

**“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL A
FENÓMENOS VOLCÁNICOS DE LOS SISTEMAS DE VÍAS Y
TRANSPORTES, EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS”**

SANDRA MILENA ROSERO ARGOTE

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2009**

**“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL A
FENÓMENOS VOLCÁNICOS DE LOS SISTEMAS DE VÍAS Y
TRANSPORTES, EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS”**

SANDRA MILENA ROSERO ARGOTE

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniera Civil**

Director

**Ing. HENRY PERALTA BURITICA
Director del proyecto – Corporación OSSO**

Codirectora

Ing. OLGA LUCÍA MESÍAS TIBAQUIRÁ

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2009**

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo 1º del Acuerdo No 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

La pasantía desarrollada en el proyecto “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL A FENÓMENOS VOLCÁNICOS DE LOS SISTEMAS DE VÍAS Y TRANSPORTES, EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS” presentado como requisito parcial para optar al título de ingeniera civil, fue APROBADO por el jurado calificador.

Atentamente

Ing. JANETH OJEDA
JURADO CALIFICADOR

Ing. WILLIAN RODRIGUEZ
JURADO CALIFICADOR

San Juan de Pasto, abril de 2009

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso.

A mis padres Anselmo Rosero y Pilar Argote, a mi hermano, Christian Rosero y a familiares y amigos por su amor, colaboración y confianza.

Sandra Milena Rosero Argote

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a las siguientes instituciones y personas, cuyo aporte ha sido fundamental para la realización del presente trabajo:

A todo el equipo humano y técnico de la Corporación OSSO por brindarme sus espacios y poder desarrollar el informe de pasantía y por la confianza depositada.

Ing. Henry Adolfo Peralta Buriticá por la acertada dirección durante el desarrollo de este proyecto, y sobre todo por su incondicional apoyo y sincero aprecio.

A los profesores Hans Meyer y Andrés Velásquez por su colaboración y la oportunidad de trabajar en la Corporación OSSO

A Jorge Mendoza, Carlos Mario Salazar y William Burbano por su asesoramiento y colaboración.

A la Universidad de Nariño por ser mi casa por estos años.

A mis colegas y compañeros de pasantía Silvana Naspirán, Inti Patiño, Carlos Mosquera y Jairo Ruales por su desinteresada colaboración y compañerismo.

Ing. Olga Lucía Mesías por aceptar codirigir este proyecto.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	25
1. ASPECTOS GENERALIDADES.	29
1.1 ORGANIZACION EN LA CUAL SE DESARROLLÓ LA PASANTÍA.	29
1.2 INSTITUCIONES Y PERSONAL QUE PARTICIPÓ EN EL PROYECTO.	29
2. MARCO TEÓRICO.	31
2.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	31
2.2 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO.	32
2.3 AMENAZA Y EXPOSICIÓN.	32
2.4 MODELO PARA CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES A CAÍDA PIROCLÁSTICA (CENIZA VOLCÁNICA).	33
2.4.1 Determinación de la sollicitación.	33
2.4.2 Modelo de dispersión de ceniza volcánica.	34
2.4.3 Factores de atenuación.	35
2.4.4 Modelo de atenuación de caída piroclástica por la distancia.	36
2.4.5 Modelo de atenuación de caída piroclástica por la topografía.	38
3. METODOLOGÍA.	43
3.1 GRUPO DE APOYO TÉCNICO.	43
3.2 ORGANIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA DEL PROYECTO.	44
3.3 FASES DEL PROYECTO.	44
3.3.1 Fase I. Preparación.	44

3.3.1.1 Actividad 1.1 Diagnóstico de la información existente y disponible.	44
3.3.1.2 Actividad 1.2. Elaboración de formatos para el inventario de los elementos expuestos.	46
3.3.1.3 Actividad 1.3 Preparación del trabajo de campo.	46
3.3.1.4 Actividad 1.4.Sistema de información Geográfica– SIGVULGALERAS.	46
3.3.2 Fase II. Trabajo de campo.	47
3.3.2.1 Actividad 2.1 Inventario de elementos expuestos del sistema de vías y transportes.	47
3.3.2.2 Actividad 2.2. Organización y depuración de la información recolectada del inventario.	47
3.3.2.3 Actividad 2.3.Sistema de información Geográfica– SIGVULGALERAS.	47
3.3.3 Fase III. Análisis y resultados.	48
3.3.3.1 Actividad 3.1. Elaboración del modelo para evaluar la vulnerabilidad física y funcional.	48
3.3.3.2 Actividad 3.2. Evaluación de la vulnerabilidad de elementos expuestos.	48
3.3.3.3 Actividad 3.3. Elaboración de recomendaciones para la reducción de vulnerabilidad física y funcional.	49
3.3.3.4 Actividad 3.4. Sistema de información Geográfica – SIGVULGALERAS.	49
4. METODOLOGIA PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD.	50
4.1 DEFINICIÓN DE MATRICES Y/O FUNCIONES DE VULNERABILIDAD.	50
4.2 DETERMINACIÓN DE LAS SOLICITUDES.	51
4.3 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA.	52
4.3.1 Cálculo de la distribución de daños.	55

4.4 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FUNCIONAL.	60
5. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES.	63
5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTE.	63
5.2 INVENTARIO DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES.	63
5.2.1 Formato I. Elementos puntuales ó pasos a nivel (puentes y pontones).	64
5.2.2 Formato II. Elementos Lineales (tramos viales).	65
5.2.3. Inventario del sistema de vías y transportes en la zona de estudio.	68
5.3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES.	109
5.4 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES.	133
6. CONCLUSIONES.	137
7. RECOMENDACIONES.	139
BIBLIOGRAFÍA.	140
ANEXOS.	141

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización de la zona de estudio	31
Figura 2. Actividad eruptiva del Volcán Galeras 1535 – 2009.	33
Figura 3. Mapa de zonificación piroclástica.	35
Figura 4. Función de dispersión de caída piroclástica volcán Galeras.	36
Figura 5. Mapa de isopacas volcán Galeras.....	37
Figura 6. Modelo de interpolación de valores de ceniza	38
Figura 7. Esquema simplificado del modelo de acumulación de cenizas volcánicas.	39
Figura 8. Diagrama de rosa de los vientos, volcán Galeras.....	39
Figura 9. Esquema de exposición de las vertientes topográficas al viento.	40
Figura 10. Índice de aspecto	41
Figura 11. Modelo final de acumulación de ceniza volcánica, volcán Galeras.....	42
Figura 12. Grupo de apoyo técnico.	43
Figura 13. Fases del proyecto.....	45
Figura 14. Plano de interrelación.....	61
Figura 15. Sección transversal del puente Tipo 01. Losa sobre vigas.....	66
Figura 16. Sección transversal del puente Tipo 02. Losa simplemente apoyada.	66
Figura 17. Puente Tipo 07. Arco inferior.	67
Figura 18. Pontón sobre la Quebrada Magdalena.....	69
Figura 19. Condición del tablero (antiguo y nuevo) y material mixto en estribos (concreto reforzado y piedra) en el pontón sobre la Quebrada Magdalena.	69
Figura 21. Puente Alfonso López sobre el Río Azufral.	71
Figura 22. Placa de identificación del puente Alfonso López.	71
Figura 22. Pontón sobre la Quebrada Aguadulce.	72
Figura 26. Pontón sobre la Quebrada Guandimbas.....	73
Figura 24. Deterioro en la cimentación del pontón sobre la Quebrada Guandimbas causada por desportillamientos y contaminación del concreto.	74
Figura 25. Pontón sobre la Quebrada Honda.	75
Figura 26. Estribos en piedra del pontón sobre la Quebrada Honda.	75
Figura 27. Conjunto de vigas de la superestructura del pontón sobre la Quebrada Honda.	76
Figura 28. Pontón sobre la Quebrada La Taguada.	76
Figura 29. Pontón sobre la Quebrada El Ingenio.	78

Figura 30. Pontón sobre la Quebrada Patachorrera.	79
Figura 31. Estribo de material mixto (piedra y concreto reforzado) en el pontón sobre la Quebrada Patachorrera.	80
Figura 32. Elementos de la superestructura (tablero y vigas) del pontón sobre la Quebrada Patachorrera.	81
Figura 33. Pontón sobre la Quebrada Santa Rosa.....	82
Figura 34. Estribo de material mixto (piedra y concreto reforzado) en el pontón sobre la Quebrada Santa Rosa.....	82
Figura 35. Elementos de la superestructura (tablero y vigas) del pontón sobre la Quebrada Santa Rosa.....	83
Figura 36. Puente sobre el Río Chacagüico.	84
Figura 37. Elementos de la superestructura (tablero y vigas) del puente sobre el Río Chacagüico.	85
Figura 38. Pontón sobre la Quebrada Panchindo.....	86
Figura 39. Fisura en la aleta del pontón sobre la Quebrada Panchindo. ...	86
Figura 40. Elementos de la superestructura (tablero y vigas) del pontón sobre la Quebrada Panchindo	87
Figura 41. Puente sobre el Río El Barranco.....	89
Figura 42. Deterioro de las unidades de mampostería por vegetación del puente sobre el Río El Barranco.	89
Figura 43. Deterioro del tablero del puente sobre el Río El Barranco.....	90
Figura 44. Señales de deterioro en los estribos y aletas del pontón sobre la Quebrada El Silencio.	91
Figura 45. Pontón sobre la Quebrada Maragato.	92
Figura 46.Obstrucción del cauce de la Quebrada Maragato bajo el pontón.....	93
Figura 47.Socavación local de la cimentación del Pontón sobre la Quebrada Maragato.	93
Figura 48. Fisura y eflorescencia en la losa y en el estribo en el pontón sobre la Quebrada Charguayaco.....	94
Figura 49. Recubrimiento inadecuado y exposición del acero de refuerzo en el pontón sobre la Quebrada Charguayaco.....	95
Figura 50. Puente sobre el Río Pasto.....	98
Figura 51. Puente sobre el Río Guaitara.....	99
Figura 52.Deterioro superficie de rodadura del puente sobre el Río Guaitara.	100
Figura 53. Pontón sobre el tramo vial Ancuya – Linares.	101
Figura 54. Pontón sobre la Quebrada La Mina.	102
Figura 55. Pontón sobre el tramo vial Linares – San Pedro.....	105
Figura 56. Detalle de las viguetas entre los estribos del pontón sobre el tramo vial Linares – San Pedro.....	106
Figura 57. Puente sobre el Río Guaitara.	107
Figura 58. Estructura de aforo del puente sobre el Río Guaitara.	107
Figura 59. Exposición del refuerzo en la superficie de rodadura.	108

Figura 80. Plano de interrelación de los parámetros de calificación según el nivel de influencia (NI) y el nivel de dependencia (ND)..... 135

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ejemplo matriz de calificación del sistema de vías y transportes frente a los fenómenos de flujo piroclástico, flujo de lava, caída piroclástica y flujo de lodo.	53
Tabla 2. Ejemplo matriz de calificación del sistema de vías y transportes frente a los fenómenos de onda de choque, proyectil balístico y nube acompañante.	54
Tabla 3. Índice de explosividad – VEI	56
Tabla 4. Resumen de propiedades físicas estimadas para algunos fenómenos volcánicos.	56
Tabla 5. Indicador de vulnerabilidad física a partir del daño severo.	60
Tabla 6. Inventario de elementos expuestos en la zona de estudio.....	67
Tabla 7. Matriz causa - efecto fenómenos volcánicos vs. zonas de amenaza para tramos viales y elementos puntuales (pasos a nivel).	109
Tabla 8. Matriz causa - efecto fenómenos volcánicos vs. nivel de daño para tramos viales y elementos puntuales (pasos a nivel).....	110
Tabla 9. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	110
Tabla 10. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales (pasos a nivel) en el tramo vial.....	111
Tabla 11. Determinación de la vulnerabilidad física general.....	112
Tabla 12. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	113
Tabla 13. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Cebadal – Yacuanquer.....	113
Tabla 14. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Cebadal - Yacuanquer.....	113
Tabla 15. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	114

Tabla 16. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Yacuanquer – Consacá.....	114
Tabla 17. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Yacuanquer – Consacá.	115
Tabla 18. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	115
Tabla 19. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Consacá – Sandoná.....	116
Tabla 20. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Consacá – Sandoná.	116
Tabla 21. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	117
Tabla 22. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Sandoná – La Florida.....	117
Tabla 23. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Sandoná – La Florida.	118
Tabla 24. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	119
Tabla 25. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial La Florida – Nariño.....	119
Tabla 26. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial La Florida – Nariño.	120
Tabla 27. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	121
Tabla 28. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Nariño – Pasto.	121
Tabla 29. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Nariño – Pasto.....	122
Tabla 30. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	122
Tabla 31. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Pasto – Mercaderes.	123
Tabla 32. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Pasto – Mercaderes.	123
Tabla 33. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	124

Tabla 34. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	125
Tabla 35. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Ancuya – Sandoná.	125
Tabla 36. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Ancuya – Sandoná.	125
Tabla 37. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	126
Tabla 38. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Consacá – Ancuya.	127
Tabla 39. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	127
Tabla 40. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	128
Tabla 41. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Ancuya – Linares.	128
Tabla 42. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Ancuya – Linares.	128
Tabla 43. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	129
Tabla 44. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Linares – El Tambo.	129
Tabla 45. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	130
Tabla 46. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.....	130
Tabla 47. Promedio del espesor de ceniza sobre los tramos viales de la zona de estudio según el modelo de ceniza OSSO.....	131
Tabla 48. Cantidad de ceniza sobre los elementos puntuales de la vía Circunvalar al volcán Galeras en la zona de estudio según el modelo de ceniza OSSO.	132
Tabla 49. Cantidad de ceniza sobre los elementos puntuales de la vía Panamericana y otros tramos viales en la zona de estudio según el modelo de ceniza OSSO.	133
Tabla 50. Matriz de interdependencia.....	134
Tabla 51. Pares de valores según los parámetros de calificación (NI) y (ND).	134

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Exposición los fenómenos volcánicos con relación al mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras del INGEOMINAS (1997).....	52
Cuadro 2. Probables efectos de los peligros volcánicos en los bienes.....	57
Cuadro 3. Criterios de definición del nivel de daño.....	58
Cuadro 4. Nivel de daño por fenómeno.	59
Cuadro 5. Relación Vulnerabilidad General.....	111

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. FORMATOS PARA EL INVENTARIO DE ELEMENTOS EXPUESTOS.....	157
ANEXO 2. EJEMPLO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA APLICACIÓN DE LAS MATRICES CAUSA – EFECTO PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD FÍSICA A FENÓMENOS VOLCÁNICOS DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES EN LA ZONA DE ESTUDIO	160
ANEXO 3. MAPAS TEMÁTICOS.....	165
ANEXO 4. EJEMPLO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE CENIZA SOBRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES EN LA ZONA DE ESTUDIO SEGÚN EL MODELO DE CENIZA OSSO.....	169

GLOSARIO

AMENAZA: se expresa como la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y en dentro de un periodo de tiempo definido. Estas pueden ser naturales, socio naturales, antrópicas y tecnológicas.

ATENCIÓN DE LA EMERGENCIA: comprende la movilización social e institucional necesaria para salvar vidas y bienes una vez que el fenómeno ya se ha presentado, y para dar los primeros pasos hacia la recuperación de la comunidad después del desastre.

CAÍDA PIROCLÁSTICA O CENIZA: son fragmentos de roca y pómez (piroclastos), que son lanzados desde el cráter hacia la atmósfera durante una erupción, impulsados gracias al efecto de los gases asociados. El tamaño de estos piroclastos varía desde ceniza (<2mm) a lapilli (2-64 mm)¹.

DESASTRE: situación ó proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, tecnológico ó provocado por el hombre (antrópico), que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población, causan alteraciones intensas, graves y extendidas sobre las condiciones normales de funcionamiento de la comunidad. La magnitud de un desastre se mide en términos de pérdidas de vida o de salud, pérdida de bienes o servicios y daños en el ambiente.

ELEMENTOS EXPUESTOS: es el entorno social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos, servicios e infraestructura y ecosistemas que pueden ser afectados por un fenómeno físico.

ESCENARIO DE RIESGO: es un análisis presentado en forma escrita, cartográfica o diagramada, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, y basado en métodos participativos, de las dimensiones del riesgo que afecta a territorios y grupos sociales determinados. Significa una consideración pormenorizada de las amenazas y vulnerabilidades, y como metodología ofrece una base para la toma de decisiones sobre la intervención en reducción, previsión y control de riesgo.

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA: es el proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno se manifieste, con un determinado grado de severidad, durante un período de tiempo definido y en un área determinada.

¹ Blong, 1984 en Ingeominas, 1997

Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD: proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular.

EXPOSICIÓN: se refiere a un área o región, expuesta a un fenómeno amenazante, o a un elemento potencialmente sometido a él (vidas, estructuras).

FLUJOS DE LAVA: son corrientes de roca fundida, relativamente fluidas, que son expulsadas por el cráter o por grietas en los flancos del cono activo. Al salir del cráter forman lenguas que tienden a canalizarse a lo largo de los valles.

FLUJOS DE LODO: son mezclas de material volcánico (roca, ceniza, pómez) y material activo de los ríos y quebradas, que recoge a medida que avanza por los cauces; su grado de fluidez está directamente relacionado con la concentración de agua que conlleva el flujo, la cual es proporcionada por suelos saturados, caudales altos en las corrientes y temporadas invernales altas.

FLUJOS PIROCLÁSTICOS: es uno de los fenómenos volcánicos más peligrosos. Corresponde a mezclas de fragmentos rocosos, escombros piroclásticos y gases que se mueven rápidamente a ras del suelo, accionados por la gravedad; son secos y calientes (300 - >800° C).

GASES VOLCÁNICOS: en el interior del volcán, el magma contiene gases disueltos, los cuales antes, durante y después de la erupción escapan hacia a la atmósfera. Su puerta de salida puede ser el cráter principal, o bocas alrededor del cráter llamada fumarolas, como conductos secundarios.

GESTIÓN DEL RIESGO: proceso social complejo que conduce al planeamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de fenómenos peligrosos sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente. "Las experiencias de gestión de riesgos más exitosas en América Latina... ocurren cuando existen procesos de negociación y concertación entre la población y los actores externos que permiten que éstos últimos adecuen sus políticas, programas y proyectos, para tomar en cuenta las percepciones, imaginarios, prioridades y necesidades de los primeros" (Maskrey, 1998).

LÍNEAS VITALES: son sistemas de infraestructura básica de carácter lineal y de uso continuo, las cuales permiten el desarrollo normal de las actividades en una población. Están conformadas por una serie de componentes puntuales

(redes y estructuras) con características constructivas muy singulares, que han sido diseñadas para ejercer funciones por ejemplo, de transporte, movilidad, interconexión. La interrupción en la prestación de su servicio, puede afectar a una gran cantidad de personas y las actividades normales de una población.

MITIGACIÓN: conjunto de acciones tendientes a reducir la exposición ó la vulnerabilidad de una comunidad, de un elemento ó de un sistema, amenazados por uno ó por varios fenómenos previsibles de origen natural o tecnológico. Las principales medidas de mitigación se conciben en el mediano y largo plazo, e incluyen tanto medidas de planificación del desarrollo (p. ej. estatutos de usos del suelo, áreas de reserva, áreas no urbanizables por amenazas, normatividad constructiva y urbanizadora, medidas de educación continuada), medidas ingenieriles tales como obras de protección, y medidas de relocalización. Éstas últimas normalmente se toman cuando la exposición a un fenómeno previsible es considerada como alta.

