sistema de saneamiento en funcionamiento aumentando la gravedad de la emergencia ambiental y sanitaria. El volcán Puyehue (Cremona, Ferrari y López. 2011) en Argentina y el volcán Tungurahua en Ecuador (Guevara, et al. 2008) demuestran los efectos sobre los procesos de agricultura y las condiciones edáficas en una nación. Estos son algunos ejemplos de las posibilidades sobre las cuales se proyecta al departamento, además de los otros escenarios de los que se hablarán más adelante.

Un análisis simple a los estudios del INGEOMINAS (2002) indican que con base en las erupciones pasadas del VCM el transporte de ceniza para municipios como Salento, Calarcá y Armenia podría acarrear hasta 40 centímetros de ceniza volcánica.

Con el fin de poder acercarse a una dimensión de lo que implicaría esta cantidad debe multiplicarse esos 40 centímetros por un cuadrado de 100 centímetros por 100 centímetros con el fin de identificar el volumen. Ahora bien, Esquivel y Castillo (2015) indican que una capa de ceniza seca de 10 centímetros, dependiendo de la densidad de la ceniza ($400-700 \text{ Kg/m}^3$), puede alcanzar una carga de entre 40-70 Kilogramos por metro cuadrado, y si se analiza la misma cantidad húmeda puede resultar entre un 50% y un 100% más pesada por lo que podría llegar a ser de hasta 100 a 125 kilogramos por metro cuadrado. Si se analiza la realidad departamental y municipal frente a esta posibilidad y cuantos daños podría causar, ¿Cómo se proyectan las afectaciones con los datos de INGEOMINAS (2002) donde indican, como se mencionaba previamente, una capa de hasta 40 centímetros? Se comienza a hablar entonces de 160 - 280 kilogramos por metro cuadrado para ceniza seca y 400 - 500 kilogramos por metro cuadrado en ceniza húmeda.

Las afectaciones a los techos, a la salud, a los sistemas de producción agropecuaria, las industrias, los sistemas de infraestructura y viales, y todos los que componen la sociedad indican una realidad imperante de intervención y análisis del evento, pero no desde un imaginario sino desde los datos, cuantificación y modelación.

Esto pensado solamente desde el escenario de transporte eólico de material piroclástico, pero también está la otra realidad y son los escenarios residuales a partir de los movimientos sísmicos que se generan por la liberación de energía del volcán antes y durante la explosión esto debe ser tenido en cuenta debido a que hay una realidad geológica para el departamento muy definida en sus fallas y en sus otros componentes como movimientos de remoción en masa por lo que la afectación a la sociedad actual a medida que pasa el tiempo y como los procesos de crecimiento poblacional (DANE, 2018) indican, puede aumentar su nivel de impacto. Adicionalmente a esto, el Quindío es un departamento que tiene una gran dependencia de fenómeno turístico, para el año 2018 se tuvo datos de hasta 50.000 visitantes (La Crónica del Quindío, 2019) y viene en aumento con un promedio de incremento del 6% anual, pero los planes de contingencia no dimensionan esta realidad de la amenaza del VCM, por lo que este tipo de análisis sumado a la población actual y a las proyecciones anuales indican que el desconocimiento y la falta de gestión pueden aumentar la vulnerabilidad y el grado de exposición de la población.

La gestión de riesgos se vuelve un componente estratégico y fundamental en el desarrollo y ordenamiento del territorio Quindiano, y este análisis de variables permite obtener datos con base en la realidad del departamento, funcionando como base para el resto de estudios detallados que deben hacerse así como para la construcción de los planes de contingencia donde si bien no se puede evadir la inminencia del evento si se puede disminuir la vulnerabilidad de la población al momento de su activación.

Esto permite la toma de decisiones en la formulación de planes de desarrollo, planes de ordenamiento territorial y planes de contingencia sea para el sector público o el privado, desde la unidad básica como la familia, hasta un modelo de ordenamiento territorial. Con este se busca generar un instrumento de apoyo y consulta para la formulación de las

herramientas que permitan disminuir la vulnerabilidad de la sociedad Quindiana aumentando la capacidad de respuesta desde la misma sociedad, comprobando que la gestión de riesgos es comprendida como un proceso social. A si mismo les permite a las entidades enmarcadas en el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (Ley 1523, 2012) hacer una gestión misional desde el conocimiento y reducción del riesgo, así como para el manejo del desastre desde su misionalidad con información contextualizada para las dinámicas poblacionales del departamento.

HIPÓTESIS

Es posible generar acciones de respuesta y manejo de desastres específicas para el departamento del Quindío a partir de la modelación de escenarios de riesgo derivados por el evento eruptivo del Volcán Cerro Machín.

OBJETIVOS

General: Modelar escenarios derivados de los procesos volcánicos del Volcán Cerro Machín como soporte en la implementación del plan de contingencia del departamento del Quindío.

Específicos:

- Identificar los escenarios de riesgo que se generan a partir del evento volcánico del VCM.
- Representar los escenarios de riesgo identificados a partir del uso de herramientas SIG.
- Establecer las posibles alternativas de respuesta ante la emergencia, con base en las modelaciones de los escenarios.

ANTECEDENTES

El Volcán Cerro Machín, también conocido como Alto del Machín o El Hoyo, es una estructura perteneciente a la cordillera Central en su costado occidental dentro del complejo volcánico Machín - Cerro Bravo (SGC. 2020) Frente a esta compleja estructura geológica, se han hecho análisis como el que ya se viene mencionando de INGEOMINAS (1999, 2000, 2001, 2002, 2003) donde se analizan los procesos del volcán de forma descriptiva en cuanto a su formación geológica, características biogeográficas y socioambientales, así como los mapas de amenaza correspondientes a los departamentos del Quindío y Tolima. Otros estudios han sido realizados en riesgo volcánico para las estructuras de explosión tipo pliniana y para el VCM puntualmente como se muestra a continuación:

Contexto Internacional

En el contexto Global tenemos de referente a diferentes volcanes tales como: El Vesubio en Italia que en el año 79 sepultó a las ciudades romanas de Pompeya y Herculano (Santana, 2005); el Krakatoa en Indonesia que en el año 1883 tuvo una erupción que desató una energía de 200 megatones) con una erupción que alcanzó los 80 km de altitud(EL PAÍS, 2005); el volcán Tambora en Indonesia que en el año 1815 cobró la vida de más de 71.000 personas y con una magnitud estimada de IEV 7 (Vergara, 2014), el volcán Monte Pelée en Francia donde lo que comenzó con una ligera lluvia de cenizas terminó en la pérdida de la vida de más de 29.000 personas (Leza, Escriña & Asociados, S.F) s, dichas erupciones nos hacen una idea del poder destructivo que puede llegar a tener un volcán.

Contexto Regional

Se toma como contexto regional los procesos eruptivos en Latinoamérica, debido a que si bien no todos son volcanes de tipo pliniano, se hace relevante revisar las magnitudes que estos han tenido en sus erupciones más importantes, como es el caso del volcán de Ilopango en el Salvador hace unos aproximadamente uno 1500 años que destruyó casi todos los

asentamientos mayas existentes en un rango de 100 kilómetros a la redonda (Ichikawa, 2016), el volcán Huaynaputina de Perú con una erupción en el año 1600, que generó cerca de 30 kilómetros cúbicos de tefra, sepultando decenas de pueblos (Jean C, Jersy M, Luisa M, Saida J, Kevin Cueva, 2018) por último cabe mencionar la primer erupción registrada del volcán Cotopaxi en Ecuador que data del año de 1757, de la cual se reportaron graves consecuencias para la población del asentamiento de Latacunga (Universidad central de Ecuador, 2015).

Contexto Nacional.

En Colombia existen 27 volcanes en total, de los cuales 21 se encuentran monitoreados por el servicio geológico colombiano actualmente, esto se debe a los procesos orogénicos que todavía se desarrollan en la cordillera de los Andes. Aproximadamente el 70% de la población colombiana se encuentra ubicada en la zona montañosa del país (MINAMBIENTE, S.F) por lo cual está condicionada a estar expuesta constantemente al riesgo en diferentes magnitudes en el componente de amenaza por erupciones volcánicas. Se tiene entonces como antecedentes principales la erupción del volcán Doña Juana en el año 1899 que dejó un saldo de 50 personas fallecidas que perdieron la vida debido a que no se tomaron las precauciones necesarias (SGC, S.F), la erupción de ceniza de 1936 del volcán Galeras catalogada como la más importante de sus últimos 500 años que llegó a generar una explosión de bloques a más de 3 km a la redonda (SGC, S.F), la explosión del volcán Puracé en el año 1949 que arrojó un saldo de 16 estudiantes universitarios fallecidos y tragedia de armero en el año 1985 (SGC, S.F), que dejó un saldo de 25.000 fallecidos aproximadamente encasillada como el peor desastre natural del país hasta la fecha.

MARCO REFERENCIAL

Para poder llegar a identificar los escenarios de riesgo que se generan a partir de un evento eruptivo del Volcán Cerro Machín se hizo una búsqueda bibliográfica extensa en la cual se

encontraron los siguientes efectos para definir los posibles escenarios ante un evento con afectación por caída y transporte de ceniza.

Marco Geográfico

El Departamento de Quindío está ubicado en la parte centro - occidental del país, localizado entre los 04°04'41" y 04°43'18" de latitud norte y entre los 75°23'41" y 75°53'56" de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 1.845 km² lo que representa el 0.16% del territorio nacional. Limita por el Norte con los departamentos del Valle del Cauca y Risaralda, por el Este con el departamento del Tolima, por el Sur con los departamentos de Tolima y Valle del Cauca y por el Oeste con el departamento del Valle del Cauca.

Según el IGAC (2012), el departamento del Quindío, como se aprecia en la figura 1, está dividido en 12 municipios, 4 corregimientos, 34 inspecciones de policía, así como, numerosos caseríos y sitios poblados. Los municipios están agrupados en 10 cabeceras de círculo notarial con un total de 14 notarías, un círculo principal de registro con sede en Armenia y 2 oficinas seccionales de registro con sede en Calarcá y Filandia; un distrito judicial, Armenia, con 2 cabeceras de circuito judicial en Armenia y Calarcá. El departamento conforma la circunscripción electoral de Quindío.

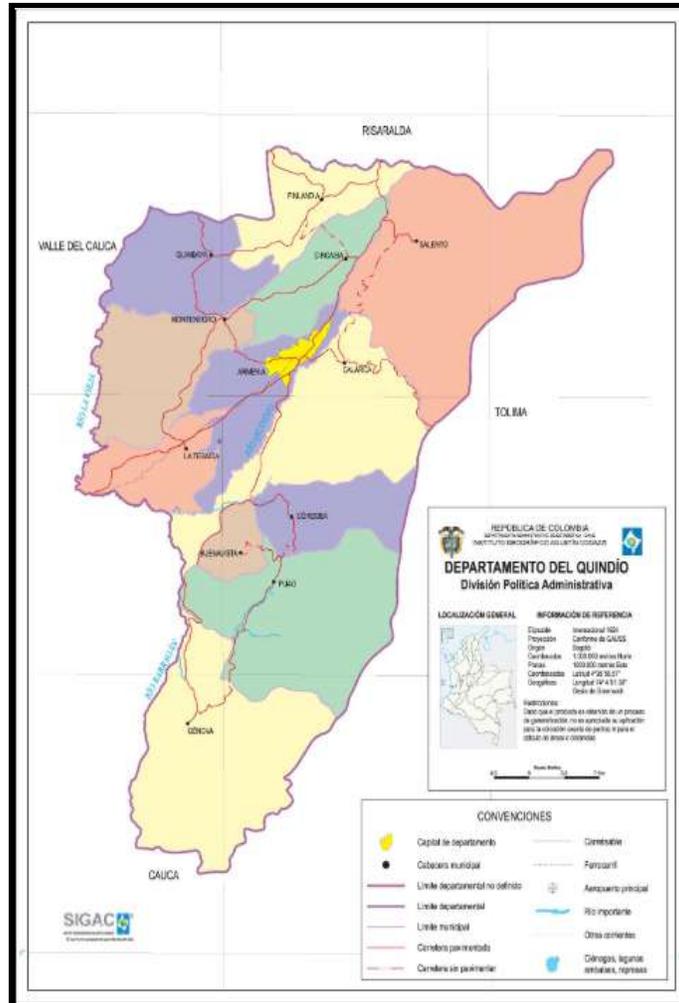


Figura 1. División política Administrativa. Fuente: IGAC (2012)

Según la Gobernación del Quindío. (2013) en el territorio quindiano es posible distinguir dos tipos de relieves principalmente: el montañoso, que está ubicado en el oriente; y el segundo, ondulado, en el occidente, como lo muestra la figura 2. El primer relieve corresponde al flanco occidental de la cordillera Central, el cual se extiende en dirección sur - norte, con pendientes abruptas, muy relacionadas con la litología, en su mayoría rocas metamórficas. El segundo, corresponde al área cubierta de flujos de lodos volcánicos transportados por los ríos; el modelado es suave, de colinas bajas. En la faja más occidental de esta morfología; se encuentran los valles de los ríos Barragán, al sur, de aluviones recientes; y el de La Vieja, en el sector norte, de rocas sedimentarias. Los ríos mencionados reciben todas las corrientes que descienden de la cordillera. Sobresalen los ríos: San Juan, Rojo, Verde, Espejo y Quindío, el de mayor longitud y con numerosos tributarios.

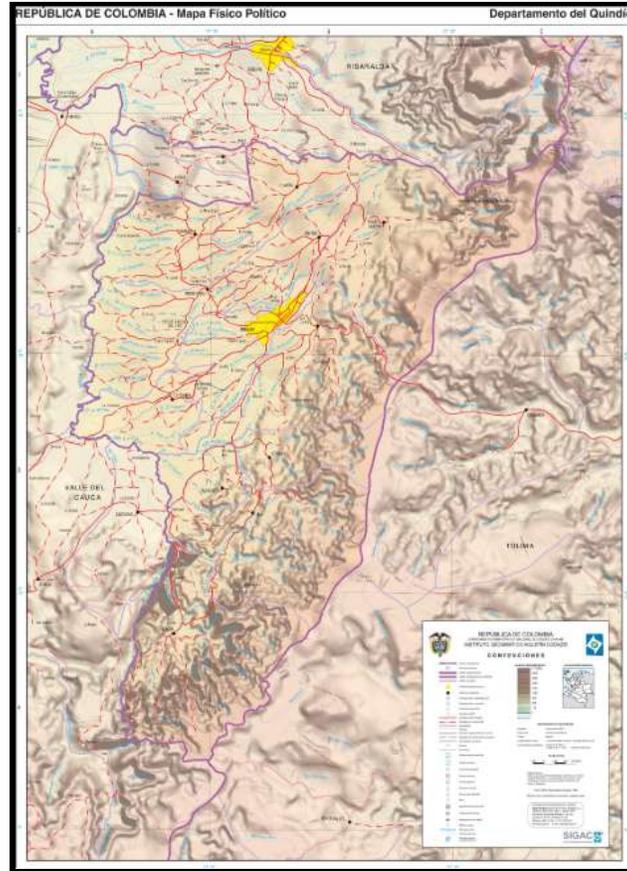


Figura 2. Mapa Físico Político Del Quindío. Fuente: IGAC (2012)

El Quindío es uno de los departamentos más pequeños de nuestro país, es posible apreciar diferentes pisos térmicos, donde se destacan alturas entre 900 y 4.750 metros sobre el nivel del mar. El clima del Departamento de Quindío es muy variado, debido principalmente a factores como la latitud, altitud, orientación de los relieves montañosos, los vientos, etc. La distribución de las lluvias está condicionada a los desplazamientos de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), al relieve y a la circulación atmosférica. Los meses de máxima cantidad de lluvia se presentan en dos temporadas comprendidas entre marzo a mayo y septiembre a noviembre, los períodos de menor pluviosidad son enero a febrero y junio a agosto. La temperatura promedio oscila entre los 18o y 21°C. Las tierras están comprendidas en los pisos térmicos templado, frío y bioclimático páramo. Comparte con los departamentos de Caldas, Risaralda y Tolima, el parque nacional natural de Los Nevados.

El Quindío también presenta límites con varios sectores con actividad volcánica importante, lo cual ha influido en su proceso de formación geológica, climática de relieve y cultural finalmente. En la zona norte se encuentra el parque nacional natural de los Nevados, el cual es comprendido por 5 nevados: Nevado del Ruiz, Nevado del Tolima, Nevado del Quindío, Nevado del Cisne y Nevado de Santa Isabel y con inferencia de 4 departamentos: Quindío, Tolima, Risaralda y Caldas como se muestra en la figura 3.

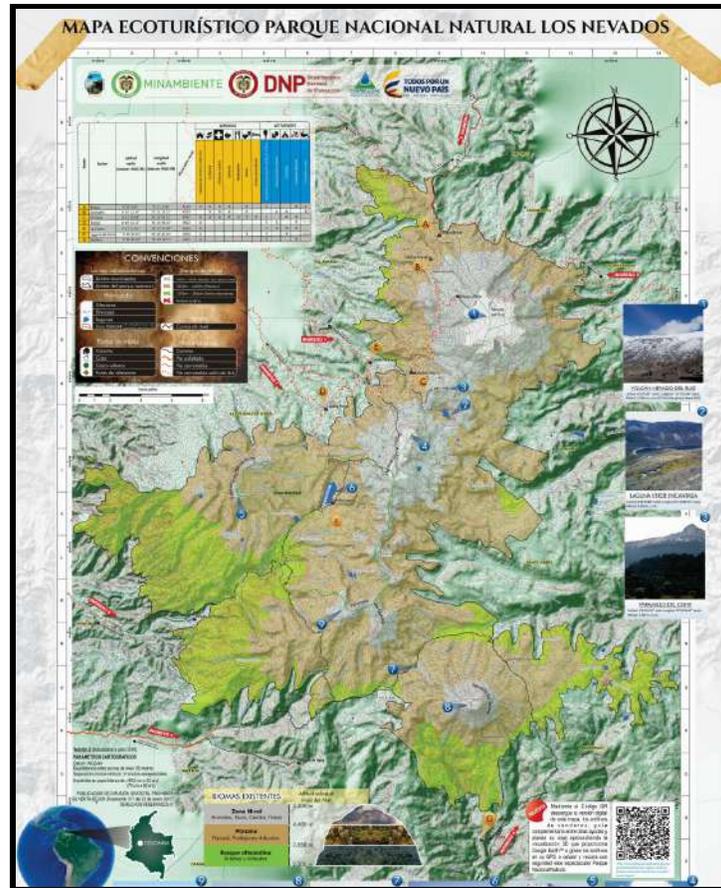


Figura 3. Mapa Ecoturístico: Parque Nacional Natural Los Nevados. Fuente: Parques Nacionales Naturales de Colombia (2007)

Adicionalmente la formación del departamento ha tenido una gran influencia por el volcán Cerro Machín, el cual se encuentra ubicado en el flanco oriental de la cordillera central o sea al este del departamento del Quindío, localizado entre las coordenadas $4^{\circ}29'00''N$ $75^{\circ}23'30''O$. Es un edificio volcánico de tipo pliniano, por lo que no alcanza grandes alturas en su generalidad, pero sus erupciones son de gran magnitud, por lo que siempre resultan

en grandes cambios para el territorio en el que tiene inferencia. Este volcán ha generado dentro de sus erupciones principales columnas piroclásticas de hasta 32 kilómetros de altura generando asimismo caídas y depósitos que alcanzaron distancias hasta de decenas de kilómetros, llegando a tener depósitos en límites con el departamento del Valle del Cauca. (Aguilar, Et Al. 2018)

Su historia geológica está enmarcada en seis erupciones que tuvieron lugar en los últimos 5000 años como se relacionan a continuación: Las erupciones de 5000, 4600 y 3600 años AP (Antes del Presente), se caracterizaron por generar depósitos de flujos piroclásticos de pómez y depósitos de oleadas piroclásticas producidos por erupciones plinianas; la erupción de 2600 años AP, se caracterizó por presentar depósitos de flujos piroclásticos de pómez y flujos piroclásticos de bloques y ceniza producidos por una erupción volcánica; la erupción de 1200 años AP, se caracterizó por generar depósitos de caída piroclástica y flujos piroclásticos de pómez producidos por una erupción pliniana; la erupción de 900 años AP, se caracterizó por generar depósitos de caída piroclástica y flujos piroclásticos de bloques y ceniza producidos por erupción vulcaniana (Rueda. 2005).

Con base en esto el departamento del Quindío se ve afectado por este proceso, como se demuestra en la formación de los suelos, pues son de carácter andisol-alofánico (IGAC. 2013) El riesgo se ve materializado a partir de los depósitos encontrados con los estudios realizados por el INGEOMINAS los cuales se ven representados en el mapa de evaluación de la amenaza potencial del VCM (2002). Figura 4.

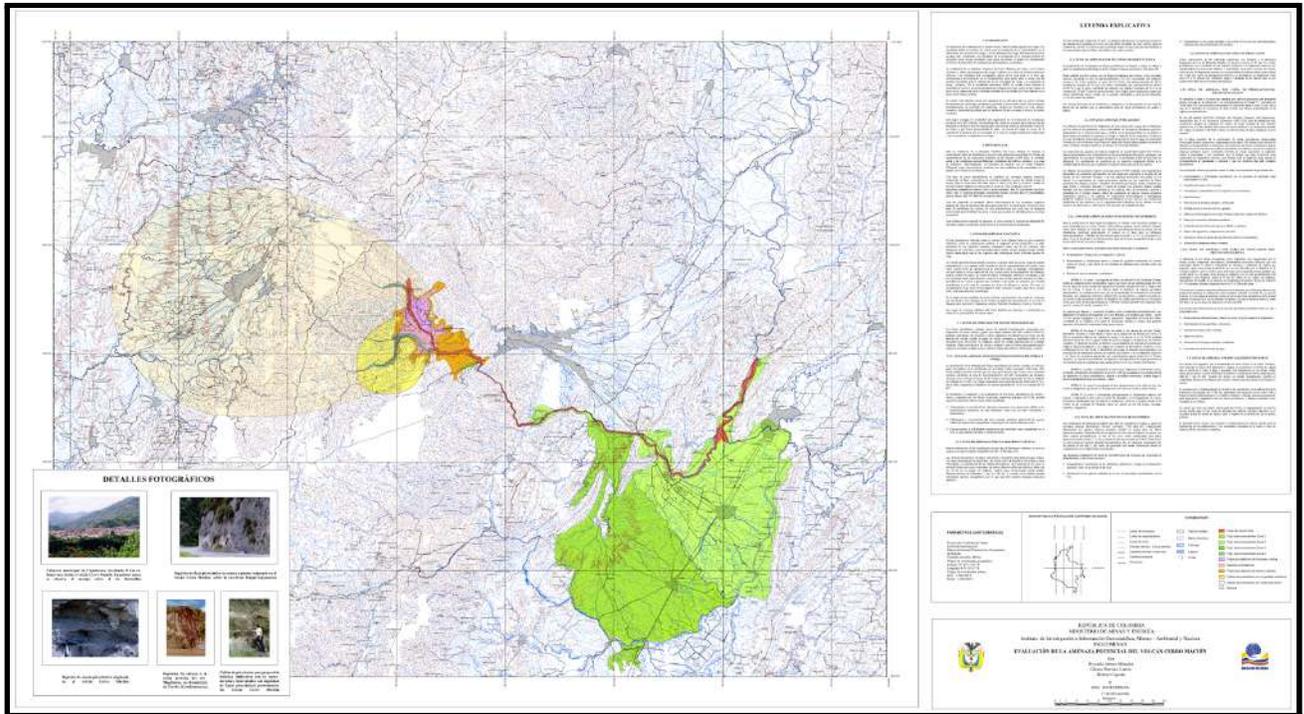


Figura 4. Mapa de evaluación de amenaza potencial del VCM. Fuente: Ingeominas. 2002.

El mapa indica que, si bien hay otros municipios más cercanos en distancias lineales, la afectación para el departamento del Quindío se debe principalmente por la presión de los vientos atmosféricos que generan una fuerza de empuje sobre la columna piroclástica al momento de la erupción lo que genera que todo el material se deposite en el territorio Quindiano. El mapa se interpreta a partir de las lecturas de las isopacas, Una curva de contorno que conecta puntos de igual espesor, que comúnmente, muestran el espesor estratigráfico de una unidad de roca en contraposición al espesor vertical verdadero, o en este caso columnas de cenizas. Las isopacas corresponden a espesores estratigráficos verdaderos, es decir, son perpendiculares a las superficies de estratificación. La interpretación de las isopacas en el departamento, van desde los 40 centímetros hacia abajo en dependencia de su lejanía del volcán.

Sin embargo, el episodio en sí no representa una amenaza grave sino lo que se denomina como riesgo derivado, o sea que no es directamente el evento en sí, sino lo que se desencadena a partir de este. Para el departamento del Quindío se tienen 13 de estas

afectaciones indicadas por el Servicios Geológico, y a través de este trabajo se busca ampliar la perspectiva de cada uno a través de modelaciones; a continuación, se abre un concepto de afectaciones por cada uno de estos riesgos derivados en otros casos de la vida real.

Marco Teórico

Incendios de cobertura vegetal e incendios de interfaz

Según (González, 2006) existen diferentes tipos de riesgos a la hora de una erupción volcánica dentro de los cuales como riesgos primarios o directos que hacen referencia a las coladas de lava, caída o flujo de piroclastos y avalanchas; ahora bien entre los riesgos secundarios se encuentran los lahares, sismos, tsunamis, inundaciones, lluvia ácida lluvias torrenciales; es pertinente aclarar que los autores no abordan de manera específica el tema de incendios de cobertura e interfaz generados por erupciones volcánicas, sin embargo según lo investigado en el momento de la expulsión de la ceniza del volcán ésta puede llegar a alcanzar hasta los 500 °C de temperatura (Zimanowski, 2002) y una velocidad de entre diez y cien metros por segundo (Avery, 2003), lo cual puede llegar a generar afectación en el borde de la zona alta de la cordillera dentro de los municipios de Calarcá, y Salento.

Obstrucción de Sistemas de acueducto, alcantarillado y de canales de cubiertas

De acuerdo a (Rivera,2003) la ceniza volcánica cuando se encuentra en estado húmedo se comporta como un material plástico, lo cual permite inferir que a la hora de depositarse dicha ceniza sobre las cubiertas, canales y alcantarillado y entrar en contacto con el agua generará problemas de obstrucción en los sistemas de desagüe y circulación.

Afectaciones al sistema de producción agrícola

Acorde a lo que menciona González (2006) “el territorio afectado directamente por la deposición del material emitido en una erupción volcánica sufre unos cambios que

repercuten en el proceso de regeneración de la vegetación afectada”, ya que suceden diferentes fenómenos como lo son la caída de ceniza, que representa una afectación grave a los estomas de las hojas de los diferentes tipos de cultivos al obstruirse e imposibilitar el proceso de fotosíntesis, llegando en algunos casos a quemar completamente la planta. La lluvia ácida es otro fenómeno que se puede llegar a generar luego de una erupción volcánica y provoca efectos nocivos en el crecimiento y normal desarrollo de la vegetación a largo plazo.

Daños por Corrosión a elementos metálicos de cubiertas y estructuras

Teniendo en cuenta a Álvarez (2005) el efecto de los gases que emanan los volcanes puede llegar a tener afectaciones sobre los materiales metálicos que se encuentren en las zonas aledañas al cráter, como es el caso del volcán Poás donde el estudio de Álvarez arrojó que los diferentes dispositivos metálicos expuestos en la zona de influencia del volcán Poás tanto a la intemperie como resguardados, presentaron una elevadísima corrosión principalmente el acero el cobre y el níquel debido a la presencia de cloruros en dichos gases, la temperatura y la humedad. Si bien es cierto que el volcán cerro machín actualmente tiene su domo principal sellado debido a su última erupción hace más de 800 años, posee algunas fumarolas en sus domos secundarios que no representan un riesgo significativo para las zonas aledañas ya que los volúmenes de gases que expulsa no son considerables y tampoco se encuentran estructuras metálicas cercanas, es pertinente mencionar que al momento de desarrollarse una erupción sí presentaría una gran afectación sobre los elementos metálicos de cubiertas y estructuras correspondientes a los municipios de Cajamarca, Anaime, Corregimiento de Coello, Toche y Tapias.

Afectaciones al sistema respiratorio y óptico

De acuerdo a los autores (Cedillo, Rivera, & Yañez, 2005) la exposición a la ceniza volcánica posteriormente a una erupción trae diferentes complicaciones al sistema respiratorio al producir broncoespasmos en las vías respiratorias de todos los menores de edad, disminución en el flujo respiratorio forzado, en algunos casos la aparición de fluorosis a nivel óseo y dental, descenso de los niveles de inmunoglobulina G, afectaciones

a las funciones inmunológicas (Olenchock et al., 1983) ,incremento en la incidencia de mesotelioma pleural maligno, carcinoma, fibrosis pulmonar (Rapisarda et al., 2003; Umran, 2003).

Contaminación natural de fuentes hídricas superficiales, alterando el pH y concentración de sólidos suspendidos

Según la (OPS, 2002) y de acuerdo a estudios realizados por la empresa de alcantarillado y de agua potable de Quito, la ceniza volcánica si puede llegar a incrementar el Ph del agua, así mismo la (OPS, 2005) menciona que cuando la ceniza volcánica consecuencia de una erupción entra en contacto con el agua puede llegar a contaminar con flúor, metales pesados, aluminio, cobre y hasta arsénico provocando la contaminación de las fuentes superficiales de agua potable, así como malestar gastrointestinal e incluso en algunos casos llevar a la muerte cuando se trate de personas que posean enfermedades crónicas. De igual manera Panamericana de salud en el año 1998 manifiesta que se puede producir contaminación en las plantas de filtros o de tratamiento de agua potable, por caída de ceniza volcánica sobre los estanques de coagulación, decantación o de los filtros, contaminando el agua o dejando sin uso los filtros con la propia ceniza que puede arrastrar el agua.

Daños en los ecosistemas por efecto de la lluvia ácida volcánica

Es pertinente aclarar que para considerar una lluvia como ácida debe tener un nivel de Ph por debajo de 5.6 y de acuerdo con (Duarte, s,f), dicha lluvia de origen volcánico se produce cuando ocurre una emisión de gases durante una erupción volcánica (principalmente azufre y Nitrógeno), que al entrar en contacto con precipitación, niebla o llovizna se produce la oxidación de óxidos nitrosos (NOx) o dióxido de azufre (SO₂) que al ser inyectados en la atmósfera y depositarse sobre la superficie terrestre afecta las plantas, personas, animales. Según (Garita & Ruiz, 2015) la lluvia ácida de los volcanes de Irazú y el Turrialba en costa rica provocó quemaduras leves en los doseles de los bosques y las copas de árboles frondosos en la fincas aledañas, debido a que los vientos alisios en este país soplan del Caribe hacia el Pacífico provocaron que el área de mayor devastación

vegetal se encuentre hacia el oeste y suroeste de las faldas del volcán, lo que genera un callejón de acidificación y que generó grandes pérdidas económicas para los agricultores de las fincas que son colindantes con los volcanes.

Cambios en las condiciones y características edáficas y agrológicas

Antes que nada, es prudente mencionar que el entorno de los volcanes generalmente suele estar densamente poblados debido a que dichos suelos volcánicos presentan condiciones de altos niveles de nutrientes lo cual favorece llevar a cabo la práctica de la agricultura en estos. Ahora bien y de acuerdo con (Gonzalez. 2006) el territorio donde se deposita todo el material luego del proceso eruptivo de un volcán sufre unos cambios que repercuten en el proceso de regeneración de la vegetación afectada, llevando a cabo diversos procesos en el suelo. Inicialmente el suelo existente, es cubierto por el nuevo material (Ceniza y piroclastos en su mayoría), luego de estos las condiciones edáficas del lugar permitirán la colonización de esos depósitos ya sea por nuevas especies vegetales o similares a las que se encontraban en el lugar. Aquí es de resaltar que los condicionantes climáticos jugarán un papel fundamental en los procesos de meteorización del nuevo sustrato litológico y la formación de nuevo suelo.

Afectación al transporte en general por Smog volcánico y efecto de escudo solar

Acorde a lo que dice la OACI (2012), la erupción de un volcán conlleva diferentes afectaciones en el tránsito aéreo, ya que la ceniza volcánica es una sustancia que se compone de partículas vítreas duras, y rocas pulverizadas con una condición particular que la hace ser un material abrasivo interfiriendo con el sistema de funcionamiento de las aeronaves, a esto se le suma que la mayoría de las veces viene acompañada de grandes nubes de gases como el dióxido de azufre o el óxido nítrico que al combinarse con el agua generan ácidos convirtiéndose en elementos corrosivos para la célula de la nave. Así mismo y de acuerdo con (OMGRD. 2013) la ceniza puede llegar a generar modificaciones en los motores de los vehículos terrestres ya que provoca un desgaste acelerado del motor, de igual manera la acumulación de ceniza en las carreteras dificulta la conducción no solamente porque el hecho de que convierte el asfalto en una superficie lisa propiciando los

accidente, sino que también entorpece la visibilidad para conducir al formar grandes nubes de ceniza.

Por otro lado según el (CIDBIMENA. 2005) la emisiones volcánicas generan vog que es volcanic smog, básicamente humo volcánico que se genera por acumulación de vapor de agua en el ambiente acompañado de gases como ácido sulfúrico y dióxido de carbono, así bien la presencia de vog en altas concentraciones forma una densa capa gaseosa conocida como escudo solar que impide la penetración total de la luz solar sobre la superficie terrestre y en algunos casos también el vog puede llegar a generar tormentas eléctricas y fuertes aguaceros.

Afectación a los sistemas de comunicación

De acuerdo con el Grupo de trabajo de impacto por cenizas volcánicas (Volcanic Ashfall impact mitigation group. 2015) la ceniza volcánica expulsada durante una erupción puede causar interrupciones de las comunicaciones a causa de que se desarrolle una columna de ceniza cargada eléctricamente y cause una interferencia en las ondas de radio, sobrecarga de los sistemas telefónicos debido al aumento de la demanda, daños directos a la infraestructura de comunicaciones como corrosión en las antenas de radio y telefonía e incluso puede llegar a generar cortes en el sistema de electricidad.

Movimientos de remoción en Masa con afectaciones al sistema vial e infraestructura de viviendas

Según (Henaó & Gonzalez,2014) mencionan que existen algunos escenarios de riesgo que se pueden asociar al Volcán Cerro Machín con base en su actividad sísmica y con el apoyo del servicio geológico colombiano, en este caso los movimientos de remoción en masa que pueden llegar a ocurrir con los cambios súbitos o graduales en composición, estructura e hidrología que se desarrollen en el momento de una erupción. Ahora bien, para analizar dicha amenaza se deberá recolectar información de la ocurrencia de deslizamientos pasado a su vez que un inventario de elementos expuestos, aquí es importante resaltar que no existen un procedimiento estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad a los deslizamientos.

Conductas de Pánico Evacuación masiva en los municipios

Acorde a lo que mencionan (Fernandez, Et al. 2004) *"El comportamiento colectivo, inmediato, más frecuente ante una catástrofe es la reacción de Conmoción - Inhibición"* y según (Sailhan. 1987) estas reacciones tan solo duran unas horas después de sucedido el desastre o catástrofe. Ahora bien, el sentir intensamente miedo es una reacción frecuente en situaciones de catástrofe o de amenaza, pero no es una condición suficiente para que aparezcan conductas de pánico, incluso a pesar del miedo las personas pueden llevar a cabo acciones heroicas y coordinadas, entendiéndose así que el pánico sea de corta duración en diferentes situaciones de desastre o amenaza. Entonces el comportamiento colectivo que desemboca en conductas de pánico se desarrolla a través de una cadena de pasos acumulativos y necesarios como: estar atrapado, Imposibilidad de escapar, comunicación para pedir ayuda; principalmente el pánico aparece cuando se percibe que no existe una coordinación, información y actuación eficaces.

Marco Conceptual

La modelación de escenarios responde a una serie de proyecciones sistemáticas en el contexto colombiano, los cuales le han dado forma al proceso como respondemos ante una emergencia que finalmente desemboca en el tema central. Las eventualidades se dan en un marco de diferentes nociones por lo que es necesario estandarizar algunas ideas.

Ambiente

El concepto de Ambiente hace referencia a un sistema conformado por un conjunto de variables biológicas y fisicoquímicas; entre ellas encontramos factores atmosféricos, climatológicos, hidrológicos, geológicos y biológicos, necesarios para el crecimiento, desarrollo y reproducción de la vida en lo que conocemos como la Biosfera o espacio que contiene los ambientes biológicamente habitables; este comprende 10 km por debajo del nivel del mar y 8 km por encima del mismo, integrando litosfera (suelo), hidrosfera (agua) y la atmósfera (aire).

Amenaza

Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. (UNGRD. 2017)

Análisis probabilista del riesgo

La UNGRD (2018) indica que es el procedimiento que consiste en evaluar las pérdidas en un grupo de bienes expuestos en cada uno de los escenarios que colectivamente describen la amenaza y luego, integrar en forma probabilística los resultados obtenidos, utilizando como factores de peso o ponderaciones las frecuencias de ocurrencia de cada escenario.

Este modelo se construye con 4 módulos principales:

- a. Evaluación de la amenaza: Los resultados arrojados se conforman en una serie de conjuntos estocásticos clasificados con una frecuencia de ocurrencia asignada. Esta representación permite considerar eventos que no han ocurrido aún pero que son posibles
- b. Identificación y caracterización de los elementos expuestos: Asignación de atributos con base en una caracterización descriptiva de cada elemento como estructurales, material de construcción, valor catastral, tipo de cultivo, costo de producción por fase de crecimiento, producción por unidad, entre otros.
- c. Definición de la Vulnerabilidad: Se asigna una función de vulnerabilidad o un modelo de vulnerabilidad (para el caso de los cultivos), específica a cada una de las amenazas, de acuerdo a los atributos asociados a cada uno de los elementos expuestos. Estas funciones y modelos permiten una representación probabilista del grado de daño, que permite a su vez definir las pérdidas económicas y humanas esperadas para cada uno de los componentes.
- d. Cálculo del riesgo: Integración de daños para estimación de pérdidas a través de la construcción de la función de densidad de probabilidad (probability density

function, PDF, en inglés) que proporciona el panorama completo del riesgo. Para esto se debe considerar un conjunto exhaustivo de eventos que representen aquellos que pueden afectar los elementos expuestos y estimar las pérdidas esperadas asociadas.

EMRE

La Estrategia Municipal de Respuestas ante Emergencias determina el marco de actuación para ejecutar los servicios de respuesta a eventos de manera oportuna y efectiva. El objetivo de la EMRE es la efectividad en la prestación de los servicios de respuesta. (UNGRD. 2017)(Ley 1523 de 2012) o sea todos los aspectos que deben activarse por las entidades en forma individual y colectiva con el propósito de ejecutar la respuesta a emergencias de manera oportuna y efectiva.

Elementos expuestos - Vulnerabilidad - Tipos de vulnerabilidad

Por elementos expuestos, se entiende la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza; estos son determinados por su grado de exposición, el cual responde a el estado o valor que puede tener los elementos presentes en las zonas donde existen amenazas, y por consiguiente, están comprometidos a experimentar pérdidas potenciales (UNGRD. 2017)

De este concepto se deriva la Vulnerabilidad, que corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos. La vulnerabilidad según Wilches-Chaux (2010) tiene clasificaciones según el componente en riesgo, por lo que existen vulnerabilidades de tipo: Física - Económica - Social - Política - Técnica - Ideológica - Cultural - Educativa - Ecológica - Institucional. Sin embargo, para efectos del estudio, hay centralidad en la vulnerabilidad física, económica y social en cuestión de estudios para poder llegar a permear los otros tipos de vulnerabilidad.

Escenario de riesgo

Son la representación de la interacción de los diferentes factores de riesgo (amenaza - vulnerabilidad), en un territorio y en un momento dado, o sea una consideración pormenorizada de las amenazas y vulnerabilidades de esta forma generar una base para la toma de decisiones sobre la intervención en reducción, revisión y manejo de riesgo (UNGRD. 2017)

Fenómenos Geofísicos

El Servicio Geológico Mexicano (2017) reconoce “Geofísica” a la ciencia que estudia la Tierra desde el punto de vista de la física. Su objeto de estudio abarca todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra. Al ser una disciplina principalmente experimental, usa para su estudio métodos cuantitativos físicos como la física de reflexión y refracción de ondas mecánicas, y una serie de métodos basados en la medida de la gravedad, de campos electromagnéticos, magnéticos o eléctricos y de fenómenos radiactivos. En algunos casos dichos métodos aprovechan campos o fenómenos naturales (gravedad, magnetismo terrestre, mareas, terremotos, tsunamis, etc.) y en otros son inducidos por el hombre (campos eléctricos y fenómenos sísmicos). Dentro de las cuales se encuentran la línea de la Geodinámica, que estudia la interacción de esfuerzos y deformaciones en la tierra que causan movimientos del manto y de la litosfera y la Vulcanología que consiste en el estudio de los volcanes, la lava, el magma, erupciones y otros fenómenos geológicos relacionados.

Líneas Vitales

Son las estructuras físicas, instalaciones técnicas y sistemas principales que son social, económica y operativamente esenciales para el funcionamiento de una sociedad o comunidad, tanto en circunstancias habituales como extremas durante una emergencia. Estas contemplan sistemas de vías y transporte, servicios básicos como el de acueducto,

alcantarillado, residuos sólidos, sistema de energía, sistema de telecomunicaciones, entre otros (UNGRD. 2017). Para Colombia se encuentran enmarcados a través de la Norma de Sismo Resistencia o NSR-10 (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible. 2010)

Gestión de riesgo de desastres - GRD

La Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD. 2017) define la GRD como un proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

Piroclasto - Flujo Piroclástico - Transporte de ceniza

Según el SGM (2020) los piroclásticos son uno de los cuatro productos volcánicos que se producen durante una erupción, específicamente en estado sólido. Son Fragmentos de lava de tamaño, morfología y color variado que se emite a la atmósfera en las erupciones volcánicas y se diferencian por su grado de acidez o por la cantidad de anhídrido silícico que contienen, lo cual regula también el carácter de la actividad volcánica y el aspecto morfológico de sus edificios. Atendiendo a su morfología pueden distinguirse: bloques, escorias, bombas, lapilli y cenizas.

- **Bloques:** Son fragmentos de roca de forma irregular que formaban parte del cono volcánico cuyas dimensiones van de 64 mm en adelante.
- **Bombas volcánicas:** son masas de lava de consistencia plástica que, al ser lanzadas al aire se solidifican, tomando formas redondeadas y aerodinámicas. Sus dimensiones alcanzan varias decenas de centímetros.

- **Escoria o Tefra:** son fragmentos de lava porosa, de unos cuantos centímetros de dimensión, producidos por la rápida liberación de los gases.
- **Lapilli:** es una lava fragmentada, cuyas dimensiones van de 4 a 32 mm, que es lanzada violentamente y solidificada en el aire.
- **Ceniza:** término genérico del material muy fino, con dimensiones menores a los 2mm, que se produce por la fragmentación del magma que es transportado por el viento a grandes distancias.

El tipo de flujo piroclástico por el cual se vería afectado el departamento del Quindío sería por el último en tamaños diferentes y espesores que cambian dependiendo de la distancia de la erupción. (INGEOMINAS. 2002)

Plan de Contingencia

Es un documento de operación técnica que se encuentra vinculado a un evento específico el cual describe procedimientos para ejecutar acciones humanitarias eficientes, seguras y de calidad directas para la estabilización de las poblaciones afectadas, que es formulado antes que este se manifieste y su alcance depende de la empresa o entidad que esté al frente de su formulación. Estos son necesarios en todo territorio principalmente con amenazas frecuentes y de complejidad.

Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica - POMCA: Instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico (UNGRD. 2017)

PMGRD

El Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres (PMGRD) es un instrumento dinámico que ordena prioridades municipales concretas, con relación a las condiciones de riesgo, y canaliza estas acciones para ser ejecutadas en diferentes ámbitos como el ordenamiento territorial, la planificación del desarrollo y el desempeño institucional, entre otros (UNGRD. 2017) Es el instrumento para priorizar, programar y ejecutar acciones concretas siguiendo los procesos de la gestión del riesgo (Ley 1523 de 2012)

SIG

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas. El objetivo de SIG consiste en crear, compartir y aplicar útiles productos de información basada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones, así como crear y administrar la información geográfica pertinente.

Los mapas representan colecciones lógicas de información geográfica como capas de mapa. Constituyen una metáfora eficaz para modelar y organizar la información geográfica en forma de capas temáticas. Asimismo, los mapas SIG interactivos ofrecen la interfaz de usuario principal con la que se utiliza la información geográfica (ESRI. 2020)

Sistemas de Soporte a las decisiones

Son sistemas informáticos que, a través de una herramienta tecnológica, apoyan la modelación de escenarios para la toma de decisiones. Se manifiestan en conjuntos procedimentales basados en modelos para procesar datos y juicios para asistir a un gerente a su toma de decisión. No solo permite modelar la información, sino que procesa de forma que genera alternativas ante la situación a través de la comprensión de las variables y elementos que componen el proceso.

Resiliencia

Capacidad de las personas, comunidades o sistemas que hacen frente a catástrofes o crisis para preservarse de los daños y recuperarse rápidamente. Se trata de mejorar la capacidad de las familias, las comunidades y las instituciones para proteger a las personas y los medios de vida a través medidas que reduzcan o limiten (mitigación y preparación) los efectos negativos de los peligros y prevenirlos de manera precisa y oportuna (UNGRD. 2017)

Riesgo

El sistema nacional de gestión de riesgo de desastres (Ley 1523 de 2012) indica que son los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos. El riesgo (R) de desastres deriva de la combinación de la amenaza (A), la vulnerabilidad (V) y la Exposición (E), en relación con la resiliencia (Re) frente al evento.

$$R = \frac{A * V * E}{Re}$$

La Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD. 2018) indica que es importante entender la configuración del riesgo a analizar para hacer frente de forma precisa a partir de un análisis retrospectivo que presente resultados cuantificables, sin embargo debido a la escasa información que hay acerca de ciertos eventos, como los presentados por el VCM así como su baja frecuencia de ocurrencia, la evaluación del riesgo se debe realizar con un enfoque prospectivo a través de la construcción de modelos probabilistas basados en los registros de eventos ocurridos.

De esta forma se llega a un modelo probabilístico con enfoque prospectivo sobre el riesgo analizado. El cálculo del riesgo, en este caso entonces, se debe realizar integrando la distribución de probabilidad de la amenaza y la distribución de probabilidad de la pérdida

Territorio

Según Delaney (2008) El territorio es un proceso social (político, económico, cultural) que se desarrolla no solo en un lugar, sino también en un tiempo determinado, el cual es delimitado y apropiado por un grupo social definiendo lazos de identidad socio-espacial y funciona finalmente como base del progreso de la sociedad y el Estado.

Volcán - Erupción Volcánica - Tipos de erupciones

El Museo de Ciencias de Puerto Rico (2020), denomina a un volcán como una estructura montañosa o cerro que tiene una apertura por la cual pueden escapar materiales gaseosos, líquidos o sólidos desde el interior de la tierra, o sea, una fisura de la corteza terrestre sobre la cual se acumula un cono de materia fundida y sólida que es lanzada a través de la chimenea desde el interior de la Tierra. En la cima de este cono hay una formación cóncava llamada cráter y cuando se produce actividad en el edificio se dice que el volcán está en erupción.

Una erupción volcánica es el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases y cristales y este material puede ser arrojado con distintos grados de violencia, dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

El observatorio vulcanológico del Instituto geológico, minero y metalúrgico del Perú (2020) indica que existen 5 tipos de erupciones volcánicas y así mismo se pueden clasificar los volcanes como se muestra a continuación:

- **Erupción Estromboliana:** Se caracteriza por pequeñas explosiones de materiales en estado fundido o pastoso, que suceden en pocos minutos u horas, acompañadas por derrames de coladas de lava. Ejemplos de estas erupciones son algunas fases explosivas del Turrialba, Irazú y Poás.

- **Erupción Hawaiana:** Se trata de una emisión de lava muy fluida que se derrama rápidamente en forma de coladas de gran extensión. Las fuentes o chorros de lava, con una duración de hasta una hora y media, y alturas de hasta un kilómetro, son un caso particular de este tipo, así como las erupciones fisurales ultra hawaianas (que generan plataformas de lava de gran volumen y extensión).
- **Erupción Peleana:** Es una violenta explosión que resulta de la solidificación de un magma muy viscoso en la chimenea de un volcán, es decir, se crea un tapón que impide la salida de gases y magma. Al acumularse los gases y el magma, la presión incrementa sin tregua y finalmente explota la chimenea. A raíz de esta explosión hay una emisión violenta de nubes ardientes que se deslizan con gran rapidez por los flancos del volcán, arrasando con todo a su paso.
- **Erupción Pliniana:** Es una proyección violenta y explosiva de gases en forma de columna, asociada a la rápida y continua emisión de un gran volumen de pómez, con una elevación de al menos 20 km sobre el nivel del cráter. Los depósitos de material resultante cubren grandes extensiones de terreno con una espesa cubierta de pómez y cenizas.
- **Erupción Vulcaniana:** Es una explosión volcánica violenta, frecuentemente relacionada con la interacción del magma con agua (Freatomagmática), causando una fina fragmentación en el magma; Esta interacción junto con la fragmentación produce una gran cantidad de vapor, cenizas, bloques y bombas.

El volcán Cerro Machín responde a una erupción de tipo pliniana y por esto su gran alcance y cobertura. Algunos ejemplos similares al VCM alrededor del mundo son el Monte St. Helena (Washington, Estados Unidos), Volcán Popocatepetl (Estado de México, México) y el Monte Vesubio (Ciudad metropolitana de Nápoles, Italia) los cuales en sus momentos de erupción han causado grandes afectaciones a los territorios cercanos.

Marco Legal

Marco de Acción de HYOGO (2005 - 2015)

El Marco de Hyogo fue un tratado firmado y aprobado en 2005 en Japón entre 168 países en el que se comprometieron a introducir en las políticas públicas los conceptos de prevención y evaluación de riesgos, así como la manera de enfrentar los desastres o los modos de actuación tras una crisis. En definitiva, comprende una serie de principios que debería respetar toda la comunidad internacional con el fin de, en consonancia con la Estrategia Internacional de Reducción de Desastres, hacer presión para que estos principios se respeten.

Su objetivo general era aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres al lograr, para el año 2015, una reducción considerable de las pérdidas que ocasionan los desastres, tanto en términos de vidas humanas como en cuanto a los bienes sociales, económicos y ambientales de las comunidades y los países. El MAH ofrece cinco áreas prioritarias para la toma de acciones, al igual que principios rectores y medios prácticos para aumentar la resiliencia de las comunidades vulnerables a los desastres, en el contexto del desarrollo sostenible. (Ministerio del interior de España. 2011)

Marco SENDAI (2015-2030)

Fue el primer acuerdo principal de la agenda de desarrollo posterior a 2015 y ofrece a los Estados miembros una serie de acciones concretas que se pueden tomar para proteger los beneficios del desarrollo contra el riesgo de desastre, va de la mano con otros acuerdos de la Agenda 2030, tales como el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático, la Agenda de Acción de Addis Abeba sobre Financiamiento para el Desarrollo, la Nueva Agenda Urbana y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este marco recibió el respaldo de la Asamblea General de la ONU después de la tercera Conferencia Mundial sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. El Marco de Sendai reconoce que en el Estado recae la función principal de reducir el riesgo de desastres, pero es una responsabilidad que debe compartirse con otros actores, tales como los gobiernos locales, el sector privado y otros grupos interesados. El Marco de Sendai es el instrumento sucesor del Marco de Acción de

Hyogo 2005-2015. (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. 2020)

Ley 388/1997

Conocida como la “Ley de Desarrollo Territorial”, para diferenciarla de la “Ley de Ordenamiento Territorial” (Ley 1454 de 2011), la Ley 388 del 97, establece un mandato para que todos los municipios del país formulen sus respectivos Planes de Ordenamiento Territorial.

Dicha ley define el Ordenamiento Territorial como: “un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales.” (Artículo 5, ley 388 de 1997).

Y define el Plan de ordenamiento territorial como: “el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo”. (Artículo 9, ley 388 de 1997).

Norma de Sismorresistencia - 2010

Es el marco encargado de regular las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural ante un sismo sea favorable. Uno de los puntos más relevantes de esta versión es el nuevo mapa de sismicidad elaborado por la Red Sismológica Nacional adscrita al INGEOMINAS, que permite identificar de manera más acertada zonas de amenaza sísmica. Este permitirá hacer variaciones en los diseños estructurales, dependiendo de si la zona es alta, intermedia o baja. (Min Ambiente. 2010)

Ley 1454/2011

Esta ley tiene por objeto dictar las normas orgánicas para la organización político administrativa del territorio colombiano; enmarcar en las mismas el ejercicio de la actividad legislativa en materia de normas y disposiciones de carácter orgánico relativas a la

organización político administrativa del Estado en el territorio; establecer los principios rectores del ordenamiento; definir el marco institucional e instrumentos para el desarrollo territorial; definir competencias en materia de ordenamiento territorial entre la Nación, las entidades territoriales y las áreas metropolitanas y establecer las normas generales para la organización territorial (Artículo 1, ley 1454 de 2011)

Ley 1523/2012

La ley se edifica como una valiosa herramienta para superar las debilidades del Sistema Nacional para la Atención y Prevención de Desastres (SNPAD), las cuales quedaron evidenciadas con la ola invernal que atravesó el país en el año 2010 y que generó la declaratoria de emergencia económica, social y ecológica por grave calamidad pública con ocasión del impacto del fenómeno de La Niña, que tuvo como fundamento la insuficiencia de los medios de acción del Estado para prever y encarar emergencias colectivas y graves, la debilidad del SNPAD y de su organismo coordinador, así como la carencia de mecanismos eficientes y eficaces de financiación, los instrumentos legales con los que contaba SNPAD, no permitieron recaudar los recursos, ni adoptar las medidas en materia tributaria, presupuestal, fiscal, contractual, institucional y en general de orden legal, necesarias para conjurar la crisis y evitar la extensión de sus efectos, lo cual tuvo como resultado el reconocimiento de la caducidad del esquema vigente para enfrentar situaciones de anormalidad colectiva y de la necesidad urgente y prioritaria de su renovación.

La gestión del riesgo de desastres, a través de esta Ley, se constituye en una política de desarrollo indispensable para mejorar la calidad de vida de las comunidades en riesgo asociada con la planificación del desarrollo seguro y con la gestión ambiental territorial sostenible. Se destaca especialmente la importancia que significa para Colombia la adopción de una política pública referente a la gestión del riesgo que define las directrices para la actuación a partir del conocimiento, la reducción del riesgo y la respuesta en caso de desastre. Se establece la gestión del riesgo como responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano. (Ley 1523 de 2012)

Decreto 1807/2014

Las disposiciones contenidas en el presente decreto establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan. De conformidad con lo dispuesto en el artículo anterior para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, que contienen: La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza, la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo, la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo y la determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas (Decreto 1807 de 2014)

Decreto 1077/2015 (Compilatorio Decreto 1807 de 2014)

TÍTULO 2: PLANEACIÓN PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL: Este decreto Compila las normas relacionadas con la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial, estableciendo las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los POT o en la expedición de uno nuevo. Así mismo establece las especificaciones mínimas para la elaboración de los estudios básicos y de detalle de amenazas, las medidas de intervención, (Artículos 2.2.2.1.3.1.1 al 2.2.2.1.3.4.2 - Decreto 1077 de 2015)

METODOLOGÍA

Esta investigación se caracteriza por ser de paradigma principalmente positivista, dado que busca comprobar la hipótesis de las afectaciones del evento eruptivo del volcán Cerro Machín (VCM) sobre la población quindiana con el objetivo de formular y establecer lineamientos de fundamento para el plan de contingencia y de respuesta departamental del Quindío.

Esto se aborda desde un enfoque de investigación cuantitativo - no experimental, dado que se busca determinar los rangos de afectación de los escenarios derivados a partir de mediciones numéricas, de esta forma presentando una perspectiva descriptiva del evento, logrando identificar y priorizar las zonas donde se deben tomar medidas de reducción del riesgo actual, así como la proyección a partir de los crecimientos poblacionales. Estos escenarios se pueden cuantificar a partir de su clasificación de afectación, y posteriormente por pruebas técnicas de laboratorio y datos proyectados; a partir de lo anterior se busca representar la realidad de estos escenarios a través de herramientas y geoprocесamientos en Sistemas de Información geográfica logrando bases de datos estandarizadas y salidas gráficas (Mapas) con las que sean posibles tomar las decisiones para aumentar la resiliencia en el departamento frente a este evento.

El tipo de investigación propuesto responde a una unión entre las clasificaciones de Dankhe (1986), entre la investigación experimental y la descriptiva, dado que esta investigación se centra en analizar e investigar aspectos concretos de la realidad que aún no han sido analizados en profundidad. Básicamente se trata de una exploración o primer acercamiento que permite que investigaciones posteriores puedan dirigirse a un análisis de la temática tratada y a su vez intentar determinar las causas y consecuencias de un fenómeno concreto, más específicamente para este caso los efectos. El método de investigación es heurístico, dado que responde a diferentes procedimientos de búsqueda y prueba y no solo a uno, además de que es una investigación aplicada por lo que la metodología a trabajar responde a un esfuerzo aunado de diferentes áreas del conocimiento.

Diseño de Investigación

Para esto es necesario dividir el trabajo en 4 fases las cuales derivan en las diversas actividades tanto en trabajo de oficina como en campo. Se destaca que la fase I corresponde a la recopilación y análisis de información secundaria, la fase II corresponde al levantamiento de información primaria, fase de campo y análisis de laboratorio, la fase III se enmarca en el análisis de la información de campo contrastada con la información secundaria y el componente de geoprocésamiento y modelamiento bajo herramientas de SIG, y la última y cuarta fase corresponde al componente propositivo al identificar y plantear posibles alternativas de respuesta así como el documento final, recomendaciones y conclusiones. Estas fases y las respectivas actividades se muestran a continuación de forma más detallada:

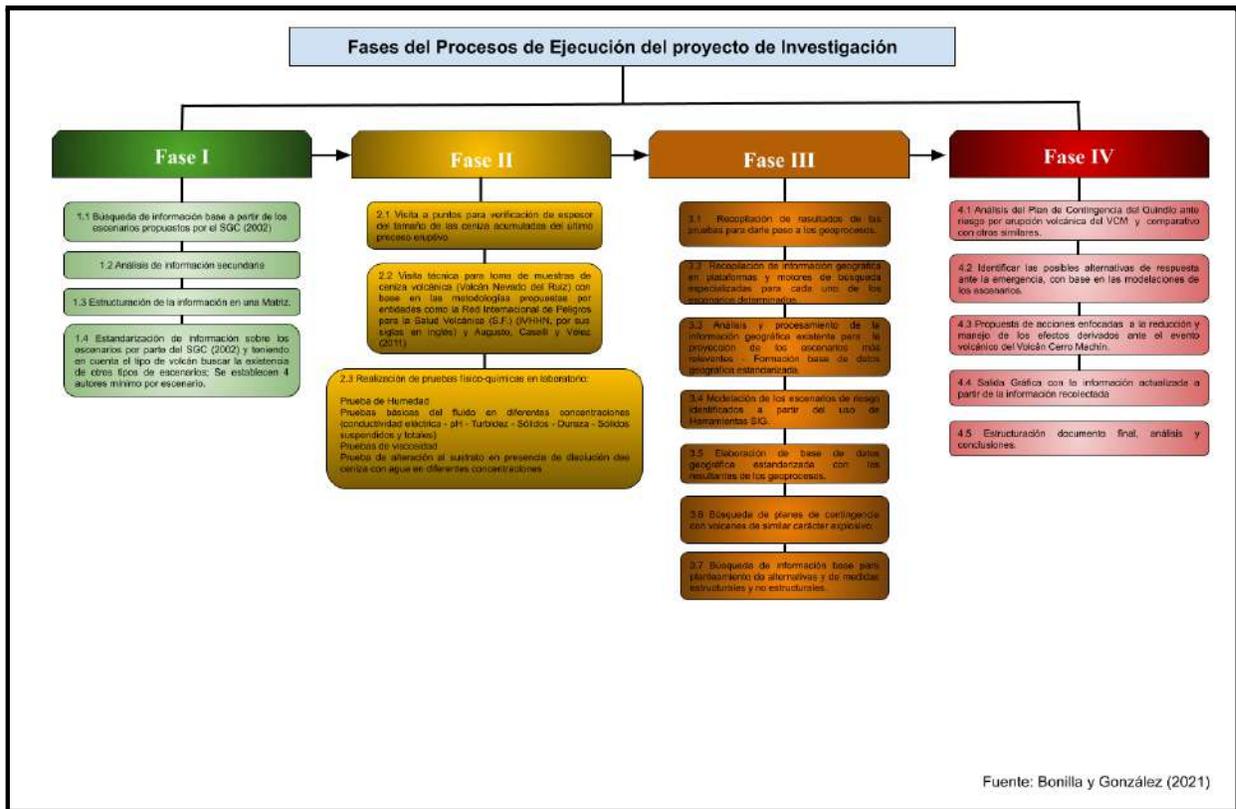


Figura 5. Fases para la metodología a ejecutar. Fuente: Autores

Operacionalización de variables

Objetivos	Área de Interés	Concepto	Indicador	Preguntas	Técnicas
Identificar los escenarios de riesgo que se generan a partir del evento volcánico del VCM. (análisis de Vulnerabilidad y exposición)	Escenarios de Riesgo (amenaza - vulnerabilidad - exposición)	Escenario de Riesgo: Son la representación de la interacción de los diferentes factores de riesgo (amenaza - vulnerabilidad), en un territorio y en un momento dado, o sea una consideración pormenorizada de las amenazas y vulnerabilidades de esta forma generar una base para la toma de decisiones sobre la intervención en reducción, revisión y manejo de riesgo (UNGRD. 2017)	Número de escenarios Clasificación por grado de afectación a elementos expuestos	¿Cuántos y cuáles son los escenarios de riesgo derivados del proceso eruptivo del Volcán Cerro Machín?	Recolección de información de segundo grado. Recolección de ceniza en campo y pruebas de laboratorio. Verificación en campo de espesor de la capa de ceniza de eventos pasados.
Representar los escenarios de riesgo identificados a partir del uso de Herramientas SIG.	Modelación y espacialización de conflictos (Riesgos)	Modelación: según la FAO en Wadsworth (1997) es un bosquejo de un objeto que representa un conjunto real con cierto grado de precisión y en la forma más completa posible, sin pretender aportar una réplica de lo que existe en la realidad. Como instrumento es muy útil para describir, explicar o comprender mejor la realidad, cuando es imposible trabajar directamente en la realidad en sí. Representación: La representación geográfica o cartográfica es la reproducción acercada de forma gráfica, dibujada a escala y generalmente en una superficie plana, de las características geográficas de un territorio.	Número de escenarios proyectados Identificación de áreas priorizadas por afectación	¿Cuáles son las áreas del departamento del Quindío que se verán mayormente afectadas por los escenarios derivados?	Geoprosesamientos Identificación de áreas a través de un análisis probabilístico del riesgo.



<p>Establecer las posibles alternativas de respuesta ante la emergencia, con base en las modelaciones de los escenarios.</p>	<p>Plan de contingencia - alternativas de respuesta</p>	<p>Plan de contingencia: Según la FAO (2010) una contingencia es una situación de probable ocurrencia con afectaciones al medio de manera importante. La planificación de contingencia es el proceso preparatorio de la identificación y planificación para estas situaciones.</p> <p>Los Planes de contingencia representan un proceso de:</p> <ul style="list-style-type: none">- Análisis y previsión de las posibles amenazas- prever - la naturaleza y escala de las dificultades que puedan afectar seriamente a un grupo humano o a un sector productivo y que requieren una respuesta de los organismos y actores competentes. Esto permite definir el tipo de respuesta que podrían ser necesarias y cómo los organismos y actores competentes organizan este tipo de respuesta.	<p>Identificación y formulación de alternativas de respuesta ante la erupción, por cada escenario</p>	<p>¿Cuáles son las alternativas más apropiadas para el manejo de cada escenario?</p>	<p>Recolección de información de segundo grado.</p> <p>Evaluación de alternativas a través de cuadros comparativos</p>
--	---	---	---	--	--

Tabla 4. Matriz de operacionalización de variables

A continuación, se describen cada una de las actividades de forma específica para su ejecución.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

FASE I

Para la identificación de escenario de riesgo generados a partir del evento volcánico (Objetivo 1) se define como autoridad base el Instituto Colombiano de Geología y Minería (Actualmente Servicio Geológico Colombiano, SGC) quien en el año 2002 a partir de estudios adelantados desde el año 1985, caracterizó los efectos que se producirían a partir de la emisión de material piroclástico para el departamento del Quindío a través de unas isopacas (isolíneas de acumulación), con las cuales se determina el nivel de acumulación de cenizas por centímetros.

Así mismo ellos identificaron 12 efectos, previamente mencionados, a partir de los cuales se busca información actual de un rango de 10- 15 años (Como máximo) dado que los eventos volcánicos no son un tipo de amenaza de alta frecuencia. La información que se busca encontrar es de los efectos que se tienen por caída de ceniza en condiciones similares de urbes y zonas rurales, de forma documentada.

Los Escenarios de riesgo, según la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (2017) es un acercamiento a la comprensión de un posible evento a partir de la representación de la interacción de los diferentes factores de riesgo (amenaza y vulnerabilidad), en un territorio y un momento dado, lo que ofrece una base para la toma de decisiones sobre la intervención en reducción del riesgo y el manejo del desastre. Adicionalmente las condiciones de los escenarios del riesgo no son estáticas, sino que se identifican como procesos dinámicos y multivariados por lo que puede desencadenar otras acciones no previstas.

Es entonces desde esta perspectiva fundamental que se decide realizar la investigación, puesto que al analizar otros efectos sucedidos en otros territorios por el mismo tipo de evento el número de escenarios aumenta y se convierten en unos más específicos.

Para dar ejecución a la fase 1 y como parte de la metodología se determina tomar 3 autores como mínimo, con condiciones vulcanológicas similares, que describan los efectos de los escenarios de riesgo proyectados para el departamento del Quindío a partir del evento del VCM. Con esto se buscará generar una matriz estructurada que permita correlacionar los autores por evento haciendo una correlación e identificación de variables como: rango de afectación, estimación de pérdidas y priorización por tipo de efecto. Por último, se plantea averiguar qué escenarios tienen efectos directos y cuales son efectos derivados, también con el objetivo de priorización para dar cumplimiento al objetivo final que es establecer lineamientos de acción ante el evento.

Para dar cumplimiento a este objetivo, si bien se tiene unos conceptos de variables características de las cenizas, es necesario aclarar que así como los volcanes se clasifican principalmente por su tipo de explosión, también la ceniza se clasifica por el tipo de erupción volcánica de donde proceden. Rivera (2003) hace mención de los tipos de ceniza que existen dado que dependen del tipo de explosión a la que fueron sometidas y donde fueron originadas, esto debido a que la concentración de minerales puede cambiar, así como sus características físicas básicas. El trabajo realizado por Rivera busca caracterizar las cenizas que ya fueron depositadas en suelo quindiano a partir de procesos de erupción de tiempos atrás, sin embargo dado que el objetivo del proyecto es la modelación se necesitan hacer pruebas de laboratorio que permitan analizar el comportamiento del material, por lo que material que ya fue expuesto a procesos de meteorización, erosión e inclusive metamorfismos por presión antrópica (suelos ganaderos, construcción de calles y edificaciones, procesos agrícolas, entre otros) lo que genera que se podría acceder con certeza al mismo comportamiento que un material piroclástico recién expulsado. Esto es fundamental dado que la última erupción del VCM según indican Aguilar (Et al. 2018) en

su estudio sobre estratigrafía del VCM, fue hace alrededor de 900 años, lo que indica un tiempo importante de transformación para el material de análisis.

FASE II

Se realizará una visita a diferentes puntos en el departamento del Quindío para verificar el espesor del tamaño de las cenizas acumuladas en el último proceso eruptivo utilizando la siguiente tabla.

TABLA DE PUNTOS DE VISITA EN CAMPO

Latitud	Longitud	Punto	Ubicación Relativa
4.539966°	-75.649748°	1	Alto de Río
4,529828	-75,670588	2	Cerca al puente la florida
4.551059°	-75.673665°	3	Barrio Niagara frente a Terraza bambú
4.534206°	-75.643016°	4	entrada a Calarcá por el Alto del río
4.5899°	-75.6334°	5	vereda San Juan Bosco junto a la tienda finalizando la carretera pavimentada
4.565822°	-75.653739°	6	Terreno a construir, frente al edificio metroloft
4.544937°	-75.684183°	7	Vereda Hojas Anchas
4.536907°	-75.680733°	8	Plaza de toros
4.5332°	-75.6946°	9	Construcción barrio La unión diagonal altos de agua bonita
4.5097°	-75.7054°	10	Km 1 vía Armenia - La tebaida (entrada finca)
4.5247°	-75.7048°	11	Barrio Zuldemayda

Anexo 2 - Tabla 2. Puntos por verificar en campo.

Durante la visita a campo se realizará un comparativo con la información descrita por Rueda (2005) con las diferentes características que han tenido los flujos piroclásticos del VCM.