MODELO: es la representación simplificada de un evento (objeto o proceso) de la realidad, reproduciendo a una escala determinada algunas de sus variables constitutivas o descriptivas en términos cualitativos, cuantitativos, gráficos ó materiales, integrados de acuerdo con un patrón de interacciones en un escenario de desarrollo espacio – temporal particular (Aguilar, 2005).

NUBES PIROCLÁSTICAS, ARDIENTES O ACOMPAÑANTES: corresponden a mezclas de gas y material sólido muy fino, turbulentas, bajas en concentración de partículas con alta velocidad de fluidez.

ONDAS DE CHOQUE: se genera por la compresión que existe entre el interior y el exterior del volcán cuando sucede una erupción volcánica explosiva, lo que ocasiona el desplazamiento súbito de masa de aire que se alejan de manera concéntrica desde el sitio de la erupción.

POBLACIÓN: son todos aquellos habitantes de un territorio, que pueden verse afectados por la manifestación de un evento adverso.

PREVENCIÓN DE DESASTRES: denota al conjunto de acciones tendientes a evitar que los desastres se produzcan. En otras palabras, son las acciones cuyo objeto es impedir que sucesos naturales ó antrópicos causen eventos adversos sobre una población.

PREPARACIÓN PARA DESASTRES: hace referencia a las actividades que tienen por objeto alistar a la sociedad y a sus instituciones para responder adecuadamente ante un desastre.

PROYECTILES BALÍSTICOS: son fragmentos de roca emitidos a partir del cráter durante una erupción; tienen un rango de diámetro que varía desde 64 mm hasta varios metros. Se desplazan con movimiento parabólico desde el cráter.

RIESGO: es la probabilidad de ocurrencia de efectos adversos sobre el medio físico y humano en un área determinada. En este sentido, es una conjugación de las características de las amenazas (factor externo) y de las vulnerabilidades (factor interno). Estrictamente, es el cálculo anticipado de pérdidas (en vidas y en bienes), para un fenómeno de origen natural o tecnológico, o situación de tipo social que actúa sobre el conjunto social o una porción del mismo y sus bienes. Es importante aclarar que entre vulnerabilidad y riesgo esta (1) una estimación de costos de lo expuesto a pérdida y (2) un modelo de distribución temporal – probabilidad de ocurrencia – de los fenómenos amenazantes. En cambio, en vulnerabilidad solo entra un ‘escenario’ de potenciales fenómenos amenazantes y de impactos y afectaciones.

RIESGO ACEPTABLE: posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera por considerar innecesario, inoportuno o imposible una intervención para su reducción. Por lo tanto es una decisión sobre el nivel de pérdidas esperables que se asume como resultado de aceptar que ocurrirán fenómenos naturales, tecnológicos, o situaciones sociales, los cuales incidirán sobre las vidas y bienes expuestos.

REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD: medidas dirigidas a cambiar o disminuir las condiciones de vulnerabilidad existentes. Son medidas de prevención-mitigación y preparación que se adoptan con anterioridad de manera alternativa, prescriptiva o restrictiva, con el fin de evitar que se presente un fenómeno peligroso, o para que no generen daños, o para disminuir sus efectos sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente.

SUSCEPTIBILIDAD: es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, dadas unas condiciones intrínsecas ó elementos pasivos del sistema analizado.

VULNERABILIDAD FÍSICA: se refiere al grado de debilidad física de los elementos expuestos de una población (p. eje. Infraestructura vital, edificaciones esenciales, etc.) con respecto a su localización o ubicación frente a determinadas amenazas (p. ej. terremoto, inundación, tsunami, deslizamiento, marejadas, erupción volcánica, etc.).

VULNERABILIDAD FUNCIONAL: puede ser entendida como la debilidad de los sistemas urbanos, líneas vitales y edificaciones esenciales que prestan un servicio público y privado, en términos de su capacidad de operación y

respuesta en caso de la ocurrencia de evento adverso, para garantizar la continuidad, calidad y cobertura en la prestación del servicio para el que fue diseñada, o la recuperación del mismo, en el menor tiempo posible, para restablecer las condiciones normales en una comunidad. Para su evaluación se requiere previo conocimiento del funcionamiento de cada uno de los componentes que conforman los sistemas, su nivel de operación, mantenimiento y su interrelación e interdependencia en relación con los demás componentes de cada uno de los sistemas, que pueden verse afectados.

ZONA DE AMENAZA ALTA: se refiere al área más cercana al cráter activo donde pueden ocurrir alguno de los siguientes fenómenos volcánicos generando destrucción total: flujos piroclásticos (nubes calientes de materiales sólidos y gaseosos), flujos de lava (flujos de rocas fundidas), flujos de lodo, proyectiles balísticos (caídas de piedras), onda de choque (ruido explosivo) y alta concentración de gases tóxicos en las inmediaciones del cono activo.

ZONA DE AMENAZA BAJA: área en la cual los efectos Volcánicos afectan con menor rigor a la comunidad y en forma parcial a la propiedad. Está definida principalmente por las tendencias de depósito de material de caída piroclástica (cenizas). Así mismo puede ser afectada por ondas de choque.

ZONA DE AMENAZA MEDIA: área que bordea los límites de la zona de amenaza volcánica alta en un ancho aproximado de 200 metros; sería afectada por flujos piroclásticos más grandes pero poco probables, y por flujos de lodos secundarios.

RESUMEN

El presente trabajo de grado denominado “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL A FENÓMENOS VOLCÁNICOS DE LOS SISTEMAS DE VÍAS Y TRANSPORTES, EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS” desarrollado en la modalidad de pasantía con el grupo científico de la Corporación OSSO (Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano), contiene el desarrollo de las actividades que permiten determinar la vulnerabilidad física y funcional del sistema de vías y transportes en la zona 1 de influencia del volcán Galeras a través de un SIG de vulnerabilidad denominado SIGVULGALERAS el cual a partir del cruce del inventario georreferenciado de los elementos expuestos con el mapa de amenazas de INGEOMINAS (1997), genera como producto datos que constituyen los insumos para la determinación de la vulnerabilidad física y funcional del sistema en mención.

A partir de los datos suministrados por el SIGVULGALERAS se construyeron matrices causa-efecto de cuyo análisis se deduce que la vulnerabilidad física del sistema de vías y transportes en la zona de estudio está determinada según el daño severo dado que éste representa el escenario máximo de daño expresando el colapso total de la estructura y la pérdida total de su funcionalidad ante un fenómeno volcánico. Teniendo en cuenta estos parámetros se deduce que en la zona de estudio el sistema de vías y transportes sufre daño severo frente a tres de los siete fenómenos volcánicos característicos del volcán Galeras entre ellos los flujos piroclásticos, flujos de lodos y nube acompañante afectando de este modo los tramos viales de Yacuanquer-Consacá, Consacá-Ancuya, Ancuya-Sandoná, Sandoná-La Florida, La Florida-Nariño y Nariño-Pasto.

A su vez, la vulnerabilidad funcional del sistema de vías y transportes en la zona de estudio es determinada a través de una matriz de interdependencia en la cual se interrelacionan los componentes básicos del sistema en términos de su funcionamiento con el fin de determinar el nivel de importancia y dependencia de unos componentes frente a otros estableciendo de ésta forma el grado de afectación en la continuidad de la prestación del servicio del sistema vial en general en la zona de estudio ante la posibilidad de que alguno de éstos sufra daño y por ende afecte los demás componentes, por tal razón, se deduce que los cruces o pasos a desnivel, cruces o intersecciones viales, accesos viales y los puentes vehiculares ó pontones son altamente influyentes pero poco dependientes de otros componentes.

ABSTRACT

This project grade entitled "EVALUATION OF THE PHYSICAL AND FUNCTIONAL VULNERABILITY TO PHENOMENA OF VOLCANIC SYSTEMS AND TRANSPORT ROUTES IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE GALERAS VOLCANO " developed in the form of internship with the scientific group of the Corporation OSSO (Colombian Seismological South West Observatory), includes the development of activities for determining the physical and functional vulnerability of the system of roads and transport in zone 1 of influence of the Galeras volcano through a GIS which vulnerability called SIGVULGALERAS from geo referenced inventory of the items presented with the map of threats INGEOMINAS (1997), generated as a product data that are inputs for determining the physical and functional vulnerability of the system in question.

From the data provided by SIGVULGALERAS were constructed matrices cause-effect analysis which showed that the physical vulnerability of the system of roads and transport in the study area is determined for the severe damage because it represents the stage of maximum damage expressing the total collapse of the structure and the total loss of functionality in a volcanic phenomenon. Given these parameters, it appears that in the study area, the roads and transport system suffers severe damage as compared to three of the seven volcanic phenomenon characteristic of the Galeras volcano including pyroclastic flows, mud flows and accompanying cloud thus affecting the roads Yacuanquer - Consacá, Consacá - Ancuya, Ancuya - Sandona, Sandona - La Florida and Nariño - Pasto.

In turn, the functional vulnerability of the system of roads and transport in the study area is determined through a matrix of interdependence in which the basic components are interrelated in terms of system operation in order to determine the level of importance and dependency of some components over others set out the degree of impact on continuity of service of the road system in general in the study area at the possibility that some of them suffered damage and thereby affects the other components, thus, it appears that the gap junctions or crossings, road crossings or intersections, access roads and vehicular bridges or pontoons are highly influential but little dependent on other components.

INTRODUCCIÓN

Desde la reactivación del volcán Galeras en 1989, se ha registrado en los últimos años un comportamiento potencialmente activo, lo cual ha generado que autoridades locales, regionales y nacionales promuevan estudios que conlleven a diseñar y aplicar acciones que mitiguen a corto y mediano plazo los riesgos que se han venido presentando por los fenómenos asociados al volcán Galeras; es así como INGEOMINAS, ha desarrollado tres mapas de amenaza de los cuales, los dos primeros fueron publicados en mayo y diciembre de 1989, durante el periodo de reactivación, y el tercero, publicado en el año de 1997 presenta la última versión del mapa de amenazas, para el cual INGEOMINAS inició varios estudios de vulnerabilidad física en los componentes agrícolas, de infraestructura vital, sectores de viviendas, así como de vulnerabilidad social, que plantean una primera aproximación en la determinación de algunos indicadores de vulnerabilidad a los fenómenos volcánicos en poblaciones de la región permitiendo identificar los elementos que podrían ser sometidos a diferentes eventos en sus zonas de impacto. Por ésta razón, es importante avanzar hacia la valoración de la vulnerabilidad física y funcional de los elementos expuestos, específicamente el contexto físico construido, porque la vulnerabilidad a diferencia de la amenaza volcánica es lo único intervenirle y modificable, por que ésta ha sido construida por la misma sociedad y no por la naturaleza.

En este sentido, a raíz del aumento de la actividad del volcán en el año 2005, el Gobierno Nacional a través del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres - SNPAD, declaró la situación de desastre en los municipios Pasto, Nariño y La Florida del Departamento de Nariño, mediante el decreto 4106 del 15 de noviembre de 2005, razón por la cual, en el marco de esta declaratoria, el Fondo nacional de Calamidades – FNC y la Corporación Observatorio Sismológico del Suroccidente - Corporación OSSO, suscribieron el convenio de cooperación N° 1005-08-12-07 con la finalidad de realizar el estudio de “VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL A FENÓMENOS VOLCÁNICOS, EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL VOLCÁN GALERAS” y cuya interventoría está a cargo de la Dirección de Prevención y Atención de Desastres – DPAD.

Con el fin de apoyar este proyecto, el Proceso Galeras realizó una solicitud a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño, para la vinculación de estudiantes egresados del Programa de Ingeniería Civil en la modalidad de pasantía, para avanzar en la evaluación de la vulnerabilidad física y funcional de los sistemas de infraestructura en la zona de estudio, a partir de los cuales se desarrollaron trabajos de grado que se realizaron bajo la metodología

planteada por la Corporación OSSO, los cuales presentan el mismo marco teórico:

- (i) En viviendas de ocupación normal y uso esencial elaborado por Inti David Patiño Agreda.
- (ii) Sistema de acueductos elaborado por Silvana Naspirán
- (iii) Sistemas de acueductos y red eléctrica elaborados por Carlos Andrés Mosquera.
- (iv) Viviendas de uso esencial elaborado por Jairo Ruales.

La evaluación de vulnerabilidad que se desarrolló en este proyecto es de nivel intermedio, es decir, que se realizó de manera semi-cuantitativa, sin llegar al detalle de análisis y/o modelamientos estructurales, físicos o matemáticos, pero buscando identificar vulnerabilidades genéricas que proporcionen elementos para definir medidas de reducción del riesgo asociado a la amenaza volcánica aplicables por la comunidad y las instituciones del área de estudio.

En la determinación de éste trabajo de grado se realizaron actividades con el fin de lograr el objetivo principal que es el apoyar en la evaluación y de la vulnerabilidad física y funcional a fenómenos volcánicos, del sistema de vías y transportes en la zona 1 de influencia del volcán Galeras, las cuales fueron:

- Recopilar información cartográfica y documental del sistema en la zona de estudio,
- elaborar formatos estandarizados para realizar el inventario de los elementos expuestos del sistema en la zona de estudio,
- realizar recorridos de campo para la recopilación de información de los elementos expuestos del sistema en la zona de estudio,
- determinar los componentes críticos y vulnerables del sistema de vías y transportes en la zona de estudio,
- Apoyar la construcción de matrices de vulnerabilidad causa – efecto del sistema de vías y transportes en la zona de estudio,
- Elaborar recomendaciones para reducir la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

En la zona de estudio, se realizó el análisis de la vulnerabilidad física y funcional particularmente a la vía circunvalar al volcán Galeras que comunica a los municipios asentados en ella como lo son Yacuanquer, Consacá, Sandoná, La Florida, Nariño y Pasto así como los tramos viales que comunican las cabeceras municipales de Ancuya, Linares y El Tambo con la vía circunvalar al volcán Galeras, y los tramos viales comprendidos entre los municipios de Pasto – Tangua y Pasto – Chachagüi, sin olvidar que dicho análisis también se aplicó únicamente en componentes puntuales (pasos a nivel) como lo son los puentes

y pontones vehiculares de acuerdo a la metodología establecida por la Corporación OSSO.

En ese sentido, la Universidad de Nariño como la más importante institución académica de la región, tiene el compromiso de apoyar este tipo de estudios que buscan generar insumos para la toma de decisiones, en lo referente a la reducción del riesgo volcánico en la que se encuentra expuesta la población de la zona de influencia volcánica de Galeras. Es así como a través del desarrollo de trabajos de grado en la modalidad de pasantía, la universidad puede prestar servicios profesionales a la comunidad mediante sus estudiantes egresados del programa de Ingeniería Civil, como personal idóneo para el apoyo de estudios de vulnerabilidad física y funcional de la infraestructura regional.

1. ASPECTOS GENERALIDADES.

1.1 ORGANIZACION EN LA CUAL SE DESARROLLÓ LA PASANTÍA.

La Corporación OSSO es una organización no gubernamental de beneficio público sin ánimo de lucro, (Resolución No. 17-A del 29 de febrero de 1996 del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – DAGMA del Municipio de Cali), dedicada a *promover, apoyar y ejecutar investigaciones científicas, desarrollos tecnológicos y aplicación y extensión de conocimientos, en las dinámicas de la Tierra y sus interacciones con la sociedad, en particular aquellas con potencial de evolución ambiental degradante, riesgos y desastres, así como las acciones apropiadas para su intervención, prevención y mitigación.*

Entre sus múltiples actividades, la Corporación OSSO realiza:

- Sismología para la producción de hidrocarburos
- Apoyo a comunidades y entidades en prevención y atención de desastres
- Evaluaciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgos (sismos, tsunamis, volcanes)
- Diseño y construcción de instrumentos (sismología, monitoreo ambiental)
- Microzonificación sísmica
- Diseño y mantenimiento de bases de datos (desinventar)
- Planes de contingencia y mitigación
- Desarrollo y operación de sistemas de alerta
- Sismología local y regional
- Geofísica aplicada
- SIG y cartografía participativa

La Corporación OSSO ha recibido reconocimientos como el Premio a la Mitigación de Desastres de las Naciones Unidas (Premio Sasakawa, 1997) y, en dos ocasiones, la clasificación de COLCIENCIAS como grupo de excelencia del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

1.2 INSTITUCIONES Y PERSONAL QUE PARTICIPÓ EN EL PROYECTO.

El grupo de trabajo para este estudio, estuvo a cargo de los profesionales de la Corporación OSSO, en cabeza del Msc. Hansjürgen Meyer, Director Científico del Estudio, con la asesoría en el tema de amenazas geológicas, del Ing. Geólogo Andrés Velásquez Restrepo. La coordinación técnica del estudio, estuvo a cargo del Ing. Civil Henry A. Peralta B. especialista en reducción de

riesgos de desastres y desarrollo local sostenible. La coordinación del área de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos, estuvo a cargo del Técnico Cartógrafo Jorge Eduardo Mendoza, con el apoyo de los profesionales del área de procesamiento gráfico de la Corporación, la Geógrafa Lizeth Zabala y los Candidatos a ingenieros Topógrafos William Andrés Burbano y Mauricio Bautista, apoyados por la diseñadora gráfica Karla Herrera. En las áreas de estudio de ofertas y amenazas geológicas, se tuvo la participación de la Msc. En ciencias de la Tierra, Ing. Diana Mendoza y en la evaluación de vulnerabilidad la Ing. Civil Cristina Rosales. En el análisis histórico de la vulnerabilidad, la comunicadora Social María Mercedes Durán y para el trabajo de campo, se contó con el señor Carlos Mario Salazar.

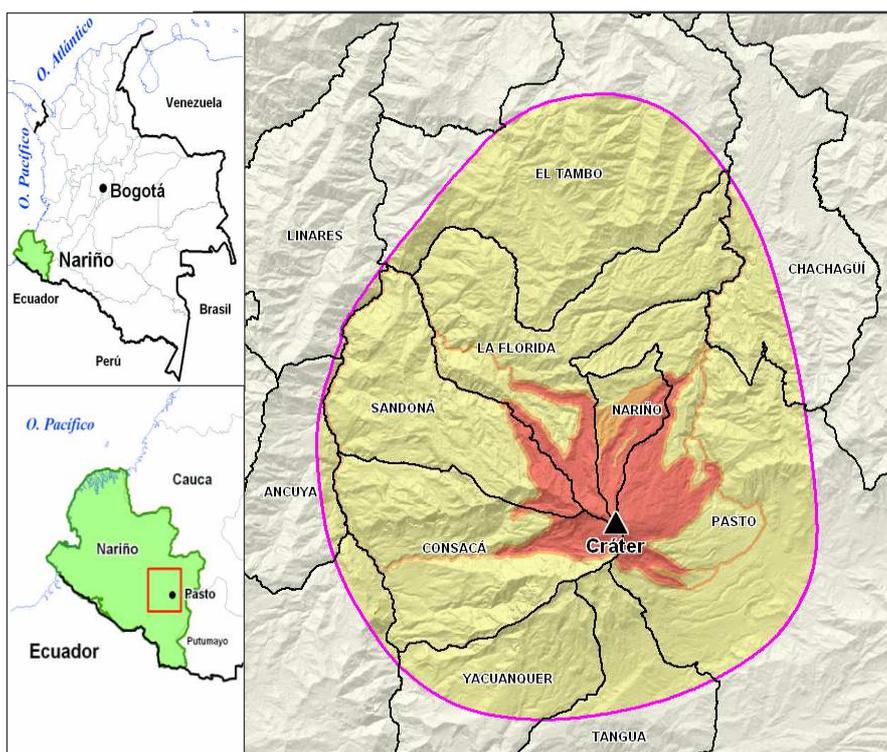
El ejercicio de evaluación de vulnerabilidad física y funcional, contó con el apoyo y acompañamiento de los actores institucionales y comunitarios de cada uno de los municipios. Como apoyo vital para la realización del proceso, se contó con el acompañamiento para el trabajo de campo, de funcionarios de las todas las alcaldías de los municipios, objeto de estudio.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El volcán Galeras se localiza en el Departamento de Nariño al suroccidente de Colombia, en las coordenadas 77.3587° W y 1.2231° N (WGS84), a una altura de más de 4.276 msnm, aproximadamente a 9 km al occidente y en línea recta, del centro de la plaza de Nariño, de la ciudad de San Juan de Pasto. Su área de influencia, abarca las tres zonas – alta (en color rojo), media (en color naranja) y baja (en color amarillo) - definidas por el actual mapa de amenaza volcánica (INGEOMINAS, 1997) y cubre un área de aproximadamente 888 km² (óvalo fucsia), centrada en el cráter del volcán, tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Localización de la zona de estudio



Fuente: Corporación OSSO, 2009.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO.

Su topografía presenta un relieve que va desde accidentado hasta escarpado y en él se localiza el Santuario de Flora y Fauna del Galeras – SFFG. Su precipitación promedio está entre 1000 y 3000 mm por año. Su clima² va desde el cálido hasta 1000 m.s.n.m. con una temperatura promedio que fluctúa entre 22.5 ° y mayores a 24 °C; pasando por el templado o medio, entre 1000 y 2000 m.s.n.m y una temperatura promedio entre 17.5 ° y 22.5 °; el clima frío desde los 2000 a 3000 m.s.n.m. y temperaturas promedio entre los 12 ° y 17.5 °; clima muy frío (páramo bajo) que va desde 3000 a 3700 m.s.n.m. con temperatura promedio entre 9.4 ° a 7 °C; hasta el clima de páramo alto desde los 3800 a 4270 m.s.n.m. con una temperatura que fluctúa entre 5 ° a 9.4 °C.

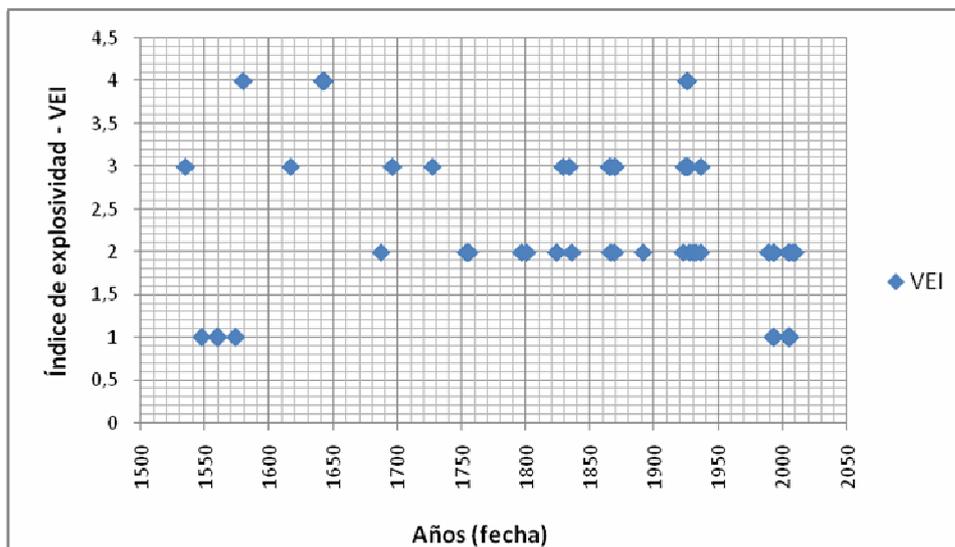
2.3 AMENAZA Y EXPOSICIÓN.

Según INGEOMINAS, “el actual cono activo, llamado volcán Galeras, con una edad estimada en cerca de 4.500 años, tiene una historia de volúmenes relativamente pequeños, producto de erupciones que se han caracterizado por ser moderadamente explosivas. Durante los últimos 5000 años, la mayoría de las erupciones se han catalogado como vulcanianas, con columnas inferidas de baja altura (menores a 10 km), que han producido emisiones de gases y cenizas, pequeños flujos de lava y erupciones explosivas con la generación de flujos piroclásticos, cuyos depósitos han alcanzado distancias de hasta 9,5 km desde el cráter”³. Lo de vulcanianas hace referencia al tamaño de las erupciones, lo que equivale a decir que han tenido un tamaño intermedio. En lo que respecta a las emisiones de gases y cenizas y la generación de flujos piroclásticos se refiere a las amenazas que han acompañado estas erupciones, y que constituyen hoy las que enfrentan Pasto y los demás municipios que se encuentran en el área de influencia del volcán. A continuación se reproduce el cuadro que incluye INGEOMINAS, el cual resume la actividad del Galeras, en el que MAG es el factor establecido para cuantificar la magnitud de la erupción, y VEI es el Índice de Explosividad Volcánica, (VEI, Volcanic Explosivity Index). En Figura 2, se presenta la distribución de estas erupciones desde 1535, hasta la última erupción de 20 de febrero de 2009.

² De acuerdo con Espinal & Montenegro (1977) en Ingeominas (2002).

³ Página web de Ingeominas, vínculo Pasto, vínculo Reseña histórica. Documento PDF “Actividad Histórica”.

Figura 2. Actividad eruptiva del Volcán Galeras 1535 – 2009.



Fuente: Elaborado y completado por Corporación OSSO, a partir del catálogo del registro de erupciones del volcán Galeras, INGEOMINAS (2005).

El escenario de amenaza que se utilizó para determinar la vulnerabilidad física y funcional de elementos expuestos, es aquel especificado en el último “Mapa de amenaza para el volcán Galeras” (INGEOMINAS, 1997), que define los fenómenos probables asociados al proceso volcánico, para los cuales existe información, estos fueron: flujos de lava, caídas piroclásticas (ceniza volcánica), flujos de lodo, proyectiles balísticos, ondas de choque, flujo piroclástico y nube acompañante.

2.4 MODELO PARA CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES A CAÍDA PIROCLÁSTICA (CENIZA VOLCÁNICA).

2.4.1 Determinación de la sollicitación: A partir de los modelos de fenómenos del mapa de amenazas (INGEOMINAS, 1997) se derivaron variables y niveles de severidad que se ingresaron a la base de datos (el SIG de vulnerabilidad). Así, por ejemplo, el fenómeno 'caídas piroclásticas' (más comúnmente llamado 'caída de cenizas') se convirtió en una representación espacial con valores de isopacas (niveles de igual espesor de depósitos de cenizas), teniendo en cuenta un régimen de vientos probable y la topografía del terreno con la finalidad de determinar sitios de mayor acumulación de ceniza, en los componentes del sistema objeto de estudio.

Idealmente, el modelo de amenaza para un ejercicio como éste sería una función continua para el espesor de ceniza, con las variables distancia (del cráter) y azimut (para dar cuenta de la dirección del viento), todo esto para un determinado periodo (intervalo) de recurrencia.

Para lograr modelos de espesores de ceniza más cercanos a la realidad que la zonificación del mapa de amenazas (INGEOMINAS, 1997) se ha revisado algunos de los modelos de espesores de ceniza disponibles en la literatura científica, empíricos y simulados (erupciones en Tungurahua, Lascar, Chaiten, Vesubio, etc.), para identificar el que más se acerca a las especificaciones para la erupción máxima probable en el Mapa de Amenaza Volcánica.

2.4.2 Modelo de dispersión de ceniza volcánica. Para determinar hipotéticamente como se distribuiría y se dispersaría la ceniza en el área de estudio y al no contar con una función de dispersión de caída piroclástica, para el escenario de erupción, en el cual se fundamenta el mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras, se partió de las valoraciones realizadas por INGEOMINAS, en donde define que:

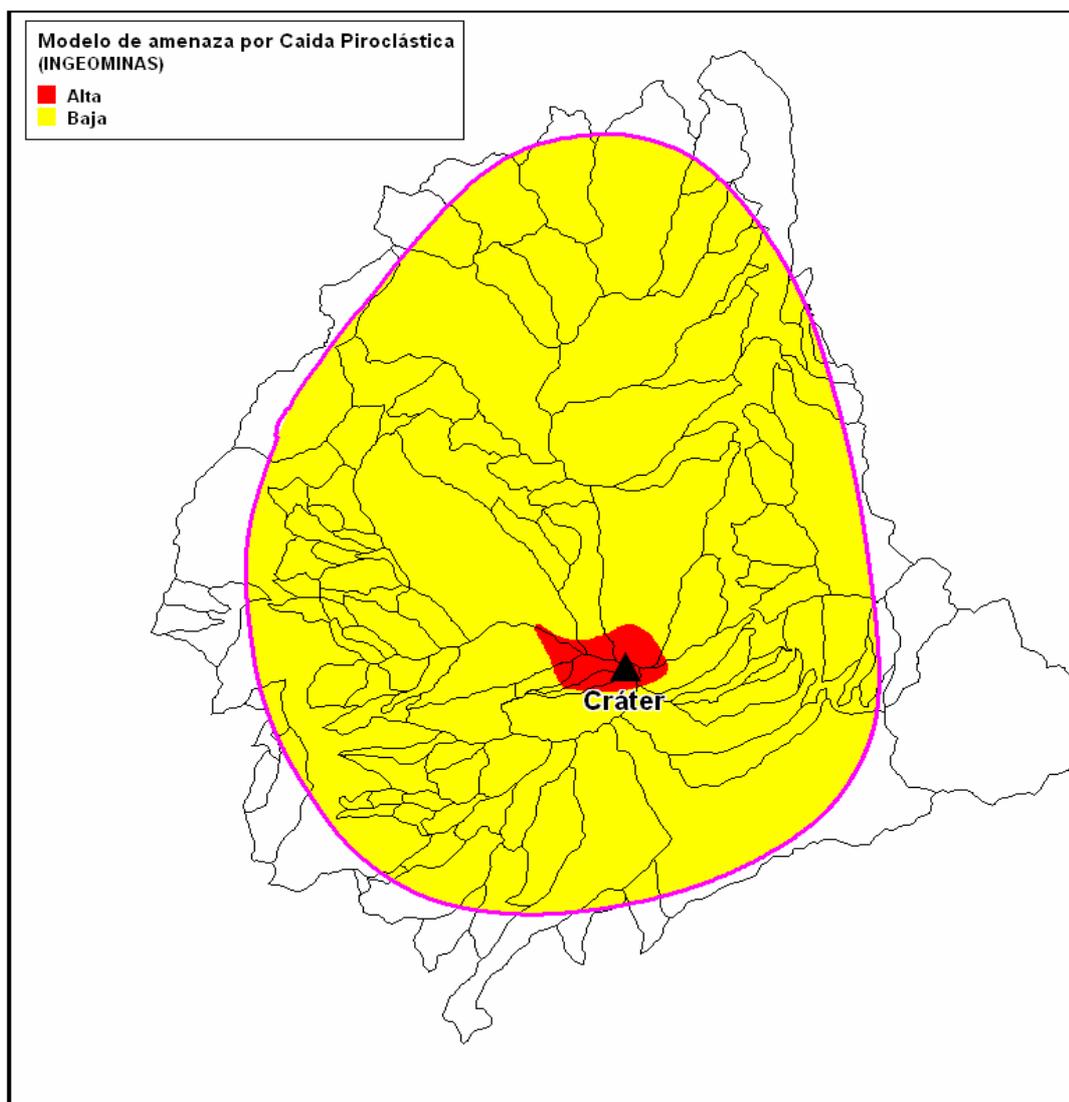
“De ocurrir erupciones como las de los últimos 5000 años, se esperarían caídas piroclásticas superiores a 30 cm, en distancias menores a 5 km, del cráter del cono activo. Erupciones de pequeña magnitud similares a las ocurridas en 1989, 1992 y 1993 generarían depósitos de caída piroclástica con espesores de orden métrico en las proximidades del cráter y de orden centimétrico y milimétrico a distancias mayores a 1 km”⁴. En la Figura 3, se presenta el mapa de zonificación por caída piroclástica mencionado.

Teniendo en cuenta lo anterior, para propósitos del modelamiento de la vulnerabilidad, se presenta la manera de cómo se construyó el modelo de dispersión de ceniza volcánica para el área de influencia del volcán Galeras, estimado a partir de la zonificación por caída piroclástica de INGEOMINAS (1997); la dirección predominante de los vientos, y la topografía.

Para establecer el modelo de dispersión de ceniza, a partir de la zonificación de caída piroclástica definido por INGEOMINAS (1997), se definieron dos factores de atenuación del fenómeno: *i*). con respecto a la distancia (**Ad**) y *ii*). la topografía (**At**), el cual considera la dirección del viento para establecer, las áreas de posible afectación.

⁴ INGEOMINAS (Instituto Geológico de Minas y Energía). Mapa de amenaza volcánica del Galeras (tercera versión). Santafé de Bogotá: INGEOMINAS, 1997.p. 32.

Figura 3. Mapa de zonificación piroclástica.



Fuente: INGEOMINAS (1997).

2.4.3 Factores de atenuación: La siguiente expresión, nos permite relacionar los factores de atenuación a caída de ceniza

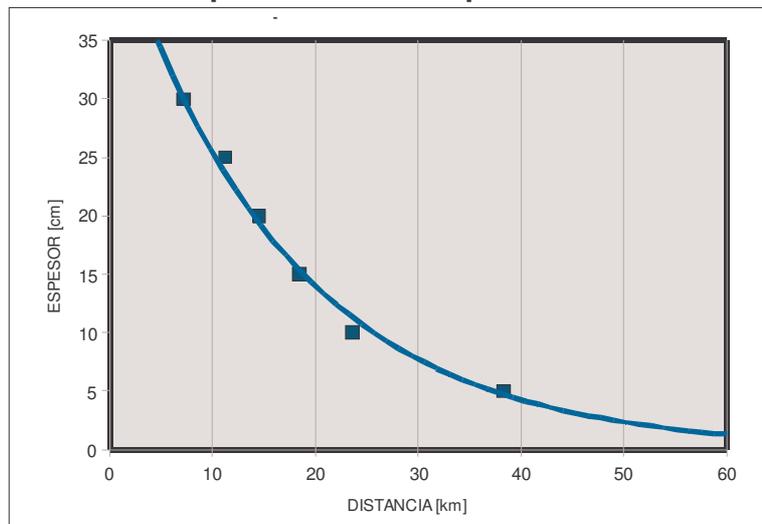
$$(E_c, X) = (A, X) \times (V, 0)$$

Donde (E_c) , representa el espesor de ceniza, (X) el vector de posición del punto considerado y (A) es la función, que representa la atenuación del fenómeno (en este caso caída piroclástica) con la distancia de la fuente y la topografía del terreno.

El modelo de dispersión y atenuación por caída piroclástica, es entonces el resultado de la intersección del modelo de atenuación de caída piroclástica por la distancia y por la topografía.

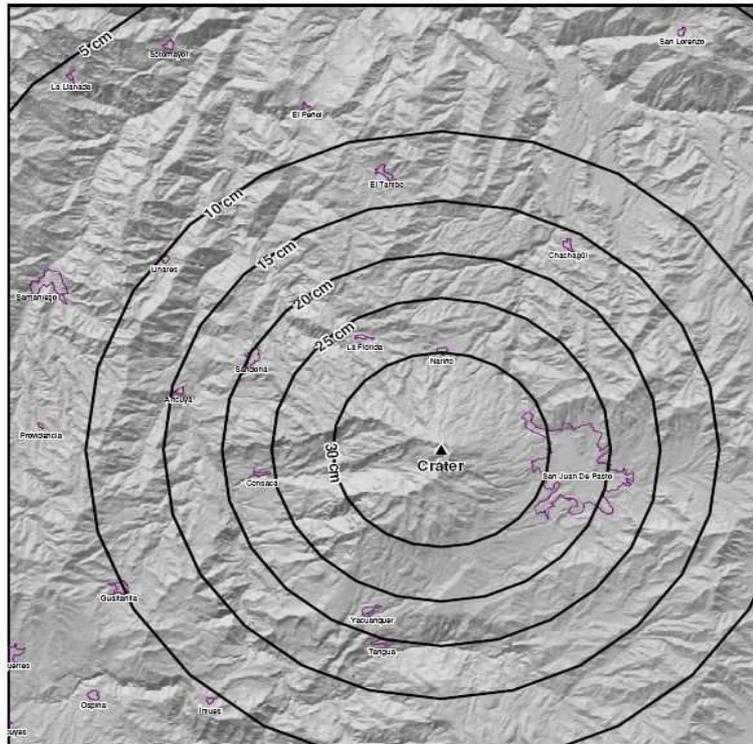
2.4.4 Modelo de atenuación de caída piroclástica por la distancia. De acuerdo con INGEOMINAS (1997), el mapa de zonificación de por caída piroclástica considera dos zonas de amenaza, una alta y otra baja. Para una erupción con un periodo de retorno de 5000 años, el espesor esperado de caída de ceniza sería de 30 cm en distancias menores a 5 km, es decir, el área del polígono que encierra la zona de amenaza alta en rojo, y a cuyo borde para propósitos del modelo, se le asignó valores de caída de ceniza igual a 30 cm. Con este dato de entrada y la revisión en la literatura de funciones de caída de ceniza volcánica se construyó la función de caída de ceniza para el volcán Galeras, teniendo en cuenta el mapa de isopacas de la erupción del volcán Pinatubo del 15 de junio de 1991, en la que aparece el factor de atenuación por distancia, al alejarse de la fuente de emisión. En las figura 4 se presenta la función de dispersión de caída piroclástica y en la figura 5 el mapa de isosistas construido a partir de esta.

Figura 4. Función de dispersión de caída piroclástica volcán Galeras.



Fuente: INGEOMINAS (1997).