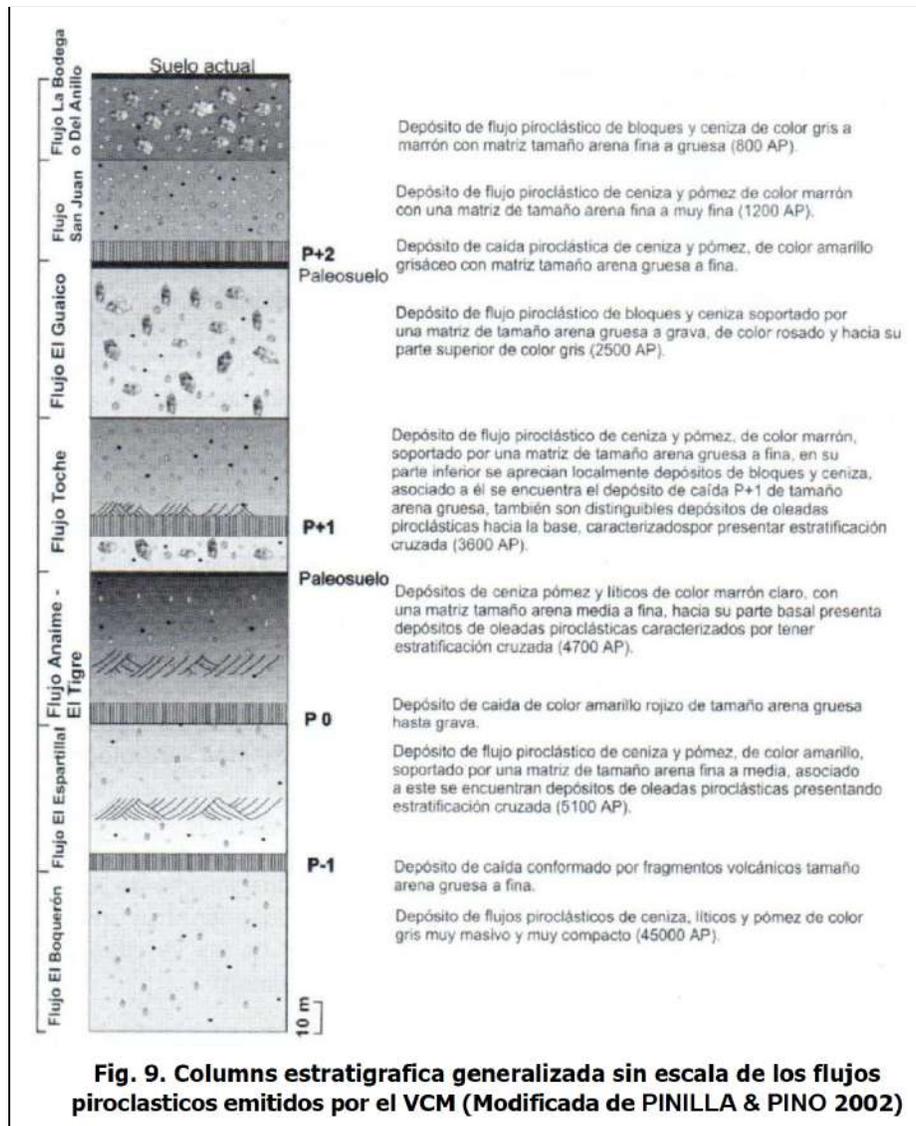


Figura 6. Columna estratigráfica con flujos asociados. (Obando Et. al. 2003)

La identificación de cada uno de los flujos para el departamento del Quindío ha dependido de las modelaciones realizadas por Rueda (2005) de donde se identificaron 6 flujos asociados a los diferentes depósitos que ha dejado el VCM.

“Con la correlación de secciones levantadas en campo se logró construir una secuencia estratigráfica general, labor que fue facilitada por la identificación de horizontes gula como son los depósitos de caída (ampliamente distribuidos) y los paleosuelos que separan las secuencias piroclásticas, de ésta forma se identificaron seis unidades que corresponden a igual número de eventos eruptivos, denominadas Espartillar (5000 años), PO (4600 años), P1 (3600 años), Guaico (2600 años), P2 (1200 años) y Anillo (900 años)”

A continuación se presenta la columna estratigráfica generalizada de los depósitos que componen los distintos eventos eruptivos del VCM durante el holoceno (Rueda, 2005)

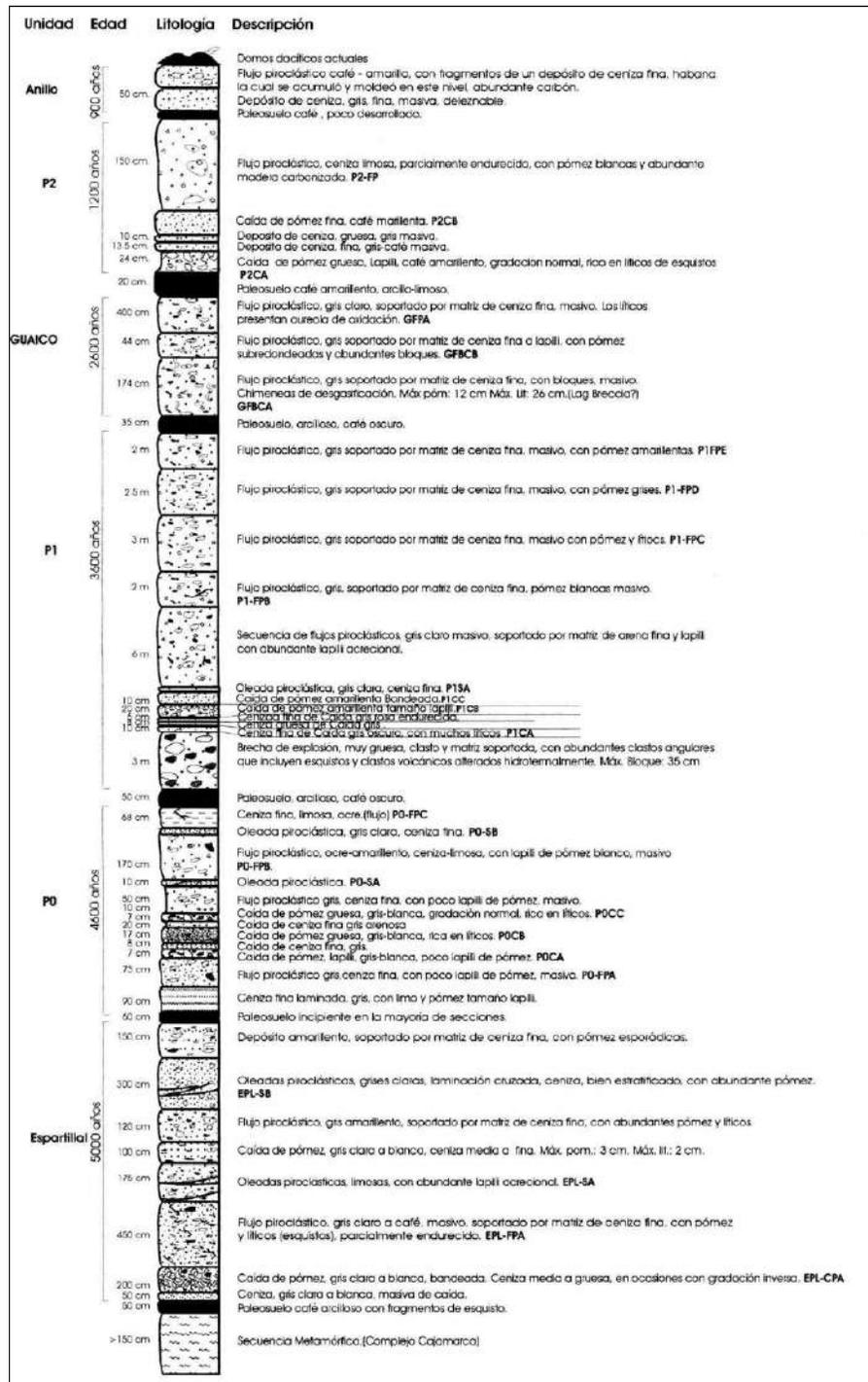


Figura 7. columna estratigráfica generalizada de los depósitos que componen los distintos eventos eruptivos del VCM durante el holoceno (Rueda, 2005)

Se requerirá entonces, una visita técnica al volcán nevado del Ruiz con el fin de extraer muestras de ceniza volcánica reciente en muy buenas condiciones, con base en las metodologías propuestas por entidades como la Red Internacional de Peligros para la Salud Volcánica (S.F.) (IVHHN, por sus siglas en inglés) y Augusto, Cacelli y Vélez (2011) como insumo principal con el objetivo de hacer pruebas físico-químicas que permitan identificar el comportamiento de la ceniza, ante diferentes condiciones. El muestreo será de tipo aleatorio simple para este caso dado que se busca tener distinciones en la granulometría de la ceniza.

Las metodologías indican que para coleccionar muestras de ceniza, debe hacerse lo más rápido posible de forma que ni el viento, agua o por contaminación antrópica de cualquier tipo afecte la muestra; el material debe ser recogido con una bandeja plástica con un borde alto (mayor a 5 cm) que por economía y ausencia de contaminación de la muestra es la mejor opción; la ceniza debe ser recolectada en superficies planas manejando una distancia de la superficie con el objetivo de no tomar material orgánico que pueda afectar la muestra, esta superficie debe ser de 5 milímetros en adelante; se recomienda atomizar o humedecer las cenizas para prevenir pérdida de material fino durante la recolección, a menos que sean necesarias partículas originales no contaminadas para el análisis, como en este caso; se almacenarán las cenizas en bolsas de papel “Kraft” o en bolsas de plástico resellables, recomendando más las de papel, ya que las partículas finas se pueden adherir a la superficie de las bolsas de plástico y por último se debe diligenciar la etiqueta de la muestra como se indica el en Anexo 1.

Posterior a la colecta de las muestras se procede a realizar las pruebas de laboratorio que serán aplicadas a partir de la metodología planteada por Alcalá y Flores (2010) debido a que las cenizas volcánicas presentan unas cualidades similares a las del suelo y estas pruebas se encuentran estandarizadas para análisis. Las evaluaciones se relacionan a continuación.

Prueba de Humedad

Cálculo de peso de ceniza húmeda y seca para determinación del comportamiento por porcentajes de concentración de humedad.

Alcalá y Flóres (2010) determinan que la humedad en un material puede influir en el análisis de propiedades como densidad, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, entre otras características esenciales, por lo que su determinación no solamente en su descripción es de relevancia sino también en el estudio del comportamiento al momento de su contacto con superficies como techos por metro cuadrado.

Los investigadores mencionan que la humedad se puede expresar gravimétricamente, con base en la masa, o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica (w) es la forma más básica de expresar la humedad del suelo y con unidades de kg y kg^{-1} . La humedad volumétrica, generalmente, se calcula como un porcentaje del volumen total del suelo.

Para este caso se realizarán pruebas gravimétricas, o sea a partir de la relación masa - humedad, donde:

$$w = \frac{M_{ag}}{M_s} = \frac{M_s - M_{sh}}{M_{ss}} = \left(\frac{M_{sh}}{M_{ss}} - 1 \right) 100$$

Donde w es el contenido de humedad gravimétrica, M_{ag} es la masa del agua, M_s es la masa de los sólidos, M_{sh} es la masa de suelo húmedo, M_{ss} es la masa de suelo secado en estufa.

Para realizar la estimación entonces, es necesario, realizar la estimación de la masa por medio de una balanza estimando 1000 gramos en promedio por prueba, luego se procede a secar la ceniza en un horno a $75^\circ - 80^\circ\text{C}$ durante 24 horas (Recomendación IVHHN. S.F); si se recoge la ceniza en bolsas Kraft, pueden ser puestas directamente en el horno sin necesidad de sacarla de las bolsas. Y por último pesar la muestra de cenizas al final del ejercicio para aplicarla fórmula mencionada previamente.

Para esta prueba son necesarios:

- Balanza granataria con aproximación de 0.01 g
- Horno para secado de muestras
- Recipientes de aluminio

- Parámetros básicos del fluido en diferentes concentraciones:

Adicionalmente a las pruebas anteriormente descritas, se hace necesario el análisis de las características físico químicas básicas de la ceniza a través de un comparativo de estándares. Esto no se puede hacer de forma directa, sino que, así como para la prueba anterior, se concentra la ceniza en distintas cantidades, buscando asemejar las condiciones de las isopacas del VCM proyectadas por el INGEOMINAS (2002). Esta diferencia en afectación se dará expresada en porcentajes con base en que las propiedades del agua están estimadas como muestra INVEMAR (2003).

Las pruebas a realizar se darán bajo los parámetros establecidos por el INVEMAR (2003) en su “Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes”: Conductividad Eléctrica - Dureza - pH - Turbiedad - Sólidos Suspendidos y Totales (A diferentes temperaturas y tiempos) Este tipo de factores determinarán los efectos sobre la superficie de la solución que se da por la ceniza y el agua.

Conductividad eléctrica

Este parámetro eléctrico proporciona información acerca de la productividad primaria y descomposición de la materia orgánica, e igualmente contribuye a la detección de fuentes de contaminación, a la evaluación de la actitud del agua para riego y a la evaluación de la naturaleza geoquímica del terreno. La unidad de medida que se maneja para la Conductividad es de Siemens por metro (S/m), y se define como el radio entre la densidad de corriente (J) y la intensidad eléctrica del campo (e) y es opuesta a la resistividad (r, [W*m]):

$$s = J/e = 1/r$$

PH

Este índice numérico permite expresar el grado de acidez o de alcalinidad de una sustancia o solución, en este caso se emplea un medidor de pH Hanna debidamente calibrado para determinar el pH de la ceniza en soluciones de agua a diferentes concentraciones.

Turbidez

Es la relación producida por materiales en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y demás microorganismos, y para este caso ceniza volcánica, que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. Esto repercute directamente en la productividad y el flujo de energía dentro de los ecosistemas. Es definida por el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua. La turbidez se mide en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez. El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

Dureza

Está directamente relacionada con la productividad de los ecosistemas, indicando que cuando las aguas son poco productivas biológicamente se denomina de baja dureza, en cambio cuando el agua tiene dureza alta es muy productiva. La dureza está definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el medio (agua). Se estimará la dureza en “PPM” (partes por Millón) de CaCO_3 , esta unidad indica partes por millón y equivale a miligramos por litro (mg/L). El líquido final entonces, puede clasificarse como: Agua blanda 0-75 ppm, agua moderadamente dura 75-150, agua dura 150-300 y agua muy dura >300.

Sólidos Suspendidos

Dichos sólidos tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición y se encuentran ligados a la conductividad y la turbidez, en cambio se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103-105°C. Los sólidos totales incluyen disueltos y suspendidos, los sólidos disueltos son aquellos que quedan después del secado de una muestra de agua a 103-105°C previa filtración de las partículas mayores a 1.2 micrómetro (μm). (Cortolima, 2020). Para esta evaluación es necesario usar un kit de análisis de calidad de aguas que permiten examinar las variables en conjunto bajo condiciones ambientales similares, lo cual permitirá que no se vea comprometido el muestreo.

Pruebas de viscosidad

Según FARMACOPEA (2003) institución dirigida por el ministerio de salud de Argentina, la viscosidad es una característica de los fluidos vinculada directamente a la resistencia al flujo, esta se puede expresar en términos de viscosidad absoluta, que se define como la fuerza por unidad de área necesaria para mantener una unidad de gradiente de velocidad. Las unidades básicas son el poise y centipoise (siendo 1 poise=100 centipoise) Es decir, equivale a una fuerza de 1 dina por 1 cm^2 , generada por una diferencia de velocidad de 1 cm por segundo, en un espacio de 1 cm.

En lugar de expresar los resultados en términos de viscosidad absoluta, muchos métodos de determinación permiten medir la viscosidad relativa, es decir la viscosidad de un líquido comparada con la de otro líquido de viscosidad conocida. Como las viscosidades relativas que se obtienen con los diferentes aparatos no son las mismas, se ha adoptado expresar la viscosidad como viscosidad cinemática, que es la relación entre la viscosidad absoluta, expresada en poise, y la densidad del líquido a la misma temperatura, es decir, viscosidad cinemática (stoke) = viscosidad dinámica (poise)/densidad (g/ml). Las unidades de viscosidad cinemática son el stoke y centistoke (donde 1 stoke= 100 centistoke).

Esta propiedad tiene una alta relación con la presión y la temperatura a la cual el líquido se encuentre expuesto al momento de su análisis.

Para esta prueba se realizarán mezclas de agua con el material recolectado a diferentes concentraciones, a partir de un escalado de las muestras con fundamento en la proyección de isopacas del mapa del INGEOMINAS (2002).

Para la medición de la viscosidad pueden emplearse dos tipos de instrumentos: Viscosímetro de tubo capilar el cual determina el tiempo requerido para que un volumen dado de un líquido escurra, a través de un capilar. Este se denomina viscosímetro de Ostwald o de Ubbelohde. Y el Viscosímetro rotatorio, mide las fuerzas de cizallamiento (fuerza tangencial por unidad de superficie) en el seno de un líquido situado entre dos cilindros coaxiales de radios R y R_B . En la monografía correspondiente se indicará el tipo de aparato empleado para la medición de la viscosidad., uno de los cuales se mueve por un motor, mientras que el otro se desliza debido a la rotación del primero. Este se denomina viscosímetro de Brookfield, de rotovisco o de Stormer (Min. Salud de Argentina. 2003)

La determinación de la viscosidad de la ceniza con el agua, determinará el comportamiento del compuesto sobre superficies como techos, carreteras y vías, así como su afectación a los sistemas de alcantarillado puesto que en caso de lluvia post-evento estos puede que no funcionen igual.

El procedimiento entonces consiste en la calibración del viscosímetro a usar determinando su constante k dt , en la cuales la viscosidad, en centipoise, del líquido de viscosidad conocida es la densidad relativa del líquido empleado a 20°C y t es el tiempo, en segundos, para que el líquido escurra de la marca superior a la marca inferior. La determinación de la viscosidad entonces, se efectúa a una temperatura de $20,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ y el ensayo no será válido si dos lecturas consecutivas difieren más de 1%. La media debe tener tres lecturas, como mínimo para dar el tiempo de vertido del líquido desconocido.

Se calcula la viscosidad absoluta, en centipoise, mediante la fórmula siguiente:

$$\text{centipoise} = K * d * t$$

Donde k es la constante del instrumento, d es la densidad del líquido desconocido y t es el tiempo de escurrimiento del líquido desconocido.

Para esta prueba son necesarios:

- 4 Beakers
- Viscosímetro
- Termómetro

Además de las muestras de ceniza y las cantidades de agua. La prueba de temperatura (T°) se realizará con base en la T° ambiente del laboratorio y se corrobora con el termómetro al momento de su toma.

Finalmente, para estimar su viscosidad relativa se hará la relación con agua, como solvente universal, dado que las propiedades a temperaturas similares están definidas.

Prueba de alteraciones al sustrato en presencia de disolución de ceniza con agua en diferentes concentraciones

Esta prueba buscará aportar un acercamiento de la afectación de la ceniza disuelta con agua sobre los suelos del departamento. A partir de los resultados analizados en la prueba anterior se prepararán nuevamente las mezclas estimando un acercamiento sobre la distribución de la precipitación con base en los mapas de distribución de precipitación del IGAC (2013) con lo cual se busca identificar su incidencia sobre los suelos. La prueba se realizará a través de la aplicación de la solución de ceniza proyectada (escalada) con base en el mapa del INGEOMINAS (2002) por un (1) metro cuadrado de sustrato, de esta forma se pretende generar una gradiente para determinar afectación en el suelo.

FASE III

Ahora bien, a partir de la información recolectada, dando ejecución a la fase 3 se busca hacer una representación de los escenarios de riesgo identificados a partir del uso de Herramientas SIG (objetivo 2) se realizará una búsqueda de información geográfica con la

finalidad de materializar en salidas gráficas los escenarios que los investigadores determinen más relevantes a partir de la relación que tenga el mapa de isopacas con los elementos y el grado de exposición que manejen. Se debe tener en cuenta que la denominación de RIESGO responde a una relación de amenaza con la vulnerabilidad, razón por la cual el análisis de elementos expuestos es fundamental pues es a través de este que se identifica el alcance del fenómeno amenazante.

La guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo por caídas de material piroclástico transportado por el viento del Servicio Geológico Colombiano (SGC. 2020) indica la siguiente clasificación de elementos expuestos según su uso como se muestra a continuación (Figura 8):

» Tabla 4. Elementos expuestos

CLASIFICACIÓN	IDENTIFICACIÓN	USO
Edificaciones (grupos de uso según NSR10)	Indispensables. Grupo IV	Salud
		Terminales aéreos o terrestres
		Centrales y subestaciones eléctricas, gasolineras
		Plantas de tratamiento de aguas
	Atención a la comunidad. Grupo III	Refugios o designadas como refugios
		Seguridad
		Emergencias
Ocupación especial. Grupo II	Educación	
	Gubernamentales	
Ocupación normal. Grupo I	Centros Comerciales	
Lineas vitales	Red vial	Industria
		Residencia y comercio
	Servicios públicos	Vías
		Puentes vehiculares
		Puentes peatonales
		Acueductos, alcantarillados, gasoductos
Redes eléctricas Telecomunicaciones		

Figura 8. Clasificación de elementos expuestos según su uso (Fuente: SGC. 2020)

La guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del servicio geológico (2016) también reconoce una clasificación a partir de la Norma de Sismo Resistente Colombiana (2010) como se nota en la Figura 9, donde dentro de la clasificación incluye a las personas como tipo de elementos expuestos a parte.

Tabla 4-1. Elementos expuestos

CLASIFICACIÓN		IDENTIFICACIÓN	USO - COMPONENTES
Bienes Físicos	Edificaciones	Indispensables-Grupo IV (norma NSR-10)	Salud (pública/privada)
		Atención a la comunidad - Grupo III (norma NSR-10)	Seguridad
			Emergencia
			Educación
	Ocupación especial - Grupo II (norma NSR-10)	Institucionales	
		Gubernamentales	
	Ocupación normal - Grupo I (norma NSR-10)	Centros comerciales	
		Industria	
	Líneas Vitales	Red vial	Vías
			Puentes vehiculares
Puentes peatonales			
Servicios públicos		Líneas de acueducto, alcantarillado y gas (tuberías)	
		Redes eléctricas y comunicaciones	
Personas	Población		

Figura 9. Clasificación de elementos expuestos según su uso y componentes (Fuente: SGC. 2016)
Adicionalmente la guía (SGC. 2016) indica esto de forma más precisa en forma de grupos como se muestra a continuación:

Grupo de Clasificación de exposición	Identificación	Objeto específico
A	Líneas Vitales	Sistema de vías y transporte
		Sistema de transporte, almacenamiento de combustibles líquidos y gases
		Servicio Básico: - Servicio Saneamiento: Acueducto y Alcantarillado - Recolección de residuos - Sistema de Energía - Sistema de Telecomunicaciones
B	Edificaciones Esenciales	Edificios Indispensables: - Hospitales/Clínicas/Centros de Servicios de Salud
		Edificios de Atención a la comunidad y gubernamentales
		Edificios de estructura y uso especial - Embalses y centrales hidroeléctricas - Entre otros

C	Sector de vivienda y población	Edificaciones de Ocupación Normal - Edificios - Casas
		Población de ocupación No - Normal (Barrios Subnormales - Invasiones)
D	Sector Agropecuario e industrial	Áreas de uso agrícola, forestal y pecuario
		Áreas de uso Industrial - Económico - Social
E	Áreas Naturales y Ecológicas	Sistema de áreas Naturales protegidas (Área)
		Reservas de la Sociedad Civil (Área)

Tabla 3. Inventario de elementos expuestos por grupos. (Fuente: SGC. 2020) Adaptado por autores.

La información que será usada como base para el análisis de la exposición se categoriza entonces de la siguiente manera por cada escenario y por fuentes de consulta:

Parte de la información básica ya se encuentra disponible por esta entidad bajo proyecciones de las isopacas del 2002 (INGEOMINAS), sin embargo, la información disponible responde a una escala 1:150.000 lo cual dificulta el cumplimiento del tercer objetivo que es el establecimiento de lineamientos de respuesta, con una escala tan descontextualizada. Con esto, se buscará a partir de unos puntos determinados junto con los tutores en el departamento que buscan complementar la información.

Este estudio consistirá en el muestreo en campo de puntos para interpolación con base en un Muestreo Aleatorio sistemático, en otras palabras se buscarán en campo los lugares donde la presencia de cenizas sea visible y a través de procesos geológicos observacionales a una escala de trabajo 1:10.000, donde sea posible determinar el espesor y el año de la erupción a la cual pertenecen, con lo cual se establecerá un valor de “z” con el objetivo de lograr un resultado de isopaca complementario al trabajo del INGEOMINAS, logrando aumentar la precisión de escala de trabajo.

FASE IV

La fase 4 del proceso, consiste en establecer las posibles alternativas de respuesta ante la emergencia, con base en las modelaciones de los escenarios, priorizando las áreas que presenten un mayor riesgo a partir de los geoprocesos indicando siguiendo los lineamientos

de la guía del SGC (2020) para evaluación de vulnerabilidad por piroclastos transportados por el aire.

Estos lineamientos responderán a cada uno de los escenarios, brindando recomendaciones a escalas municipales y sectorizadas a través de representaciones cartográficas, con lo cual los municipios, el departamento, las entidades del sector público y privado, así como las familias del Quindío podrán determinar su actuar en medio del evento.

RESULTADOS

Los resultados serán descritos a continuación por los objetivos específicos y fases asociadas a cada uno.

Objetivo 1: Identificación de los escenarios de riesgo que se generan a partir del evento volcánico del VCM.

Metodológicamente el objetivo número 1 se encuentra asociado al cumplimiento de la fase 1, para lo cual se define como autoridad base el Servicio Geológico Colombiano quienes identificaron 12 efectos (tabla 5), previamente mencionados, a partir de los cuales se buscó información actualizada, rango de 10- 15 años (Como máximo), dado que los eventos volcánicos no son un tipo de amenaza de alta frecuencia. La información que se buscaba encontrar era sobre los efectos que se tienen por caída de ceniza en condiciones similares de urbes y zonas rurales, de forma documentada. Con esto en mente se decidió tomar un mínimo de 3 autores por escenario, donde existiesen condiciones vulcanológicas similares, que logren acercar los efectos de los escenarios de riesgo proyectados para el departamento del Quindío consolidando a través de una matriz de escenario donde se tomó el efecto proyectado por el SGC y se especificó la información por escenario a partir de las experiencias relatadas en las investigaciones.

Efecto proyectado a partir de la erupción del volcán Cerro Machín (INGEOMINAS. 2002)
Incendios forestales o de viviendas.
Oscurecimiento y dificultades respiratorias por la presencia de partículas finas suspendidas en el aire.
Cubrimiento y enterramiento de la superficie y de las estructuras.
Intoxicaciones.
Obstrucción de drenajes naturales y artificiales.
Pérdida parcial o total de cultivos y ganado.
Daños por sobrecarga en estructuras livianas y líneas de conducción eléctrica.
Daños por corrosión a elementos metálicos.
Contaminación de fuentes de agua por sólidos y químicos.
Daños a la vegetación y desprotección del suelo.
Lluvias por efecto de partículas que hacen de núcleo en la atmósfera.
Afectación al transporte aéreo y terrestre.

Tabla 5. Efectos identificados por el INGEOMINAS (2002)

Cada uno de estos escenarios fue descrito a través de una matriz para conceptualizar el proceso asociado y determinar el escenario que se podría desencadenar a causa de dicha afectación. La matriz indica y recopila conocimiento técnico académico de diferentes fuentes frente a un mismo evento y en otros casos se hace un análisis descriptivo de la experiencia vivida por parte de la población afectada a través de organismos locales o internacionales.

<u>Efecto proyectado a partir de la erupción del volcán Cerro Machín (INGEOMINAS. 2002)</u>	<u>Artículo 1</u>	<u>Artículo 2</u>	<u>Artículo 3</u>	<u>Escenario</u>
Incendios forestales o de viviendas.	González. E (2006) PELIGROS Y RIESGOS VOLCÁNICOS EN BIOGEOGRAFÍA: EFECTOS SOBRE LA VEGETACIÓN. Departamento de Geografía. Universidad de la Castilla	Organización Panamericana de la Salud (S.F) Erupciones Volcánicas. OPS.	Galiana. L (2012) LAS INTERFACES URBANO-FORESTALES: UN NUEVO TERRITORIO DE RIESGO EN ESPAÑA. Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid	Incendios de cobertura vegetal e incendios de Interfaz en la zona rural por las temperaturas de la caída de los piroclastos
Obstrucción de drenajes naturales y artificiales.	Organización Panamericana de la Salud (1998) Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario = Efectos y Daños por erupciones Volcánicas - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad. OPS	Tehran. N (2010) LÍNEAS DE ACCIÓN PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO POR CAÍDA DE CENIZA. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA: PROGRAMA GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL VOLCÁNICA EN EL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE NARIÑO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.	Organización Panamericana de la Salud (2002) Efectos de la Erupción del Volcán Reventador en los Sistemas de Agua y Alcantarillado. OPS	Obstrucción de Sistemas de acueducto, alcantarillado y de canales de cubiertas por caída de ceniza volcánica por transporte eólico
Pérdida parcial o total de cultivos y ganado	González. E (2006) PELIGROS Y RIESGOS VOLCÁNICOS EN BIOGEOGRAFÍA: EFECTOS SOBRE LA VEGETACIÓN. Departamento de Geografía. Universidad de la Castilla	Dorner. J; Pinochet, D; Segovia, P (2015) Posibles efectos de la ceniza volcánica en el suelo y en la vegetación. Departamento de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile.	Hepp. C (2008) LOS EFECTOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS SOBRE LOS ECOSISTEMAS AGROPECUARIOS. Revista INIA Tierra adentro. Julio - Agosto.	Afectaciones al sistema de producción agrícola y pecuario por Caída de Ceniza
Daños por corrosión a elementos metálicos.	Álvarez. J; Pridybailo, G (2005) Corrosión atmosférica en el volcán Poás, proyecto TROPICORR. Revista Tecnología en Marcha. Vol 18 N° 2.	Torres-Corredor, R.A., Ponce-Villarreal, P., y Gómez-Martínez, D.M. (2017) Vulnerabilidad física de cubiertas de edificaciones de uso de ocupación normal ante caídas de ceniza en la zona de influencia del volcán Galeras. Boletín de Geología. https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindgeologia/article/view/6386/6613	Barahona. C; Esquivel. M; Rolando. M (2015) EFECTOS DE LA CENIZA VOLCÁNICA SOBRE ESTRUCTURAS. Universidad de Costa Rica.	Daños por Corrosión a elementos metálicos de cubiertas y estructuras.
Oscurecimiento y dificultades respiratorias por la presencia de partículas finas suspendidas en el aire.	A, Rivera-Tapia, A. Yañez-Santos, L. Cedillo-Ramirez (2005) Emisión de ceniza volcánica y sus efectos: Efectos inducidos por la exposición a ceniza, en diversos episodios de actividad volcánica. Ecosistemas 14 (3): 107-115. Septiembre	Horwell. C (2006) The respiratory health hazards of volcanic ash: A review for volcanic risk mitigation (Los peligros para la salud respiratoria por cenizas volcánicas: una revisión de la mitigación del riesgo volcánico). Bulletin of volcanology. Durham University	IVHHN/USGS (S.F) The health Hazards of volcanic ash: A guide for the public (Los peligros a la salud por ceniza volcánica: Una guía para el public. Cities and volcanoes Commission.	Afectaciones al sistema respiratorio y óptico por contacto o inhalación de ceniza Volcánica
Contaminación de fuentes de agua por sólidos y químicos.	Centro de Información Sobre Desastres Y Salud Biblioteca médica nacional (CIDBIMENA) (S.F) Contaminación atmosférica por emisiones volcánicas.	Organización Panamericana de la Salud (1998) Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario: Efectos y Daños por erupciones Volcánicas - Guías para el	Organización Panamericana de la Salud (2002) Efectos de la Erupción del Volcán Reventador en los Sistemas de Agua y Alcantarillado. OPS	Contaminación natural de fuentes hídricas superficiales por ceniza volcánica, alterando el pH y concentración de sólidos

		Análisis de Vulnerabilidad.		suspendidos
Daños a la vegetación y desprotección del suelo.	E. Duarte; E. Fernandez (S.F) La lluvia ácida en Volcanes de Costa Rica. Instituto de investigación observatorio Vulcanológico y sismológico de Costa Rica - Universidad Nacional de Costa Rica.	Guillén. J; Ruiz. A (2015) Diagnóstico de los efectos de la lluvia ácida en la actividad productiva en la zona aledaña al Parque Nacional Volcán Turrialba, Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia	Chaves. A; Gallardo. R; Méndez. G; Rodríguez. F; Solis. E. (1999) Evaluación de algunos efectos del fenómeno de lluvia ácida como producto de la actividad eruptiva del volcán Arenal, San Carlos, Costa Rica. Tecnología en Marcha / Tecnológico de Costa Rica.	Daños en los ecosistemas por efecto de la lluvia ácida
Cubrimiento y enterramiento de la superficie y de las estructuras.	González. E (2006) PELIGROS Y RIESGOS VOLCÁNICOS EN BIOGEOGRAFÍA: EFECTOS SOBRE LA VEGETACIÓN. Departamento de Geografía. Universidad de la Castilla	Cremona. M; Ferrari. J; López. S (S.F)LAS CENIZAS VOLCÁNICAS Y LOS SUELOS DE LA REGIÓN. Laboratorio de Suelos y Aguas INTA Bariloche. Revista presencia.	Criollo. E; Gallegos. B; Guevara. A; De la Torre. E; Mena. F; Valencia. L (2008) Evaluación del efecto de la caída de ceniza del volcán Tungurahua sobre los suelos agrícolas. Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo.	Cambios en las condiciones y características edáficas y agrológicas
Afectación al transporte aéreo y terrestre.	Organización de Aviación Civil Internacional (2012) La seguridad de vuelo y las cenizas volcánicas. Primera Edición.	Berzal. I (S.F) EFECTOS DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS EN LA AVIACIÓN. Hispaviación.	Centro de Información Sobre Desastres Y Salud Biblioteca médica nacional (CIDBIMENA) (S.F) Contaminación Atmosférica por emisiones Volcánicas. Recuperado de http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/Volcanes/gv_modulo4-3.pdf	Afectación al transporte en general por Smog volcánico y efecto de escudo solar en adición a las afectaciones de motores
No tiene efecto proyectado por el SGC.	Volcanic Ashfall Impacts Working Group (2015) Impactos y mitigación de cenizas volcánicas: Equipos y comunicaciones. USGS.	Servicio Geológico Minero Argentino (2008) Efectos y acciones a realizar frente a una lluvia de cenizas.		Afectación a los sistemas de comunicación por las nubes de ceniza volcánica
No tiene efecto proyectado por el SGC.	Henaó. Pilar (2014) El riesgo: realidad virtual. Deslizamientos activados por amenaza sísmica volcánica del volcán Cerro Machín. Entorno Geográfico, no. 10, p. 152.	Caballero. O (2011) Base de datos de deslizamientos inducidos por sismos. Pontificia Universidad Javeriana.	Hidalgo. C; Vega. J. (2014) Estimación de la amenaza por deslizamiento detonado por sismos y Lluvia (Valle de Aburrá-Colombia) Escuela de Ingeniería de Antioquia.	Movimientos de remoción en Masa producidos por movimientos sísmicos con afectaciones al sistema vial e infraestructura de viviendas
No tiene efecto proyectado por el SGC.	Fernández. I; Beristain. C; Páez. D. EMOCIONES Y CONDUCTAS COLECTIVAS EN CATÁSTROFES: ANSIEDAD Y RUMOR, MIEDO Y CONDUCTAS DE PÁNICO, Universidad del País Vasco			Conductas de Pánico Evacuación masiva en los municipios a causa de la pérdida de condiciones de habitabilidad

Tabla 6. Conceptualización y explicación de cada escenario con diferentes autores. Resultado 1.

Los efectos proyectados por el SGC como: daños por sobrecarga en estructuras livianas y líneas de conducción eléctrica y lluvias por efecto de partículas que hacen de núcleo en la atmósfera, no serán modelados en escenarios debido a que sus características esenciales dependen de información altamente detallada con la cual no se cuenta actualmente como la caracterización de techos del departamento del Quindío.

La matriz anterior es resultado de una investigación de información de segundo nivel, con lo cual se busca dar solidez a cada uno de los efectos que cada escenario plantea con base en las experiencias en volcanes similares (tipo erupción pliniana) o bien de lugares con características de alto o igual parecido a lo proyectado para el departamento del Quindío.