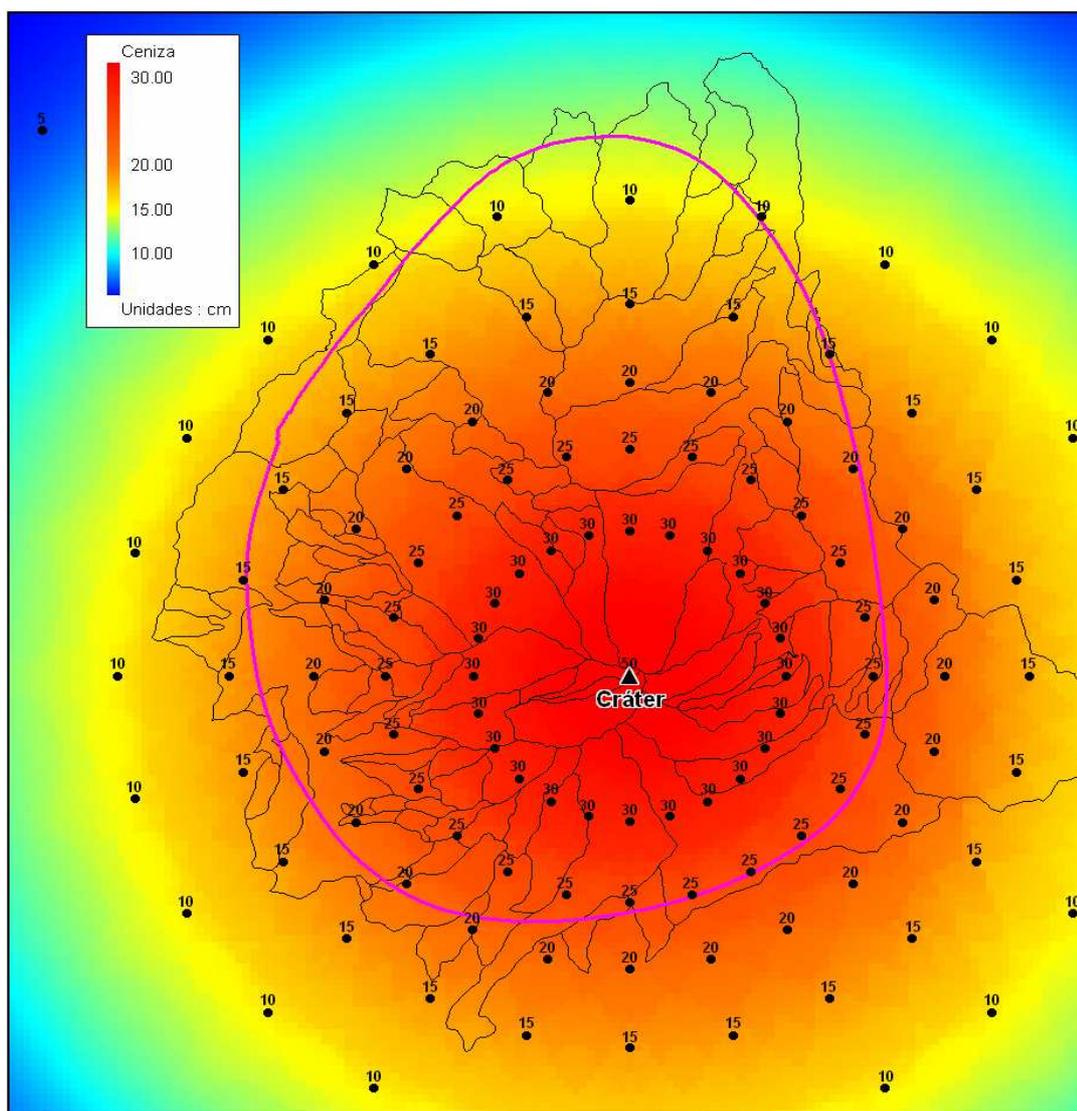
Figura 5. Mapa de isopacas volcán Galeras.



Fuente: INGEOMINAS (1997).

Seguidamente, a partir de la figura 6, se interpolaron los valores de caída de ceniza que se representan de manera radial alrededor del volcán Galeras, para obtener sus valores de dispersión en cualquier punto del área de análisis y construcción del modelo que se extendió hasta los 2762 km². Los resultados se presentan en la figura 6.

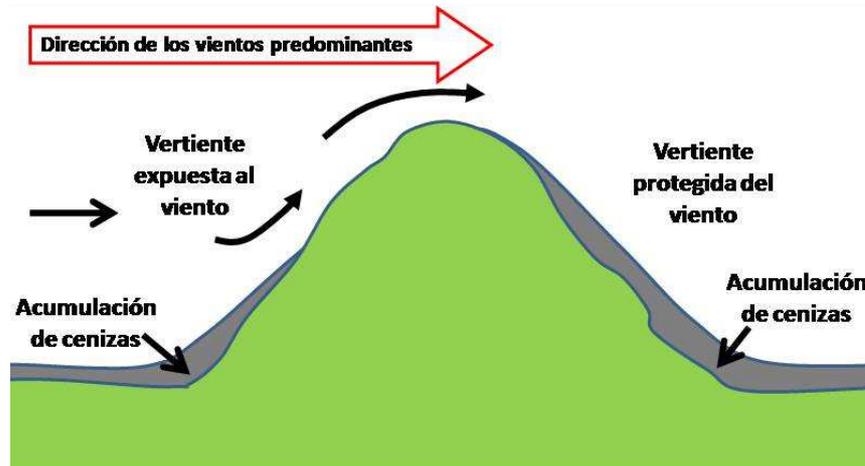
Figura 6. Modelo de interpolación de valores de ceniza



Fuente: Corporación OSSO, 2008.

2.4.5 Modelo de atenuación de caída piroclástica por la topografía. Este considera el efecto de la topografía, en estrecha relación con la dirección del viento, que define el factor de acumulación de ceniza sobre la superficie. En la figura 7, se presenta un esquema simplificado del modelo de acumulación de cenizas.

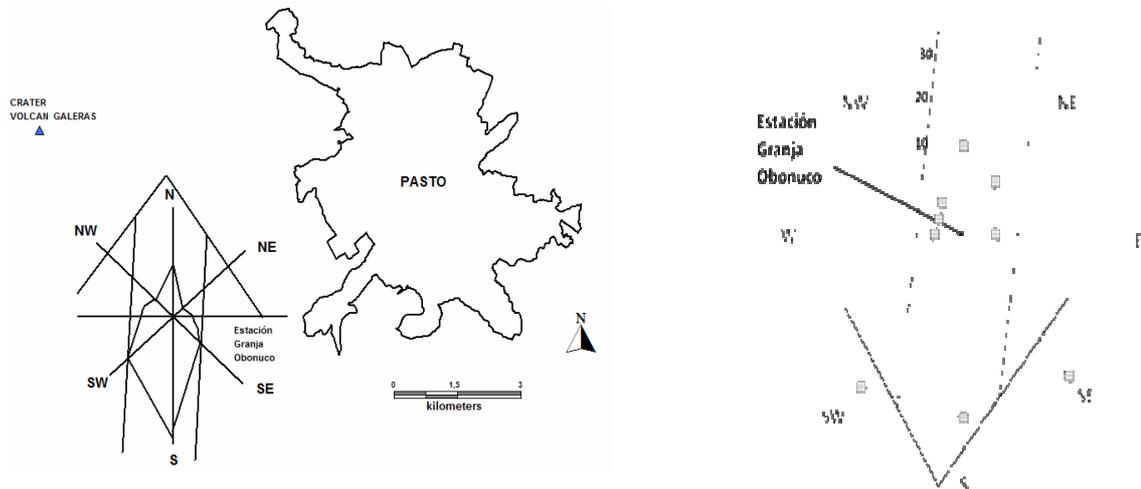
Figura 7. Esquema simplificado del modelo de acumulación de cenizas volcánicas.



Fuente: Adaptado del modelo de depósito de cenizas volcánicas en la Patagonia. F. Colmet-Daage elaborado a partir Gerding & Thiers, 2002.

Para el modelamiento del efecto topográfico en relación con el viento, se tuvo en cuenta el diagrama de rosa de los vientos que podrían afectar una eventual columna de erupción del volcán Galeras definido por INGEOMINAS (1997), la cual se muestra en la figura 8.

Figura 8. Diagrama de rosa de los vientos, volcán Galeras.

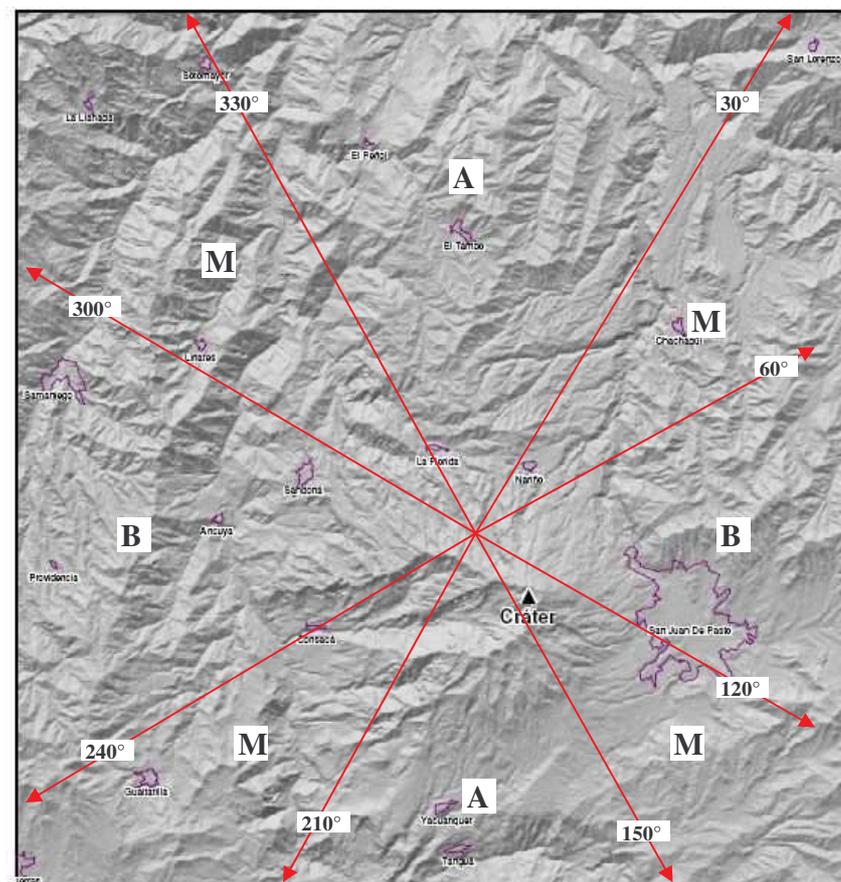


Fuente: INGEOMINAS (1997).

Teniendo en cuenta lo anterior y para propósitos del estudio, se definieron tres rangos de exposición: alta, media y baja. La afectación alta, corresponde a todos los elementos topográficos con exposición directa a la acción del viento y que están determinados por la dirección de los vientos predominantes en el Galeras, definidos para la zonificación de caída piroclástica del INGEOMINAS (1997) y que corresponde a dos direcciones, Norte y Sur Occidente.

Los rangos de exposición alta (**A**), se establecieron entre $[30^\circ - 330^\circ]$ y $[150^\circ - 210^\circ]$ calificándoles con un factor de ponderación de 1; el rango de exposición media (**M**) entre $[30^\circ - 60^\circ]$, $[120^\circ - 150^\circ]$, $[210^\circ - 240^\circ]$ y $[300^\circ - 330^\circ]$ con factor de ponderación de 0,5; por último, el rango bajo (**B**): $[240^\circ - 300^\circ]$ y $[60^\circ - 90^\circ]$ con factor de ponderación de 0,25. En la figura 9 se presentan los rangos definidos los cuales se definen haciendo centro el cráter del volcán Galeras.

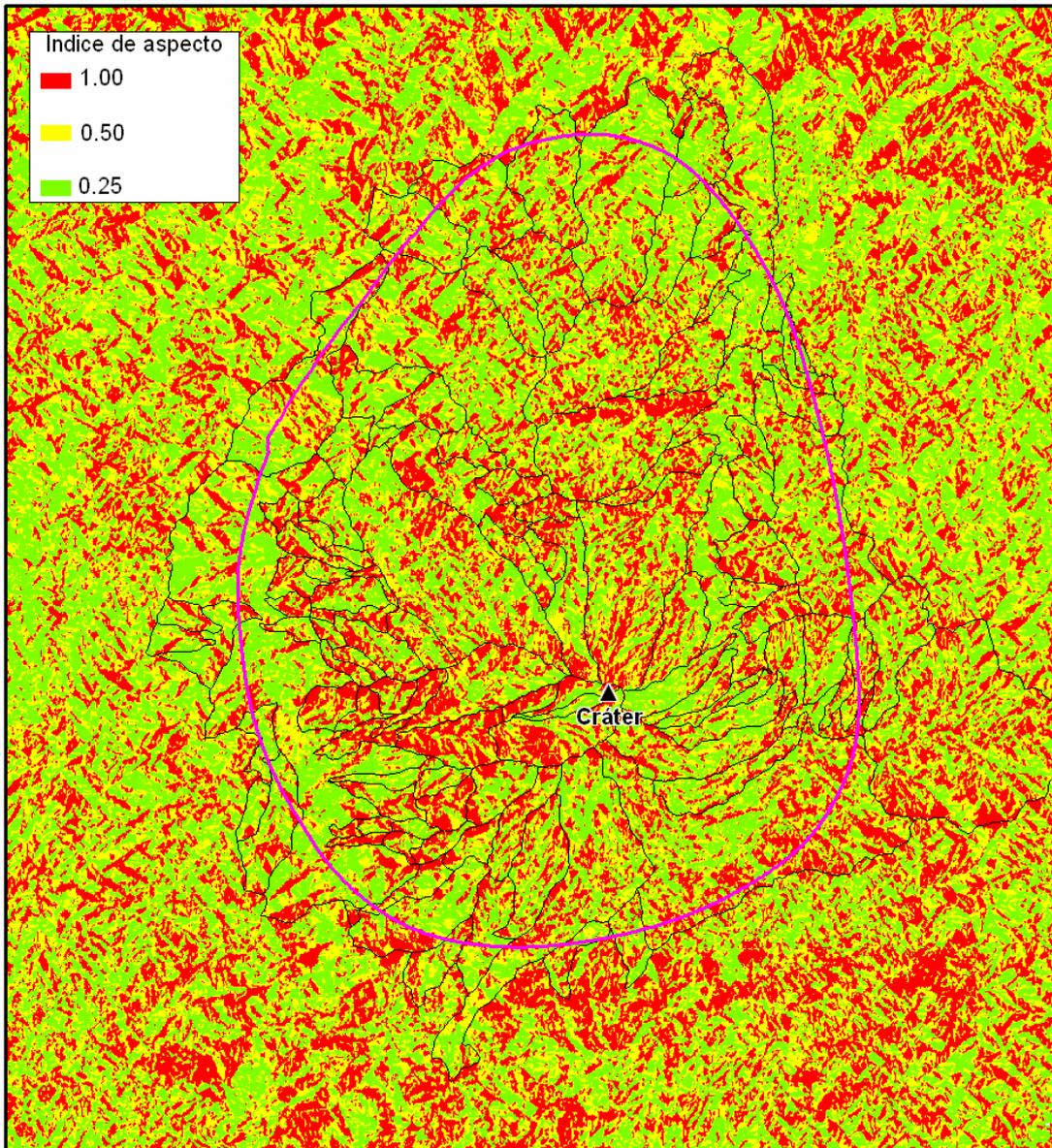
Figura 9. Esquema de exposición de las vertientes topográficas al viento.



Fuente: Corporación OSSO, 2008.

A partir de lo anterior, se define el índice de aspecto, que representa la exposición de la topografía del relieve a la acumulación de ceniza. Este resultado se presenta en la figura 10.

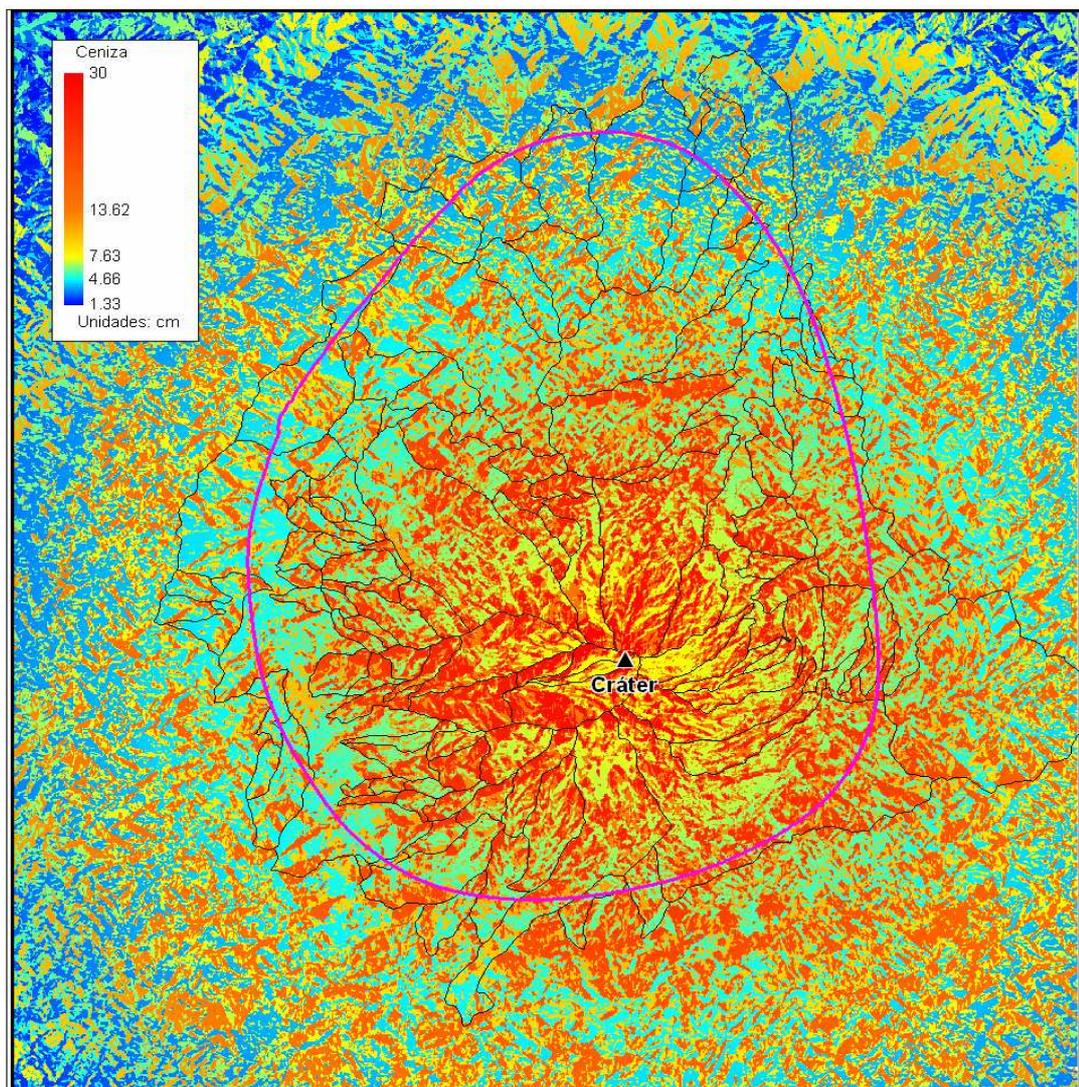
Figura 10. Índice de aspecto



Fuente: Corporación OSSO, 2008.

Teniendo en cuenta que la acumulación de ceniza sobre la superficie no es homogénea, por aspectos antes mencionados (p. eje, topografía del relieve y dirección del viento), a continuación se presenta el resultado de la intersección entre el índice de aspecto y el modelo de dispersión de cenizas calculado, que da como resultado el modelo de dispersión y acumulación de ceniza final. Como se observa en la figura 11 que las vertientes con mayor susceptibilidad a la acumulación de ceniza, representadas en rojo, son todas aquellas que tienen una orientación desfavorable, con respecto a la caída de ceniza. Estos resultados se presentan a continuación en la figura 11.

Figura 11. Modelo final de acumulación de ceniza volcánica, volcán Galeras.



Fuente: Corporación OSSO, 2008.

3. METODOLOGÍA.

3.1 GRUPO DE APOYO TÉCNICO.

El grupo de trabajo para este estudio, estuvo a cargo de los profesionales de la Corporación OSSO, en cabeza del Msc. Hansjürgen Meyer, Director Científico del Estudio, con la asesoría en el tema de amenazas geológicas, del Ing. Geólogo Andrés Velásquez Restrepo. La coordinación técnica del estudio, estuvo a cargo del Ing. Civil Henry A. Peralta B. especialista en reducción de riesgos de desastres y desarrollo local sostenible. La coordinación del área de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos, estuvo a cargo del Técnico Cartógrafo Jorge Eduardo Mendoza, con el apoyo de los profesionales del área de procesamiento gráfico de la Corporación, la Geógrafa Lizeth Zabala y cinco (5) estudiantes egresados del programa de ingeniería civil de la Universidad de Nariño, en calidad de pasantes con el fin de contar con profesionales que participen en actividades propias del proyecto y que contribuyan con sus capacidades humanas y técnicas al desarrollo del mismo, cuyos participantes aparecen en la figura 12.

Figura 12. Grupo de apoyo técnico.



Como apoyo vital para la realización del proceso, se contó con el acompañamiento para el trabajo de campo, del señor Carlos Mario Salazar y funcionarios de las alcaldías de los municipios objeto del estudio.

3.2 ORGANIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA DEL PROYECTO.

Dado que el proyecto se sustenta en un estudio sobre el volcán Galeras, la casa Galeras dispuso en sus instalaciones de una oficina como sitio de trabajo para la Corporación OSSO entidad responsable del proyecto, en la cual se ubicaron equipos de escritorio para el procesamiento de datos e imágenes digitales (PC), y equipos para trabajo de campo, como GPS, cámaras digitales, entre otros.

Para el trabajo de campo, se contó con un vehículo automotor para el libre desplazamiento dotados de un carné de identificación con la insignia de la Corporación OSSO.

Teniendo en cuenta que la sede principal de la Corporación OSSO se encuentra en la ciudad de Cali, fue necesario el desplazamiento hacia esta ciudad con el fin de terminar el procesamiento y análisis de los datos del trabajo de campo.

3.3 FASES DEL PROYECTO.

El proceso de determinación de vulnerabilidad física y funcional del tema de estudio se desarrolló en tres fases: **FASE I. PREPARACIÓN; FASE II. TRABAJO DE CAMPO y FASE III. ANÁLISIS Y RESULTADOS.** Los pasos y las técnicas principales desarrolladas, se muestran en la figura 13 y se describen en los siguientes numerales.

3.3.1 Fase I. Preparación: en ésta fase se desarrollaron todas las actividades preliminares del estudio como: *(i). Diagnóstico de la información existente y disponible; (ii). Elaboración de formatos para el inventario de los elementos expuestos; (iii). Preparación del trabajo de campo; (iv). Sistema de Información Geográfico - SIG.* A continuación se describe de manera detallada en qué consistió cada una de ellas.

3.3.1.1 Actividad 1.1 Diagnóstico de la información existente y disponible: en ésta actividad se realizó la búsqueda de la información existente y disponible del sistema de vías y transporte en la zona de estudio, la cual fue suministrada por instituciones del orden local, regional y nacional tales como (INGEOMINAS, INVIAS, Alcaldías Municipales, entre otras) las cuales para efectos del proyecto suministraron (estudios, información cartográfica y documental – de forma análoga y/o digital, imágenes, fotografías aéreas, entre otras, en formatos SHAPE y AUTOCAD, de tipo oficial y dominio público) con un nivel de resolución en escala 1:100000, escala que se pretende actualizar dado que la escala del proyecto es 1:25000. Una vez la información suministrada fue analizada, depurada, sistematizada y catalogada fue

almacenada en una base de datos; con la finalidad de determinar la información faltante, a ser recolectada directamente en trabajo de campo durante la FASE II, mediante la aplicación y diligenciamiento de formularios específicos previamente elaborados y ajustados.

Figura 13. Fases del proyecto.



A partir de la revisión y diagnóstico de la información recopilada y existente, se determinó los componentes críticos; los cuales reciben la denominación de críticos debido a que por su función de transporte, movilidad e interconexión, tamaño, carácter lineal y uso continuo, una interrupción en la prestación de su servicio, puede afectar a una gran cantidad de personas y las actividades normales de una población, razón por la cual éstos determinaron los atributos para el diseño, construcción y aplicación de formatos estandarizados para la recopilación de la información e inventario de los elementos expuestos en el trabajo de campo actividad a realizarse en la fase II.

3.3.1.2 Actividad 1.2. Elaboración de formatos para el inventario de los elementos expuestos: a partir del diagnóstico de información recopilada (documental y cartográfica) y revisión de literatura existente se diseñaron los instrumentos de levantamiento de datos (formatos estandarizados) de los elementos expuestos objeto del estudio; información que una vez recopilada se sistematizó y catalogó en una Base de Datos Georreferenciable – BDG.

Los formatos estandarizados fueron específicos de acuerdo a la clasificación de los componentes del sistema de vías y transportes en dos categorías principales: a). formato I. Elementos puntuales (puentes y pontones vehiculares) y, b). Formato II. Elementos lineales (tramos viales), teniendo en cuenta; con base en estos documentos se construyeron los formatos bajo tres contextos: contexto espacial, contexto funcional y contexto físico.

3.3.1.3 Actividad 1.3 Preparación del trabajo de campo: una vez analizada, depurada, sistematizada y catalogada la información disponible, la siguiente actividad a realizar consistió en preparar los instrumentos de levantamiento de datos (formatos previamente elaborados) para localización, caracterización y georreferenciación con GPS de la información faltante y de los elementos expuestos objeto de estudio. De la misma manera y como parte del proceso se coordinó previamente el cronograma de las misiones de campo que se realizarían en la etapa de trabajo de campo a realizarse en la fase 2.

3.3.1.4 Actividad 1.4. Sistema de información Geográfica – SIGVULGALERAS: se manejó y alimentó el Sistema de Información Geográfico denominado SIGVULGALERAS, para el manejo de datos georeferenciables, que fueron útiles para el análisis y elaboración de los modelos de vulnerabilidad, como también para la generación de información temática, representada en informes, documentos y cartografía. SIGVULGALERAS es un sistema actualizable, dinámico y modificable (atributos y funciones).

La Corporación OSSO, definió el sistema de referencia en que se trabajó la cartografía del estudio, que es la *Proyección Gauss Kruger ó Transversa de Mercator – Elipsoide de Hyford*, así como el modelo cartográfico, la base cartográfica y las herramientas de Software, que se utilizaron con el propósito de facilitar la transferencia final a las instituciones y comunidad en general.

Las actividades básicas para el diseño e implementación del SIG del estudio se mencionan a continuación, las cuales se desarrollaron de manera progresiva dentro de cada una de las fases del estudio:

- Creación de un banco de datos geográficos (BDG)
- Depuración, corrección e integración de información cartográfica compilada
- Preparación de cartografía digital base para el proyecto
- Procesamiento, modelamiento y análisis de la información
- Generación de información temática

3.3.2 Fase II. Trabajo de campo: en ésta fase se desarrollaron todas las actividades relacionadas con las misiones de campo en la zona de estudio como: (i). *Inventario de los elementos expuestos del sistema de vías y transportes*; (ii). *Organización y depuración de la información recolectada del inventario*; (iii). *Sistema de Información Geográfico – SIG*. A continuación se describe de manera detallada en qué consistió cada una de ellas.

3.3.2.1 Actividad 2.1 Inventario de elementos expuestos del sistema de vías y transportes: se determinó el tipo y volumen de elementos que podrían ser afectados por procesos asociados a la amenaza volcánica. Consistió en primera instancia, en el reconocimiento de los elementos expuestos según las categorías definidas, mediante conteo, caracterización, ubicación y/o georreferenciación de los elementos expuestos de acuerdo con la clasificación definida, por medio de la aplicación de formatos estandarizados, diseñados y ajustados específicamente para éste estudio, además se utilizó un equipo GPS 60CSx Garmin con posicionamiento en tiempo real, cinta métrica, vehículo, cámara fotográfica, entre otros, lo cual permitió optimizar el proceso de levantamiento de información en las misiones de campo.

3.3.2.2 Actividad 2.2. Organización y depuración de la información recolectada del inventario: se realizó la organización de los datos recolectados en campo (puntos georeferenciados, fotografías y notas), y preparación de estos para el ingreso al SIG con el fin de contar con insumos para la elaboración de informes.

3.3.2.3 Actividad 2.3. Sistema de información Geográfica – SIGVULGALERAS: en términos de modelamiento las herramientas de SIG permitieron la integración de información disponible, tanto en formato vectorial como *raster*, con aquella que se generó por el proyecto, las cuales fueron principalmente bases de datos levantadas en campo, con ayuda de los formatos mencionados arriba y la incorporación de georreferenciación mediante tecnología de GPS, con ayuda en el Ingreso de datos al Sistema de Información Geográfica de los software: MapSource, Global Mapper 7 y MapInfo Profesional 9.0.

Los atributos que se vincularon a cada elemento expuesto fueron aquellos que permitieron hacer una aproximación a su vulnerabilidad física y funcional, respecto a los fenómenos volcánicos propios del volcán Galeras.

3.3.3 Fase III. Análisis y resultados: en ésta fase se desarrollaron todas las actividades relacionadas con el análisis y los resultados del estudio para: (i). *Elaboración del modelo para evaluar la vulnerabilidad física y funcional* (ii). *Evaluación de la vulnerabilidad de elementos expuestos;* (iii). *Elaboración de recomendaciones para la reducción de vulnerabilidad física y funcional.* (iv). *Sistema de información Geográfica - SIG.* Las actividades desarrolladas en esta fase se presentan a continuación.

3.3.3.1 Actividad 3.1. Elaboración del modelo para evaluar la vulnerabilidad física y funcional: se construyó el modelo para evaluar la vulnerabilidad física y funcional de los elementos expuestos, en función de los resultados de la recopilación de información disponible. A partir de esto se determinaron los atributos y relaciones específicas, para establecer los parámetros necesarios, con el fin de estimar la fragilidad o debilidad de los elementos a sufrir daño o pérdida, con relación a los fenómenos.

El fenómeno 'caídas piroclásticas' (más comúnmente llamado 'caída de cenizas') se convirtió en una representación espacial con valores de isópacas (niveles de igual espesor de depósitos de cenizas) para un episodio eruptivo y un régimen de vientos probable, tomando como punto de partida el mapa de amenaza volcánica de INGEOMINAS para caída piroclástica, con base en el cual se obtuvo el dato de entrada (espesor de ceniza de 30 cm, a cinco km del cráter), para modelar un escenario de caída de ceniza para Galeras, a partir del mapa de isópacas de la erupción del 15 de junio de 1991 del volcán Pinatubo, Filipinas (ver numeral 2.6).

Las variables definidas para el modelamiento fueron convertidas en estimativos para calcular la cantidad de ceniza que se puede acumular ya sean en los tramos viales así como en los pasos a nivel.

Las variables que describen la vulnerabilidad física se determinaron a partir del análisis de matrices causa–efecto que relacionan los fenómenos volcánicos con las zonas de amenaza y niveles de daño respectivamente, y, a su vez, la vulnerabilidad funcional en matrices de interdependencia que generan la importancia y dependencia de los elementos de estudio. Todos los resultados del modelamiento se representan en un modelo cartográfico y de SIG en SIGVULGALERAS.

3.3.3.2 Actividad 3.2. Evaluación de la vulnerabilidad de elementos expuestos: el tipo de evaluación de vulnerabilidad física y funcional que se aplicó en el estudio es de nivel intermedio, es decir semi-cuantitativo, sin llegar al detalle de análisis numéricos del comportamiento estructural individual de los elementos expuestos.

Como resultado de la aplicación de éste tipo de análisis, se logró determinar vulnerabilidades genéricas y comunes identificando prioridades para análisis detallados, que implican modelamientos y análisis cuantitativos puntuales que serían objeto de estudios futuros.

La evaluación de vulnerabilidad se realizó por tramos viales y sus elementos intrínsecos como pasos a nivel. Con estos resultados evaluados frente a los siete fenómenos volcánicos característicos del volcán Galeras, se logró inferir la vulnerabilidad, a partir de características generales clasificadas dentro de un contexto físico y funcional.

3.3.3.3 Actividad 3.3. Elaboración de recomendaciones para la reducción de vulnerabilidad física y funcional: a partir del conocimiento de la vulnerabilidad física y funcional de los elementos expuestos evaluados, se generaron una serie de recomendaciones que constituyen las bases técnicas para acciones posteriores, el diseño de medidas de mitigación, presentadas en un lenguaje al alcance de todos los sectores de la población (comunidades, instituciones, academia, etc.).

Igualmente, se identificaron las vulnerabilidades que pueden ser reducidas mediante acciones directas de la población, ó de instancias locales (recomendaciones de mitigación) y también, las más críticas que deben ser remediadas mediante políticas o acciones a nivel superior, p. ej., a través de acciones con participación del nivel central del Estado.

3.3.3.4 Actividad 3.4. Sistema de información Geográfica – SIGVULGALERAS: en todas las etapas del estudio se recurrió al uso de herramientas de SIG, para el procesamiento de las bases de datos cartográficos; así como para el análisis y modelamiento de los indicadores de vulnerabilidad, que generan nuevos insumos para tener una mirada diferente del territorio, lo cual aporta a toma de decisiones.

“Todos los resultados del SIGVULGALERAS, se presentan debidamente documentados (metadatos) y soportados con las fuentes de información y autoría intelectual o de propiedad que correspondan y son presentados tanto en formato digital como análogo.

4. METODOLOGIA PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD.

4.1 DEFINICIÓN DE MATRICES Y/O FUNCIONES DE VULNERABILIDAD.

Las matrices o funciones de vulnerabilidad relacionan el daño esperable con la intensidad del fenómeno, para un elemento específico y para un fenómeno específico.

Estas matrices y/o funciones de vulnerabilidad, se pueden obtener de diversas maneras, según la información disponible:

Empírica (por análisis de ocurrencias y experiencias anteriores)

Determinística (mediante ensayos de laboratorio, por ejemplo)

Opinión experta (cuando no se dispone de información directa)

Erupciones volcánicas desastrosas son relativamente raras, por lo cual la información sobre efectos (impacto) de los diversos fenómenos es escasa. En ese sentido, las variables de vulnerabilidad son analizadas sobre la base del conocimiento general, acumulado a través de la evaluación de efectos en otros volcanes; por ejemplo, sobre seres humanos, ganado, edificaciones, infraestructura, tierras agrícolas y recursos hídricos, la información sobre fenómenos volcánicos identificados como más probables (INGEOMINAS, 1997), se convierte en un conjunto de variables de vulnerabilidad, formulados de tal manera que puedan ser correlacionados con la información básica en el sistema de información (ubicación, cantidad, densidad, área, etc.).

El conjunto de variables de vulnerabilidad definidas, tuvo en cuenta tanto el tipo y severidad de impacto en el sitio o área de exposición, como la naturaleza del elemento expuesto. Las variables de vulnerabilidad, se han determinado para los diversos niveles de resolución.

Una “matriz de vulnerabilidad” resulta de la interrelación de componentes que la definen: la solicitud (propia del fenómeno) vs la resistencia (característica del elemento), basado en la técnicas de soporte decisión para asignación de pesos: *Analytical Hierarchical Process – AHP*, que es una metodología de modelamiento multi-criterio, basada en la lógica de comparación pareada desarrollada por Thomas Saaty en 1978, que permite organizar y evaluar la importancia relativa entre criterios y medir la consistencia de los juicios, requiere la estructuración de un modelo jerárquico. Con base en la comparación, se ponderan todos los sub-criterios y criterios y determinan los rangos de calificación según sea el caso. Por ejemplo, para el análisis de algunos elementos expuestos, la escala de valores cualitativos de la

vulnerabilidad cubre el rango entre el valor “nulo” hasta el valor “inminente”, para calificar su *grado de favorabilidad (posibilidad)*, correspondientes a la escala de valores cuantitativos entre (0-1), ésta puntuación es asignada a partir de los criterios que definidos por el grupo de profesionales de la Corporación OSSO encargados del modelamiento.

4.2 DETERMINACIÓN DE LAS SOLICITUDES.

El escenario de amenaza que se utiliza como insumo básico para derivar las solicitudes, es el especificado en el último mapa de amenaza volcánica tercera versión (INGEOMINAS, 1997), el cual representa: el cruce de la zonificación probabilística de los fenómenos asociados (onda de choque, flujos piroclásticos, caída piroclástica o de ceniza, flujos de lodo, flujos de lava, nube acompañante y proyectiles balísticos) a las erupciones volcánicas, ocurridas durante los últimos 5000 años, con los modelamientos de otros fenómenos, que no dejaron un amplio registro geológico. El mapa se divide en tres (3) zonas de amenaza⁵: alta, media y baja. La zona alta, puede estar afectada principalmente por flujos piroclásticos y la baja por caídas piroclásticas; la media, define el área de transición de la zona alta a la baja y representa los sectores que podrían verse afectados por flujos piroclásticos producidos en erupciones de gran magnitud, que las que han dejado registro geológico; adicionalmente define las posibles trayectorias de los flujos de lodo secundarios. Estos modelos de amenaza están representados en un mapa general y mapas para cada uno de los fenómenos.

En el cuadro 1, se presenta la relación de los fenómenos Vs el nivel de amenaza que estos representan. Los cuadros en naranja, indican que por ejemplo, el flujo piroclástico no se manifiesta en zonas de amenaza baja. De la misma manera, y para propósitos del análisis se coloca una columna nula, para indicar que los elementos expuestos objeto de análisis de acuerdo al mapa de amenaza general como a los mapas por fenómenos, estos pueden estar en amenaza nula.

⁵ Tomado del Mapa de amenaza volcánica del Galeras (tercera versión), 1997

Cuadro 1. Exposición los fenómenos volcánicos con relación al mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras del INGEOMINAS (1997).

Fenómeno	Alta (A)	Media (M)	Baja (B)	Nula (N)
Flujo Piroclástico (FP)	FPA	FPM		FPN
Flujo de lava (LV)	LVA			LVN
Caída piroclástica (CP)	CPA		CPB	CPN
Flujo de lodo (FL)	FLA			FLN
Onda de choque (OCH)	OCHA	OCHM	OCHB	OCHN
Proyectil balístico (PB)	PBA	PBM	PBB	PBN
Nube acompañante (NA)		NAM		NAN

Fuente: Corporación OSSO. 2008.

4.3 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA.

El análisis de la vulnerabilidad física, se realiza a partir del cruce del inventario de los elementos expuestos georreferenciados, con el mapa de amenaza general y fenómenos volcánicos de INGEOMINAS (1997), para asignarle una calificación de desfavorable (1), favorable (0) ó nulo, en función de la localización de los elementos, con respecto a su instalación sobre el terreno: (i). superficial y segundo, de acuerdo a su condición de protección: (i). al aire libre, en interrelación con los posibles efectos que los fenómenos pueden generar sobre éstos, teniendo en cuenta la naturaleza de los fenómenos, características y efectos, (físicos, químicos y mecánicos) asociados al proceso volcánico (ver tablas 1 y 2).