Adicionalmente a lo anterior se realizó una valoración del objeto u objetos de afectación con base en cada escenario; esto se hizo de esta manera debido a que no en todos los 13 escenarios se puede hablar de elementos expuestos por igual con base en la clasificación planteada por el SGC (2016 y 2020) dado que quedarían cosas sin incluir, por lo anterior se decidió utilizar una clasificación que lograra abarcar todas las actividades de un territorio evaluando las más afectadas por cada escenario, así como también el escenario que más actividades afectadas proyecta. Esta clasificación es conocida como la CIIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) (Cámara de Comercio de Bogotá. 2012) la cual consiste en catalogar las actividades económicas del país de la manera más precisa. Esta es revisada y actualizada de manera más precisa por el DANE y originalmente compilada por la Organización de Naciones Unidas. Esto se muestra en la tabla 7.

Cambios en las condiciones y características edáficas y agrológicas	1	1				1	1				1					1				6	
Afectación al transporte en general por Smog volcánico y escudo solar			1	1			1	1		1	1	1	1	1					1		10
Afectación a los sistemas de comunicación por las nubes de ceniza volcánica			1					1			1	1	1	1							6
Movimientos de remoción en Masa producidos por movimientos sísmicos con afectaciones al sistema vial e infraestructura de viviendas	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1					14
Afectaciones por los movimientos sísmicos a partir de la liberación de energía antes y durante la erupción.			1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
Conductas de Pánico Evacuación masiva en los municipios a causa de la pérdida de condiciones de habitabilidad			1	1	1			1		1	1	1		1		1			1	1	11

Tabla 7. Matriz de análisis de afectación de escenarios por actividades dentro de la clasificación CIU.

Este análisis de información cruzada indicaría en una primera instancia que el escenario que afecta más actividades económicas es el Movimientos sísmicos a partir de la Liberación de energía antes y durante la erupción con un total de 15 actividades afectadas, así como la Obstrucción de Sistemas de acueducto, alcantarillado y de canales de cubiertas por caída de ceniza volcánica por transporte eólico con 14 actividades; de la misma manera las actividades con mayor afectación por escenarios acumulados son, en primer lugar Alojamiento y servicios de comida con 13 escenarios afectando y en segundo lugar la actividad constructiva con 10 escenarios de afectación. Todo esto se verá mayormente representado en los mapas dentro del objetivo 2.

Junto con los resultados obtenidos por procesamiento de información secundaria y como parte de la fase 2 del proyecto investigativo, fue necesario realizar un análisis de las características físico químicas de la ceniza que permitieran hacer un acercamiento a los datos previamente descritos. De esta manera se optó por tomar unas muestras de ceniza para realizar pruebas de laboratorio con el objetivo de describir las características fisicoquímicas básicas del material. Sin embargo, debido a que el volcán objetivo (Cerro Machín) no ha hecho erupción en los últimos años, no se tiene material que conserve las condiciones para proyectar los análisis. Con base en lo anterior se decidió usar material particulado que conserva fragmentos de ceniza, de uno de los volcanes más activos del eje cafetero: El Volcán Nevado del Ruiz. Con esto se permite proyectar los efectos generalizados sin entrar en especificaciones de tipos de ceniza.

Esta actividad fue realizada con los permisos de la Universidad y Parques nacionales naturales (Se adjuntan en otra carpeta los permisos y autorizaciones) el día 30 de mayo de 2021, donde se tenía como objetivo obtener $0,125 m^3$ de ceniza de alguna erupción reciente. Durante el recorrido se realizó un muestreo aleatorio simple con base en la interpretación de las geoformas del lugar, en las áreas de mayor influencia de los vientos. Se obtuvo finalmente el material de 2 puntos correspondientes a 2 erupciones diferentes. La muestra 1 correspondió al sector de lunares con coordenadas $4^{\circ} 54' 44.15''$, $-75^{\circ} 21' 15.32''$ de donde se obtuvo la mayor cantidad del material, aproximadamente 85 kg ($0.112 m^3$) Esta capa de ceniza tenía una gran cantidad de arena alrededor lo que indicaba el proceso de infiltración que el agua ya había hecho; tenía un espesor de 5 - 8 cm dependiendo del punto y

correspondía según lo indicado por los guías y el Servicio geológico Colombiano como resultado de alguna de las erupciones presentadas entre el mes de febrero y junio de 2020. Sus características al momento de la recolección eran: color blanco perlado/hueso, mucho material del tamaño de arena probablemente correspondiente al proceso de erosión eólica e hídrica que se gesta de manera natural en la zona.

La segunda muestra fue encontrada en el sector denominado Valle de las Tumbas, con coordenadas: $4^{\circ}54' 34.36''$, $-75^{\circ} 21' 11.06''$. En este sector, algunos de los guías habían indicado que hacía un par de días atrás se había presentado una liberación de material pequeño por lo que se tuvo que desplazar hasta una de las zonas de influencia del volcán por vientos sobre las rocas. En esta área se logró recolectar la ceniza en un mejor estado que la muestra 1, con características de color grisaseo oscuro, texturas mas del tipo talco y sin tanta presencia de arena. De este punto se lograron extraer aproximadamente 2 Kg.

Toda esta información se encuentra detallada en el “Informe de salida de campo para toma de la muestra de ceniza volcánica en el volcán Nevado del Ruiz, Villamaría, Caldas” el cual está en la carpeta adjunta al documento.

Continuando con el proceso de caracterización fisicoquímica básica de la ceniza. este material fue traído al laboratorio para ser analizado con pruebas de: masa, relación masa volumen, humedad, pH, conductividad eléctrica, concentración (partículas por millón) en diferentes cantidades de agua.

Una de las primeras pruebas realizadas fue la de tamizado, dado que según la metodología y los autores consultados la ceniza no podía tener un tamaño superior a los 2 milímetros (inferior a la tefra). Para esto fue necesario primero llevar el material al secado de un horno de circulación forzada para tratar de dejar el material en las condiciones iniciales. Una vez secado el material se decidió tomar una muestra de 14 Kg de la muestra 1 y los 1,7 Kg de la muestra 2 post-secado. Para la muestra 1 en el tamizaje le fue retirado 3,265 kg de arena, dejando 10,615kg de ceniza; cabe aclarar que durante el proceso de tamizado se tuvo una pérdida del 0,86% de la muestra, es decir de 120 gr debido a que el proceso de tamizado fue de carácter manual y por lo tanto cuando la muestra llegaba a su material particulado final tipo talco se volvía muy ligera lo cual produjo que las corrientes de aire la arrastraran fácilmente. Y para la muestra del punto 2 se obtuvo un 21% de arenas y tefra, un 78% de

ceniza y un 0,80% de pérdida por tamizado manual. Todo esto se encuentra documentado y analizado en el informe de laboratorio denominado “Descripción de características fisicoquímicas básicas de la muestra de ceniza volcánica, tomada del volcán Nevado del Ruiz” el cual se encuentra en la carpeta adjunta al documento.

El primer análisis realizado con el material seco y tamizado fue la relación de masa volumen compactado y sin compactar para generar una curva de peso. Para esto se usó 1 litro de ceniza compactado y sin compactar con el objetivo de identificar el valor de masa promedio para lograr finalmente una proyección de valores hasta llegar a $1m^3$. Los valores básicos se lograron como se muestra en la tabla 8.

PRUEBA A ESCALA DE CENIZA SECA			
Relación Volumen - Masa para 1 Litro (Beaker) de ceniza (Compactada y Sin compactar)			
Prueba	Valor Masa Sin Compactar (Kg)	Valor Masa Compactada (kg)	Diferencia (Kg)
1	0,792	1,0510	0,259
2	0,878	1,0776	0,200
3	0,835	1,0761	0,241
PROMEDIO	0,835	1,0682	0,233

Tabla 8. Relación de Volumen - Masa promedio.

Entonces se llegó al resultado de que 1 mm de ceniza seca en un metro cuadrado, tiene una masa en promedio sin compactar equivalente a 0,834 Kg, al igual que compactada se obtuvo una masa de 1,068 Kg, es decir, la masa de 1 mm de ceniza sobre 1 m² de cubierta puede pesar entre 0,834 kg a 1,068 kg. A partir de estos valores se construyó una tabla de valores donde se hace un aumento de 10 mm en 10 hasta llegar a los 1000 mm lo que equivale a 1 metro cúbico de ceniza, con su respectiva gráfica (gradiente) como se observa en la figura 8.

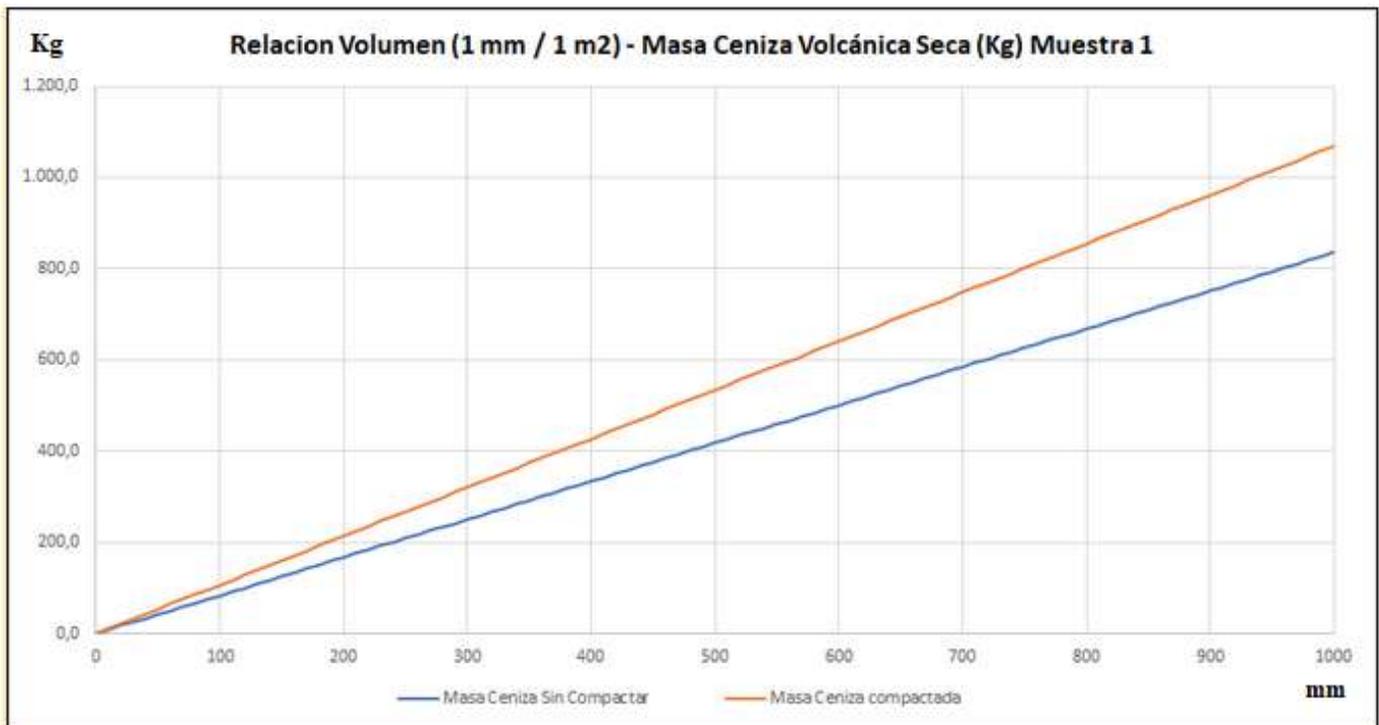


Figura 10. Relación Volumen - Masa a partir de los promedio obtenidos desde 1 mm pluviométrico (equivalente a 1 Litro) hasta los 1000 mm.

Esto indicó que el efecto de la ceniza acumulada por $1m^3$ de ceniza sin compactar es de 834,9 Kg aproximadamente y compactada de 1.068,20 Kg. Es importante recordar que para el departamento del Quindío según el SGC (INGEOMINAS. 2000) se tiene una capa de ceniza proyectada de 40 centímetros (400 milímetros) por metro cuadrado. por esta razón estos estudios de características básicas fueron necesarios.

A continuación en la tabla se describe la masa que gana el material cuando se le agrega agua. El objetivo es poder alcanzar los 3 litros, agregados como si fuesen 3 mm de precipitación (simulación). La adición de agua será medida por un matraz con aforo de 250 ml.

Relación masa seca - masa húmeda para generar gradiente de peso. Valor base 5L de ceniza = 4,058 Kg		
Cantidad de agua agregada (ml)	Masa obtenida (Kg) + Valor base 5L de ceniza = 4,058 Kg	Valor en Newtons (N) = Kg * Valor gravedad: 9,81 kg * m / s ²
0	4,058	39,81
250	4,2584	41,77
500	4,5584	44,72
750	4,7584	46,68
1000	5,0584	49,62
1250	5,2584	51,58
1500	5,5084	54,04
1750	5,7584	56,49
2000	6,0584	59,43
2250	6,1584	60,41
2500	6,4584	63,36
2750	6,6584	65,32
3000	6,8584	67,28

Tabla 9. Relación gradiente: Masa seca - Masa húmeda aumentando cada 250 ml de agua

A partir de los 2000 ml la solución toma un carácter acuoso, tratando de expulsar el líquido almacenado en el fondo de la solución. Este cambio se puede observar en la gráfica entre los 1750 y 2500 ml de agua como se muestra en la figura 11.

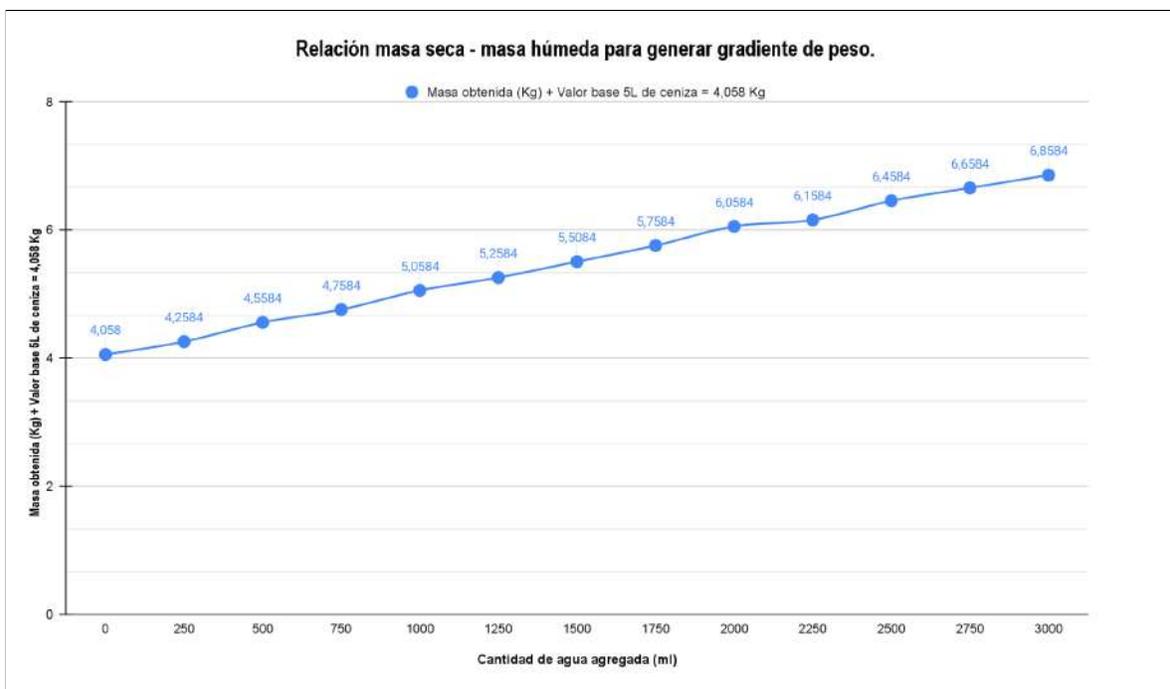


Figura 11. Relación masa seca - masa húmeda.

De esta manera se logra percibir el cambio dado que la mezcla comienza a aumentar la masa de manera gradual a partir de lo que se le va agregando en agua, pero a los 2000 ml sucede que la masa alcanza, como ya se mencionó, su punto máximo de absorción, donde la mezcla no se solidifica más sino que comienza un proceso de separación (sedimentación) del agua. Esto se puede ver más detalladamente con el gráfico 8.

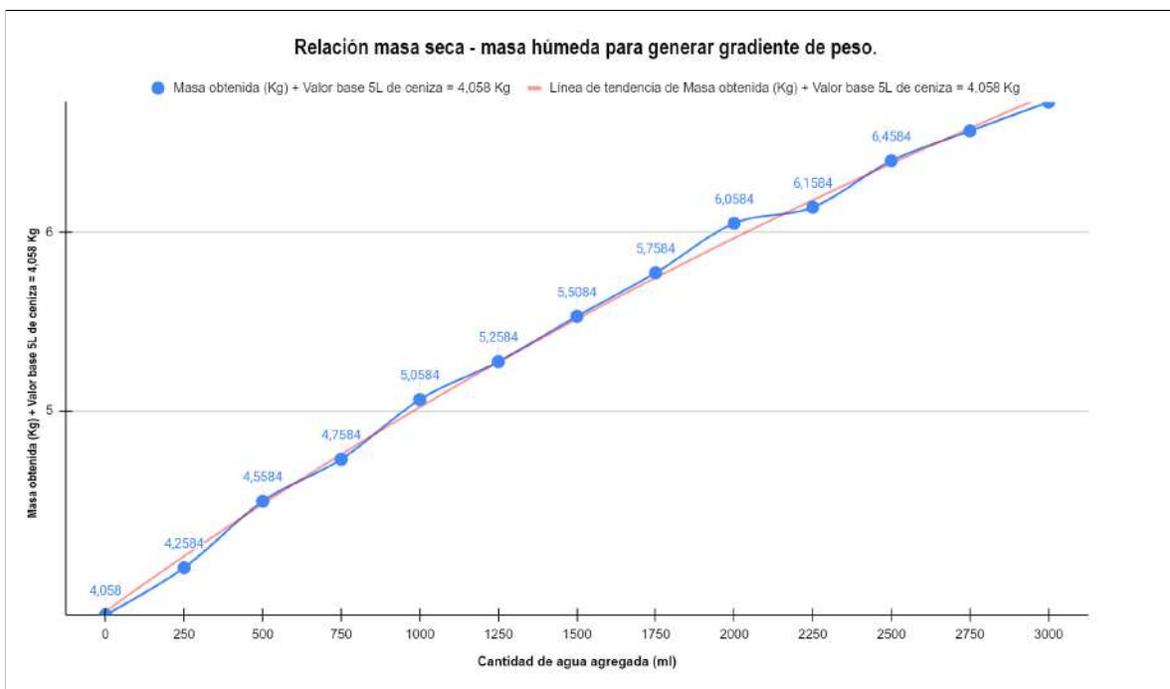


Figura 12.. Curva de Lámina de ceniza para relacionar masa seca vs masa húmeda con línea de tendencia.

El cambio de la tendencia se observa en la adición de 1750 ml y se estabiliza nuevamente a los 2500 ml.

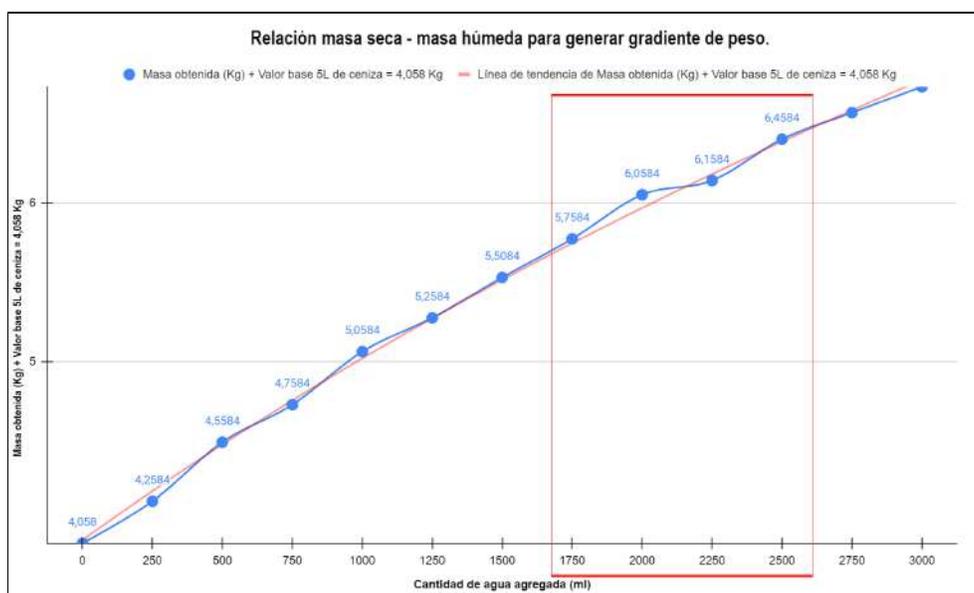


Figura 13. Curva de Lámina de ceniza para relacionar masa seca vs masa húmeda con línea de tendencia con detalle en los 1750 ml y los 2500 ml de agua.

Esto implica que la ceniza alcanza su punto de humedad máxima con el 35% de su peso en agua, dado que a partir de este valor se logra observar la separación de la ceniza y el agua.

El valor de los 2000 ml de agua es de 6,06 Kg como se observa en el gráfico 8, esto implica que es necesario a partir de la tabla 5 un valor de milímetros de 5,66 milímetros de ceniza compactada o 7,30 milímetros de ceniza sin compactar.

La prueba se repitió en una menor proporción (1 Litro) la cual dio como resultado la identificación de la misma humedad máxima, donde aparece la lámina de agua, a partir de los 400 ml acumulados.

El valor original para 1 litro de ceniza fue de 0,834 Kg y agregados los 400 ml de agua, el valor fue de 1,2064 kg. Esto fue llevado al horno a 80 °C durante 12 horas, y se hizo la estimación de la masa después de este tiempo, dando como resultado 0,825 Kg, dando como resultado final una humedad final del 46,23%.

Continuando con las pruebas, se realizaron algunas de pH, conductividad eléctrica y concentración o sólidos disueltos del agua con la ceniza con 100 mililitros de agua destilada y ceniza (sin compactar) en concentraciones de 5, 10, 20, 30, 40, y 50 ml para luego ser modelados en espacios de 1 metro cúbico.

Los resultados para la muestra del punto 1 indicaron lo siguiente.

Prueba de pH, conductividad eléctrica y partículas por millón con muestras correspondientes al sector 1.								
Agua Destilada (ml)	Ceniza Sin Compactar (ml)	Temp (°C)	Ph Ceniza		Conductividad Eléctrica (µS)		PPM	
			Mezclada	Sedimentada	Mezclada	Sedimentada	Mezclada	Sedimentada
100	5	24.8	7,16	6,5	83	127	41	63
100	10	26	7,42	4.8	60	79	31	54
100	20	25,9	8,99	4,82	82	515	43	139
100	30	25,7	4,78	7,56	47	119	24	74
100	40	25,5	5,02	7,27	51	82	27	62
100	50	25.1	3.73	5,70	75	165	38	83

Tabla 10. Prueba de pH, conductividad eléctrica y partículas por millón con muestras correspondientes al sector 1.

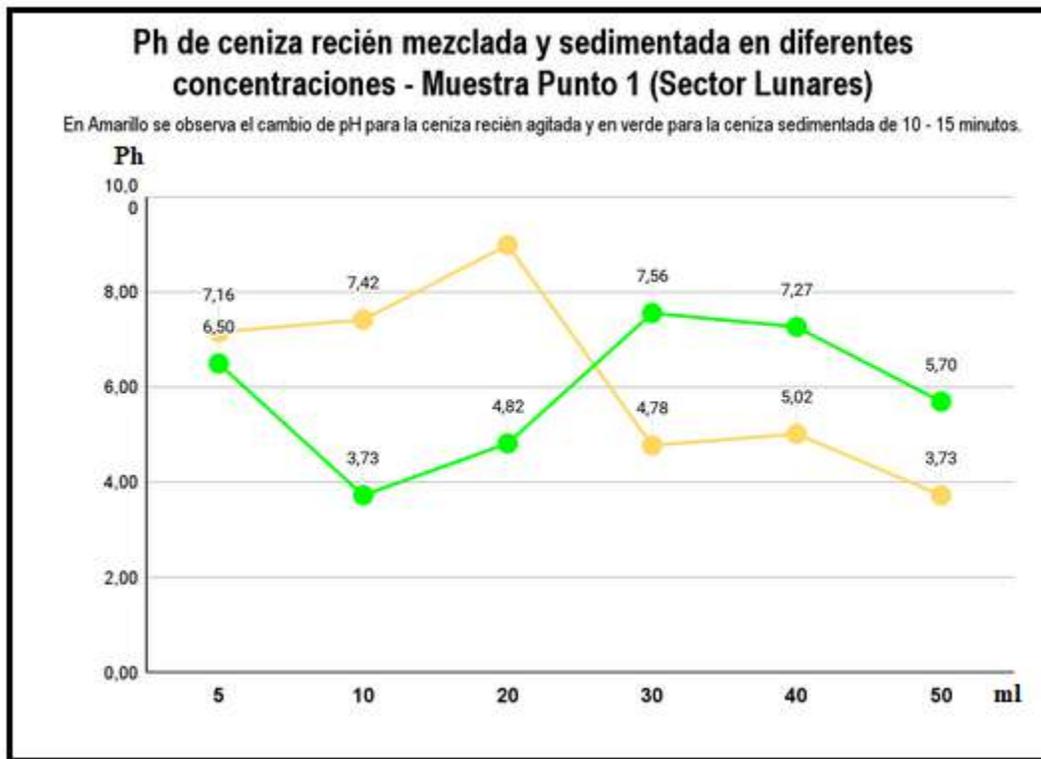


Figura 14. Ph de ceniza recién mezclada y sedimentada en diferentes concentraciones - Muestra Punto 1 (Sector Lunares).
En Amarillo se observa el cambio de pH para la ceniza recién agitada y en verde para la ceniza sedimentada de 10 - 15 minutos. Fuente: Autores.

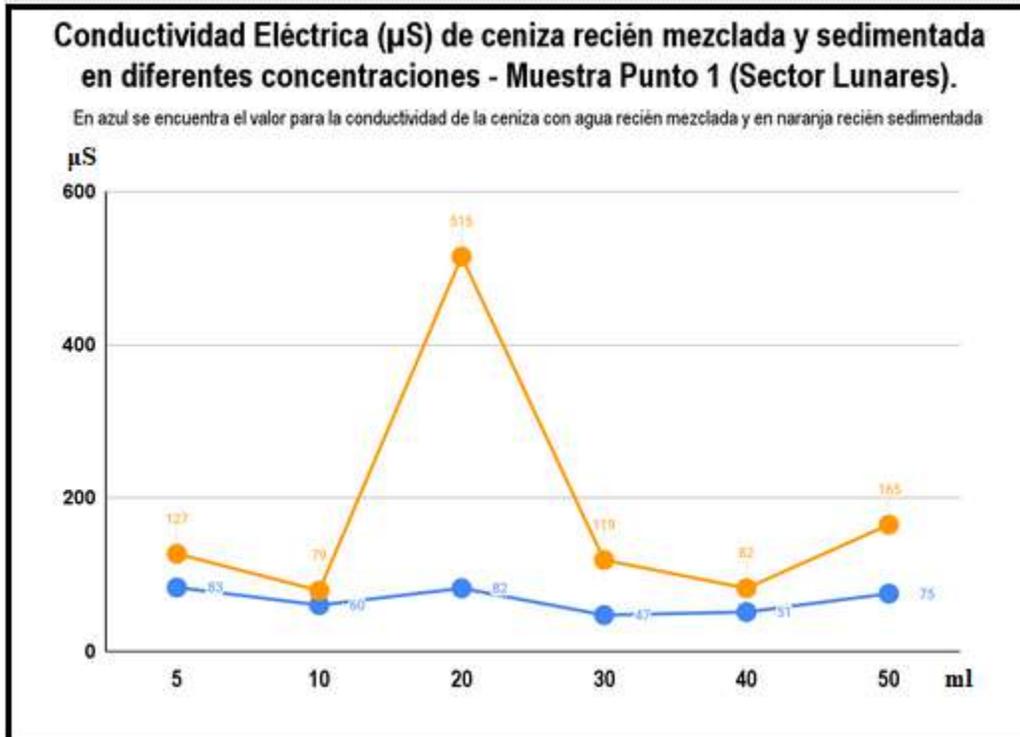


Figura 15. Variación de conductividad eléctrica de ceniza recién mezclada y sedimentada en diferentes concentraciones - Muestra Punto 1 (Sector Lunares). Fuente : Autores

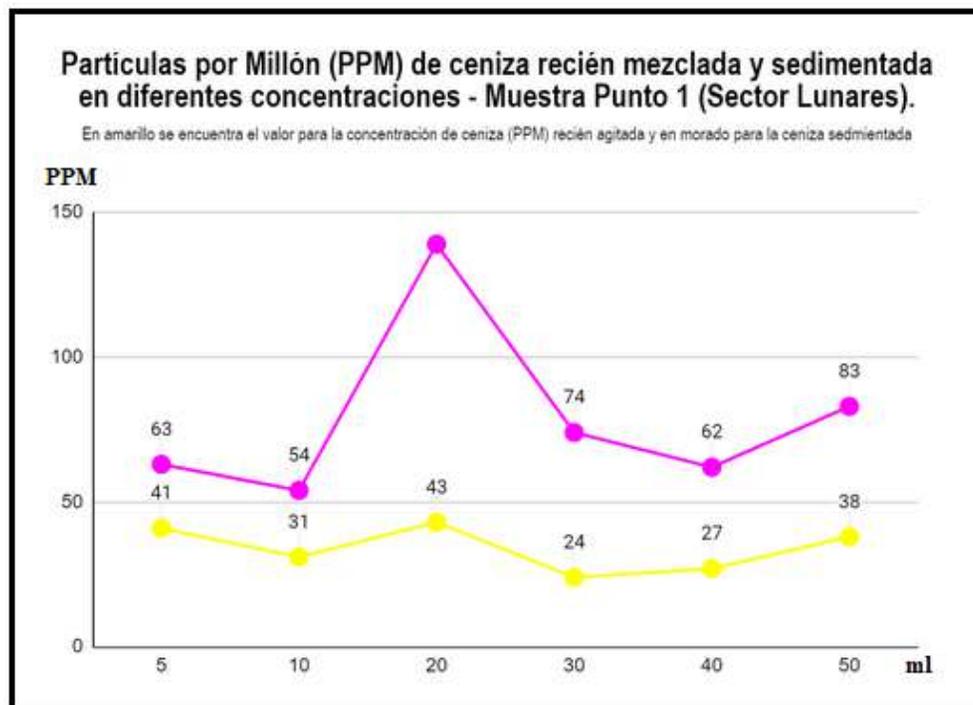


Figura 16. Variación de concentración (PPM) de ceniza recién mezclada y sedimentada en diferentes concentraciones - Muestra Punto 1 (Sector Lunares). Fuente: Autores.

Estas pruebas arrojaron resultados con variaciones muy altas, probablemente debido al nivel de exposición a la intemperie a la cual fueron sometidas, recuérdese que esta muestra corresponde a una erupción de entre Febrero y Junio de 2020 por lo que las condiciones meteorológicas habrán hecho su efecto en ellas; sin embargo son un buen derrotero para analizar la información.

Ahora bien, se repitió el ejercicio con la muestra del punto 2 (Valle de las tumbas) el cual si había sido de un evento de los últimos días (28 de mayo de 2021) y los resultados no solo contestaron a la incógnita de la variación de resultados previamente citada, sino que también indicó los efectos que puede tener la ceniza sobre el agua, como se muestra a continuación.

Prueba de pH, conductividad eléctrica y partículas por millón con muestras correspondientes al sector 2.								
Agua Destilada (ml)	Ceniza Sin Compactar (ml)	Temp (°C)	Ph Ceniza		Conductividad Eléctrica (µS)		PPM	
			Mezclada	Sedimentada	Mezclada	Sedimentada	Mezclada	Sedimentada
100	5	25	6,68	6,77	72	184	36	94
100	10	25,1	6,07	6,25	110	181	54	87
100	20	24,7	5,42	6,49	116	224	60	108
100	30	24,8	3,36	6,3	150	293	69	147
100	40	24,7	2,98	5,16	125	161	64	78
100	50	24,8	2,87	5,94	161	262	80	131

Tabla 11. Prueba de pH, conductividad eléctrica y partículas por millón con muestras correspondientes al sector 1.

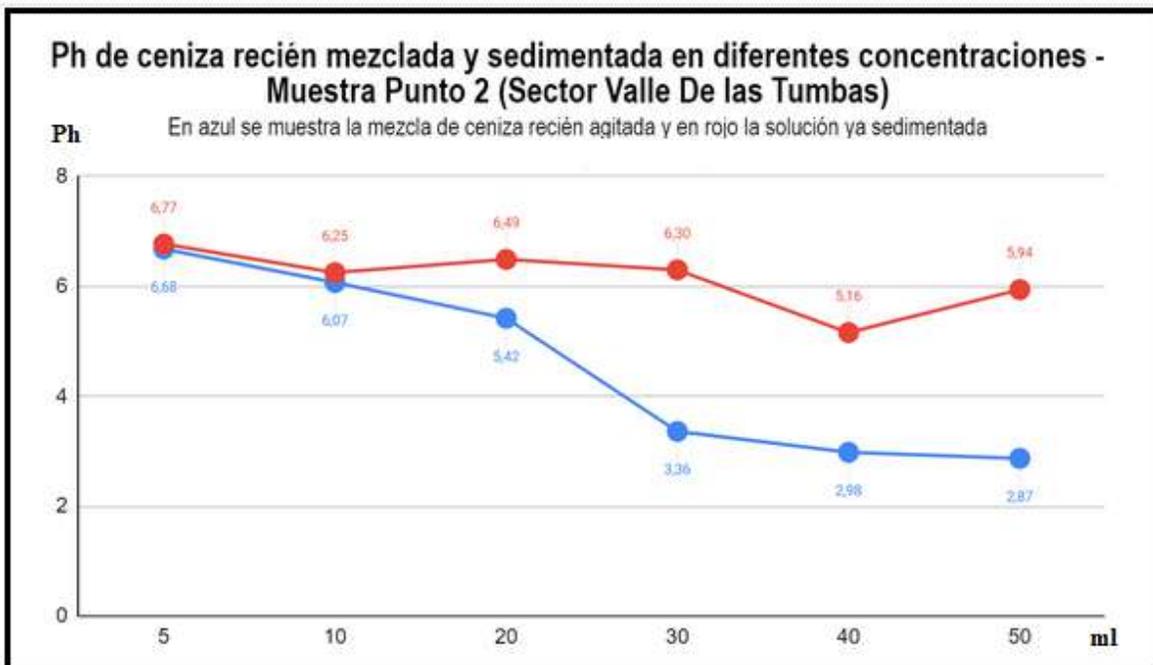


Figura 17. Gráfico Variación de conductividad eléctrica de ceniza recién mezclada y sedimentada en diferentes concentraciones - Muestra Punto 2 (Sector Valle de las Tumbas). Fuente : Autores

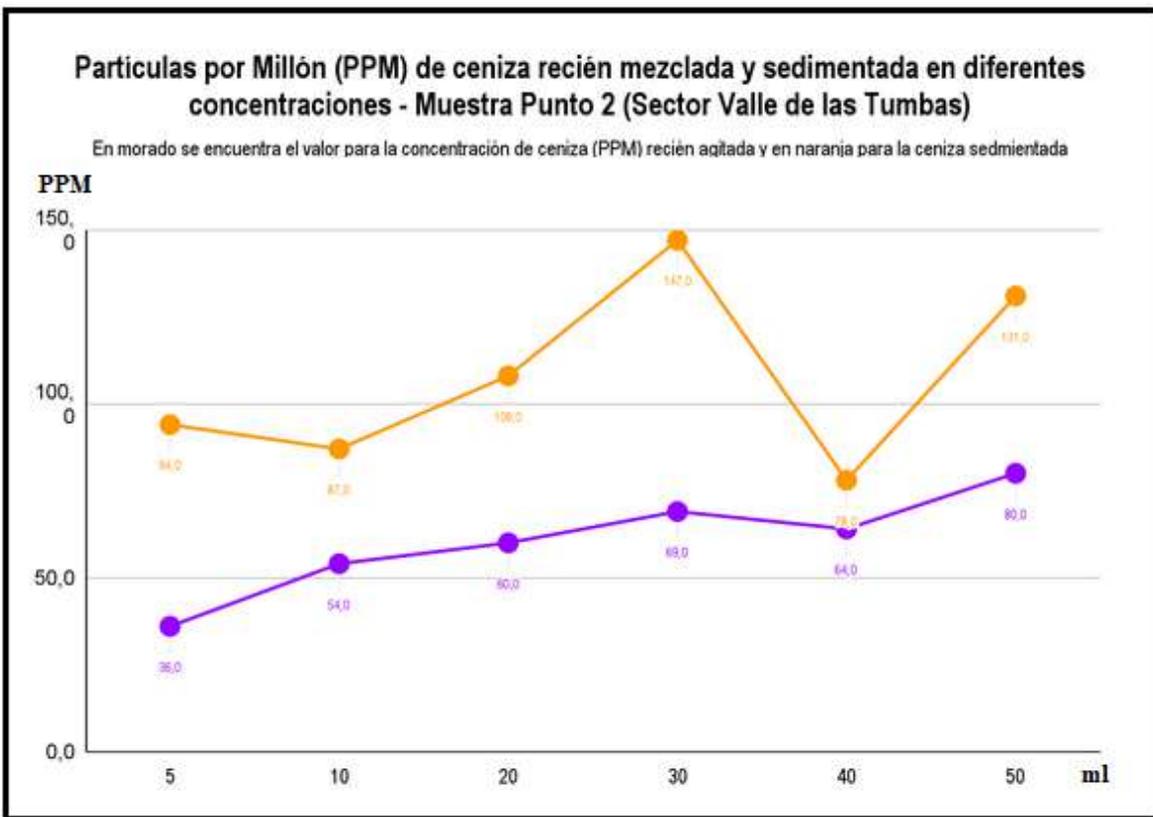


Figura 18. Gráfico Variación de concentración (PPM) de ceniza recién mezclada y sedimentada en diferentes concentraciones - Muestra Punto 2 (Sector Valle de las Tumbas). Fuente: Autores.