Teniendo en cuenta lo anterior, un elemento expuesto calificaría como desfavorable, es decir con un valor de (1), si su instalación sobre el terreno es superficial y su condición de protección es al aire libre, pero si dada su localización frente al fenómeno se ve afectada directamente por él, es decir muy expuesto. De otro lado calificaría como favorable, es decir con un valor de (0), si su instalación sobre el terreno es superficial y su condición de protección es al aire libre, pero si dada su localización se encuentra fuera del alcance de los fenómenos volcánicos, es decir que no se encuentra muy expuesto. Y calificaría como nula si no existe un fenómeno que lo pueda afectar, es decir no expuesto. En las tablas 1 y 2 se presenta la matriz de calificación para el sistema de vías y transportes.

Tabla 1. Ejemplo matriz de calificación del sistema de vías y transportes frente a los fenómenos de flujo piroclástico, flujo de lava, caída piroclástica y flujo de lodo.

ELEMENTO	INDICADOR DE EXPOSICIÓN								
	Flujo piroclástico			Flujo lava		Caída piroclástica		Flujo lodo	
	FPA	FPM	FPN	LVA	LVN	CPA	CPB	FLA	FLN
Camino - sendero superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Carreteable superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Vía pavimentada 2 o mas carriles superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Vía sin pavimentar 2 o mas carriles superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Vía sin pavimentar superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Puente concreto y arco inferior (bajo tablero) superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Puente en concreto y losa sobre vigas superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Puente de material mixto y arco bajo tablero/losa sobre vigas superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Pontón en concreto y losa simplemente apoyada superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Pontón en concreto y losa sobre vigas superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Pontón en piedra y losa sobre vigas superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Pontón en piedra y arco inferior (bajo tablero) superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Pontón de material mixto y losa simplemente apoyada superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Pontón de material mixto y losa sobre vigas superficial aire libre	1	1	0	1	0	1	0	1	0

CONDICIÓN	
Favorable	0
Desfavorable	1

Fuente: Corporación OSSO. 2009.

Tabla 2. Ejemplo matriz de calificación del sistema de vías y transportes frente a los fenómenos de onda de choque, proyectil balístico y nube acompañante.

ELEMENTO	INDICADOR DE EXPOSICIÓN									
	Onda choque				Proyectil balístico				Nube acompañante	
	OCHA	OCHM	OCHB	OCHN	PBA	PBM	PBB	PBN	NAM	NAN
Camino - sendero superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Carreteable superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Vía pavimentada 2 o mas carriles superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Vía sin pavimentar 2 o mas carriles superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Vía sin pavimentar superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Puente concreto y arco inferior (bajo tablero) superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Puente en concreto y losa sobre vigas superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Puente de material mixto y arco bajo tablero/losa sobre vigas superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Pontón en concreto y losa simplemente apoyada superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Pontón en concreto y losa sobre vigas superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Pontón en piedra y losa sobre vigas superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Pontón en piedra y arco inferior (bajo tablero) superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Pontón de material mixto y losa simplemente apoyada superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Pontón de material mixto y losa sobre vigas superficial aire libre	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0

CONDICIÓN	
Favorable	0
Desfavorable	1

Fuente: Corporación OSSO. 2009.

4.3.1 Cálculo de la distribución de daños: de acuerdo con INGEOMINAS (2005) Durante los últimos 500 años, la mayoría de las erupciones se han catalogado como vulcanianas, con columnas inferidas de baja altura (menores a 10 km), que han producido emisiones de gases y cenizas, pequeños flujos de lava y erupciones explosivas con la generación de flujos piroclásticos, cuyos depósitos han alcanzado distancias de hasta 9,5 km desde el cráter. Este tipo de erupciones vulcanianas se caracterizan por presentar una explosividad moderada a violenta, con lavas escasas y piroclastos abundantes (Martínez, *et al.* 2001).

Para determinar la distribución de los daños probables que pueden generar los diversos fenómenos asociados al proceso volcánico, en el área de influencia del volcán Galeras, se tuvo en cuenta en primer lugar, el escenario de amenaza existente, definido por el INGEOMINAS (1997), en el cual se consideraron los eventos eruptivos con registro geológico sucedidos durante los últimos 5000 años, que correspondería a una erupción de tipo explosiva y vulcaniana, con un VEI de 4, que presentaría las características que se resaltan en color azul en la tabla 3.

No obstante, cabe tener en cuenta algunas de las propiedades físicas estimadas para algunos fenómenos volcánicos, entre los cuales figuran los característicos del volcán Galeras, tal como aparecen en la tabla 4.

Del mapa de INGEOMINAS (1997) ya citado se obtuvieron los diferentes niveles de amenaza, tanto para la zonificación general, como para la zonificación por tipo de fenómenos asociados: flujos piroclásticos, onda de choque, proyectiles balísticos, caída piroclástica, flujos de lodo, flujos de lava y nube acompañante, definidos a partir de modelos probabilísticos. El mapa de amenaza general representa la envolvente de los estudios de campo los registros geológicos e históricos cruzados con los modelos mencionados.

A partir de lo anterior y para propósitos del análisis de la vulnerabilidad, teniendo en cuenta los niveles de solicitación, representados por los fenómenos volcánicos, para el área de influencia del estudio, de acuerdo con el mapa general de amenaza volcánica y los mapas de zonificación de amenaza por fenómeno en alta, media, baja y nula.

Tabla 3. Índice de explosividad – VEI

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción	No explosiva	Pequeña	Moderada	Moderada grande	Grande	Muy grande	---	---	---
Volumen emitido (m ³)	< 10,000	10.000 – 1.000.000	Uno a diez millones	Diez a cien millones	Cien a mil millones	Uno a diez km ³	Diez a cien km ³	Cien a mil km ³	Más de 1000 km ³
Altura de la columna (km)	0,1	0,1 – 1	1-5	3 - 15	10 – 25	Más de 25	---	---	---
Duración en horas	-1	-1	1-6	1 – 6	1 – 12	6 – 12	---	---	---
Inyección a la troposfera	Mínima	Leve	Moderada	Sustancial	Grande	---	---	---	---
Inyección a la estratosfera	Nula	Nula	Nula	Posible	Definida	Significativa	---	---	---

Fuente: adaptado de Newhall y Self (1982) en (Martínez, et al. 2001).

Tabla 4. Resumen de propiedades físicas estimadas para algunos fenómenos volcánicos.

Fenómenos	Distancias hasta las cuales se han experimentado efectos		Área afectada		Velocidad		Temperatura (°C)
	Promedio (km)	Máximo (km)	Promedio (Km ²)	Máximo (Km ²)	Promedio (m/s)	Máximo (m/s)	
Caída de ceniza (tefra)	20-30	>800	100	>100.000	15	30	Usualmente la del ambiente
Proyectiles balísticos	2	15	100	80	50-10	100	1000
Flujos piroclásticos y o derrumbes o avalanchas	10	100	5-20	10.000	20-30	100	600 – 800
Lahares	10	300	5-20	200 -300	3 – 10	>30	100
Flujos de lava	3-4	>100	2	>1000	5	30	700 – 1150
Lluvia ácida y gases	20-30	>2000	100	20.000	15	30	Ambiente
Ondas de choque	10-15	>800	1000	>100.000	300	500	Ambiente
Rayos	10	>100	300	3000	12x10 ⁶	12x10 ⁶	Por encima del punto de incandescencia

Fuente: adaptado de Blong, R.H. Volcanic Hazards (Sydney, Australia: Macquarie University academic Press, 1984) en (Martínez, et al. 2001).

Así mismo, se definió para cada uno de los fenómenos presentados, el nivel de daño que podrían ocasionar si llegasen a manifestarse, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, los efectos para la vida y los bienes, observadas en erupciones pasadas, así como las observadas en el volcán Galeras en su periodo histórico de los últimos 500 años, tal como se observa en el cuadro 2.

Cuadro 2. Probables efectos de los peligros volcánicos en los bienes.

Fenómenos	Efecto
Proyección de bombas y escorias. Cenizas	Daños por impacto. Incendios
Caída de piroclastos. Cenizas	Recubrimiento por cenizas. Colapso de estructuras. Daños a la agricultura
Lava y Domos	Daños a estructuras. Incendios. Recubrimiento por lava
Coladas y oleadas piroclásticas. Flujos piroclásticos	Daños a estructuras. Incendios. Recubrimiento por cenizas
Lahares	Daños a estructuras. Incendios. Arrastres de materiales. Recubrimiento por barros
Colapso total o parcial del edificio volcánico	Daños a estructuras. Recubrimiento por derrumbes. Avalanchas. Tsunami inducido
Deslizamiento de laderas	Arrastre de materiales. Recubrimiento por derrumbes. Daños estructuras
Gases volcánicos	Envenenamiento. Contaminación de aire y agua
Onda de choque	Rotura de cristales y paneles
Temblores volcánicos	Colapso del edificio volcánico. Deslizamiento de masas
Deformación del terreno	Fallas. Daños a estructuras
Variaciones en el sistema geotérmico de acuíferos	Cambios en la temperatura y calidad del agua

Fuente: Tomado de Martínez, et al. 2001.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se definió el nivel de daño, que éstos elementos podrían sufrir por la manifestación de cada uno de los siete (7) fenómenos analizados, considerando el riesgo (es decir la probabilidad de pérdida) que estos generarían para la vida, los bienes y la funcionalidad, categorizado en tres niveles de daño: severo, moderado, leve ó nulo. De tal modo, en el cuadro 3 se presentan los criterios que se utilizaron para diferenciar cada nivel en relación con cada uno de los componentes de afectación mencionados.

Cuadro 3. Criterios de definición del nivel de daño

Nivel de daño	Componente		
	Vida	Bienes	Funcionamiento
Severo	Muerte	Daños físicos totales	Pérdida total de la funcionalidad
Moderado	Lesiones severas permanentes - directas e inmediatas (pérdida de capacidades motrices, pérdida total de uno o más sentidos, pérdida de extremidades)	Daños físicos parciales con posibilidad de recuperación	Pérdida parcial de la funcionalidad, con posibilidad de recuperación en el mediano plazo
Leve	Lesiones temporales - Indirectas y retardadas (pérdida momentánea de los sentidos)	Efectos físicos temporales, con capacidad de recuperarse	Pérdida parcial de la funcionalidad, con posibilidad de recuperación en corto plazo
Nulo	Sin efecto para la vida	Sin daños ni efectos	Sin daños ni efectos en la funcionalidad

Fuente: Corporación OSSO.

En el cuadro 4 se presentan los niveles de daño que los elementos expuestos pueden experimentar frente a los diversos fenómenos volcánicos.

Cuadro 4. Nivel de daño por fenómeno.

Componente	Nivel de daño			
	Severos	Moderados	Leves	Nulos
Vidas	FPA, FPM, LVA, CPA, FLA, OCHA, PBA, PBM, NAM, PBB	CPB, OCHM	OCHB	FPN, LVN, FLN, OCHN, PBN, NAN
Bienes	FPA, FPM, LVA, CPA, FLA, OCHA, PBA, PBM, NAM	CPB, OCHM, PBB	OCHB	FPN, LVN, FLN, OCHN, PBN, NAN
Funcional	FPA, FPM, LVA, CPA, FLA, OCHA, PBA, PBM, NAM	CPB, OCHM, PBB	OCHB	FPN, LVN, FLN, OCHN, PBN, NAN

Fuente: Corporación OSSO.

En síntesis, el grado de daño está en función de las propiedades estructurales de los elementos expuestos, para resistir las sollicitaciones mecánicas, físicas, químicas etc., y su exposición frente al fenómeno con respecto a su localización, grado de protección y tiempo de permanencia.

La distribución de daños de los elementos expuestos en el área de estudio, se determinó para cada uno de los fenómenos asociados al fenómeno volcánico, teniendo en cuenta, el escenario máximo probable de erupción (mayor a 5000 años) definido en el mapa de amenaza volcánica del INGEOMINAS tercera versión (1997).

Teniendo en cuenta lo anterior, se definieron criterios de calificación de vulnerabilidad física, en términos de niveles de porcentaje de daño severo, que podría sufrir los componentes de un sistema, con relación al todo; daños severos, menores al 10 %, califican con una vulnerabilidad baja, es decir que pocos elementos deben ser reparados o reemplazados; daños severos entre 10 y 40 %, califican como vulnerabilidad moderada, es decir que algunos elementos deben ser reparados o reemplazados; y daños mayores al 40 %, con respecto a la totalidad del sistema, califica como vulnerabilidad alta, es decir, que muchos elementos sufren daños, lo que significa que no sería rentable su reparación y el sistema debe ser totalmente reconstruido. En la tabla 5 se presentan los criterios de calificación.

Tabla 5. Indicador de vulnerabilidad física a partir del daño severo.

Porcentaje de daño	Vulnerabilidad
> 40 %	Alta
Entre 10 % a 40 %	Medio
< 10 %	Baja
0 %	Nula

Fuente: Corporación OSSO.

4.4 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FUNCIONAL.

Mientras la vulnerabilidad **física**, supone la probabilidad de pérdida de integridad del elemento (daño), por impactos directos de fenómenos, la vulnerabilidad **funcional** supone pérdida de capacidad de funcionamiento del elemento, sin pérdida de integridad, razón por la cual, para su evaluación se requiere previo conocimiento del funcionamiento de cada uno de los componentes que conforman el sistema, su nivel de operación, mantenimiento y su relación con los demás elementos.

De esta manera, la vulnerabilidad funcional aplicada al sistema de vías y transportes puede ser entendida como la debilidad de líneas vitales en términos de su capacidad de respuesta, para garantizar la continuidad, calidad y cobertura en la prestación del servicio o la recuperación del mismo, en el menor tiempo posible, durante y después de presentarse una emergencia.

De tal manera, para evaluar la vulnerabilidad funcional, de los elementos del área de estudio en primera instancia se construyó una matriz de interrelación de los elementos que componen el sistema calificando dos parámetros: **el nivel de influencia (NI)** y **el nivel de dependencia (ND)**, el primero, determina la importancia de cada uno de componentes en relación con la función dentro del sistema y el segundo, está asociado al grado de dependencia de cada componente en particular para poder funcionar. Para éste análisis, hay que tener en cuenta que aún más importantes que los componentes en sí mismos, son las interrelaciones que existen entre ellos, porque éstas constituyen la base fundamental para aumentar la resiliencia, es decir la capacidad que tiene el sistema de recuperarse en un corto tiempo.

Para calificar esta matriz se asignando una puntuación de [0] para dependencia nula, [1] para baja, [3] para media y [5] para dependencia alta. A este proceso se le denomina *ponderación de clases*.

El paso a seguir una vez creada la matriz de interrelación es:

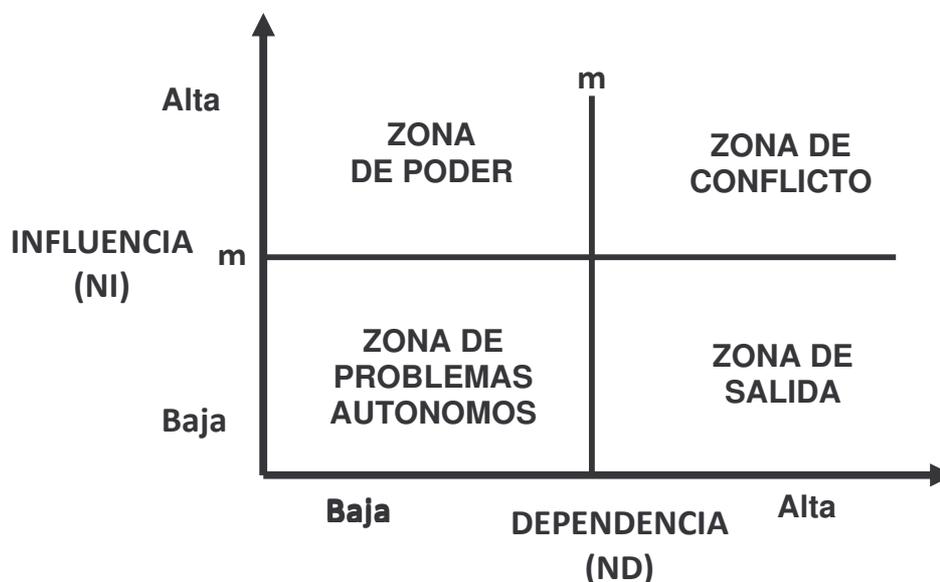
Sumar los resultados de cada fila de la matriz de interrelación, lo que indica el número de veces de que cada variable impacta a las restantes. De igual forma, se suman las columnas, lo que arroja el dato de la dependencia de una variable con respecto a otra. Una vez se obtienen estos resultados, se determinan los pares de valores que corresponden a los dos parámetros de calificación: **el nivel de influencia (NI)** y **el nivel de dependencia (ND)** que corresponden a las variables a representar en el plano (Y/X).

Como paso seguido, se obtiene un valor promedio (m) el cual una vez ubicado en el plano, lo divide a éste en cuatro zonas, como aparece en la figura 14.

Zona de poder: aquí se encuentran las variables que tienen la más alta influencia y la más baja dependencia. Estas variables son las más importantes del sistema de relaciones porque influyen sobre la mayoría y dependen poco de ellas. Son muy fuertes y poco vulnerables. Cualquier modificación en ellas implicará cambios en todo el sistema.

Zona de conflicto: aquí se encuentran variables de alta influencia y alta dependencia. Estas variables son muy influyentes y muy vulnerables sobre las restantes pero al mismo tiempo son influidas por ellas, es decir que encuentran en conflicto, por lo que cualquier variación que les afecte, también afectará a las variables de la zona de salida. No obstante, son variables muy importantes.

Figura 14. Plano de interrelación.



Fuente: Corporación OSSO.

Zona de salida: es la zona de variables de alta dependencia y baja influencia, es decir, que se caracteriza por tener baja influencia pero alta dependencia. También se la denomina zona de efectos por reciben influencias de las dos anteriores.

Zona de problemas autónomos: en esta zona aparecen las variables que, ni influyen significativamente sobre las otras ni son influidas por ellas. Por esta razón, tienen poca influencia y poca dependencia.

5. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES.

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTE.

El sistema de vías y transportes hace parte de las líneas vitales en el marco de la infraestructura, el cual está conformado básicamente por un conjunto de elementos físicos que corresponden a la red vial y a sus elementos puntuales de interconexión como puentes y pontones vehiculares, los cuales están íntimamente relacionados y para su funcionamiento dependen el uno del otro, razón por la cual tanto los elementos lineales como puntuales tienen como función la comunicación, interconexión, evacuación.

5.2 INVENTARIO DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES.

Con base en la información de INVIAS y la interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas de alta resolución, suministradas por IGAC y trabajo de campo, para propósitos del estudio se lograron inventariar los elementos del sistema de vías y transportes del área de interés, conformados por vías (primarias y secundarias), intersecciones, pasos a nivel (puentes, pontones vehiculares), nodos de partida o llegada (cabeceras municipales), los cuales fueron objeto del análisis de la vulnerabilidad física y funcional, en términos de su susceptibilidad o grado de predisposición a verse afectados por los fenómenos asociados al proceso volcánico en términos de su exposición y posibilidad de daño.

Para optimizar el trabajo de inventario de elementos expuestos, que consistió básicamente en la inspección visual de los componentes críticos del sistema se elaboraron formatos estandarizados para realizar el levantamiento de información los cuales se presentan en el anexo 1 de manera eficiente, los cuales se construyeron tomando como base los documentos técnicos del INVIAS, tales como:

- Manual para la inspección visual de puentes y pontones.
- Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles.
- Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos.