Todas las pruebas en mención se tomaron en 2 instancias. La primera se tomó solamente agregando el agua y utilizando el agitador para mezclar la solución y el solvente, con lo cual el pH para la muestra de ceniza mas fresca llegó a tocar puntos de 2.78 y posterior a la agitación, se decidió esperar un momento para revisar los análisis de la muestra pero sedimentada, la cual también alcanzó su punto más bajo en 5.16. De la misma manera las pruebas de conductividad eléctrica en las cantidades utilizadas no superaron los 500 μ S (microsiemens) y la precipitación del material agregado era bastante acelerada, pudiendo observar el proceso de sedimentación completo alrededor de los 20 minutos; se observó para el material de concentración (PPM) que en las diferentes concentraciones el material junto con el agua no superó los 147 PPM y su punto más alto fue de 30 ml de ceniza por 100 ml de agua, por lo que se interpreta como si en este punto fue donde mayor concentración de partículas hubiera logrado compenetrar con el agua.

Con los resultados anteriores se busca hacer un acercamiento de lo que potencialmente se podría generar en caso de caída de ceniza sobre el recurso agua y sus diferentes usos, proyectándose sobre las concentraciones expresadas por 1 centímetro cuadrado.

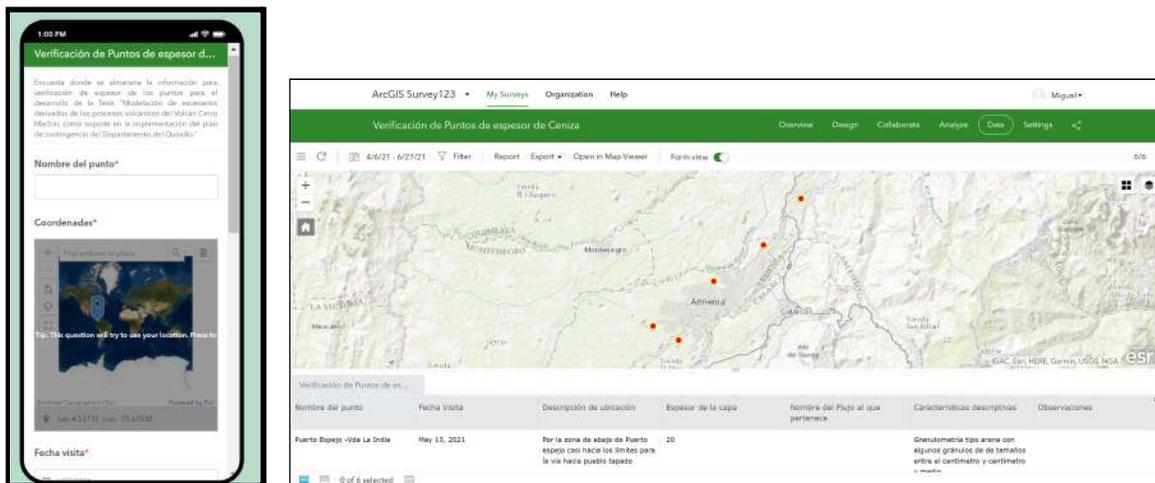
Los resultados y las conclusiones de estas pruebas están sujetas a análisis dentro del informe de laboratorio previamente citado.

También como parte del desarrollo del objetivo 1, y dentro de la fase 2 del proyecto investigativo, se tenía la necesidad de realizar una serie de visitas a puntos para verificación de espesor del tamaño de las ceniza acumuladas del último proceso eruptivo, con base en el mapa del INGEOMINAS. En cada punto se buscó un talud no perteneciente a un proceso coluvial, una vez identificado se procede con a ayuda de un palín a limpiar la capa superficial del borde del talud con el objetivo de identificar las capas del suelo diferenciando los horizontes y en búsqueda de la capa que sea correspondiente o cercana a la descripción de los flujos de Rueda (2005).



Figuras 19-21. Proceso de verificación de información sobre el espesor de la ceniza en campo.

Esto fue almacenado a través del aplicativo Survey 123 de ArcGIS, en la cuenta de uno de los autores, desde donde se pudo apreciar la información de la siguiente manera.



Figuras 22-23. Uso del aplicativo Survey 123 para levantamiento y almacenamiento de la información de la verificación de espesor de las capas en campo. Fuente: Autores.

A través de este aplicativo se almacenó la información geográfica y descriptiva - observacional del punto analizado. Los puntos visitados se describen a continuación, con base en el anexo 2:



Tabla de puntos de visitados para verificación de espesor de ceniza.

Ubicación Relativa	Latitud (°)	Longitud (°)	Espesor Capa (CM)	Descripción de la cenizas encontrada	Links de fotografías
Vereda el Mesón - Vía Circasia Montenegro (veredal) - Detrás del Parque de los Sueños	4,54492	-75,684155	8	Granulometría media, color negros y grisaseos, se observan diferencias de minerales. 1.6 metros hacia abajo desde la corona del talud. Se identificaron rocas ígneas con trazos de hierro.	https://services3.arcgis.com/m72zwaq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd346777c4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/1/attachments/1?token=k88cMzdZjJBNSXPUeHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4vATbqgkC-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sq0kKSnRC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMgizLy5V5F6LdE https://services3.arcgis.com/m72zwaq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd346777c4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/2/attachments/2?token=k88cMzdZjJBNSXPUeHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4vATbqgkC-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sq0kKSnRC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMgizLy5V5F6LdE
Vía Armenia - La Tebaida / Hacienda La Bretaña	4,50952	-75,70535	35	Color grisáceo medio - marrón con la lupa se observan trazos de minerales ferrosos, algunos cristales blancos y transparentes y manchas de oxidación. Granulometría fina a muy fina	https://services3.arcgis.com/m72zwaq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd346777c4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/3/attachments/3?token=k88cMzdZjJBNSXPUeHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4vATbqgkC-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sq0kKSnRC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMgizLy5V5F6LdE
Borde carretera condominio Los Ocobos	4,566783	-75,654423	35	Color amarillo-grisáceo, presencia de metales. Granulometría material de 4 mm hacia abajo tamaño arena. Presencia de rocas rojizas y amarillas	https://services3.arcgis.com/m72zwaq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd346777c4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/4/attachments/4?token=k88cMzdZjJBNSXPUeHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4vATbqgkC-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sq0kKSnRC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMgizLy5V5F6LdE
Vereda San Juan de Carolina - Vía terciaria	4,594483	-75,631668	38	Flujo Altamente, meteorizado, se observan fragmentos de cuarzo, presencia de metales	https://services3.arcgis.com/m72zwaq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd346777c4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/5/attachments/5?token=k88cMzdZjJBNSXPUeHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4vATbqgkC-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sq0kKSnRC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMgizLy5V5F6LdE
Vereda La India	4,517969	-75,720827	22	Granulometría tipo arena con algunos gránulos de de tamaños entre el centímetro y centímetro y medio. , porque ya no lo rompe color amarillo marrón pero cuando se frota en los dedos y se le quita el color marrón quedan de tamaños de arena gruesa	https://services3.arcgis.com/m72zwaq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd346777c4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/6/attachments/6?token=k88cMzdZjJBNSXPUeHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4vATbqgkC-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sq0kKSnRC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMgizLy5V5F6LdE https://services3.arcgis.com/m72zwaq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd346777c4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/6/attachments/7?token=k88cMzdZjJBNSXPUeHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4vATbqgkC-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sq0kKSnRC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMgizLy5V5F6LdE https://services3.arcgis.com/m72zwaq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd346777c4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/6/attachments/8?token=k88cMzdZjJBNSXPUeHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4vATbqgkC-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sq0kKSnRC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMgizLy5V5F6LdE

					<p>dE.</p> <p>https://services3.arcgis.com/m72zwcq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd34677c4d4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/6/attachments/9?token=k88cMzdZJJBSNsXPuEHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4yATbaqlkc-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sa0kKSnrC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMqizLy5V5F6LdE</p> <p>dE.</p> <p>https://services3.arcgis.com/m72zwcq22UUPzLad/arcgis/rest/services/survey123_b1bbd34677c4d4d8d8bf24b78fa76e7de/FeatureServer/0/6/attachments/10?token=k88cMzdZJJBSNsXPuEHZQ4OW_w_Cj6z3iOE2JSd1vHK3ic-RydQ8TBBEqLEGull6Ng558C2T8NY5Fa-nJZZHJB7AnBTrcmDU6Kn339xrTCANiDh8SvIxfAqA08cBxqv7X4yATbaqlkc-2wVKRGKJ3LBMNNGEuEgORZ6IYNn-XCtJKZ8sa0kKSnrC_han5DDH-wiuFCwDKJFRXNfG_zGpUTktiPPCrMqizLy5V5F6LdE</p> <p>LdE.</p>
--	--	--	--	--	---

Tabla 12. Tabla de puntos visitados para verificación de espesor de ceniza en campo. Fuente: autores.

Esta información se cruzó con la capa de isopacas proyectadas para el departamento del Quindío a partir del mapa del INGEOMINAS (2002) con el siguiente resultado.

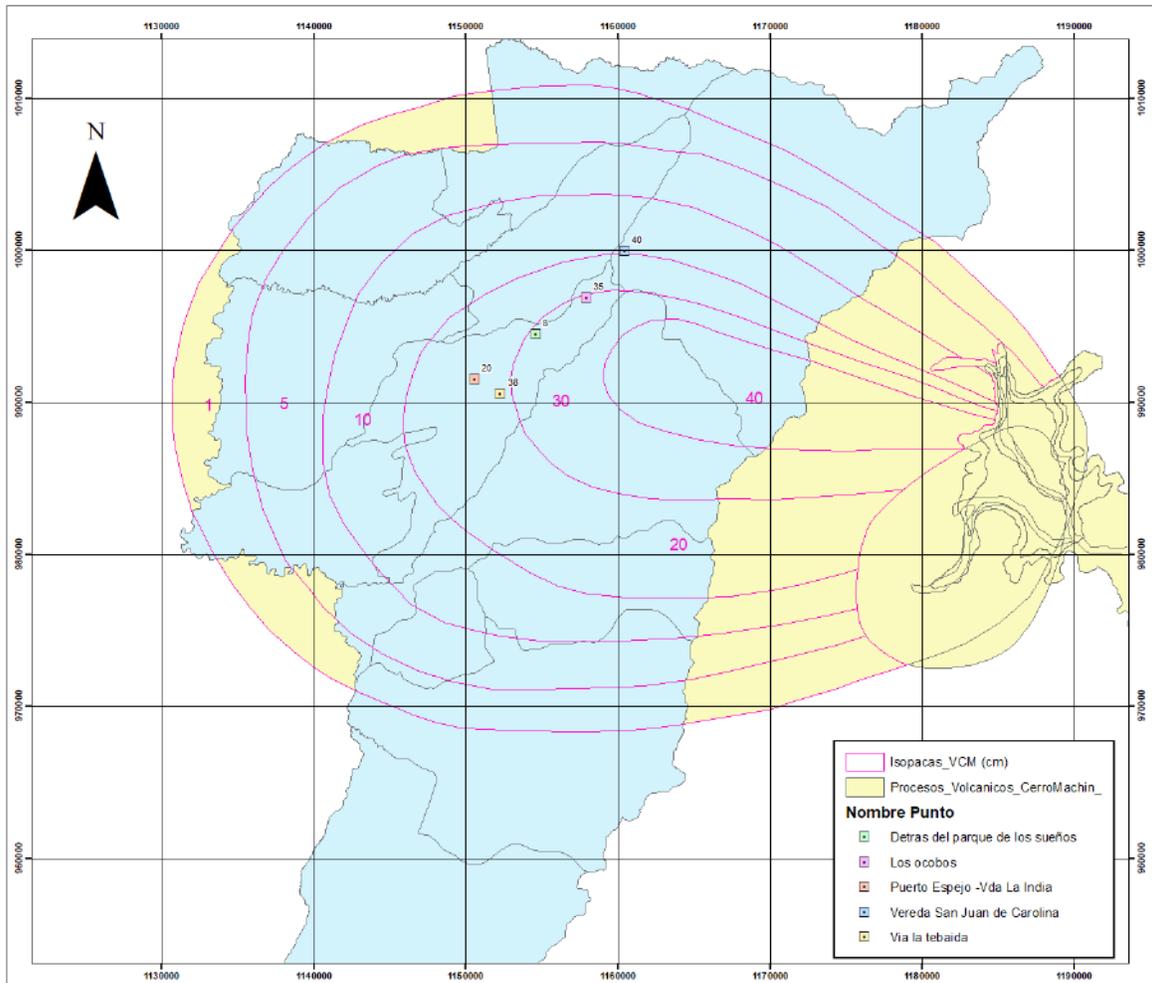


Figura 24. Mapa de Puntos verificados de espesor de ceniza en campo cruzado con la capa del proceso volcánico del VCM y los valores proyectados de flujo piroclástico para el departamento.

Esta actividad permitió corroborar que los valores encontrados en campo como se muestra en la tabla 11 se aproximan o se encuentran dentro de los rangos correspondientes a los valores establecidos en el mapa del INGEOMINAS (2002). Vale la pena resaltar que durante las visitas de campo si bien se identificó el material volcanoclástico en cada uno de los horizontes con base en la clasificación granulométrica del Servicio Geológico Mexicano (2020), como se muestra en la figura 23 la mayoría de este material corresponde como mínimo a procesos de hace 900 años (+/-) aproximadamente, por lo que ha perdido las características físicoquímicas que durante la erupción había obtenido; el material presenta coloraciones como cafés y colores rojizos representativos de los procesos de meteorización en las rocas.



Figura 25 (Izq) y 26 (Der). Material perteneciente a un flujo piroclástico con verificación de tamaño granulométrico inferior a 2 milímetros (SGM. 2020) - Der: Material meteorizado y mezclado con material orgánico y de arcillas debido a la infiltración de las lluvias.

Objetivo 2: Representación de los escenarios de riesgo identificados a partir del uso de herramientas SIG.

A partir de las tablas presentadas (6 y 7) en el objetivo 1, identificando el elemento y/o actividad expuesta en cada uno de los escenarios se realizó la identificación de los suministros geográficos digitales (Archivos) con los cuales se busca realizar una representación sobre cuales se encuentran en riesgo con base en la proyección del evento eruptivo. Para esto fue necesario consolidar una matriz con la identificación de cada elemento expuesto en cada escenario para finalmente consolidar en una base de datos geográfica (GDB: Geodatabase) y finalmente realizar una serie de geoprocursos con software para sistemas de información geográfica que permitan representar estos escenarios, como se muestra en la tabla 13.

Matriz de consolidación de insumos por escenario	
Escenario	Capas necesarias para Geoprocursos
Incendios de cobertura vegetal e incendios de Interfaz en la zona rural por las temperaturas de la caída de los piroclastos	<ul style="list-style-type: none"> - Amenaza por incendios (POMCA, 2018) - Construcciones (POMCA, 2018) - Usos y Coberturas de suelo (POMCA, 2018) - isopacas (SGC, 2000)
Obstrucción de Sistemas de acueducto, alcantarillado y de canales de cubiertas por caída de ceniza volcánica por transporte eólico	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de acueducto y alcantarillado del departamento (EPA - EPQ - Independiente caso Barcelona) - isopacas (SGC, 2000) - Drenajes sencillos y dobles - Para revisar bocatomas (POMCA, 2018)
Afectaciones al sistema de producción agrícola y pecuario por Caída de Ceniza	<ul style="list-style-type: none"> - isopacas (SGC, 2000) - Usos y coberturas de suelo (POMCA, 2018) - Clase Suelos Agrológicos (IGAC - POMCA)
Daños por Corrosión a elementos metálicos de cubiertas y estructuras	<ul style="list-style-type: none"> - isopacas (SGC, 2000) - Infraestructura vital (Según Inventario de elementos expuestos por grupos. SGC. 2020) - Edificaciones Esenciales (Según Inventario de elementos expuestos por grupos. SGC. 2020)
Afectaciones al sistema respiratorio y óptico por contacto o inhalación de ceniza Volcánica	<ul style="list-style-type: none"> - isopacas (SGC, 2000) - Cruzar capa municipal con número de habitantes, preferiblemente si tenemos el dato por veredas o por barrios
Contaminación natural de fuentes hídricas superficiales por ceniza volcánica alterando el pH y concentración de sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> - isopacas (SGC, 2000) - Drenajes Sencillos y dobles (POMCA, 2018)
Daños en los ecosistemas por efecto de la lluvia	<ul style="list-style-type: none"> - isopacas (SGC, 2000)

ácida	- Usos y Coberturas del suelo (POMCA , 2018) - Mapa Ecosistemas IDEAM Escala 1:100.000
Cambios en las condiciones y características edáficas y agrológicas	- isopacas (SGC, 2000) - Clasificación agrológica de suelos (POMCA - IGAC)
Afectación al transporte en general por Smog volcánico y efecto de escudo solar en adición a las afectaciones de motores	- isopacas (SGC, 2000) - Vías con clasificación - Rutas aéreas - Terminales de transporte terrestre - Terminales de transporte aérea
Afectación a los sistemas de comunicación por las nubes de ceniza volcánica	- isopacas (SGC, 2000) - Redes telefónicas - Ubicación de antenas
Movimientos de remoción en Masa producidos por movimientos sísmicos con afectaciones al sistema vial e infraestructura de viviendas	- isopacas (SGC, 2000) - Amenaza por movimientos de remoción en masa (POMCA, 2018) - Fallas geológicas (POMCA, 2018) - Vías (DANE) - Catastro Construcciones (IGAC) - Unidad Geológica de Suelos (POMCA, 2018)
Conductas de Pánico Evacuación masiva en los municipios a causa de la pérdida de condiciones de habitabilidad	- isopacas (SGC, 2000) - Cruzar capa municipal con número de habitantes, preferiblemente si tenemos el dato por veredas o por barrios - Hospitales e infraestructura vital

Tabla 13. Matriz de consolidación de insumos por escenario

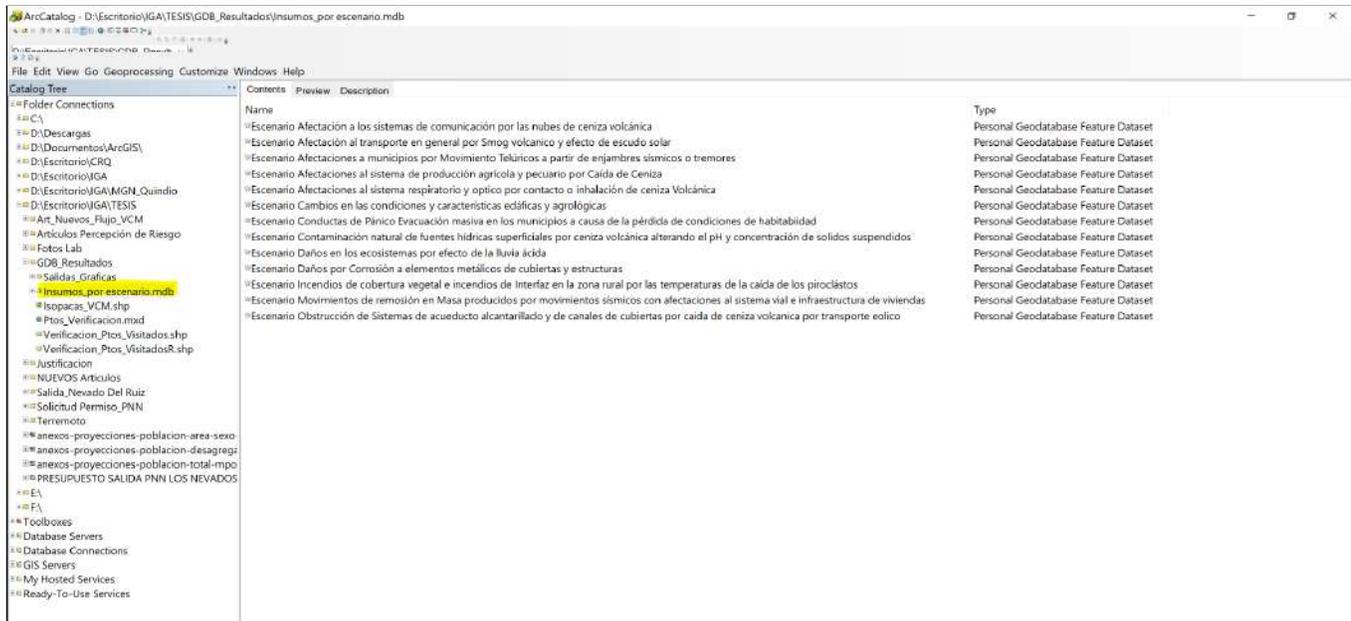


Figura 27. Organización de la base de datos geográfica (GDB) donde se almacenó la información (capas insumos) por escenario para geoprocesos.

En cada uno de los dataset o conjunto de datos se encuentran almacenados las capas previamente indicadas para cada uno de los escenarios de manera que se tenga en cuenta la amenaza y el elemento expuesto asociado al proceso.

Escenario 1: Incendios de cobertura vegetal e incendios de Interfaz en la zona rural por las temperaturas de la caída de los piroclastos.

Según lo indicado por González (2006) lo registrado en incendios forestales y de interfaz por temperaturas de los piroclastos en erupciones volcánicas alcanzado es en un radio de 10 kilómetros, sin embargo se han encontrado vestigios de material quemado fosilizado en radios de 12 kilómetros. Con base en esto se utilizó la capa de amenaza por incendio del POMCA (2018) con base en la metodología del IDEAM (2011) para la zonificación de amenaza por incendios con la cual se logró la clasificación de tipo de combustible por tipo de cobertura. Así mismo se verificó el número de elementos expuestos en las construcciones presentes en la zona de la capa del POMCA, priorizando aquellos contiguos a los tipos de cobertura vegetal que representaban mayor combustible (amenaza alta) con lo cual se logró la consecución del Mapa de riesgo para construcciones y tejido urbano discontinuo por incendio forestal / interfaz por escenario eruptivo del VCM (Resultado 1.1)

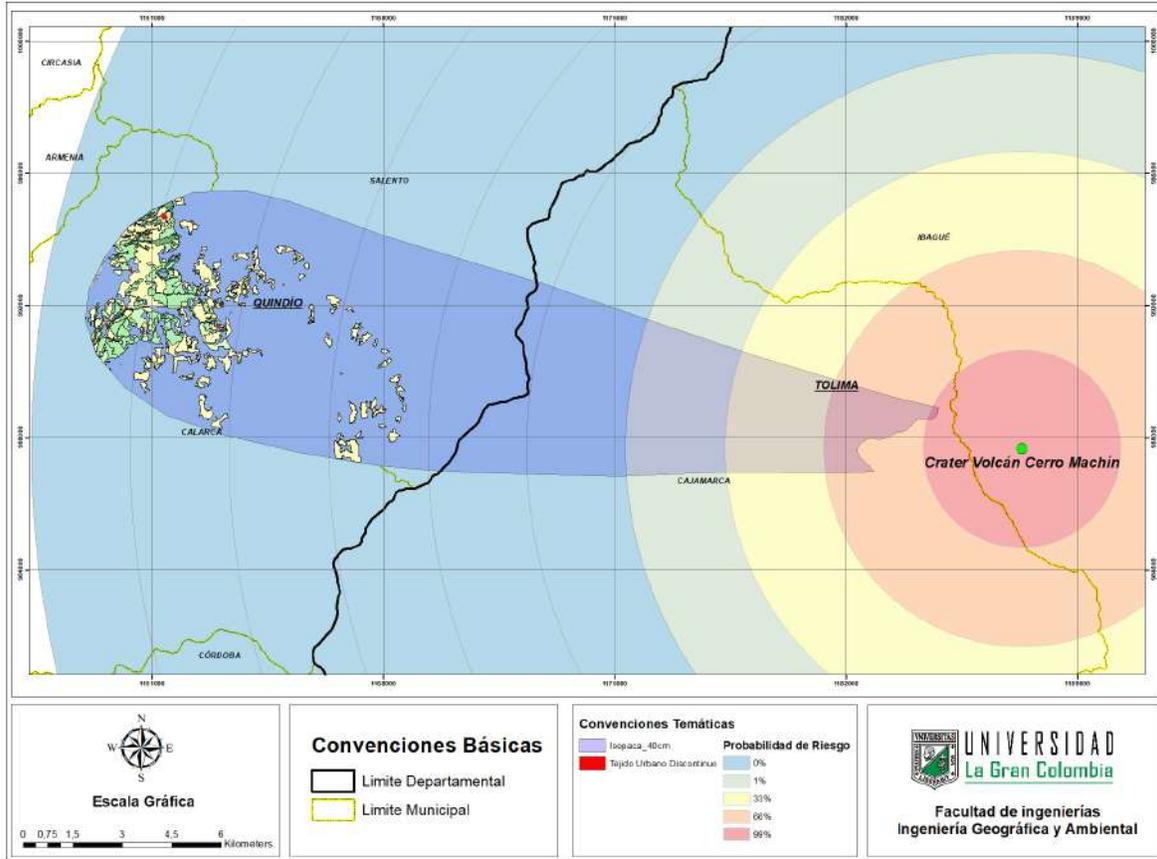


Figura 28. Mapa de riesgo para construcciones y tejido urbano discontinuo por incendio forestal / interfaz por escenario eruptivo del VCM (Resultado 2.1. Fuente: Autores) - Anexo: Mapa 1.

En este mapa se logró también relacionar la distancia con respecto al cráter del volcán, puesto que si bien hay una amenaza alta por incendio de cobertura vegetal y de interfaz el riesgo es del 1% o inclusive nulo a causa de la distancia que existe entre el cráter y los elementos expuestos. Finalmente se logra identificar 34 polígonos de tejidos en riesgo del 1% o menos por incendio forestal o de interfaz.

Escenario 2: Afectaciones al sistema de producción agrícola y pecuario por Caída de Ceniza.

González (2006) menciona acerca de este escenario que el territorio afectado directamente por la deposición del material emitido en una erupción volcánica se encuentra sujeto a sufrir cambios que repercuten en el proceso de regeneración de la vegetación afectada. En el suelo se llevan a cabo unas transformaciones drásticas y duraderas. De hecho el suelo existente antes de la erupción es recubierto por el nuevo material, en ocasiones con

potencias de decenas de metros. Este material queda sometido a los procesos de meteorización, que será más o menos activa en función de las condiciones climáticas, topográficas y de la naturaleza de los depósitos, pero que posiblemente tarde varios siglos en lograr el desarrollo de las condiciones edáficas que permitan la colonización de esos depósitos por nuevas especies vegetales u otras similares a las que allí existían antes de que la erupción tuviera lugar. Las especies agrícolas son también gravemente perjudicadas por las erupciones. Sobre esto Dörner, Pinochet y Segovia indican que cuando la cantidad de ceniza depositada es muy grande, puede generar dificultades dado que se demora muchos años en intemperizarse, lo que implica una serie de procesos como la remoción, que pueden ser a través de lahares secundarios por precipitación, hay muchos elementos que se pueden mezclar, pero lo que sí es cierto es que la recuperación del suelo para uso agrícola tomará un tiempo.

A partir de esto entre otros efectos mencionados dentro del resultado 1, se obtuvo el mapa de Mapa de riesgo del sistema de producción agrícola y pecuario por caída de ceniza en el escenario eruptivo del VCM (Resultado 2.2), en el cual se cruzan la capa de isopacas con las coberturas de uso de suelo del POMCA (2018) Número 2 en la cual se logra identificar 4 categorías del sector agroproductivo los cuales son: Cultivos transitorios, Cultivos Permanentes, Pastos y Áreas Agrícolas heterogéneas; esto a través de la metodología Core In Land Cover. A partir de los geoprocesos fue posible estimar el área agroproductiva afectada por el evento.

Cuando se realiza el cálculo del área total del departamento del Quindío a partir del sistema de proyección de coordenadas Magna Colombia OESTE, se determina un total de 193.096,24 Hectáreas y según lo encontrado en el POMCA (2018) en el análisis de coberturas se identificó que 116.166 corresponden a coberturas disponibles para producción agropecuaria.

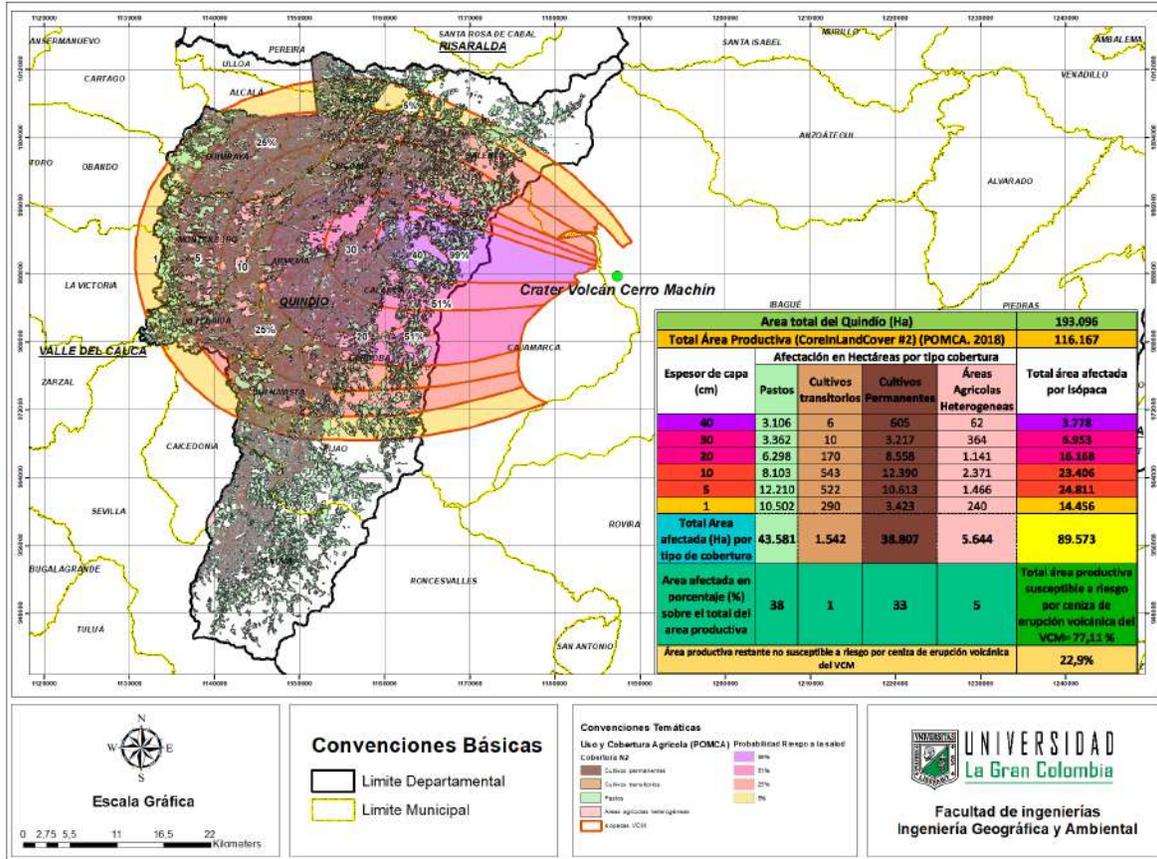


Figura 29. Mapa de riesgo del sistema de producción agrícola y pecuario por caída de ceniza en el escenario eruptivo del VCM (Resultado 2.2. Fuente: Autores) - Anexo: Mapa 3.

A partir de los cruces de capas y geoprocetos realizados se determinó la tabla (Tabla 13) en la cual se identifica el área afectada por tipo de cobertura y por espesor proyectado en cada una de las zonas del departamento, dando como primer resultado de este punto que se vería en total una afectación de 89.573 Hectáreas productivas lo que representa el 77,11% del total del área productiva del Quindío.

Area total del Quindío (Ha)					193.096
Total Área Productiva (CoreInLandCover #2) (POMCA. 2018)					116.167
Espesor de capa (cm)	Afectación en Hectáreas por tipo cobertura				Total área afectada por isópaca
	Pastos	Cultivos transitorios	Cultivos Permanentes	Áreas Agrícolas Heterogeneas	
40	3.106	6	605	62	3.778
30	3.362	10	3.217	364	6.953
20	6.298	170	8.558	1.141	16.168
10	8.103	543	12.390	2.371	23.406
5	12.210	522	10.613	1.466	24.811
1	10.502	290	3.423	240	14.456
Total Area afectada (Ha) por tipo de cobertura	43.581	1.542	38.807	5.644	89.573
Area afectada en porcentaje (%) sobre el total del area productiva	38	1	33	5	Total área productiva susceptible a riesgo por ceniza de erupción volcánica del VCM= 77,11 %
Área productiva restante no susceptible a riesgo por ceniza de erupción volcánica del VCM					22,9%

Tabla 14. Cálculos de afectación en hectáreas al sector agroproductivo por isopaca y por tipo de cobertura, para el departamento del Quindío a partir del escenario eruptivo del VCM.