Sin embargo, la inspección visual presenta una serie de limitaciones en cuanto a:

- La inspección visual es de tipo cualitativo con un alto nivel de subjetividad de acuerdo al criterio del inspector, a partir de la cual se pretende conocer la condición actual de los elementos expuestos.

- Inspecciones objetivas requieren de personal, equipo especializado y costoso; las cuales no se contemplan dentro de la metodología de la Corporación OSSO.
- Llevar a cabo actividades como inspecciones visuales no mejoran ni garantizan la estabilidad de una estructura, pero si ayudan a detectar fallas a tiempo para prevenir problemas futuros.
- El alcance del estudio es de tipo semi-cuantitativo, es decir sin llegar al detalle de análisis y/o modelamientos estructurales, físicos ó matemáticos, razón por la cual el inventario de los elementos no compromete a utilizar equipos sofisticados ni personal especializado para tal fin.

Los formatos estandarizados fueron clasificados según los componentes del sistema de vías y transportes en dos categorías principales: a). formato I. Elementos puntuales ó pasos a nivel (puentes y pontones) y b). Formato II. Elementos lineales (tramos viales), que se construyeron bajo tres contextos: contexto espacial, contexto funcional y contexto físico.

A continuación se presenta una breve descripción de cada formato:

5.2.1 Formato I. Elementos puntuales ó pasos a nivel (puentes y pontones):

Éste formato se construyó bajo tres contextos: contexto espacial, contexto funcional y contexto físico. A continuación se hace una descripción breve de cada uno de los contextos:

- **CONTEXTO ESPACIAL:** relaciona variables de *localización de la estructura* (a nivel de departamento, municipio, corregimiento, etc.), *identificación de la estructura* (nombre de la vía donde se ubica, nombre del puente (si tiene), obstáculo que salva (rio, quebrada. Etc.)), y *georreferenciación de la estructura* (bajo el sistema de coordenadas decimales (hddd.ddddd° – WGS84), (World Geodetic System 1984. Sistema de coordenadas mundiales 1984)).
- **CONTEXTO FUNCIONAL:** relaciona variables de funcionamiento del elemento puntual como: *años de servicio, tipo de servicio* (vehicular, peatonal, otro) *nivel administrativo* (nacional, departamental, municipal, caminos vecinales, etc), *mantenimiento*.
- **CONTEXTO FÍSICO:** relaciona variables que buscan determinar las condiciones actuales de la estructura bajo una clasificación que consta de las siguientes categorías:

- SUPERFICIE Y EQUIPAMIENTOS:
- SUBESTRUCTURA
- SUPERESTRUCTURA EN CONCRETO
- OTROS

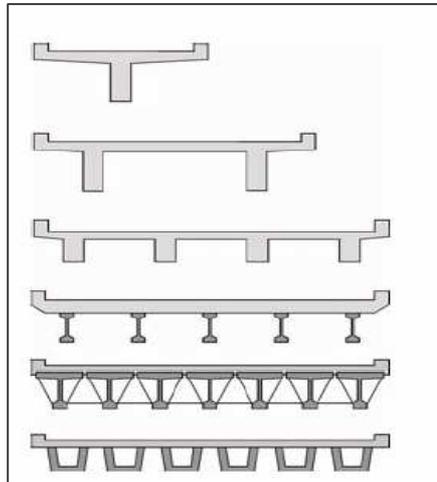
5.2.2 Formato II. Elementos Lineales (tramos viales): Éste formato se construyó bajo tres contextos: contexto espacial, contexto funcional y contexto físico; a continuación se hace una descripción breve de cada uno de los contextos:

- **CONTEXTO ESPACIAL:** relaciona variables de *georreferenciación de los tramos viales* (bajo el sistema de coordenadas decimales (hddd.ddddd° – WGS84), (World Geodetic System 1984. Sistema de coordenadas mundiales 1984)).
- **CONTEXTO FUNCIONAL:** relaciona variables de funcionamiento del elemento puntual como: *estado del pavimento, número de carriles, nivel administrativo* (nacional, departamental, municipal, caminos vecinales, etc).
- **CONTEXTO FÍSICO:** hace referencia al material del pavimento con una superficie de rodadura en pavimento flexible, rígido ó afirmado. Además se tiene en cuenta el ancho de la calzada.

Una vez finaliza el trabajo de campo se determina que el inventario consta de vías primarias y secundarias, que corresponden a un total 12 tramos viales (291,38 km), de los cuales; 6 tramos están sobre la vía Circunvalar al Volcán Galeras (92,01 km), 2 tramos sobre la vía Panamericana (93,37 km), y 5 tramos viales de carácter intermunicipal (105,99 km).

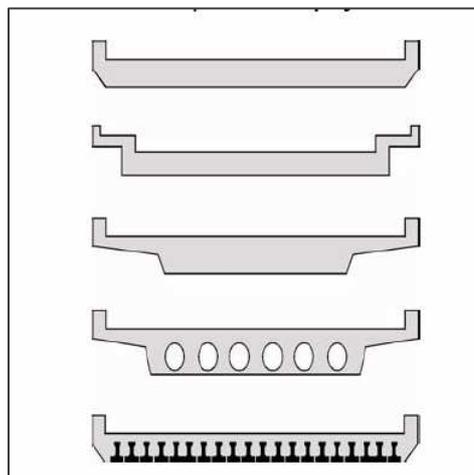
De las misma manera, hacen parte del inventario pasos a nivel conformados por (7) puentes y (28) pontones, identificando en campo que el tipo constructivo predominante de éstos en la zona de estudio según su sección transversal pueden ser clasificados según el manual para la inspección visual de puentes y pontones del INVIAS en los tipos 01, 02 y 07 que corresponden a las figuras 15,16 y 17.

Figura 15. Sección transversal del puente Tipo 01. Losa sobre vigas.



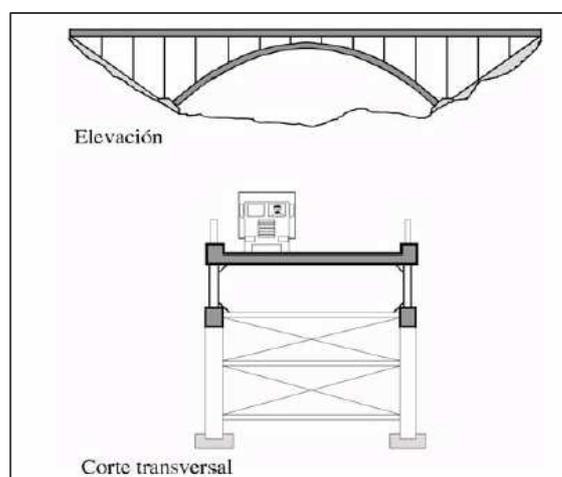
Fuente: manual para la inspección visual de puentes y pontones. INVIAS.

Figura 16. Sección transversal del puente Tipo 02. Losa simplemente apoyada.



Fuente: manual para la inspección visual de puentes y pontones. INVIAS.

Figura 17. Puente Tipo 07. Arco inferior.



Fuente: manual para la inspección visual de puentes y pontones. INVIAS.

En síntesis, en la tabla 6 se presenta el inventario general de los elementos expuestos (red vial y pasos a nivel) del sistema de vías y transportes en la zona de estudio.

Tabla 6. Inventario de elementos expuestos en la zona de estudio.

NOMBRE VÍA	TRAMO VIAL	NIVEL FUNCIONAL	LONGITUD (Km.)	PUENTE	PONTÓN
Circunvalar al Volcán Galeras	Cebadal - Yacuanquer	Primario	3,348	0	1
	Yacuanquer - Consacá	Primario	27,135	1	2
	Consacá - Sandoná	Primario	15,55	0	4
	Sandoná - La Florida	Primario	20,862	1	5
	Florida - Nariño	Primario	8,383	1	2
	Nariño - Pasto	Primario	16,736	0	5
Panamericana	Pedregal - Pasto	Primario	42,446	0	0
	Pasto - Mercaderes	Primario	50,927	1	2
	Ancuya - Sandoná	Secundario	13,569	1	0
	Ancuya - Linares	Secundario	18,834	0	5
	Consacá - Ancuya	Secundario	14,491	1	-
	Linares - El Tambo	Secundario	37,675	1	2
	Motilón - El Tambo	Secundario	21,419	0	0
TOTAL			291,38	7	28

Hacen parte del inventario la vía Circunvalar al Volcán Galeras cuyo código INVIAS es 2501-B y algunos tramos de la vía Panamericana cuyo código INVIAS es 2502 de competencia nacional y de nivel funcional primario, las cuales en general presentan una superficie de rodadura en pavimento flexible (a excepción de algunos tramos de la vía circunvalar que se encuentran afirmados), ofreciendo un servicio vehicular para una capacidad de 2 carriles. A su vez, los tramos intermunicipales presentan una superficie de rodadura afirmada, ofreciendo un servicio vehicular para una capacidad de 1 y 2 carriles

A nivel general, el estado de las vías de pavimento flexible tienden a encontrarse en un rango que puede pasar de regular a malo, debido a su afectación por daños relacionados con fisuras de tipo transversal, longitudinal, de borde, en bloque, piel de cocodrilo, por deslizamiento de capas y fisuración incipiente; deformaciones esencialmente por ahuellamientos y hundimientos, pérdida de capas estructurales que corresponden a baches, descascaramientos, parches y daños superficiales tales como el desgaste superficial, pérdida de agregados, pulimentos del agregado, surcos, y exudación, entre otros. A su vez, los tramos afirmados, presentan deformaciones por ahuellamientos y hundimientos, así como daños superficiales como surcos, producto de acciones del tránsito en asocio con agentes abrasivos y erosivos. Sin embargo, no se profundiza en cuanto al nivel de severidad y evolución probable de éstos daños debido a que sólo se pretende dar a conocer las condiciones actuales de la vía en el momento de realizarse éste estudio, identificando si éstas señales de deterioro hacen susceptibles a sufrir daños frente a los fenómenos volcánicos a la red vial de la zona de estudio.

5.2.3. Inventario del sistema de vías y transportes en la zona de estudio.

VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS

TRAMO VIAL: Cebadal - Yacuanquer

En este tramo vial se inspeccionó visualmente un pontón cuyo estado al momento de su evaluación es el siguiente:

Pontón #1.

Georreferenciación del pontón #1 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.11640°

W 77.38962°

Altura (msnm) 2672

En la figura 18, se aprecia el pontón que salva como obstáculo el cauce de la Quebrada La Magdalena, cuyo cauce presenta buenas condiciones de flujo, libre de escombros y vegetación que puedan modificar su curso.

Acerca del pontón se puede decir que dada su sección transversal es del tipo losa simplemente apoyada, el cual tiene por dimensiones una longitud de 4.40m, un ancho de 10.30m, un gálibo de 4.20 m y un espesor de losa de 0.80m.

El pontón en mención tiene una superficie de rodadura en pavimento flexible, con una cimentación en concreto ciclópeo y con una subestructura en concreto armado y piedra) presentando señales de deterioro asociadas a cada material, de tal modo, en la sección de piedra hay contaminación por vegetación en las juntas de unión causadas por el efecto conjunto de factores externos como la intemperie y por la antigüedad; mientras tanto, la parte correspondiente al concreto reforzado, se encuentra en buenas condiciones, tal como se muestra en las figura 19

Figura 18. Pontón sobre la Quebrada Magdalena.



Figura 19. Condición del tablero (antiguo y nuevo) y material mixto en estribos (concreto reforzado y piedra) en el pontón sobre la Quebrada Magdalena.



VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: Yacuanquer – Consacá

En éste tramo vial se registraron dos pontones y un puente, pasos a nivel tienen en común alineamientos curvos en sus accesos de entrada y salida. Sin embargo, estas estructuras se encuentran en buenas condiciones, debido a que no presenta señales de deterioro severas que comprometan sus elementos constitutivos con deformaciones, fisuras y grietas de consideración que puedan detectarse visualmente.

Pontón #1.

Georreferenciación del pontón #1 (hddd.ddddd °-WGS84)

N 01.12045°

W 77.40162°

Altura (msnm) 2651

El pontón se ubica en el municipio de Yacuanquer salvando como obstáculo el cauce de la Quebrada San José, el cual presenta buenas condiciones de flujo, despejado de escombros y vegetación que obstruya, retrase y modifique su curso normal.

Acerca del pontón se puede decir que según su sección transversal es del tipo losa simplemente apoyada, el cual tiene por dimensiones una longitud de 2m, un ancho de 10.50m un gálibo de 2m y un espesor de losa: 0.60m.

El pontón tiene por superficie de rodadura una carpeta asfáltica con una deficiente señalización horizontal. Mientras tanto, los elementos de su subestructura están contruidos en concreto reforzado los cuales presentan deterioro en común como la contaminación del concreto por acción de la intemperie y por el constante contacto con agua, además, algunos elementos presentan algunos hormigueros por causas constructivas como los estribos en la subestructura y el tablero en la superestructura.

Puente #1.

Georreferenciación del puente #1 (hddd.ddddd °-WGS84)

N 01.20415°

W 77.45286°

Altura (msnm) 1767

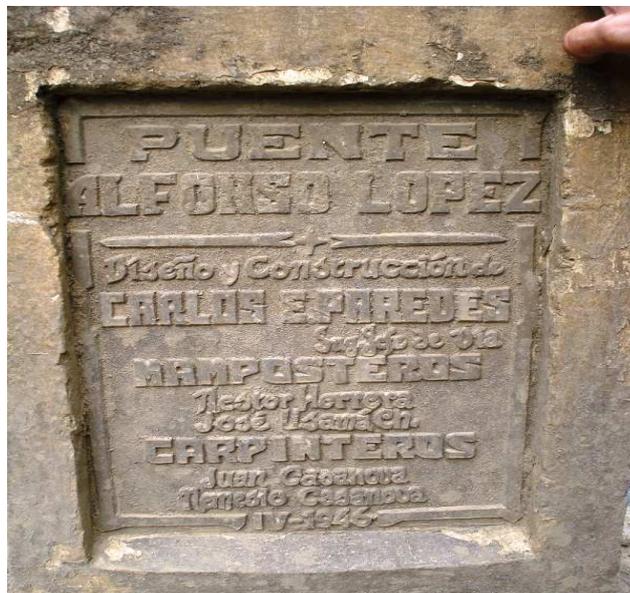
En la figura 21 se observa el puente denominado Alfonso López tal como aparece registrado en la figura 22, se ubica en el municipio de Consacá, el cual salva como

obstáculo el cauce del Río Azufral, cuyo curso ha ido acumulando sedimentos a lado y lado de las márgenes del cauce.

Figura 20. Puente Alfonso López sobre el Río Azufral.



Figura 21. Placa de identificación del puente Alfonso López.



Se observó que el puente según su sección transversal es del tipo arco inferior, el cual tiene por dimensiones una longitud de 20.50m, un ancho de 5.60 m un gálibo de 2m y un espesor de losa: 0.80m.

La subestructura cuenta con aletas en bloques de piedra y una arco principal de tipo inferior el cual esta construido en concreto reforzado que a nivel general se encuentran en buenas condiciones.

Pontón #2.

Georreferenciación del pontón #2 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.20547°

W 77.45770

Altura (msnm) 1667

El pontón que se aprecia en la figura 22 se localiza en el municipio de Consacá, salvando como obstáculo el cauce de la Quebrada Aguadulce, el cual presenta buenas condiciones de flujo, libre de obstáculos.

Figura 22. Pontón sobre la Quebrada Aguadulce.



El pontón según su sección transversal es del tipo losa simplemente apoyada, registrando por dimensiones una longitud de 2.40m, un ancho de 10m, un gálibo de 3.5m y un espesor de losa de 0.30m.

La subestructura del pontón en mención esta construida en concreto reforzado la cual presenta señales de deterioro como contaminación del concreto causado por la intemperie y algunos hormigueros por causas constructivas.

VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: Consacá - Sandoná

En éste tramo vial de la vía Circunvalar al volcán Galeras se registraron cuatro pontones, elementos que tienen en común una superficie de rodadura afirmada, cuyos alineamientos tienen en común que son curvos para sus accesos de entrada y salida.

A nivel general estos pasos a nivel se encuentran en buenas condiciones, debido a que no presenta señales de deterioro severas que comprometan sus elementos constitutivos con deformaciones, fisuras y grietas de consideración que puedan detectarse visualmente. Sin embargo, se desarrolla a continuación cada uno de estos elementos puntuales de interconexión.

Pontón #1.

Georreferenciación del pontón #1 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.25257°

W 77.48304°

Altura (msnm) 1676

El pontón de la figura 26 se localiza en el municipio de Consacá ubicado en el K0+41.00, salvando como obstáculo el cauce de la Quebrada Guandimbas, el cual presenta buenas condiciones de flujo, libre de obstáculos.

Figura 23. Pontón sobre la Quebrada Guandimbas.



Según su sección transversal, el pontón es del tipo losa simplemente apoyada registrando por dimensiones una longitud de 2.30m, un ancho de 6.20 m, un gálibo de 4.50 m y un espesor de losa de 0.30m.

La subestructura esta construida en concreto reforzado, presentando deterioro provocado por la inadecuada evacuación del agua cuya acción directa sobre los elementos produce humedad y por ende según la interacción de agentes externos como la intemperie se genera contaminación del concreto, no obstante, también presentan fallas constructivas como hormigueros y algunos desportillamientos y abultamientos tal como aparece en la figura 24.

Figura 24. Deterioro en la cimentación del pontón sobre la Quebrada Guandimbas causada por desportillamientos y contaminación del concreto.



Pontón #2.

Georreferenciación del pontón #2 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.25749°

W 77.47850°

Altura (msnm) 1670

El pontón de la figura 25 se localiza en el municipio de Sandoná, salvando como obstáculo el cauce de la Quebrada Honda, el cual presenta buenas condiciones de flujo, libre de escombros.

Figura 25. Pontón sobre la Quebrada Honda.



El pontón según su sección transversal es del tipo losa sobre vigas, el cual tiene por dimensiones una longitud de 7m, un ancho de 6.45 m, un gálibo de 6.0 m y un espesor de losa de 0.30m.

Los estribos están contruidos en piedra tal como se observa en la figura 26, los cuales a pesar de su antigüedad se encuentran en buen estado y no manifiestan señales de deterioro. A su vez, la cimentación es de tipo rectangular de localización superficial en concreto reforzado. La superestructura, como se muestra en la figura 27, consta de un sistema de 4 vigas en concreto reforzado con una sección transversal de 0.40m x 0.40m y un tablero en concreto reforzado.

Figura 26. Estribos en piedra del pontón sobre la Quebrada Honda.



Figura 27. Conjunto de vigas de la superestructura del pontón sobre la Quebrada Honda.



Pontón #3.

Georreferenciación del pontón #3 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.26369°

W 77.47805°

Altura (msnm) 1686

El pontón de la figura 28 se ubica en el Municipio de Sandoná, salvando como obstáculo el cauce de la Quebrada La Taguada, el cual presenta buenas condiciones de flujo libre de escombros.

Figura 28. Pontón sobre la Quebrada La Taguada.



El pontón según su sección transversal es del tipo de arco inferior, de las siguientes dimensiones una longitud de 3.6m, un ancho de 5.90 m, un gálibo de 3.5 m y un espesor de losa de 0.75m.