Escenario 3. Afectaciones al sistema respiratorio y óptico por contacto o inhalación de ceniza volcánica.

De las 193.096 hectáreas que componen el departamento del Quindío, se cuenta con 186.887,43 hectáreas en el área definida como rural lo cual representa el 96,78% de la superficie total y el área urbana tiene un total de 6.270,50 hectáreas lo que representa el 3.24% (DANE. 2017)

El DANE en el año 2018 realizó el censo en los cuales se diferenció la población para el sector urbano y rural con proyección poblacional hasta el año 2025 como se muestra en la tabla 14. Por efectos de los intereses del proyecto solo se toma desde el 2020.

Año / Municipio	2020 (Población Proyectada)	2021 (Población Proyectada)	2022 (Población Proyectada)	2023 (Población Proyectada)	2024 (Población Proyectada)	2025 (Población Proyectada)
Armenia (Cabecera)	297.052	300.785	304.780	309.020	313.132	321.186
Armenia (Centro poblado y rural disperso)	7.712	7.678	7.771	7.906	8.054	316.835
Buenavista (Cabecera)	1.225	1.270	1.289	1.301	1.309	1.324
Buenavista (Centro Poblado y Rural Disperso)	1.904	1.896	1.919	1.952	1.986	2.030
Calarcá (Cabecera)	58.426	59.402	60.210	60.996	61.739	62.467
Calarcá (Centro Poblado y rural disperso)	16.464	16.394	16.593	16.882	17.207	17.541
Circasia (Cabecera)	21.935	22.318	22.621	22.914	23.182	23.448
Circasia (Centro Poblado y Rural disperso)	7.125	7.095	7.181	7.306	7.449	7.603
Córdoba (Cabecera)	3.462	3.540	3.589	3.632	3.678	3.718
Córdoba (Centro poblado y rural disperso)	2.277	2.267	2.295	2.335	2.372	2.432
Filandia (Cabecera)	6.894	7.063	7.163	7.245	7.332	7.415
Filandia (Centro poblado y rural disperso)	5.365	5.342	5.407	5.501	5.589	5.711
Génova (Cabecera)	4.265	4.369	4.431	4.482	4.537	4.588
Génova (Centro poblado y rural disperso)	3.182	3.167	3.205	3.261	3.325	3.387
La Tebaida (Cabecera)	31.530	31.967	32.394	32.837	33.208	33.611
La Tebaida (Centro poblado y rural disperso)	3.273	3.258	3.298	3.355	3.423	3.495
Montenegro (Cabecera)	31.015	31.492	31.916	32.340	32.726	33.103
Montenegro (Centro poblado y rural disperso)	6.503	6.474	6.553	6.667	6.793	6.917
Pijao (Cabecera)	2.938	3.009	3.051	3.086	3.123	3.162
Pijao (Centro poblado y rural disperso)	2.183	2.173	2.200	2.238	2.282	2.320
Quimbaya (Cabecera)	25.493	25.890	26.239	26.587	26.910	27.233
Quimbaya (Centro poblado y rural disperso)	5.649	5.624	5.692	5.791	5.899	6.020
Salento (Cabecera)	4.011	4.149	4.211	4.251	4.293	4.351
Salento (Centro poblado y rural disperso)	5.518	5.495	5.561	5.658	5.769	5.889
Total Departamento por año	555.401	562.117	569.569	577.543	585.317	905.786

Tabla 15. Proyección poblacional (DANE. 2018) con base en el censo. Ajustado por los autores.

Según el DANE (2017) a través de una recopilación de información de los POT municipales (Desactualizados, el único actualizado a la fecha es el del municipio de Armenia y solo Salento se encuentra realizando los estudios y mesas para su actualización) el departamento del Quindío tiene aproximadamente 237 veredas, de las cuales 224 presentan, según las isopacas del VCM (SGC. 2002), afectación por caída de ceniza en sus

diferentes proporciones. En el anexo 5 se encuentra la tabla con el riesgo en porcentaje por vereda. Aquellas que presentan cajones en blanco es porque no presentaron afectación sea por el espesor de capa específico o porque no tiene afectación proyectada por lo que su riesgo es inferior a 1.

Ahora bien, los cascos urbanos también presentan una afectación de manera directa como se muestra en la tabla 15, en la cual se especifican los niveles de afectación y porcentajes de área en riesgo.

Nombre del Municipio	Nombre del Casco Urbano	Porcentaje de afectación por Espesor de Capa (cm)					
		40	30	20	10	5	1
Armenia	Armenia		100%				
Armenia	El Caimo		100%				
Calarcá	Calarcá	50%	50%				
Calarcá	La Virginia		100%				
Calarcá	Barcelona		90%		10%		
Calarcá	QuebradaNegra		100%				
Filandia	Filandia						100%
Filandia	La India	No presenta traslape con isopaca					
Montenegro	Montenegro				100%		
Montenegro	Pueblo Tapao				100%		
Salento	Salento				100%		
Salento	Boquía				100%		
Salento	Cocora						100%
Salento	La Explanación				100%		
Salento	San Juan de Carolina		100%				
Buenavista	Buenavista				100%		
Pijao	Pijao		50%		50%		
Pijao	Barragán						100%
Córdoba	Córdoba				100%		
Córdoba	Rio Verde				100%		
Génova	Génova	No presenta traslape con isopaca					
Quimbaya	Quimbaya				100%		
Circasia	Circasia				100%		
La Tebaida	La Tebaida				100%		

Tabla 16. Riesgo de Afectación por caída de ceniza para cascos urbanos.

Ahora bien, la capa de isopacas para el departamento del Quindío indica que el único municipio que no tendría inferencia es Génova, algunas zonas de filandia y Salento por lo que las estimaciones de riesgo no se incluyen.

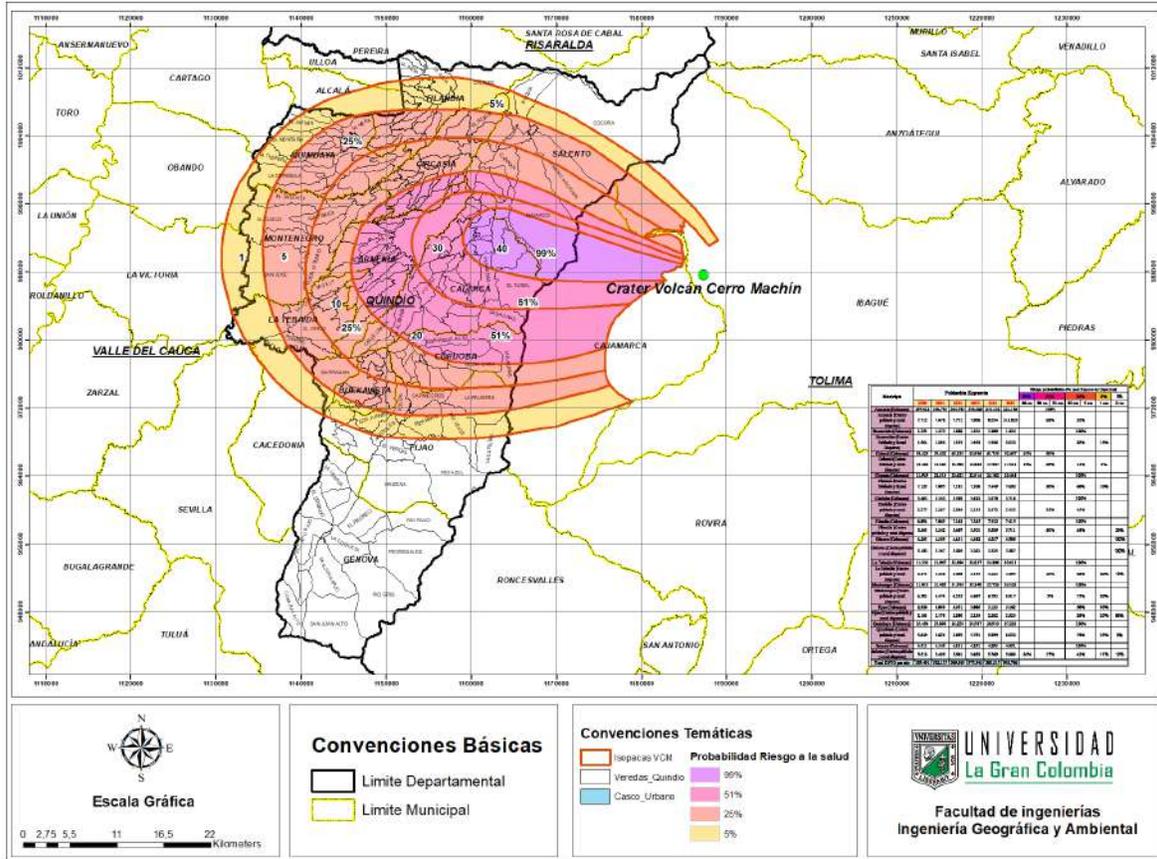


Figura 30. Mapa de afectación por veredas y cascos urbanos del sistema respiratorio y óptico con proyección poblacional por contacto o inhalación de ceniza Volcánica en el escenario eruptivo del VCM (Resultado 2.2. Fuente: Autores) - Anexo: Mapa 2.

Algo a tener en cuenta es que el Quindío es uno de los departamentos con mayor demanda y oferta de turismo a nivel nacional, por lo que este tipo de afectaciones deben tenerse en cuenta para la planificación de los momentos de contingencia y la plataforma de atención del evento. Según el Ministerio de Industria, comercio y turismo (2021) para el año 2019 el departamento del Quindío recibió aproximadamente 18.000 turistas y esperan que para el año 2022 sean 22.000. Una de las características más especiales del turismo en el Quindío es que no está concentrado en el sector urbano, sino que va en el sector rural y los alojamientos junto con los procesos agroturisticos, por lo que finalmente es un número que debe ser tenido en cuenta en medio de las proyecciones poblacionales para la contención del evento.

Escenario 4. Obstrucción de Sistemas de acueducto, alcantarillado y de canales de cubiertas por caída de ceniza volcánica por transporte eólico

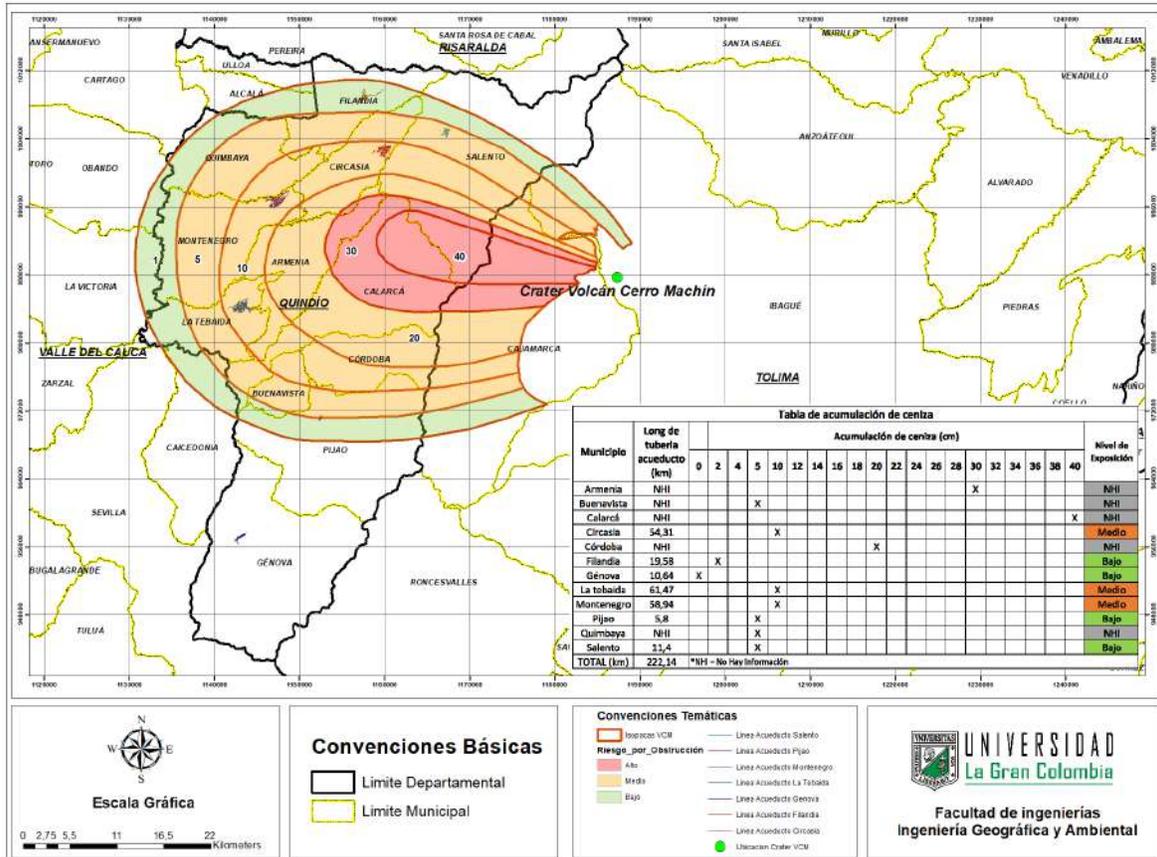


Figura 31. Mapa de riesgo de acueductos, de los cuales la información se encontraba disponible. Anexo: Mapa 4. A partir de la información disponible y los geoprocamos realizados se identificó el nivel de exposición de cada uno de los acueductos como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla de acumulación de ceniza																					
Municipio	Long de tubería acueducto (km)	Acumulación de ceniza (cm)																		Nivel de Exposición	
		0	2	4	5	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36		38
Armenia	NHI															X					NHI
Buenavista	NHI				X																NHI
Calarcá	NHI																		X		NHI
Circasia	54,31					X															Medio
Córdoba	NHI									X											NHI
Filandia	19,58		X																		Bajo
Génova	10,64	X																			Bajo
La tebaida	61,47					X															Medio
Montenegro	58,94					X															Medio
Pijao	5,8				X																Bajo
Quimbaya	NHI				X																NHI
Salento	11,4				X																Bajo
TOTAL (km)	222,14	*NHI = No Hay Información																			

Tabla 17. Nivel de exposición de acueducto a partir de la relación de acumulación de ceniza proyectada con la longitud del sistema de acueducto.

Dada la ausencia de información solo fue posible identificar el nivel de exposición de acueductos con base a la información planteada por la organización panamericana de la salud (2002) donde se clasifica como nivel de exposición alto las cantidades de 30 centímetros en adelante, depositadas en los sistemas de conducción de agua y entre 10 y 28 centímetros medio para finalmente dejar el restante como nivel de exposición bajo.

Vale la pena aclarar que este punto incluye los sistemas de conducción de aguas negras y residuales domésticas como lo son los alcantarillados que incluyen el agua de la precipitación, sin embargo la información no estaba disponible para realizar las estimaciones de afectación.

Escenario 5. Contaminación natural de fuentes hídricas superficiales por ceniza volcánica alterando el pH y concentración de sólidos suspendidos.

El objetivo principal de este mapa es poder hacer un análisis de la disponibilidad hídrica post evento, puesto que como se mostró en los resultados de laboratorio la afectación al recurso hídrico en sus diferentes usos puede tomar un buen tiempo de recuperación, sabiendo que este líquido es imprescindible para procesos de supervivencia y rehabilitación.

De esta manera partir de los estudios del POMCA (2018) y la ponencia presentada por Naranjo (2012) se clasificaron los drenajes según su nivel de afectación en 3 clases:

Clase Contaminación N°1: Drenajes superficiales contaminados directamente por los procesos de actividad volcánica.

Clase Contaminación N°2: Drenajes superficiales contaminados indirectamente por los procesos de actividad volcánica, es decir, son cuerpos de agua que se encuentran fuera de la zona de afectación directa, pero que por condiciones de conectividad hídrica son contaminados por cuerpos de agua que descargan sus aguas en los cauces.

Clase Contaminación N°3: Drenajes superficiales que se encuentran fuera de la zona de influencia directa, pero que por tener contacto y transitar por centros poblados, presentan una carga de contaminación de aguas residuales.

Con esto en mente se representó el escenario como se muestra en la figura 30.

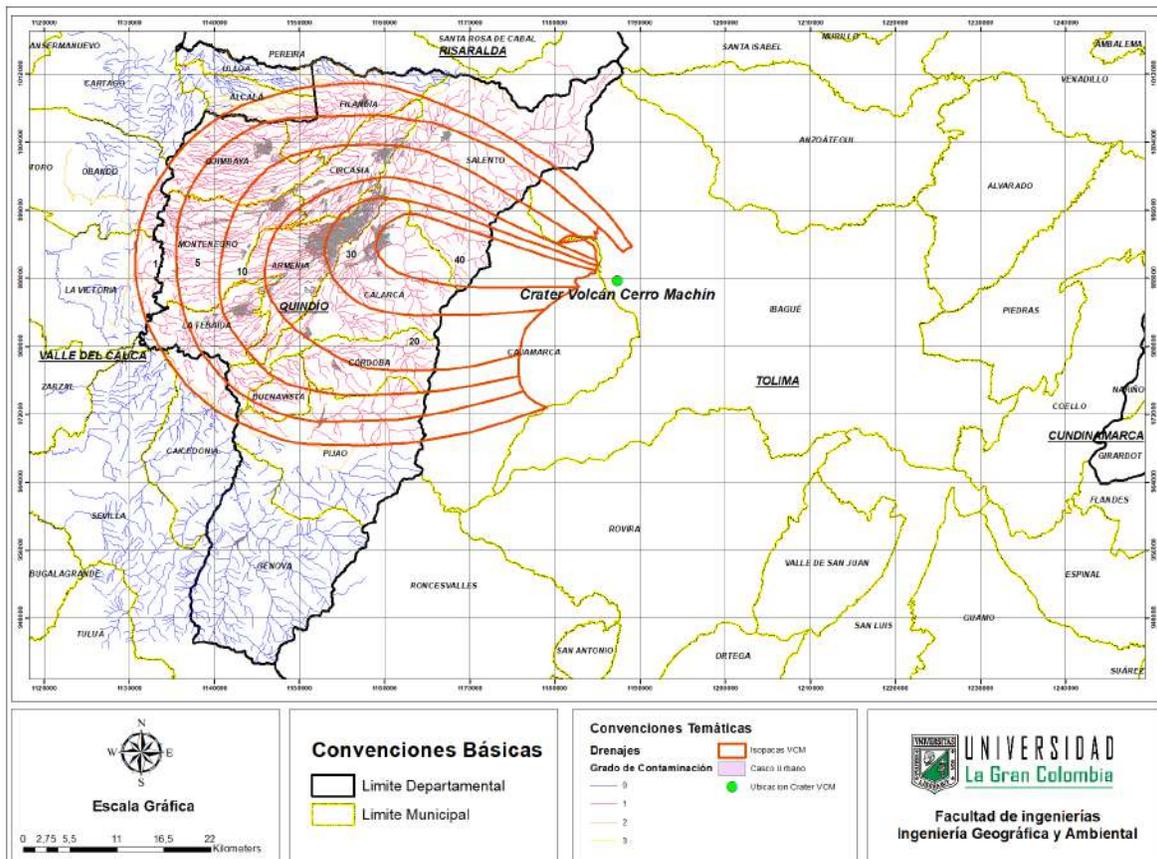


Figura 32. Mapa de riesgo de contaminación de fuentes hídricas por tipo de afectación. Anexo: Mapa 6.

móviles que hay en Armenia, se verían afectadas por la caída de ceniza y sus efectos secundarios.

Escenario 7. Afectación en los ecosistemas estratégicos por efecto de la lluvia ácida y depósito de ceniza.

El efecto negativo esperado para el departamento del Quindío no solo viene en términos antrópicos sino también hacia los sistemas naturales que prestan servicios ecosistémicos esenciales para el desarrollo de la vida e inclusive algunas alternativas económicas como lo son el turismo natural y de fauna-flora.

De esta manera se tomó la información disponible y se proyectó sobre aquellos ecosistemas que en el marco de la ley son estratégicos para el desarrollo de la vida como lo conocemos, esto hace referencia a: 1. las clases de suelos agrológicos 7 y 8, las áreas que hacen parte del sistema departamental de áreas protegidas SIDAP, la reserva forestal central creada por medio de la ley segunda de 1958 y finalmente el área de páramos que se encuentra en el departamento.

De esta manera nace el mapa de riesgo por contaminación del sistema natural de ecosistemas estratégicos por caída de ceniza y afectación por lluvia ácida en el escenario eruptivo del VCM.

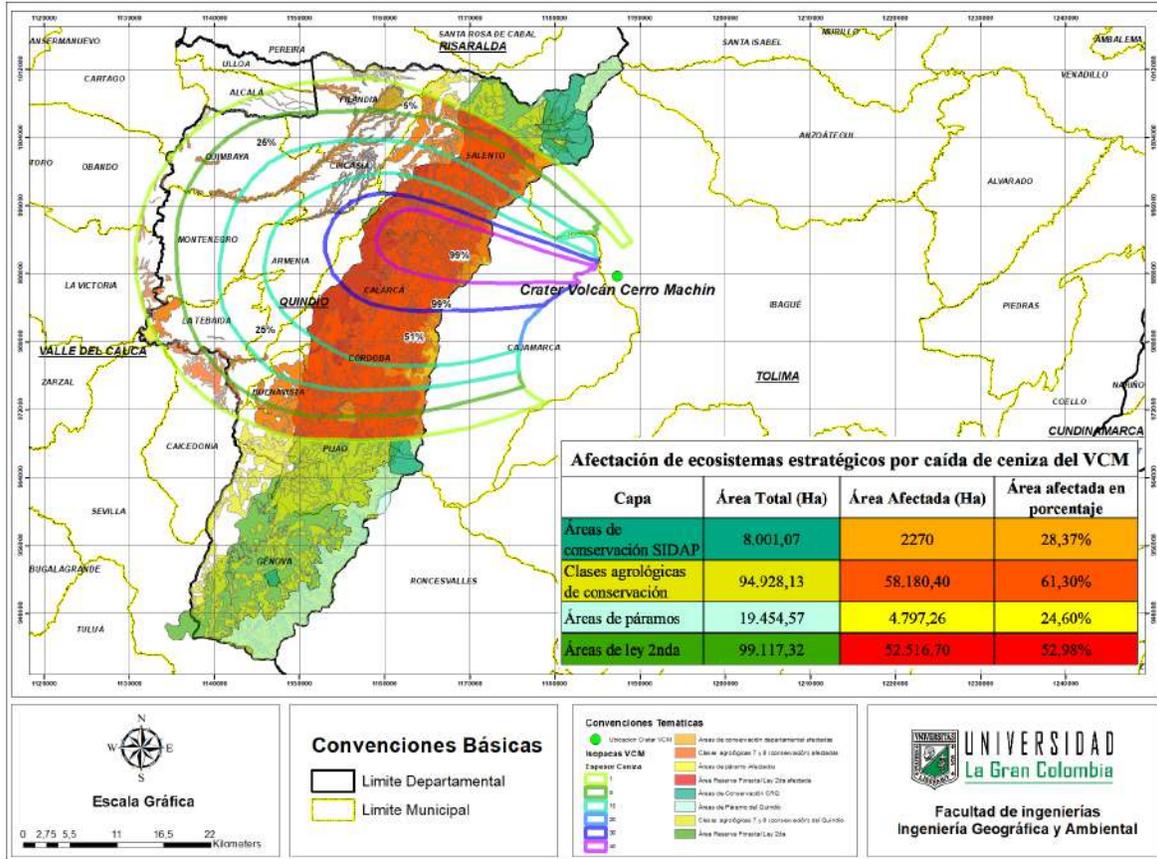


Figura 33. Mapa de riesgo por contaminación del sistema natural de ecosistemas estratégicos por caída de ceniza y afectación por lluvia ácida en el escenario eruptivo del VCM. Anexo: Mapa 7.

Ahora bien a continuación se presenta una tabla con las áreas afectadas y su representación en porcentaje.

Capa	Área Total (Ha)	Area Afectada (Ha)	Área afectada en porcentaje
Áreas de conservación SIDAP	8.001,07	2270	28,37%
Clases agrológicas de conservación	94.928,13	58.180,4	61,3%
Áreas de páramos	19.454,57	4.797,26	24,6%
Áreas de ley 2da	99.117,32	52.516,70	52,98%

Tabla 18. Afectación por hectárea a zonas de conservación o ecosistema estratégico.

Escenario 8. Activación de movimientos de remoción en Masa producidos por movimientos sísmicos y sobrecargas en taludes con afectaciones al sistema vial e infraestructura de viviendas.

Los movimientos de remoción en masa son parte natural del departamento del Quindío dada las condiciones geológicas del mismo, sin embargo hay factores externos o presiones alternas que aceleran el proceso de detonación como la inestabilidad de un talud por perforaciones o cortes, o como un daño en una tubería o acueducto comunitario en la montaña lo que aumenta el peso natural del talud.

El peso de la ceniza como se menciona en los resultados de laboratorio puede llegar a generar este tipo de efectos. En adición a esto los enjambres sísmicos al momento de la erupción pueden ser un factor detonante adicional que repercute en la activación de estas zonas identificadas como “amenaza alta”.

En este mapa se logran identificar las zonas sujetas a la detonación de movimientos de remoción en masa por sobrecarga en el talud, dado el peso que ejerce la ceniza sobre el suelo.

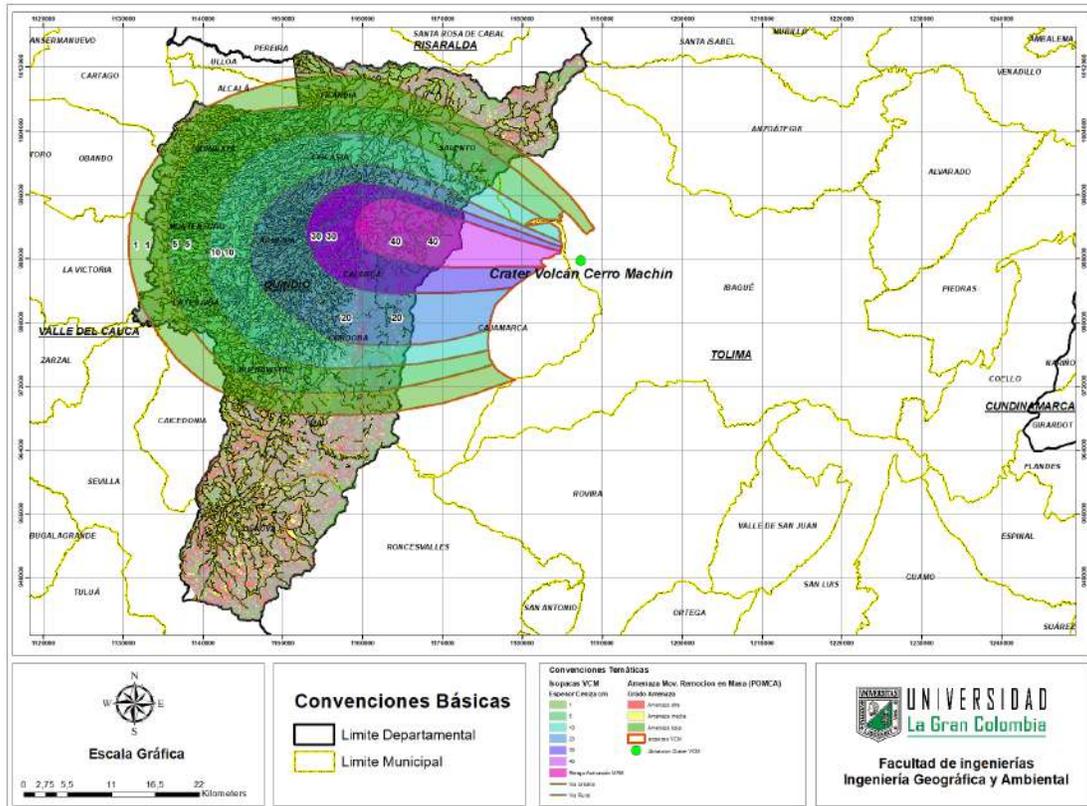


Figura 34. Mapa de riesgo por activación de movimientos de remoción en Masa producidos por movimientos sísmicos y sobrecargas en taludes con afectaciones al sistema vial e infraestructura de viviendas. Anexo: Mapa 9.

Es importante que en esta zona se encuentra el paso del proyecto nacional denominado “túnel de la línea” el cual a la fecha en las temporadas de altas lluvias presenta cantidades importantes de deslizamiento, por lo que el proyecto puede verse altamente afectado, no solamente en temas del paso sino en la fracturación y daños en la infraestructura vial.

Escenario 9. Afectación al transporte en general por Smog volcánico y efecto de escudo solar en adición a las afectaciones de motores.

Uno de las afectaciones más importantes es el efecto que tiene la ceniza en los motores en funcionamiento, puesto que dado el carácter abrasivo de la misma puede afectar los motores en vehículos terrestres y motores de aviones. A continuación se presenta el mapa de la afectación a las principales vías a nivel departamental, así como para una de las

proyecciones de vuelo con base en el aplicativo Flight Radar del último vuelo Armenia (AXM) a Bogotá (BOG).

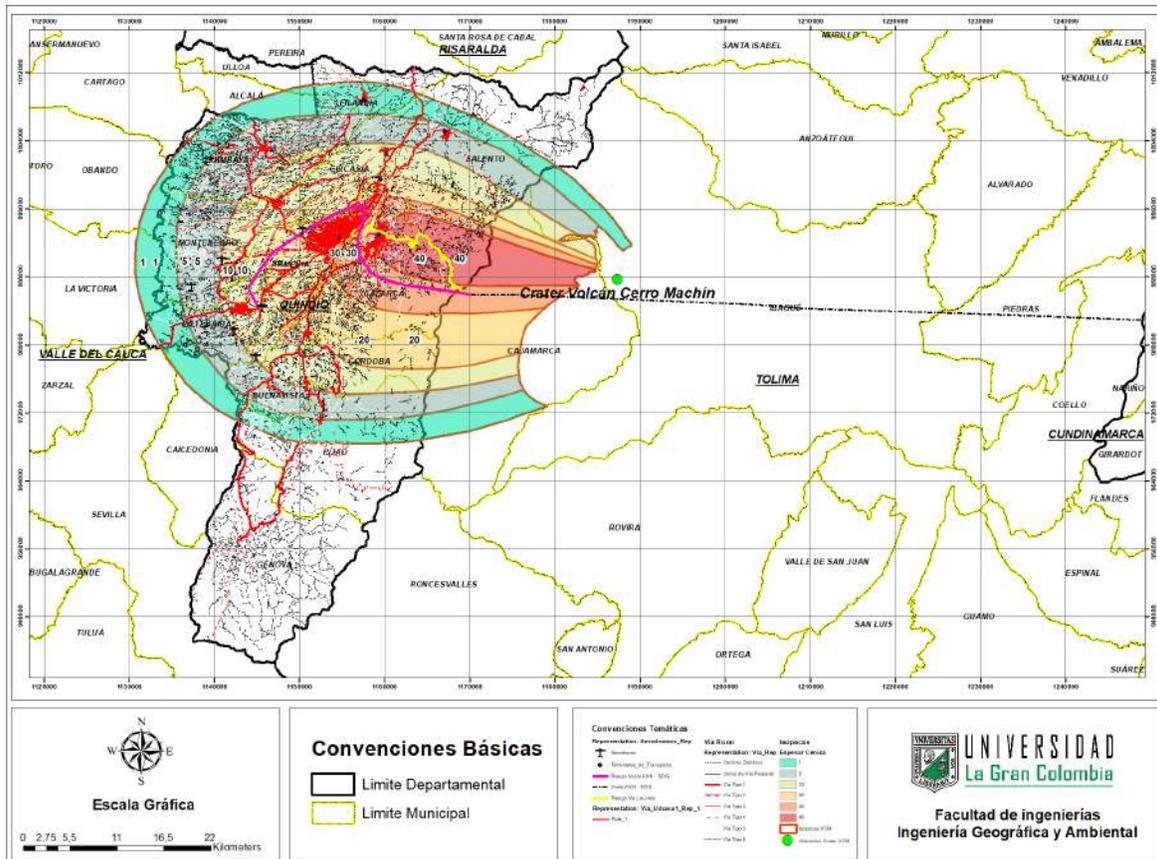


Figura 35. Mapa de riesgo al transporte en general por Smog volcánico y efecto de escudo solar en adición a las afectaciones de motores en el escenario eruptivo del VCM. Anexo: Mapa 10.

Vale la pena resaltar 2 procesos y son el alto tránsito que maneja el paso de la línea, así como la ruta Armenia - Bogotá y la cantidad proyectada de ceniza que se tiene para ambos momentos. Es de tener en cuenta que una erupción volcánica puede tener una duración de días y hasta de meses

Escenario 10. Daños por peso y corrosión a cubiertas y estructuras.

Este escenario presenta un rato para su representación dado que las capas de catastro urbano y rural no cuentan con esta información, por lo que la clasificación de cubiertas fue posible gracias a un trabajo realizado por la Unidad Departamental de Gestión de Riesgo de desastre en donde a partir de visitas en campo se clasificó casa a casa los tipos de cubierta. Sin embargo esto solo fue posible para 3 municipios, Circasia, Salento y Calarcá.

Se aplicó una clasificación de cubierta de 4 tipos por su peso:

- Liviana: Como planchas onduladas de PVC (policloruro de vinilo), planchas de palruf o planchas de policarbonato, las cuales se caracterizan por tener pesos ligeros y de alta resistencia ante condiciones hidrometeorológicas, sin embargo no tienen altas resistencias a pesos externos.
- Losas: son elementos rígidos que separan un piso de otro, construidos monolíticamente o en forma de vigas sucesivas apoyadas sobre los muros estructurales. varían en sus materiales de conformación: losas o placas en concreto (hormigón) reforzado, losa o placas apoyada en madera, losa o placa en lámina de acero. Tienen resistencias medias a pesos externos.
- Moderada: Son aquellas de materiales de alta resistencia que no necesitan un mantenimiento constante como las de fibrocemento.
- Pesada: Son aquellas que por su modelo de construcción generan altas cargas a la estructura de la vivienda como lo son las tejas de barro, parte de la arquitectura tradicional quindiana.

Esto tiene un alto nivel de importancia en conjunto con el entendimiento del funcionamiento del modelo de construcción (estructura) de la casa dado que si la masa de 1 mm de ceniza sobre 1 m² de cubierta puede pesar entre 0,834 kg a 1,068 kg, lo que significa que la ceniza seca acumulada en 1 m³ sobre 1 m² cuadrado de una superficie o una cubierta puede estar entre 834,9 kg a 1.068 kg, lo cual podría generar colapsos generalizados según la vulnerabilidad de la cubierta y la estructura.

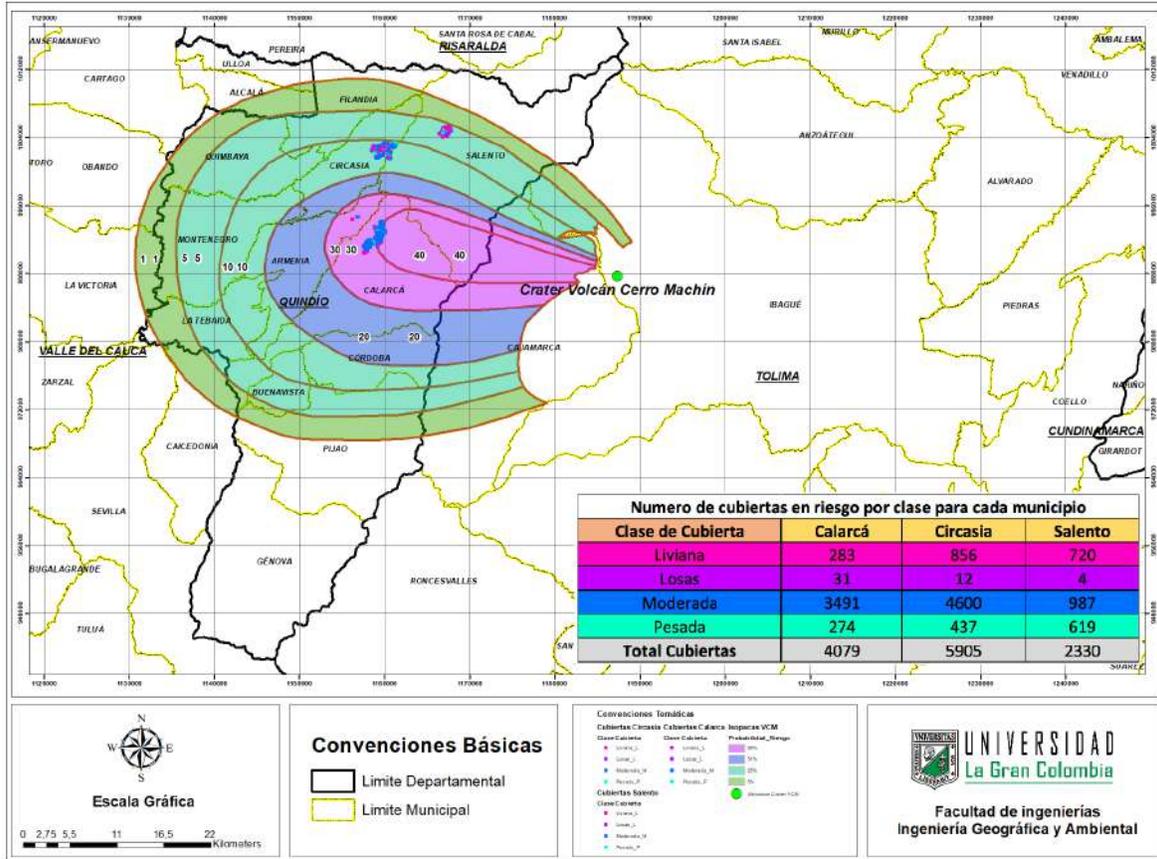


Figura 36. Mapa de riesgo a las cubiertas por la masa de la ceniza en el escenario eruptivo del VCM. Anexo: Mapa 5. La fuerza que logra ejercer la ceniza sobre la cubierta de las casas depende de la cantidad donde se encuentre ubicado. En este caso el municipio de Calarcá es el que más recibe carga de ceniza en el departamento a partir de la proyección de isopacas del SGC.

Exposición de edificaciones

Con base en información del IGAC, se logra conocer que a 2019 el departamento del Quindío cuenta con un total de 241.550 edificaciones, repartidas en 219.618 en zonas urbanas y 21.932 en zona rural.

Total de edificaciones en el departamento del Quindío	
Urbano	219.618
Rural	21.932
Total	241.550

Tabla 19. Edificaciones del Quindío con base en IGAC (2020)

Al cruzar dicha información con el mapa de amenaza del volcán cerro Machín, con el objeto de conocer las viviendas expuestas ante una afectación por caída de Piroclastos asociado al transporte eólico (Ceniza), se logra identificar lo siguiente:

Exposición de edificaciones			
Edificaciones del departamento del Quindío en zona de Amenaza por caída de piroclastos por transporte eólico			
Zona	Amenaza	Nº Edificaciones	%
Rural	Zona de Amenaza por Caída de Ceniza	19.593	8
Urbano	Zona de Amenaza por Caída de Ceniza	216.488	92
Total		236.081	100

Tabla 20. Exposición de edificaciones del Quindío con base en IGAC (2020), ajustado por autores

Del total de 241.550 edificaciones en el departamento del Quindío, 236.081 se encuentran en zona de amenaza por caída de Piroclastos asociado al transporte eólico (Ceniza) lo que representa que las edificaciones expuestas ante una potencial afectación son del 97,7% del total de edificaciones a nivel departamental; a se destaca que el 92% de esas edificaciones correspondiente a 216.488 se encuentran en zona urbana, y el restante 8% con 19.593 están en zona rural.

A continuación, se relaciona el número de edificaciones expuestas en el departamento del Quindío por cada zona de Amenaza por caída de piroclastos por transporte eólico (Ceniza) ante una potencial erupción del Volcán cerro Machín.

Edificaciones expuestas en el departamento del Quindío por cada zona de Amenaza por caída de piroclastos por transporte eólico (Ceniza) ante una potencial erupción del Volcán cerro Machín.				
Proceso Volcánico	Rural	Urbano	Total	% del Total
Caída de piroclastos por transporte eólico, tamaño 40 cm	825	9.393	10.218	4,3
Caída de piroclastos por transporte eólico, tamaño de 30 cm	2.583	97.874	100.457	42,6
Caída de piroclastos por transporte eólico, tamaño de 20 cm	4.990	58.030	63.020	26,7
Caída de piroclastos por transporte eólico, tamaño de 10 cm	6.031	31.535	37.566	15,9
Caída de piroclastos por transporte eólico, tamaño de 5 cm	3.767	15.197	18.964	8,0
Caída de piroclastos por transporte eólico, tamaño de 1 cm	1.397	4.454	5.851	2,5
		TOTAL	236.081	

Tabla 21. riesgo porcentual a las edificaciones del departamento con base en IGAC (2020), ajustado por autores

Se destaca que según el mapa del SGC, la zona que podría ser más afectada ante una potencial caída de ceniza, corresponde a la isopaca de 30 cm, donde se presentan aproximadamente 100.457 edificaciones, correspondiente al 42,6% del total de edificaciones expuestas.

Vale la pena mencionar que para los escenarios de: conductas de pánico evacuación masiva en los municipios a causa de la pérdida de condiciones de habitabilidad, afectaciones a municipios por movimiento telúricos a partir de enjambres sísmicos o tremores y cambios en las condiciones y características edáficas y agrológicas no fue posible generar procesos de modelación a través de sistemas de información geográfica dado la falta de información y que en algunos los últimos 2 casos hay necesidad de hacer exámenes de laboratorio de mayor profundidad y con laboratorios de suelos especializados que permitan la obtención de resultados más precisos, así como la modelación de los enjambres y la resonancia de fallas como proponen varios autores que se encuentran en la tabla resultado 1.

Objetivo 3: Establecimiento de las posibles alternativas de respuesta ante la emergencia y recomendaciones al Plan de Contingencia del VCM, con base en las modelaciones de los escenarios.

A continuación se encontrará una ficha técnica plenamente diligenciada para cada uno de los escenarios modelados con anterioridad y donde se mencionan diferentes propuestas que se recomienda incluir dentro de la construcción del plan de contingencia por erupción volcánica para el departamento del Quindío, así como acciones concretas que se pueden implementar con el propósito de prevenir, mitigar, y manejar el desarrollo de la afectación para dicho fenómeno.

Escenario 1						
INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL E INCENDIOS DE INTERFAZ POR LAS TEMPERATURAS DE LA POSIBLE CAIDA DE PIRACLASTOS						
FICHA:		ESC-1				
Objetivos						
<ul style="list-style-type: none"> Establecer alternativas de manejo y mitigación por la posible afectación a causa de incendios de cobertura vegetal e interfaz por las altas temperaturas en la caída de piroclastos. 						
Impacto socio ambiental a controlar		Tipo de medida a aplicar				
		P	M	Con	Man	Com
Pérdida de cobertura vegetal		X		X	X	
Pérdida de Infraestructura comunitaria		X		X	X	
CONVENCIONES: P=Preventiva M=Mitigación Con=Control Man=manejo Com=Compensación						
Acciones a desarrollar						
<ul style="list-style-type: none"> Establecer un derecho de vía de mínimo 15 metros a cada lado de las carreteras veredales de los municipios de Calarcá y Salento. Inventariar todos los sitios que posean tanques o contenedores de gas propano o cualquier otro gas inflamable con el fin de enfriar estos depósitos de combustible con agua o protegerlos con un material que no sea inflamable, si existe una llave de paso de estos depósitos se deberá cortar el suministro. Inventariar y Socializar con las comunidades con mayor grado de exposición los hidrantes o puntos de agua a presión más cercanos disponibles. Aconsejar a las comunidades que tienen estructuras en madera, guadua o cualquier material que pueda llegar a convertirse en combustible, hacer limpiezas periódicas de mínimo 15 metros alrededor de dichas estructuras de cualquier material inflamable como malezas, y/o hojarasca. Inventariar y socializar con el personal de bomberos de todo el departamento las rutas y accesos desconocidos, así como todos los puentes que existen para llegar a estos municipios. Construir un sistema de alerta temprana con el fin de reconocer y comunicar cualquier incendio en las zonas de mayor exposición en el Quindío con el fin de intervenir el incendio de manera oportuna y aplicar la estrategia 'Cuadro-Cajón de Acción donde encerrar el incendio y evitar su propagación a los centros urbanos, todo esto dependerá de la ubicación estratégica de un Puesto de Mando Unificado. Cubrir ventanas, chimeneas, salidas de aire acondicionado y otras aberturas, que estén expuestas al avance del incendio, si existen vehículos, situarlos en los lugares que no se vean afectados por el avance del incendio y donde no obstaculicen las rutas de evacuación. Levantar una capa de información georreferenciada perteneciente a todas las plantaciones forestales que se encuentren en el Quindío, para así discriminar los combustibles por tipo pastizal, arbustivo, y matorral. Construir una lista de los organismos de lucha contra el fuego correspondientes a las áreas de Calarcá y Salento. Disponer de mapas a los encargados de la supresión de incendios. Crear una base de datos geográfica donde se registren cada uno de los incendios desarrollados en el departamento. Disponer de un registro histórico de vientos superiores a los 30 km /h por medio de todos los datos recolectados en las diferentes estaciones meteorológicas del Quindío. Determinar las pendientes con orientación sur y oeste por medio de la interpretación de fotografías aéreas y la información de fuentes locales. Monitorear constantemente las líneas de gaseoducto y oleoductos que existen en el Quindío. Recomendar a las comunidades con construcciones en estructuras de madera o guadua, utilizar materiales para revestimiento externo que no sean inflamables. 						

Escenario 2							
OBSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y DE CANALES DE CUBIERTAS POR CAIDA DE CENIZA VOLCÁNICA POR TRANSPORTE EÓLICO							
FICHA:			ESC-2				
Objetivos ○ Establecer alternativas de manejo y mitigación por la posible afectación a causa de Obstrucción de Sistemas de acueducto, alcantarillado y de canales de cubiertas por caída de ceniza volcánica por transporte eólico.							
Impacto socio ambiental a controlar			Tipo de medida a aplicar				
			P	M	Con	Man	Com
Afectación Sistema de acueducto			X	X	X	X	
Afectación Sistema de alcantarillado y desagüe			X	X	X	X	
CONVENCIONES:			P=Preventiva	M=Mitigación	Con=Control	Man=manejo	Com=Compensación
Acciones a desarrollar							
<ul style="list-style-type: none"> Elaborar un plan de emergencia, teniendo en cuenta los factores que presentan mayor riesgo, identificando así las posibles consecuencias, su respectiva ponderación, las acciones de mitigación y los responsables de las acciones. Reforzar los componentes estructurales del sistema de acueducto, como son la bocatoma, tanques desarenadores, de almacenamiento y las casetas de desinfección, con el fin de aumentar su resistencia. Minimizar la exposición con la búsqueda de fuentes alternas de abastecimiento para los municipios de Salento y Calarcá. Establecer un plan de aseguramiento de la infraestructura de Servicios Públicos (Líneas de Conducción, Red de Distribución, etc.). Priorizar inversión de acuerdo con la evaluación de vulnerabilidad presentada y capacidad financiera de la Empresa. Actualizar preferiblemente una vez por mes el catastro técnico de tuberías, válvulas y registro de visitas, garantizando un stock de materiales de repuestos para situaciones de emergencias en caso de presentarse una erupción con caída de ceniza y haya obstrucción o daños en la tubería. En las redes de distribución de agua, proveer válvulas estratégicamente localizadas, de manera que las áreas de riesgo a sufrir daños por caída de ceniza volcánica puedan ser fácilmente aisladas. Los problemas de calidad de agua como acidez producidos por la caída de ceniza pueden reducirse por el almacenamiento temporal y floculación. Para asegurar la calidad del agua potable en los tanques de almacenamiento, es importante adquirir laboratorios portátiles para el control de los parámetros del agua (PH, turbiedad, color y conductividad del agua entre otros) y contar con técnicos especializados en estas labores. Activar un canal de comunicación que permita de manera oportuna recibir la información del Observatorio Vulcanológico de Manizales INGEOMINAS respecto al estado de actividad volcánica a fin de activar los planes de contingencia en situación de crisis. Establecer un registro de caudales y consumos, para determinar así una medida adecuada en caso de presentarse una emergencia. Realizar simulacros de caída de ceniza volcánica en las diferentes PTAR del departamento con el fin de tener descritas las acciones específicas a realizar en caso de desarrollarse la emergencia. Identificar los recursos humanos disponibles para atender la emergencia (incluidos los voluntarios y el personal auxiliar). Definir responsabilidades de acuerdo con las estrategias de la división en servicios y funciones de cada uno. Establecer y mantener vínculos de coordinación y de comunicación con los organismos públicos pertinentes, responsables de las medidas de socorro. Mantener actualizado el inventario de recursos: (vehículos oficiales, maquinarias, equipos, personal). Promover la capacitación y el entrenamiento del personal que interviene en la emergencia. Tener identificada la zona donde se depositarán las cenizas que se junten por la limpieza del área urbana. Tener en cuenta los problemas eléctricos y contar con un generador portátil y en lo posible equipo VHF/HF. Almacenar en el hogar Suficiente agua potable para por lo menos 72 horas (un galón por persona por día). Se deben rociar con agua los depósitos de cenizas antes de utilizar las palas para quitarlas, cuidando de que no se humedezcan demasiado. Desconectar tubos de drenaje, bajantes de los canales para evitar taponamientos, pero dejando que corran las cenizas y el agua para vaciar las canaletas en el suelo. En caso de tener un sistema de recolección de agua de lluvia para su abastecimiento de agua, desconecte el tanque antes de la lluvia de cenizas. 							

Escenario 3							
AFECTACIONES AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y PECUARIO POR CAÍDA DE CENIZA							
FICHA:		ESC-3					
Objetivos							
<ul style="list-style-type: none"> Establecer alternativas de manejo y mitigación por la posible afectación a causa de afectaciones al sistema de producción agrícola y pecuario por Caída de Ceniza. 							
Impacto socio ambiental a controlar			Tipo de medida a aplicar				
			P	M	Con	Man	Com
Afectación Sistema de producción agrícola			X	X	X	X	
Afectación Sistema de Producción Pecuario			X	X	X	X	
CONVENCIONES: P=Preventiva M=Mitigación Con=Control Man=manejo Com=Compensación							
Acciones a desarrollar							
<ul style="list-style-type: none"> Cooperar y dar asistencia técnica, rehabilitar inmediatamente el sistema de comunicaciones que resulte afectado por el evento, realizar la remoción de escombros para facilitar la libre circulación en las zonas afectadas. Establecer grupos y horarios de trabajo permanentes para el restablecimiento en el menor tiempo posible de las vías afectadas para de este modo contribuir con las áreas de salud, saneamiento ambiental, agua y alimentos Planificar la Evacuación y Atención del Ganado determinando Áreas de Seguridad idóneas y aptas, así como el retorno de los mismos a sus lugares de origen y establecer las necesidades para su reactivación. Actualizar periódicamente la información centralizada de los recursos con que cuenta (generación, transmisión, distribución, equipos de operación y mantenimiento, comunicaciones, transporte de personal, etc.) para abastecer la energía a las empresas estratégicas y población civil. En caso de ser necesario, pedir el apoyo de las Fuerzas Armadas para solventar el déficit de personal o medios en la habilitación de puentes y vías de comunicación. Limpiar las pasturas que han sido afectadas por la ceniza volcánica para que de esta manera el animal no consuma pastos contaminados. Se recomienda la construcción de cercas vivas o de diques que controlen en cierta medida la destrucción, pero lo más importante cuidar de las praderas que soporten los procesos eruptivos. Establecer el inventario de insumos agropecuarios que serán utilizados después de la emergencia y coordinar el abastecimiento de alimentos a la población afectada. Coordinar la recepción, manejo y administración de alimentos provenientes de países, organismos e instituciones donantes. Realizar las protecciones respectivas a las fuentes naturales de agua para asegurar el abastecimiento Tener reservar de alimento y agua para los animales, para siquiera 72 horas. así mismo como una infraestructura donde se puedan resguardar los animales mientras cesa la lluvia de ceniza Disponer de un plan de control de plagas a los cultivos más con mayores extensiones de tierra en las zonas con más afectación por caída de ceniza. Formular planes para brindar asistencia médico-veterinaria y alimentos para los animales a los posibles animales más afectados. Recaudar fondos para entregar o subsidiar equipos como sopladoras y bombas de motor para eliminar el exceso de ceniza en los potreros. De ser necesario diseñar un plan especial de sacrificio y exportación de ganado. Diseñar con los grandes productores planes de evacuación del ganado. Destinar recursos públicos para subsidiar préstamos a tasas de interés muy bajas con el fin de incentivar la recuperación económica de los agricultores afectados Sellar las entradas de aire de los establos, gallineros y todo tipo de establecimiento que albergue animales. 							

Escenario 4							
DAÑOS POR CORROSIÓN A ELEMENTOS METÁLICOS DE CUBIERTAS Y ESTRUCTURAS							
FICHA:		ESC-4					
Objetivos							
<ul style="list-style-type: none"> Establecer alternativas de manejo y mitigación por la posible afectación a causa de daños por Corrosión a elementos metálicos de cubiertas y estructuras. 							
Impacto socio ambiental a controlar			Tipo de medida a aplicar				
			P	M	Con	Man	Com
Afectación a Sistema metálicos a corto tiempo			X	X	X	X	
Afectación a Sistema metálicos a medio y largo tiempo			X	X	X	X	
CONVENCIONES: P=Preventiva M=Mitigación Con=Control Man=manejo Com=Compensación							
Acciones a desarrollar							
<ul style="list-style-type: none"> El Factor del diseño es muy importante a la hora de buscar una protección contra la corrosión por eso se hace pertinente que desde una primera instancia se priorice en las construcciones no dejar tantas estructuras metálicas expuestas al aire libre. Se debe de evitar, que el agua se empoce sobre los materiales metálicos y mantener las superficies limpias con el fin de que la ceniza no se adhiera fácil a estar superficies a generar un proceso de corrosión. Aplicar periódicamente pinturas anticorrosivas a las estructuras metálicas que tienen puntos frágiles expuestos en zonas de dobles, remaches, tornillos, entre otros[así como también a las cubiertas que se tengan en láminas de zinc. 							

Escenario 5						
AFECTACIONES AL SISTEMA RESPIRATORIO Y ÓPTICO POR CONTACTO O INHALACIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA						
FICHA:		ESC-5				
Objetivos						
<p>o Establecer alternativas de manejo y mitigación por la posible afectación del sistema respiratorio y óptico por contacto o inhalación de ceniza Volcánica.</p>						
Impacto socio ambiental a controlar		Tipo de medida a aplicar				
		P	M	Con	Man	Com
Afectación a Sistema respiratorio		X	X	X	X	
Afectación a Sistema óptico visual		X	X	X	X	
CONVENCIONES: P=Preventiva M=Mitigación Con=Control Man=manejo Com=Compensación						
Acciones a desarrollar						
<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de cubiertas para que la ceniza no contamine el suministro de agua potable. • Identificar cual es la población trabajadora más sensible o susceptible de sufrir efectos negativos y asegurarse que se protejan. • Proteger y cubrir todos los equipos eléctricos y electrónicos a fin de evitar la afectación de circuitos eléctricos. • Evaluar la hermeticidad de puertas y ventanas, y de ser necesario mejorar los sellos o colocar trapos húmedos en las aberturas. • Utilizar respirador o mascarilla (si es posible N95) durante y después de la erupción volcánica hasta que se haya limpiado por completo del ambiente. • No utilizar lentes de contacto, utilizar camisa de manga larga, pantalón largo y protección para la cabeza. • No barrer en seco, ya que eso esparce las cenizas y produce un alto nivel de exposición, en cambio humedecer la ceniza con atomizador para proceder a limpiarla. • Mantener siempre un suministro de agua (cubierto) potable y limpio para lavarse los ojos y cara. • Cuando hay caída de ceniza si se encuentra afuera busque refugio. • Evitar restregarse los ojos para no dañar la córnea, si es posible utilice gafas de protección que no permitan la entrada a sus ojos de ceniza, como por ejemplo gafas de natación. • Tener a mano cobertores de plástico para proteger los equipos electrónicos o sensibles a la ceniza (Computadoras, maquinaria, entre otros). • Asignar prioridad a aquellos servicios esenciales que protegen y garantizan el bienestar de los residentes en las áreas de alto riesgo y que, a su vez, reducen el riesgo de enfermedades transmisibles. • Garantizar cantidades adecuadas de agua potable, servicios básicos de saneamiento, eliminación de aguas residuales, residuos sólidos y un refugio adecuado. • Proporcionar medidas de protección, manipulación de alimentos y la disposición final de residuos. • Realizar una evaluación rápida para determinar la magnitud de los daños de los sistemas de abastecimiento de agua, alcantarillado y de eliminación de residuos. • Evaluar la existencia y disponibilidad local de alimentos, así como su almacenamiento y distribución. • Realizar un inventario de los recursos disponibles, incluyendo los depósitos de alimentos que no sufrieron daños, los recursos humanos, equipamiento, materiales y suministros fácilmente accesibles. • Elaborar un plan de emergencia y un plan de contingencia en salud ambiental. • Identificar fuentes alternas de agua potable, provisión de alimentos, disposición de excretas y basuras. • Coordinar con las diferentes empresas de servicios públicos para que se realicen las obras de mantenimiento y reforzamiento de líneas vitales. • Ubicar y adecuar diferentes lugares para alojamientos temporales en caso de evacuaciones de la población. • Priorizar la disponibilidad de agua. • Vigilar y controlar la calidad del agua en los sistemas de abastecimiento, en la distribución por carro tanques, en el agua almacenada, y en las fuentes de captación de agua. • Limitar los desplazamientos de vehículos inmediatamente después de una lluvia de cenizas, evitar conducir y permanecer a cubierto. • Mantener todas las puertas y ventanas del hogar cerradas mientras sea posible y colocar en los marcos de ventanas y puertas trapos humedecidos con agua. • Si se tienen cultivos de vegetales que quedaron cubiertos por cenizas en el campo, pueden ingerirse sin peligro una vez lavados con agua limpia. • Humedecer ligeramente los depósitos de cenizas antes de que sean retirados con palas, cuidando de no mojar demasiado los que estén situados en los techos, para evitar que el sobrepeso los haga colapsar. • Mantener a los niños en casa, siempre que sea posible. • Asegúrese de evitar que los niños jueguen en áreas donde la ceniza está enterrada o amontonada en el suelo. 						

Escenario 6						
CONTAMINACIÓN NATURAL DE FUENTES HÍDRICAS SUPERFICIALES POR CENIZA VOLCÁNICA ALTERANDO EL PH Y CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS						
FICHA:		ESC-6				
Objetivos						
<ul style="list-style-type: none"> Establecer alternativas de manejo y mitigación por Contaminación natural de fuentes hídricas superficiales por ceniza volcánica alterando el pH y concentración de sólidos suspendidos. 						
Impacto socio ambiental a controlar		Tipo de medida a aplicar				
		P	M	Con	Man	Com
Afectación a Sistema lóxicos				X	X	
Afectación a Sistema lénticos				X	X	
CONVENCIONES: P=Preventiva M=Mitigación Con=Control Man=manejo Com=Compensación						
Acciones a desarrollar						
<ul style="list-style-type: none"> Pruebas de laboratorio para identificar elementos tóxicos en el agua. Evitar ingerir agua de fuentes superficiales. Evitar que los animales ingieran agua de afluentes contaminados por cenizas. Luego de una erupción volcánica realizar monitoreos diarios en las cuencas altas del departamento donde se determinen las cantidades de los diferentes contaminantes que pueden afectar la potabilización del agua para el consumo humano. Anunciar por medio de un sistema de alerta temprano a todas las personas que tienen reservorios de agua colocar una cubierta es caso de que esté expuesta al aire libre. Realizar un inventario de todos los pozos de agua subterránea que existen en el departamento. Racionalizar y establecer prioridades para el consumo de agua de los tanques de reserva que se posean. 						

Escenario 7							
DAÑOS EN LOS ECOSISTEMAS POR EFECTO DE LA LLUVIA ACIDA							
FICHA:		ESC-7					
Objetivos							
<ul style="list-style-type: none"> Establecer alternativas de manejo y mitigación por daños en los ecosistemas por efecto de la lluvia ácida. 							
Impacto socio ambiental a controlar			Tipo de medida a aplicar				
			P	M	Con	Man	Com
Afectación a ecosistemas estratégicos					X	X	
Afectación a ecosistemas urbanos					X	X	
CONVENCIONES: P=Preventiva M=Mitigación Con=Control Man=manejo Com=Compensación							
Acciones a desarrollar							
<ul style="list-style-type: none"> En zonas irrecuperables se recomienda implementar la conservación como alternativa viable para la recuperación de suelos; e incluso analizar la viabilidad de la inscripción a un Programa de Pago por Servicios Ambientales. Es imperativo instruir a los agricultores y ganaderos en el monitoreo de variables climáticas y ambientales de interés agropecuario para la toma oportuna de decisiones durante los episodios de lluvia ácida en la zona. Realizar un estudio para ubicar estratégicamente diferentes estaciones meteorológicas en la zona de alta montaña para mantener la medición cada cierto tiempo de las diferentes condiciones atmosféricas en el Quindío e incluso gestionar un instrumento medidor de gases contaminantes. 							

Escenario 8						
AFECTACIÓN AL TRANSPORTE EN GENERAL POR SMOG VOLCÁNICO Y EFECTO DE ESCUDO SOLAR EN ADICIÓN A LAS AFECTACIONES DE MOTORES						
FICHA:		E SC-8				
Objetivos						
<p>o Establecer alternativas de manejo y mitigación por afectación al transporte en general por Smog volcánico y efecto de escudo solar en adición a las afectaciones de motores.</p>						
Impacto socio ambiental a controlar		Tipo de medida a aplicar				
		P	M	Con	Man	Com
Afectación a sistema de transporte aéreo			X	X	X	
Afectación a sistemas de transporte terrestre			X	X	X	
CONVENCIONES: P=Preventiva M=Mitigación Con=Control Man=manejo Com=Compensación						
Acciones a desarrollar						
<ul style="list-style-type: none"> Si observa una nube o calima que se sospecha podría contener cenizas volcánicas, la tripulación de vuelo debe saber que se acerca un encuentro con cenizas volcánicas y que es preciso tomar medidas para evitar el espacio aéreo contaminado. Es fundamental disponer oportunamente de información fiable y coherente relativa a las cenizas volcánicas (observaciones y pronósticos) para mitigar el riesgo de seguridad operacional del encuentro de una aeronave con cenizas volcánicas. Antes de iniciar sus operaciones en los espacios aéreos donde se pronostica contaminación por cenizas volcánicas o en los aeródromos contaminados por esas cenizas, el explotador debe llevar a cabo la evaluación de riesgos de seguridad operacional como parte de su sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS). Las acciones de evaluación de riesgos y mitigación del explotador deben tener en cuenta la información que esté disponible durante cada fase de la secuencia eruptiva, desde la actividad precursora de la erupción hasta el final de la actividad eruptiva, y responder adecuadamente a esa información. A la hora de formular los planes de contingencia tener en cuenta el modelo "The Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model" que ayudará a calcular las trayectorias de las parcelas de aire para determinar qué tan lejos y en qué dirección viajará una parcela de aire y, posteriormente, los contaminantes del aire. Definir y determinar el personal calificado y las responsabilidades para implementar el plan contingencia frente a la caída de ceniza volcánica en los diferentes aeródromos. Establecer los procedimientos y requerimientos para protección de personal, material y equipo de todas las instalaciones e infraestructura del aeródromo. Coordinar con los operadores aéreos, los procedimientos a seguir para la evacuación de las aeronaves y de protección de aquellas que no puedan ser evacuadas. Contar con información actualizada sobre la evolución de la actividad del volcán Machín. Activar la cadena de llamadas a explotadores aéreos y coordinar con ATS y la AAC la evacuación de las aeronaves de acuerdo con su plan de contingencia. Incluir dentro de los planes de contingencia una alerta para que se notifique a las aeronaves en vuelo, desde y hacia el aeródromo afectado por caída de ceniza para que se dirijan a su aeródromo alternativo. Incluir dentro del plan de contingencia Medidas de mitigación y limpieza específicas para cada sistema que afecte la seguridad operacional de los diferentes vehículos aéreos. Preparar una lista por prioridades de las instalaciones que deben mantenerse en funcionamiento y cuales pueden cerrarse y/o desconectarse y por cuanto tiempo. Disponer de un determinado nivel de abastecimiento de repuestos para los equipos críticos, filtros, equipo o elementos de sellado, limpieza y retiro de cenizas. Sellar o cubrir partes abiertas de las aeronaves y de los motores de las aeronaves, equipo de tierra, edificios estratégicos y equipo electrónico o de computadora, etc. Empujar las cenizas hacia el borde de la pista y mezclarla con la tierra mediante técnicas agropecuarias, como por ejemplo el arado, o bien cubrirlas con algún aglomerante líquido. Disminuir el período de recambio de filtros y de ser necesario utilizarse prefiltros o filtros adicionales reparar y limpiar los circuitos de alta tensión lavar los cojinetes de rotores de antenas, volver a lubricar y cubrir los cojinetes expuestos Soplar o lavar con abundante agua los componentes ópticos que tengan cenizas acumuladas. 						

Escenario 9						
AFECTACIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR LAS NUBES DE CENIZA VOLCÁNICA						
FICHA:		ESC-9				
Objetivos						
<ul style="list-style-type: none"> Establecer alternativas de manejo y mitigación por afectación a los sistemas de comunicación por las nubes de ceniza volcánica. 						
Impacto socio ambiental a controlar		Tipo de medida a aplicar				
		P	M	Con	Man	Com
Afectación a sistema de radiocomunicación			X		X	
Afectación a sistemas de telecomunicaciones			X		X	
CONVENCIONES: P=Preventiva M=Mitigación Con=Control Man=manejo Com=Compensación						
Acciones a desarrollar						
<ul style="list-style-type: none"> Disminución del grado de exposición de la infraestructura, reubicándola fuera de las zonas de amenazas, en este caso de las naturales consideradas, cuando sea posible en razón de la naturaleza del servicio. La creación de un Comité Sectorial que acometa, el estudio, análisis y adopción de las buenas prácticas para la gestión de la infraestructura de telecomunicaciones en Colombia. La identificación por parte de los prestadores de redes y servicios de comunicaciones, de los elementos de red instalados en zonas de amenaza, la cuantificación de vulnerabilidad y riesgo de su infraestructura y la reubicación de los mismos si el riesgo lo aconseja y el servicio lo permite. La utilización por parte de los prestadores de redes y servicios de comunicaciones, de sistemas de energía de respaldo, con la confiabilidad y autonomía necesarias para garantizar que los servicios de telecomunicaciones, ante la ocurrencia de un evento desastroso, continúen prestándose en ausencia del suministro de energía comercial por un período de tiempo suficiente, para garantizar la interoperabilidad entre las diferentes entidades encargadas de administrar los desastres en sus diferentes fases. Inventario de redes, equipos e infraestructura de telecomunicaciones. Identificación de infraestructura crítica y fundamental en casos de crisis. Evaluación y análisis del estado y capacidad de las redes, equipos e infraestructura. Logística y estrategias de prevención y protección de infraestructura, con el fin de soportar los efectos de un posible evento crítico y reducir los riesgos. Logística y estrategias para el fortalecimiento de los servicios de telecomunicaciones, con el fin de brindar la atención inmediata y la continuidad del servicio, en caso de un posible evento crítico y reducir los riesgos. 						

Escenario 10						
COLAPSO DE CUBIERTAS A CAUSA DE ACUMULACION DE CENIZA VOLCANICA						
FICHA:		ESC-10				
Objetivo						
<ul style="list-style-type: none"> Establecer alternativas de manejo y mitigación por colapso de cubiertas a causa de acumulación de ceniza volcánica. 						
Impacto socio ambiental a controlar		Tipo de medida a aplicar				
		P	M	Con	Man	Com
Afectación a sistema de cubiertas livianas y pesadas		X	X	X	X	
Afectación a sistemas de cubiertas moderadas y placas		X	X	X	X	
CONVENCIONES: P=Preventiva M=Mitigación Con=Control Man=manejo Com=Compensación						
Acciones a desarrollar						
<ul style="list-style-type: none"> Es conviene formular pendientes adecuadas a las cubiertas o proveer mecanismos de limpieza mecánicos o accesos para permitir la remoción de la ceniza que se vaya acumulando y evitar la sobrecarga que pueda ocasionar el daño. Fortalecer la estructura que soporta por debajo las cubiertas, añadiendo mayores puntos de apoyo y priorizando las cubiertas de hojas de Zinc que son las más susceptibles al colapso. Desarrollar normatividad de la mano de profesionales de ingeniería civil para definir inclinaciones que faciliten la evacuación de ceniza, así como para los procesos de limpieza. Revisar las estructuras que soportan las cubiertas de hojas de zinc y diseñar un plan de reforzamiento para aumentar la resistencia de las mismas. 						

Por último se realizó un mapa con los servicios y componentes básicos de atención en caso de erupción del volcán cerro Machín denominado “Mapa de plan de contingencia” donde se logran identificar las vías de evacuación principal tipo 1, las cuales tendrán capacidad de evacuar cantidades importantes de vehículos a la vez. De la misma manera se puede encontrar la red vial complementaria, las isopacas que indican hacia donde se tiene proyectado la caída de ceniza y todos los servicios básicos humanitarios en caso de la emergencia ambiental y sanitaria que representa el VCM para el departamento del Quindío. En la figura 34 se puede apreciar los puntos críticos de acceso como las vías de evacuación pero también aquellos puntos subterráneos con disponibilidad hídrica que a la fecha están siendo aperturados sea por el sector privado o por el público. De esta manera se tendría una alternativa ante el desabastecimiento del recurso hídrico.

Este mapa es de uso esencial en caso de la emergencia dado que es la carta guía a través de la cual se pueden dar alternativas a una población en medio de una situación tan difícil.

CONCLUSIONES

- El resultado número 1, permite generar una conceptualización del riesgo para el departamento del Quindío a través de la identificación de 10 escenarios concretos y sus efectos en otros lugares bajo condiciones vulcanológicamente similares, puesto que a través del mapa del Servicio Geológico Colombiano del 2002, solo se logra hacer un acercamiento a los efectos proyectados pero no indican hacia qué zonas del departamento se priorizan los efectos o de manera numérica indicar la población y áreas afectadas.
- Este tipo de resultados permiten generar de manera concisa las alternativas que se deben plantear como se proyectan en el resultado número 3. Adicionalmente la modelación y representación de escenarios permiten que la información esté disponible para la sociedad en general de manera que se puedan ubicar en su propio territorio y llegar a generar estrategias como planes familiares de gestión de riesgo de desastres lo que permite aumentar la capacidad de respuesta a partir del conocimiento del riesgo y las fichas en complemento al plan de contingencia.
- La disponibilidad de información determinó el alcance de la modelación de los escenarios, en especial para los escenarios de Cambios en las condiciones y características edáficas y agrológicas, Conductas de Pánico Evacuación masiva en los municipios a causa de la pérdida de condiciones de habitabilidad y Afectaciones a municipios por Movimiento Telúricos a partir de enjambres sísmicos o tremores, dado que la información no es pública.
- Información como la distribución de la población por veredas o los estudios detallados de suelos en los formatos para procesamiento (shapefile) no es de fácil acceso por lo que es necesario para el ajuste del plan de contingencia realizar las proyecciones con base a la ubicación geográfica y no solo de manera poblacional con los estimados de área.
- Con base en información del IGAC (2020), se logra conocer que a 2019 el departamento del Quindío cuenta con un total de 241.550 edificaciones, repartidas en 219.618 en zonas urbanas y 21.932 en zona rural.

- Del total de 241.550 edificaciones en el departamento del Quindío, 236.081 se encuentran en zona de amenaza por caída de Piroclastos asociado al transporte eólico (Ceniza) lo que representa que las edificaciones expuestas ante una potencial afectación son del 97,7% del total de edificaciones a nivel departamental; a se destaca que el 92% de esas edificaciones correspondiente a 216.488 se encuentran en zona urbana, y el restante 8% con 19.593 están en zona rural.
- Se destaca que según el mapa del SGC, la zona que podría ser más afectada ante una potencial caída de ceniza, corresponde a la isopaca de 30 cm, donde se presentan aproximadamente 100.457 edificaciones, correspondiente al 42,6% del total de edificaciones expuestas.
- En el escenario de contaminación de drenajes hídricos superficiales, el total de afectación de cauces es de 1700, en sus diferentes clases de contaminación. Para esto se recomienda revisar los resultados y conclusiones propuestas en los resultados de los laboratorios.
- La masa de 1 mm de ceniza sobre 1 m² de cubierta puede pesar entre 0,834 kg a 1,068 kg, lo que significa que la ceniza seca acumulada en 1 m³ sobre 1 m² cuadrado de una superficie o una cubierta puede estar entre 834,9 kg a 1.068 kg, lo cual podría generar colapsos generalizados según la vulnerabilidad de la cubierta y la estructura.
- Los promedios identificados en la relación Volumen - Masa entre la ceniza y el agua (tabla 4, informe de laboratorio) indican la diferencia de densidades que puede llegar a presentar la compactación de la ceniza en caso de un evento. Si bien la ceniza inicialmente no representa una masa representativa para el volumen, su acumulación puede generar que las partículas tengan una mayor cohesión aumentando su peso poco a poco llegando a ser un poco más alta que la del agua para 1 litro (ver tabla 4) Esto es importante a la hora de ver el efecto de la cenizas

en los techos donde la masa de 1 litro de ceniza compactada es equivalente a 1 milímetro por metro cuadrado; esto es relevante cuando se ve a la luz del mapa de isopacas del INGEOMINAS (2002), donde hay municipios que podrían tener afectaciones de hasta 40 centímetros de ceniza, lo cual eleva 400 veces la masa sin compactar para un total de 334 Kg, aproximadamente, en 1 metro cuadrado, es decir que 1 metro cúbico de ceniza sobre un metro cuadrado de precipitación podría pesar entre 1169 Kg y 1402 Kg. Esto cobra relevancia en la capacidad de compactación que puede tener la ceniza en especial durante el proceso de limpieza de techos o calles, así como para los sistemas de acueducto y alcantarillado, en caso de un escenario como el que se tiene proyectado para el departamento del Quindío o la acumulación de ceniza y su posterior ganancia en humedad a causa de la precipitación

- Las pruebas de pH indican que la ceniza de manera inmediata en sus mayores concentraciones, logran alcanzar puntos bajos de hasta 2,87 recién mezclado y de 5,16 ya sedimentado. Esto es de alta importancia a la hora de que las entidades que prestan el servicio de acueducto formulen su plan de contingencia frente al manejo que se le debe dar a partir de las concentraciones indicadas por el INGEOMINAS (2002). Así mismo deben compararse los resultados arrojados sobre conductividad eléctrica y concentración (PPM) frente a los estándares indicados en el marco nacional e internacional sobre calidad de agua. Esto implicaría que la población del departamento del Quindío se vería forzada a buscar agua en otros sectores cercanos del Valle del Cauca y dependiendo de la disponibilidad utilizar los pozos que se designan en el mapa del plan de contingencia (figura 34)
- La afectación al sector agropecuario es de alto impacto dado que como se muestra en el resultado 2, la afectación es sobre el 77,1% del área total disponible para procesos productivos. Esto recordando el contexto que el departamento es un territorio que depende principalmente de los productos ofertados del primer sector. Así mismo se debe considerar el hecho de que si bien en caso de una emergencia, las ayudas de distintos niveles y organizaciones harán presencia, la seguridad

alimentaria del Quindío se vería grandemente afectada disminuyendo la capacidad de producción y por lo tanto de acceso a la población.

- Como se mostró en el mapa de afectación al sistema de transporte, el sector de la Línea es la zona que va a recibir la mayor carga de ceniza (40 cm) así como la mayor cercanía con el sistema de fallas de la zona y es una de las zonas que mayor amenaza por movimientos de remoción en masa presenta, por lo que esta vía será una de las más afectadas, así como la infraestructura correspondiente a los túneles, por lo que debe tenerse en cuenta las vías alternas desde el municipio de Calarcá con miras hacia el norte del departamento.
- El plan de contingencia ante escenario eruptivo del VCM debe integrar la lista de pozos profundos de agua, de manera que se pueda brindar una respuesta rápida teniendo en cuenta también que los municipios de los departamentos vecinos pueden prestar apoyo. En el caso del manejo de esta situación la disponibilidad del recurso hídrico para ingerencia humana es ineludible y obligatorio por las diferentes afectaciones que tiene a la vez. Además como se mencionó anteriormente, el evento eruptivo puede durar días y hasta meses.
- Los pozos profundos de agua según su profundidad, caudal y tipo de uso más recomendados a ser usado en el plan de contingencia para captación de agua son: Parque de recreación, parque del café, printex, club campestre y parque del café.

- Las vías recomendadas para el proceso de evacuación en el momento preruptivo o durante los tiempos estimados para evacuar en la erupción, según nivel de alerta del Servicio Geológico Colombiano son:
 - Armenia - La Tebaida - zarzal
 - Armenia - Montenegro - Quimbaya - Alcalá
 - Armenia - Pueblo Tapao - La Tebaida
 - Autopista del Café, Vía Armenia - Pereira
 - Armenia y Calarcá - Barcelona - Rio Verde Barragán

- Como alternativa y complemento al proceso de evacuación terrestre y previo al inicio del proceso eruptivo se pueden realizar evacuaciones aéreas y helicoportadas haciendo uso de los 18 helipuertos y 7 aeródromos.

RECOMENDACIONES

Gestionar la construcción de una herramienta para el almacenamiento y administración adecuada de información de carácter meteorológico con el fin de poseer un sistema de información que nos ayude a tomar decisiones en materia de movilidad aérea en caso de una erupción del volcán Cerro Machín.

Se hace pertinente tener en cuenta este estudio para la toma de decisiones en materia de gestión del riesgo en el departamento, no solo por erupción volcánica sino también otros fenómenos naturales que nos afectan directamente, ya que debido a las diferentes modelaciones y el volumen de información recolectada puede ser de utilidad a la hora de la construcción de los Planes de contingencia para diferentes problemáticas.

La información demográfica disponible debe ser ajustada a la información por veredas para poder realizar la estimación de población afectada y analizada por edades de manera que la población pueda generar acciones concretas ante el evento.

Modelar los escenarios que quedaron pendientes a partir de programas alternativos como OPENFOAM o GEO5 con programas de modelación de distribución de ceniza a partir de

carga piroclástica como ASHFLOW del Servicio Geológico estadounidense de manera que se pueda tener información más detallada.

Si bien no es un estudio de percepción de riesgo, la efectividad del estudio depende de la gestión del conocimiento que puedan hacer entidades como la UDGRD y las OMGRD, así como la CRQ, con el objetivo de que la gente pueda entender el riesgo con el que conviven llegando a diseñar planes de contingencia para las empresas y sectores agrarios tomando decisiones concretas y acciones que permitan la reducción del riesgo.

Los efectos agudos y crónicos sobre la salud de la ceniza volcánica dependen del tamaño de partícula (particularmente la proporción de material de tamaño respirable), la composición mineralógica (incluido el contenido de sílice cristalina) y las propiedades fisicoquímicas de las superficies de las partículas de ceniza, todo lo cual varía entre volcanes e incluso erupciones del mismo volcán, pero no se informa información adecuada sobre estas características clave para la mayoría de las erupciones.

Es importante tener en cuenta en los resultados de proyección poblacional que según los datos del DANE (2018) del censo la pirámide poblacional para el departamento presentó un aumento en la población adulta - anciana, por lo que los riesgos principales asociados como la afectación al sistema respiratorio y óptico pueden llegar a generar graves afectaciones al proceso de desarrollo demográfico del Quindío. Así mismo debe tenerse en cuenta que la capacidad de respuesta de estas personas en la tercera edad puede dificultar procesos de respuesta y evacuación.

Esta investigación tiene la información básica para la actualización del plan departamental de contingencia ante erupción volcánica del VCM, pero también puede funcionar como insumo para la actualización o generación de documentos como Planes Municipales de Gestión del riesgo de desastres y Estrategias Municipales de Respuesta.

Los mapas que se encuentran en la carpeta de anexos, se encuentran en formato de impresión tipo plotter de manera que los municipios tengan acceso a ellas y puedan realizar los estudios necesarios complementarios para que se pueda tener una actitud no solo de prevención sino de acciones que conlleven a una reducción del riesgo concreta. Vale la pena recordar que como se mencionó en el resultado 1, hay pueblos y sociedades que viven

con este riesgo de manera más activa por lo que se han desarrollado alternativas que les permiten desarrollar sus actividades sin dejar a un lado su territorio.

Cada una de las representaciones de los escenarios aquí expuestos, busca generar un acercamiento a través de la identificación de los elementos expuesto y no solamente mencionar el proceso de amenaza al cual se encuentra asociado. Ante la toma de decisiones se debe hacer un estudio más profundo el cual permita identificar si hay mayores conflictos en cada uno de los escenarios, sea de manera social o sea de manera técnica.

La gestión del riesgo de desastres tiene un papel fundamental en la gestión integral de cada aspecto de la vida como individuos, familias y sociedades. Todas las actividades económicas pueden verse altamente afectadas así como las vidas asociadas a estos procesos. Se debe tener en cuenta que en el año 1999 se tuvo un gran evento (sismo del Quindío) el cual tuvo implicaciones socio-económicas así como altas pérdidas de vidas. El objetivo principal entonces de este proyecto más allá del cumplimiento de un objetivo es la propuesta de conocimiento ante un evento inminente que se puede dar en cualquier momento pero que con las acciones concretas y el conocimiento entregado a la población las vidas pueden resultar en cero pérdidas. Para esto el resultado 3 es esencial no solamente desde el aspecto de indicación de puntos de evacuación sino del entendimiento del funcionamiento de cada uno de los escenarios.

IMPACTOS ESPERADOS

Este proyecto de investigación busca generar un proceso de interrelación sobre conocimientos de los volcanes de carácter similar, o sea aquellos de tipo pliniano, a los que se le conocen sus efectos sobre el territorio dado que no hay registros de los impactos generados por el Volcán Cerro Machín (VCM) en su última erupción hace 800 años y cruzarlos con los investigaciones recientes sobre la formación y las características estructurales, geomorfológicas y fisicoquímicas del VCM. De esta manera se pretende tener datos básicos para hacer proyecciones para el departamento del Quindío, con el objetivo de desarrollar resiliencia frente al futuro evento.

Impacto Social

El departamento del Quindío en el año 1999 vivió el evento sísmico con mayor afectación para el territorio, razón por la cual se podría decir que las personas han desarrollado un “sentido de respuesta” frente a este tipo de eventos de origen tectónico. Sin embargo, un proceso eruptivo de tipo pliniano como presenta el volcán Cerro Machín, no es frecuente como se expresaba anteriormente, y tampoco presenta un homólogo cercano con el cual se pueda hacer evaluaciones de los efectos para los territorios.

La ley 1523 de 2012, determina que la gestión del riesgo de desastres es un proceso social en el cual se involucra a todos los actores, por lo cual el conocimiento del riesgo es fundamental para la reducción del riesgo y el manejo del desastre, partiendo de la misma sociedad y no solamente de la estatalidad.

Hay algo importante que se debe tener en cuenta, que no se hace de forma común en los análisis de riesgos y es la proyección frente a la reconstrucción de la ciudad. En otras palabras no solo el manejo del desastre se convierte en un desafío titánico en ausencia de conocimiento por parte de la población sino que el proceso en sí de regresar a la “normalidad” (rehabilitación - recuperación - reconstrucción) puede tornarse mucho más larga puesto que es algo totalmente nuevo, en especial para la población del departamento del Quindío. Y debido a que el proyecto busca generar e integrar información sobre el riesgo latente, las personas pueden verse beneficiadas al conocer las condiciones determinantes y naturalidades que generan que el Quindío sea como es.

Impacto Ambiental

Los impactos al medio no siempre tiene su origen antrópico, sino que el mismo medio puede generar afectaciones al medio que si bien son de origen natural, tienen repercusiones en los ecosistemas que se desarrollan en un territorio. El proyecto abarca desde afectaciones por polución hasta incendios forestales en zonas de importancia ambiental, y en ausencia de

un conocimiento de los escenarios definidos estos ecosistemas podrían verse afectados al punto de no reparación debido al desconocimiento para el manejo del desastre.

Este proyecto dentro de sus planteamientos de alternativas tiene en cuenta esas afectaciones de forma que se puedan prever las acciones de intervención en los ecosistemas y agroecosistemas de importancia para la sustentabilidad del departamento del Quindío.

Impacto Económico

Los impactos socio - económicos que acarrea cualquier desastre de origen natural siempre dependen del nivel de conocimiento del riesgo manifestado en las medidas estructurales y no estructurales asignadas, que permitirán amortizar la afectación para todo el mercado que se mueve en un territorio.

Si bien el Quindío es un departamento que depende altamente del sector primario para su desarrollo económico, también se tiene una serie de fenómenos económicos que determinan la región como el procesamiento o transformación agroindustrial de materias primas; así mismo otro grande económico en el territorio es el turismo, el cual puede verse afectado de forma inmediata y posterior en ausencia del conocimiento del escenario. Decisiones como seguros, formulación de alternativas económicas a partir de este tipo de emergencias necesitan información base que determine el alcance del escenario. De esa forma se podrá realizar una efectiva gestión sobre el recurso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, C; Arango, E; Gómez, J; Murcia, H & Piedrahita, D (2018). Estratigrafía del cráter y morfología del volcán Cerro Machín, Colombia. *Boletín de Geología*, 40(3), 29-48. <https://dx.doi.org/10.18273/revbol.v40n3-2018002>
- Alcalá, J & Flóres, L (2010) Manual de procedimientos analíticos para laboratorio de Física de Suelos. Instituto de Geología. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Recuperado de <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>

- Álvarez-Castro, J. F., & Pridybailo-Chekan, G. (2005). Corrosión atmosférica en el volcán Poás, proyecto TROPICORR. *Revista Tecnología En Marcha*, 18(2), pág. 126. Recuperado a partir de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/219
- Augusto, M; Caselli, A; Vélez, M (2011) MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANTE CAÍDA DE CENIZAS VOLCÁNICAS. Grupo de Estudio y Seguimiento de Volcanes Activos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Avery, J.G. 2003. The aftermath of a disaster. Recovery following the volcanic eruptions in Montserrat, West Indies. *West Indian Med. J.*
- Calvo, L (2015) Riesgos hidrovulcánicos en el volcán Fuego de Colima, México. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID. FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/35622/1/T36800.pdf>
- Cámara de Comercio de Bogotá (2012) ¿Qué es el Código CIU?. Recuperado de http://recursos.ccb.org.co/ccb/instructivos/acerca_CIU/01.html
- Cedillo. L, Rivera. A & Yañez. A. (2005) Emisión de Ceniza Volcánica y sus Efectos. *Asociación Española de Ecología Terrestre. Revista Ecosistema* 14 (3). pp 107-115. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/16361271.pdf>.
- Chaves. A; Gallardo. R; Mendez. G; Rodriguez. F & Solís. E. (S.F) Evaluación de algunos efectos del fenómeno de lluvia ácida como producto de la actividad eruptiva del volcán Arenal, San Carlos, Costa Rica. Recuperado de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2879/2639
- CORTOLIMA - Corporación Autónoma Regional del Tolima (2020) AJUSTE PARCIAL AL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. CORTOLIMA - Universidad de Ibagué.
- Corporación autónoma regional del Quindío, de Risaralda y del Valle del Cauca. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica - POMCA: Río La Vieja (2018) Consorcio POMCA - Quindío.
- Criollo. E; De la Torre. E; Gallegos. B; Guevara. A; Mena. F & Valencia. L (2008) Evaluación del efecto de la caída de ceniza del volcán Tungurahua sobre suelos agrícolas. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/14.-Ing.-Alicia-Guevara.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2017) Marco Geoestadístico Nacional.
- Dankhe, Gordon (1986). “Investigación y comunicación”. En: Fernández- Collado, C & Dankhe, G. (eds.). *La comunicación humana en la ciencia social*. México: McGraw Hill.
- Decreto 1807. Diario Oficial No. 49.279. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 19 de septiembre de 2014
- Decreto 1077. Diario Oficial No. 49.523. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 26 de mayo de 2015
- Delaney, D (2008) *Territory: A Short Introduction to Geography*. Wiley Edition.
- E. Duarte & E. Fernandez (S.F) *La lluvia Ácida en Volcanes de Costa Rica*. Instituto de investigación observatorio Vulcanológico y sismológico de Costa Rica - Universidad Nacional de Costa Rica. Recuperado de

<http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/vulcanologia/informes-y-boletines/informes-tecnicos?download=98:la-lluvia-acida-en-volcanes-de-costa-rica&start=15>

- EL PAÍS. (2005) Krakatoa, el viejo padre del gran 'tsunami'. Recuperado de https://elpais.com/diario/2005/01/16/domingo/1105851162_850215.html
- Escobar. E & Montalvo. F. (S.F) Lluvia ácida de origen volcánico. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Costa Rica. Recuperado de http://cidbimena.desastres.hn/filemgmt/files/lluvia_acida.pdf
- ESRI (2020) Introducción a SIG: Como se usan los mapas para aplicar SIG: Recuperado de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000t000000.htm>
- Food and agriculture organization (2010) LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE CONTINGENCIA REGIONAL PARA EL SECTOR SILVOAGROPECUARIO. Santiago de Chile, Chile.
- Gobernación del Quindío. (2013). Datos Geográficos Básicos. Gobernación del Quindío. Recuperado de: <https://quindio.gov.co/el-departamento/generalidades/datos-geograficos-basicos>
- Gonzalez, E (2006) PELIGROS Y RIESGOS VOLCÁNICOS EN BIOGEOGRAFÍA: EFECTOS SOBRE LA VEGETACIÓN. Universidad de Castilla-La Mancha Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio. Recuperado de <https://previa.uclm.es/profesorado/egcardenas/%C3%A1vila.pdf>
- Granados. D; Lopez. G & Hernández. M (2010) La Lluvia ácida y los ecosistemas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del ambiente 16. pp 187-206. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v16n2/v16n2a9.pdf>
- Guillén. J & Ruiz. A (2015) Diagnóstico de los efectos de la lluvia ácida en la actividad productiva en la zona aledaña al Parque Nacional Volcán Turrialba, Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia. Recuperado de <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/repertorio/article/view/2539/3233>
- Henao P (2014) El riesgo: realidad virtual. Deslizamientos activados por amenaza sísmica volcánica del volcán Cerro Machín. Entorno Geográfico, no. 10, 2014, p. 152. Recuperado de <https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA408916640&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=16920074&p=IFME&sw=w>
- Hepp, C. (2008) LOS EFECTOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS SOBRE LOS ECOSISTEMAS AGROPECUARIOS. Revista INIA Tierra adentro. Edición julio - agosto. Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/remehue/noticias/EfectoscenizassuelosHeppTA2008.pdf>
- Hidalgo. C & Vega. J (2014) Estimación de la amenaza por deslizamientos detonados por sismos y lluvia (Valle de Aburrá - Colombia) Escuela de Ingeniería de Antioquia. Revista EIA XI. pp- 103-107. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n22/n22a09.pdf>
- ICHIKAWA A.(2016).Cuándo y Cómo Fue la Erupción del Volcán Ilopango, El Salvador: Síntesis desde la Óptica Arqueológica
- IDEAM (2011) Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000 Bogotá, D. C., 2011. 109 pag.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2013) Estudio Semidetallado de suelos: Departamento del Quindío, Escala 1:25.000. Recuperado de https://www.crq.gov.co/images/Info-Ciudadano/ESTUDIO_SEMIDETALLADO_DEL_QUINDIO.pdf
- INGEOMINAS (2002) MAPA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POTENCIAL DEL VOLCÁN CERRO MACHÍN. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.
- INGEOMINAS (2003) MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA DE AMENAZA MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA DE AMENAZA VOLCÁNICA DEL CERRO MACHÍN. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.
- Instituto de investigaciones Marinas y Costeras de Colombia - INVEMAR (2003) Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (Aguas, sedimentos y organismos). Santa Marta, Colombia. Recuperado de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas.pdf>
- International Volcanic Health Hazard Network - IVHHN (S.F) PROCEDIMIENTOS PARA COLECTAR MUESTRAS DE CENIZAS POST EVENTO VOLCÁNICO. Recuperado de https://www.ivhhn.org/uploads/es/IVHHN_Ash_Collection_Procedures_Spanish.pdf
- Jean C, Jersy M, Luisa M, Saida J, Kevin Cueva (2018) Pueblos enterrados por la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina: geología del sector de Calicanto y Chimpapampa. Observatorio Vulcanológico del INGEMMET. Recuperado de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1474/1/Cueva-Pueblos_enterrados%20por_erupcion_volcan_Huaynaputina.pdf
- Ley N° 388. Diario Oficial No. 43.127, del Congreso de la República de Colombia. Bogotá D.C, Colombia 12 de septiembre de 1997
- Ley N° 1454. Diario Oficial No. 48.115 del Congreso de la República de Colombia. Bogotá D.C, Colombia 29 de junio de 2011.
- Ley N° 1523. Diario Oficial No. 48.411 del Congreso de la República de Colombia. Bogotá D.C, Colombia 24 de abril de 2012.
- Leza, Escriña & Asociados S.A (S.F) Circular 04.15 ERUPCIONES VOLCANICAS UN RIESGO DORMIDO. Recuperado de https://www.lea-global.com/uploads/circulares/2015/09/5_erupciones_volcanicas_-_coberturas_de_seguros.pdf
- Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo sostenible de Colombia (2010) Reglamento Colombiano de construcción sismorresistente. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2021) Estadísticas Nacionales - Flujo de Turistas - Turismo Receptor. Más Información en: https://www.citur.gov.co/estadisticas/df_viajeros_ciudad_destino/num_viajeros/2?t=1#gsc.tab=0 MINCIT - CITUR (26/07/2021)
- Ministerio del Interior de España (2011) Marco de Acción de Hyogo 2005-2015. Recuperado de http://www.proteccioncivil.es/busqueda?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode

=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=319016&_101_type=content&_101_urlTitle=marco-de-accion-de-hyogo-2005-2015&inheritRedirect=true

- Ministerio de Salud de Argentina; Secretaría de Políticas, Regulación e Institutos; administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología - ANMAT & Instituto Nacional de Medicamentos - INAME (2003) FARMACOPEA. Recuperado de http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_I/files/assets/basic-html/page19.html
- Moreno. D (2012) Volcán Machín en la generación de deslizamientos. Universidad nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/6414/1/296513.2012.pdf>
- Museo de Ciencias de Puerto Rico (2020) ¿Qué son los volcanes? Recuperado de <https://ecoexploratorio.org/amenazas-naturales/volcanes/que-son-los-volcanes/>
- Naranjo. J (2012) UTILIZACIÓN DE UN MODELO ESPACIAL EN LA DETERMINACIÓN DE ZONAS SEGURAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA POBLACIÓN POTENCIALMENTE AFECTADA POR LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA EN LOS MUNICIPIOS DE LA ECORREGIÓN EJE CAFETERO DE COLOMBIA. UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES
- OBANDO-QUINTERO, M.O.; RAMOS-PATINO, R.A.; PORTILLA GAMBOA, M.E. & CEPEDA-VANEGAS, H., G. (2003): Modelamiento asistido por computador de flujos piroclásticos en el Volcán Cerro Machín (Tolima. Colombia).- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 28, pp. 21-37, 15 figs., 2 Tablas, 1 Lamina, Bogota.
- Observatorio vulcanológico del Instituto geológico, minero y metalúrgico del Perú (2020) Tipos de Erupciones. Recuperado de http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=102
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2020) ¿Qué es el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres? Recuperado de <https://www.undrr.org/es/implementando-el-marco-de-sendai/que-es-el-marco-de-sendai-para-la-reduccion-del-riesgo-de>
- Organización Panamericana de la Salud (S.F) ERUPCIONES VOLCÁNICAS. Recuperado de <https://www.paho.org/disasters/index.php?Itemid=1171&lang=es>
- Organización Panamericana de la Salud (2002) Efectos de la Erupción del Volcán Reventador (2002) en los Sistemas de Agua y Alcantarillado. Quito, Ecuador. Recuperado de <https://www.paho.org/es/node/69724>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia (2007) Mapa Ecoturístico Parque Nacional Natural Los Nevados. Recuperado de https://www.esri.com.ec/Imagenes_Archivos/Central_Esri/ccu/mapas/mapaspdfs/mapa_15.pdf
- Red Internacional de Peligros para la Salud Volcánica (S.F) The health Hazards of volcanic ash: A guide for the public. Recuperado de <https://www.ivhhn.org/information>

- Rivera, J (2003) Caracterización de las cenizas volcánicas en el departamento del Quindío sometidas a condiciones de secado. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15884/u239802.pdf?sequence=1>
- Rueda, H. (2005). Erupciones plinianas del Holoceno en el volcán Cerro Machín, Colombia. Estratigrafía, petrografía y dinámica eruptiva. MSc Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Santana, G (2005) LAS CATÁSTROFES NATURALES EN LA ANTIGÜEDAD I(INUNDACIONES, ERUPCIONES VOLCÁNICAS E INCENDIOS.Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- SEGEMAR-SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO (S.F) GACETILLA INFORMATIVA EFECTOS Y ACCIONES A REALIZAR FRENTE A UNA LLUVIA DE CENIZAS. MINISTERIO DE PLANIFICACION FEDERAL, INVERSION PUBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE MINERIA. Recuperado de <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/upload/volcanescenizassegemar1.pdf>.
- Segovia, P (2015) Posibles efectos de la ceniza volcánica en el suelo y en la vegetación. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y recursos naturales. Recuperado de <http://www.forestal.uach.cl/noticias/post.php?s=2015-05-11-posibles-efectos-de-la-ceniza-volcanica-en-el-suelo-y-en-la-vegetacion>.
- Servicio Geológico Mexicano - SGM (2017) Geofísica. Museo Virtual. 22 de Marzo de 2017. Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Geofisica/Introduccion-geofisica.html>
- Tehran, N (2010) LÍNEAS DE ACCIÓN PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO POR CAÍDA DE CENIZA VOLCÁNICA EN EL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE NARIÑO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES . Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1491/62816T318.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres-Corredor, R.A., Ponce-Villarreal, P., y Gómez-Martínez, D.M. 2017. Vulnerabilidad física de cubiertas de edificaciones de uso de ocupación normal ante caídas de ceniza en la zona de influencia del volcán. Recuperado de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/6386/6613>
- Unidad Nacional para la gestión del Riesgo de Desastres (2017) Terminología sobre gestión del riesgo de desastres y fenómenos amenazantes. Bogotá, Colombia.
- Unidad Nacional para la gestión de Riesgo de Desastres (2018) Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes. Bogotá, D.C., Colombia
- Universidad central de ecuador (2015) PLAN DE CONTINGENCIAANTE ERUPCIÓN VOLCÁNICA.Recuperado de https://repositorio.uce.edu.ec/archivos/neyazan/PlanContingencia/plan_general_erupcion_volcanica.pdf
- Vergara, C (2014).Volcán Tambora (Indonesia)en 1815: La erupción más grande de la historia y sus consecuencias.Recuperado de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38497178/Volcan_Tambora-Camilo_Vergara.pdf?1439828464=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DVolcan_Tambora_Indonesia_en_1815_La_erup.pdf&Ex

pires=1604634393&Signature=DTbJ21AIR8G3CMyYIoLdgNETQ3c-mSKcT58nZ0szorNto7h2YJEmwj4LN0Sz3BCUY2GywDAeHCi-nmPHXQsWskMSvdqOp4C3Bg0CvdfwqQ9r2J-K0ss0MrgZCNwioQjX1-sfp5gcLd4pwDMAGPgEul7B9ekPNiCoGHiUbBwHEbxybpNOWLylDZj-L1Bv6NB277KQnmMPD3oHsV6W~p9PnaOyucuVZYZqqTQV22cy3eVgv8b1t5X5iIzmQnyHqonMtXRh05HKmfpJJmmMNjRN7y9W8w5MOVF8MsaPu5UJwiYVdzho1vG6r2MoWU8SI07PQQWenuAKTjdKaqlVVUGEA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- Wadsworth. J (1997) Análisis de Sistemas de Producción Animal - Tomo 2: las Herramientas Básicas. (Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 140/2) Food and Agriculture organization.
- Wilches-Chaux, G (2010) Gestión integral del Riesgo: De los Derechos de los Afectados. Cuadernos de Clase N° 02-02: Desarrollo regional y planificación del territorio. Colección: Desarrollo, Región y Paz. Universidad Autónoma de Manizales.
- Zimanowski, B., Wohletz, K., Dellino, P. y Buttner, R. 2002. The volcanic ash problem. J. Volcanol. Geother.

ANEXOS

Anexo 1: Formato para el etiquetado de muestras en campo (Para esto también van a ser usadas herramientas de colecta de información electrónica como Survey 123 o Collector de la plataforma ARCGIS Online)

Formato de etiqueta de muestra de ceniza en campo.																									
Codigo de Muestra	Fecha de la Erupción (dd/mm/aaa)	Fecha de la Recolección (dd/mm/aaa)	Latitud del punto de recolección	Longitud del punto de recolección	La ceniza corresponde a:		Tiempo transcurrido desde ese evento (días)	Área de la superficie muestreada (m ²)	Altura del material acumulado (cm)	Estado del Depósito		Contiene de forma reconocible (Observacional)					Presencia de precipitación al momento de recolección de la muestra		Temperatura (°C)	Humedad Relativa (H%)	Distancia del Respiradero (m)	Distancia del Eje de dispersión principal (m)			
					1 evento	Múltiples eventos				Seco	Húmedo	Lapilli	Líticos	Piedra Pómez	Materia Orgánica	Otros	SI	NO							

Anexo 2: Formato para verificación espesor de capa por puntos

Latitud	Longitud	Punto	Espesor Capa (CM)	Ubicación Relativa
4.539966°	-75.649748°	1		Alto de Río
4,529828	-75,670588	2		Cerca al puente la florida
4.551059°	-75.673665°	3		Barrió Niagara frente a Terraza bambú



4.534206°	-75.643016°	4		entrada a Calarcá por el Alto del río
4.5899°	-75.6334°	5		vereda San Juan Bosco junto a la tienda finalizando la carretera pavimentada
4.565822°	-75.653739°	6		Terreno a construir, frente al edificio metroloft
4.544937°	-75.684183°	7		Vereda Hojas Anchas
4.536907°	-75.680733°	8		Plaza de toros
4.5332°	-75.6946°	9		Construcción barrio La unión diagonal altos de agua bonita
4.5097°	-75.7054°	10		Km 1 vía Armenia - La tebaida (entrada finca)
4.5247°	-75.7048°	11		Barrio Zuldemaida

Anexo 4: Recursos

FASE	ACTIVIDAD	RECURSO
1	Búsqueda de información	Acceso a Internet, bases de datos de la universidad, computadores personales.
	Análisis de información	Computadores Personales, documentos e información recolectada.
	Estructuración de la información en una Matriz.	Matriz de marco teórico consolidado e información clasificada.
	Estandarización de información sobre los escenarios	Estándares de SGC (2002) 4 autores diferentes para cada escenario.
	Visita a puntos para verificación de espesor del tamaño de la ceniza acumuladas del último proceso eruptivo	Vehículos, cámara fotográfica para toma de evidencias visuales.
	Visita técnica al Volcán Nevado del Ruiz para toma de muestras de ceniza	Bandeja plástica con un borde mayor a 5 cm, GPS, bolsas de papel "Kraft" o de plástico resellables, Guía Técnico para orientación.
	Realización de pruebas fisico-químicas en laboratorio	Disponibilidad de las Instalaciones de laboratorios y los insumos por parte de la universidad La Gran Colombia
2	Recopilación de resultados de las pruebas para darle peso a los geoprocesos	Computadores personales y Software ArcGis
	Recopilación de información geográfica en plataformas y motores de búsqueda especializadas para cada uno de los escenarios determinados.	Computadores personales, Software ArcGis, bases de datos académicas.
	Análisis y procesamiento de la información geográfica existente para la proyección de los escenarios más relevantes	Computadores personales y Software ArcGis
	Modelación de los escenarios de riesgo identificados a partir del uso de Herramientas SIG.	Computadores personales y Software ArcGis
	Elaboración de base de datos geográfica estandarizada con los resultados de los geoprocesos.	Computadores personales y Software ArcGis
	Búsqueda de planes de contingencia con volcanes de similar carácter explosivo.	Computadores personales, acceso a internet y bases de datos de la universidad.
	Búsqueda de información base para planteamiento de alternativas y de medidas estructurales y no estructurales.	Computadores personales, acceso a internet y bases de datos de la universidad.

3	Análisis del Plan de Contingencia del Quindío ante riesgo por erupción volcánica del VCM y comparativo con otros similares.	Computadores personales, acceso a internet y bases de datos de la universidad.
	Identificar las posibles alternativas de respuesta ante la emergencia, con base en las modelaciones de los escenarios.	Computadores personales, acceso a internet y bases de datos de la universidad.
	Propuesta de acciones enfocadas a la reducción y manejo de los efectos derivados ante el evento volcánico del Volcán Cerro Machín.	Computadores personales, acceso a internet y bases de datos de la universidad.
	Salida Gráfica con la información actualizada a partir de la información recolectada	Computadores personales y Software ArcGis
	Estructuración documento final, análisis y conclusiones.	Computadores personales, acceso a internet y bases de datos de la universidad.

ANEXOS Cartográficos en la carpeta:

1. Base de datos Geográfica (GDB)
2. Mapas (MXD y PDF)
3. Figuras
4. Leyendas y Excel
5. Anexos
 - Resultados salida de campo al Volcán Nevado del Ruiz
 - Resultados de laboratorios sobre parámetros básicos fisicoquímicos de la ceniza
 - Tabla de Resultado 1 en excel drive - Artículos por escenario
 - Tabla de proyecciones poblacionales
 - Tabla de Cálculo Pruebas de Laboratorio
 - Afectación de Veredas del Quindío.
 - Matriz de Escenarios y Autores (Resultado 1)