En la construcción de los elementos de la subestructura como estribos y aletas se han empleado bloques de piedra; en cuyas juntas se ha producido la proliferación de vegetación producto de la acción del agua como principal agente agresor de cualquier obra civil, la cual eventualmente asociada a los efectos de la intemperie producen este tipo de deterioro, además, en algunas zonas presentan el desgaste y desprendimiento de estos bloques.

A su vez, la cimentación está construida en concreto reforzado, de forma rectangular cuya localización es superficial, la cual presenta por razones de su constante contacto con el agua humedad y contaminación del concreto, pero a nivel general se encuentra en buenas condiciones. La superestructura consta de un arco bajo tablero en concreto reforzado.

Pontón #4.

Georreferenciación del pontón #4 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.26526°

W 77.47858°

Altura (msnm) 1692

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Sandoná, el cual salva como obstáculo un cauce de agua que desemboca en la Quebrada La Taguada, el cual presenta buenas condiciones de flujo, despejado de escombros, rocas y vegetación que obstruyan, retrasen y modifiquen el flujo.

El pontón según su sección transversal es del tipo arco bajo tablero, el cual tiene por dimensiones una longitud de 3.4m, un ancho de 5.75 m, un gálibo de 6.60 m y un espesor de losa de 0.75m

Los estribos y aletas están contruidos en piedra; elementos que presentan en común la contaminación del concreto generalmente localizada en las juntas de las unidades de las piedras y la proliferación de vegetación producto de la acción del agua, la cual eventualmente asociada a los efectos de la intemperie producen este tipo de deterioro, además, en algunas zonas presentan el desgaste y desprendimiento de estas unidades constitutivas en mención. A su vez, la cimentación está construida en concreto reforzado, de forma rectangular cuya localización es superficial, la cual presenta por razones de su constante contacto con el agua humedad y contaminación del concreto, pero a nivel general se encuentra en buenas condiciones.

VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: Sandoná – La Florida

En éste tramo vial de la vía Circunvalar al volcán Galeras cuya competencia es de carácter nacional y su nivel funcional primario, se registraron cinco pontones y un puente, elementos con una superficie de rodadura que ofrece un servicio vehicular para una capacidad de 2 carriles, cuyos alineamientos tienen en común que son curvos para los accesos de entrada y salida de las estructuras en mención.

A nivel general estos pasos a nivel se encuentran en buenas condiciones, debido a que no presenta señales de deterioro severas que comprometan sus elementos constitutivos con deformaciones, fisuras y grietas de consideración que puedan detectarse visualmente. Sin embargo, se desarrolla a continuación cada uno de estos elementos puntuales de interconexión.

Pontón #1.

Georreferenciación del pontón #1 (ddd.ddddd°WGS84)

N 01.29465°

W 77.45825°

Altura (msnm) 1753

El pontón de la figura 29 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Sandoná, salva como obstáculo el cauce de la Quebrada El Ingenio, el cual presenta buenas condiciones de flujo, despejado de escombros, rocas y vegetación que obstruyan, retrasen y modifiquen el flujo.

Figura 29. Pontón sobre la Quebrada El Ingenio.



El pontón tiene por dimensiones una longitud de 8.4m, un ancho de 6.0 m, un gálibo de 3.0 m y un espesor de losa de 0.50m.

La subestructura consta de estribos y aletas en concreto reforzado, elementos que se ven afectados a nivel general por la contaminación del concreto, desprendimientos y hormigueros. Además, cuenta con el apoyo de una pila en concreto reforzado.

Pontón #2.

Georreferenciación del pontón #2 (ddd.ddddd °WGS84)

N 01.28602°

W 77.44901°

Altura (msnm) 1866

El pontón de la figura 30 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Sandoná, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada Patachorrera, el cual presenta buenas condiciones de flujo, despejado de escombros, rocas y vegetación que obstruyan, retrasen y modifiquen el flujo.

El pontón según su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas, el cual tiene por dimensiones una longitud de 6.0m, un ancho de 6.20m, un gálibo de 5.20m y un espesor de losa de 0.30m.

Figura 30. Pontón sobre la Quebrada Patachorrera.



En la figura 31 se observa que la subestructura consta de estribos y aletas en material mixto porque la sección de los elementos tiene un empalme entre concreto reforzado y piedra; razón por la cual se presentan deterioros asociados a cada material, como por ejemplo, las aletas y estribos en piedra presentan señales de deterioro relacionados con la contaminación del concreto en las juntas de sus unidades constitutivas las cuales por efectos de la intemperie se ve asociado con la proliferación de vegetación, y a su vez, la sección de los estribos y aletas en concreto reforzado presentan algunos hormigueros constructivos y contaminación del concreto con un nivel de severidad mínimo. A su vez, la cimentación construida en concreto reforzado es de tipo rectangular cuya condición sobre el terreno es superficial que se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento.

Figura 31. Estribo de material mixto (piedra y concreto reforzado) en el pontón sobre la Quebrada Patachorrera.



En sí la superestructura del pontón consta de un tablero en concreto reforzado y un conjunto de tres vigas que se apoyan sobre el estribo en roca y dos viga sobre el estribo en concreto reforzado, lo cual se observa en la figura 32.

Figura 32. Elementos de la superestructura (tablero y vigas) del pontón sobre la Quebrada Patachorrera.



Pontón #3.

Georreferenciación del pontón #3 (ddd.ddddd °WGS84)

N 01.28097°

W 77.42857°

Altura (msnm) 2232

El pontón de la figura 33 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Sandoná, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada Santa Rosa, el cual presenta buenas condiciones de flujo y esta libre de escombros.

Dicho pontón según su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas, el cual tiene por dimensiones una longitud de 6.30m, un ancho de 7.50m, un gálibo de 3.0m y un espesor de losa de 0.30m.

La subestructura consta de estribos y aletas en material mixto tal como se observa en la figura 34, porque la sección de los elementos tiene un empalme entre concreto reforzado y piedra; razón por la cual se presentan deterioros asociados a cada material, como por ejemplo, las aletas y estribos en piedra presentan señales de deterioro relacionados con la contaminación del concreto en las juntas de sus unidades constitutivas las cuales por efectos de la intemperie se ve asociado con la proliferación de vegetación, mientras que la sección de los estribos y aletas en concreto reforzado presentan algunos hormigueros constructivos y contaminación

del concreto con un nivel de severidad mínimo. La sección del estribo construida en concreto reforzado, tiene drenes en tubería PVC de 3" distribuidos a lo largo de dicho elemento. A su vez, la cimentación construida en concreto reforzado es de tipo rectangular cuya condición sobre el terreno es superficial que se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento.

Figura 33. Pontón sobre la Quebrada Santa Rosa.



Figura 34. Estribo de material mixto (piedra y concreto reforzado) en el pontón sobre la Quebrada Santa Rosa.



En sí la superestructura del pontón consta de un tablero en concreto reforzado y un conjunto de 4 vigas, de las cuales 3 se apoyan sobre el estribo en concreto en

piedra y una sobre el estribo en concreto reforzado, como se observa en la figura 35.

Figura 35. Elementos de la superestructura (tablero y vigas) del pontón sobre la Quebrada Santa Rosa.



Pontón #4.

Georreferenciación del pontón #4 (ddd.ddddd°-WGS84)

N 01.28447°

W 77.41691°

Altura (msnm) 2321

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Sandoná, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada Robles, el cual presenta buenas condiciones de flujo, despejado de escombros, rocas y vegetación que obstruyan, retrasen y modifiquen el flujo.

Dicho pontón según su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas, el cual tiene por dimensiones una longitud de 2.2m, un ancho de 6.50m, un gálibo de 2.6m y un espesor de losa de 0.30m.

La superficie de rodadura es afirmada sin señalización horizontal ni vertical, sin embargo, cuenta con bordillos a lado y lado de la vía los cuales presentan deportillamientos de magnitud considerable.

La subestructura consta de estribos y aletas en concreto reforzado, no obstante, las aletas presentan señales de deterioro relacionados con la contaminación del concreto, y a su vez, los estribos presentan algunos hormigueros constructivos. La cimentación por su parte, está construida en concreto reforzado la cual es de tipo rectangular cuya condición sobre el terreno es superficial que se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento.

Puente #1.

Georreferenciación del puente #1 (ddd.ddddd°-WGS84)

N 01.28226°

W 77.41132°

Altura (msnm) 2284

El puente de la figura 36 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de La Florida, el cual salva como obstáculo el cauce del Río Chacagüico, el cual presenta buenas condiciones de flujo y libre de obstáculos.

Figura 36. Puente sobre el Río Chacagüico.



Dicho puente según su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas, el cual tiene por dimensiones una longitud de 10.30m, un ancho de 9.40m, un gálibo de 4.60m y un espesor de losa de 0.40m.

La subestructura consta de estribos y aletas en concreto reforzado, elementos que se encuentran en buenas condiciones. En sí la superestructura del pontón consta de un tablero y 4 vigas en concreto reforzado tal como se aprecia en la figura 37.

Figura 37. Elementos de la superestructura (tablero y vigas) del puente sobre el Río Chacagüico.



Pontón #5.

Georreferenciación del pontón #5 (ddd.ddddd°-WGS84)

N 01.29037°

W 77.40219°

Altura (msnm) 2226

El pontón de la figura 38 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de La Florida, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada Panchindo, el cual presenta buenas condiciones de flujo libre de obstáculos.

Dicho pontón según su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas, el cual tiene por dimensiones una longitud de 7.50m, un ancho de 11.60m, un gálibo de 4.30m y un espesor de losa de 0.90m.

Cuenta en la superficie y equipamientos con andenes y bordillos a lado y lado de la vía. La superficie de rodadura en pavimento flexible (asfalto) cuenta con una buena señalización horizontal, sin embargo, tiene fisuras de tipo transversal que afecta la capa de rodadura.

Figura 38. Pontón sobre la Quebrada Panchindo.



La subestructura consta de estribos y aletas en concreto reforzado, en cuyos estribos se puede decir que cuenta con un sistema de drenes laterales de 6" en tubería de PVC, entre tanto, una aleta presenta una fisura vertical de aproximadamente 5 cm de espesor en su unión con el estribo, tal como se observa en la figura 39. Por su parte la cimentación está construida en concreto reforzado la cual es de tipo rectangular cuya condición sobre el terreno es sumergida.

Figura 39. Fisura en la aleta del pontón sobre la Quebrada Panchindo.



En la figura 40 se observa que la superestructura del pontón consta de un tablero y 9 vigas en concreto reforzado.

Figura 40. Elementos de la superestructura (tablero y vigas) del pontón sobre la Quebrada Panchindo



**VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: La Florida - Nariño**

En éste tramo vial de la vía Circunvalar al volcán Galeras cuya competencia es de carácter nacional y su nivel funcional primario, se registraron dos pontones y un puente, elementos con una superficie de rodadura en pavimento flexible (asfalto) que ofrece un servicio vehicular para una capacidad de 2 carriles, cuyos alineamientos tienen en común que son curvos para los accesos de entrada y salida de las estructuras en mención.

A nivel general estos pasos a nivel se encuentran en buenas condiciones, debido a que no presenta señales de deterioro severas que comprometan sus elementos constitutivos con deformaciones, fisuras y grietas de consideración que puedan detectarse visualmente. Sin embargo, se desarrolla a continuación cada uno de estos elementos puntuales de interconexión.

Pontón #1.

Georreferenciación del pontón #1 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.29560°

W 77.39471°

Altura (msnm) 2214

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de La Florida, el cual salva como obstáculo el cauce del Río El Barranco, el cual presenta obstrucción del cauce bajo el pontón debido a rocas que afectan el libre curso de la vena líquida lo cual puede afectar la sección hidráulica de la misma, aumentando la velocidad del cauce.

Dicho pontón según su sección transversal es del tipo de losa simplemente apoyada, el cual tiene por dimensiones una longitud de 5.02m, un ancho de 9.80m, un gálibo de 2.30m y un espesor de losa de 0.50m.

Los estribos, presentan entre algunas señales de deterioro como hormigueros, contaminación del concreto, segregación de los agregados. Sin embargo, la cimentación es de tipo rectangular construida en concreto reforzado, la cual presenta como señal de deterioro contaminación del concreto, hormigueros, y algunos abultamientos.

Puente #1.

Georreferenciación del puente #1 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.28351°

W 77.37300°

Altura (msnm) 2441

El puente de la figura 41 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de La Florida, el cual salva como obstáculo el cauce del Río El Barranco, el cual presenta buenas condiciones de flujo y está libre de escombros. Dicho puente según su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas y arco bajo tablero, el cual tiene por dimensiones una longitud de 9.6m, un ancho de 10.35m, un gálibo de 5.50m y un espesor de losa de 0.20m.

Cabe describir que el material del puente es mixto debido al arco de tipo inferior en piedra en cuyas unidades de piedra se ven afectadas por la proliferación de vegetación en las juntas de las unidades de mampostería como se aprecia en la figura 42, y luego se le realizó una ampliación con un tablero de espesor 0.20m y 4 vigas en concreto reforzado con una sección transversal de 0.70m x 0.60m, que presentan deterioro relacionado con fallas por construcción como hormigueros, desportillamientos en las vigas y fallas por funcionamiento como por ejemplo la

contaminación del concreto generado por la acción de la intemperie y fisuras de magnitud considerable tal como se observa en la figura 43.

Figura 41. Puente sobre el Río El Barranco.



Figura 42. Deterioro de las unidades de mampostería por vegetación del puente sobre el Río El Barranco.



Figura 43. Deterioro del tablero del puente sobre el Río El Barranco.



Pontón #2.

Georreferenciación del pontón #2 (ddd.ddddd °WGS84)

N 01.28526°

W 77.36600°

Altura (msnm) 2453

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Nariño, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada El Silencio, el cual según su sección transversal es del tipo de losa simplemente apoyada registrando por dimensiones una longitud de 3.90m, un ancho de 10.90m, un gálibo de 3.20m y un espesor de losa de 0.30m.

La superficie de rodadura consta de un pavimento flexible (asfalto) con buena señalización horizontal, sin embargo, ésta superficie se ve afectada por fisuras de tipo transversal y de bloque.

La subestructura consta de estribos y aletas en concreto reforzado, en los estribos se presentan varios tipos de deterioro asociados esencialmente a infiltraciones, eflorescencias y contaminación del concreto tales como los que aparecen en la figura 44. Por su parte la cimentación está construida en concreto reforzado la cual es de tipo rectangular cuya condición sobre el terreno es sumergida.

Figura 44. Señales de deterioro en los estribos y aletas del pontón sobre la Quebrada El Silencio.



**VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: Nariño – Pasto**

En éste tramo vial de la vía Circunvalar al volcán Galeras cuya competencia es de carácter nacional y su nivel funcional primario, se registraron cinco pontones, elementos con una superficie de rodadura en pavimento flexible (asfalto) que ofrece un servicio vehicular para una capacidad de 2 carriles, cuyos alineamientos tienen en común que son curvos para los accesos de entrada y salida de las estructuras en mención.

A nivel general estos pasos a nivel se encuentran en buenas condiciones, debido a que no presenta señales de deterioro severas que comprometan sus elementos constitutivos con deformaciones, fisuras y grietas de consideración que puedan detectarse visualmente. Sin embargo, se desarrolla a continuación cada uno de estos elementos puntuales de interconexión.

Pontón #1.

Georreferenciación del pontón #1. (ddd.ddddd°-WGS84)

N 01.27742°

W 77.35303°

Altura (msnm) 2435

El pontón de la figura 45 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Nariño, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada Maragato el cual tiene buenas condiciones de flujo, sin embargo, tiene rocas de grandes dimensiones que obstruyen, retrasan y modifican el flujo del agua tal como se observa en la figura 46, conduciendo el agua hacia la cimentación razón por la cual se esta produciendo problemas de socavación en la cimentación que es de tipo rectangular en concreto reforzado y cuya localización es sumergida como se observa en la figura 47

Figura 45. Pontón sobre la Quebrada Maragato.



El pontón según su sección transversal es del tipo losa sobre vigas el cual tiene por dimensiones una longitud de 6.08m, un ancho de 10.60m, un gálibo de 2.92m y un espesor de losa de 0.65m.

La superficie de rodadura en pavimento flexible (Asfalto) con una buena señalización horizontal.

Elementos de su subestructura como estribos y aletas son de concreto reforzado, en los estribos se presentan varios tipos de deterioro asociados esencialmente a infiltraciones y eflorescencias. La superestructura consta de un tablero con 6 vigas en concreto reforzado.

Figura 46. Obstrucción del cauce de la Quebrada Maragato bajo el pontón.



Figura 47. Socavación local de la cimentación del Pontón sobre la Quebrada Maragato.



Pontón #2.

Georreferenciación del pontón #2. (ddd.ddddd°-WGS84)

N 01.26260°

W 77.33443°

Altura (msnm) 2564

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Nariño, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada Charguayaco, el cual según su sección transversal es del tipo losa simplemente apoyada, registrando por dimensiones una longitud de 2.20m, un ancho de 7m, un gálibo de 3.08m y un espesor de losa de 0.75m

La subestructura consta de estribos y aletas en concreto reforzado, en los estribos se presentan varios tipos de deterioro asociados esencialmente a infiltración, eflorescencias, afloramientos de agua y hormigueros esencialmente.

La superficie de rodadura es en pavimento flexible (Asfalto) con señalización horizontal la cual tiene por deterioro fisuras de tipo transversal.

La superestructura consta de un tablero en concreto reforzado con dos secciones, la primera data de una estructura inicial y la segunda corresponde a una ampliación. Presenta como deterioro fisuras que comprometen tanto al tablero con una extensión de 1.50m que se prolonga hacia el estribo con una extensión de 2.15m tal como se observa en la figura 48, en cuya zona hay eflorescencia, infiltración y afloramientos de agua. Además, el tablero también tiene exposición del acero de refuerzo zona en la cual se esta produciendo infiltración del agua tal como aparece en la figura 49.

Figura 48. Fisura y eflorescencia en la losa y en el estribo en el pontón sobre la Quebrada Charguayaco.



Figura 49. Recubrimiento inadecuado y exposición del acero de refuerzo en el pontón sobre la Quebrada Charguayaco.



Pontón #3.

Georreferenciación del pontón #3. (ddd.ddddd°-WGS84)

N 01.24745°

W 77.32184°

Altura (msnm) 2571

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Nariño, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada El Guaico, el cual dada su sección transversal es del tipo de losa simplemente apoyada, registrando por dimensiones una longitud de 4.80m, un ancho de 10.6m, un gálibo de 3.20m y un espesor de losa de 0.70m.

Las señales de deterioro en la estructura corresponden a contaminación del concreto en los elementos que frecuentemente están en contacto con agua y con la intemperie como las aletas y cimentación.

Pontón #4.

Georreferenciación del pontón #4. (ddd.ddddd°-WGS84)

N 01.24381°

W 77.31029°

Altura (msnm) 2576

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Nariño, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada San Francisco, el cual tiene obstáculos que obstruyen, retrasan y modifican el flujo del agua.

El pontón según su sección transversal es del tipo losa simplemente apoyada el cual tiene por dimensiones una longitud de longitud de 5.40m, un ancho de 10.6m, un gálibo de 2.7m y un espesor de losa de 0.52m.

La superficie de rodadura es en pavimento flexible (asfalto) tiene deterioro por fisuras de tipo transversal asociado con piel de cocodrilo y afloramientos de agua.

Los elementos de la subestructura como aletas y estribos están construidas en concreto reforzado que tienen deterioro por contaminación del concreto. Por su parte, la cimentación, es de forma rectangular en concreto, de localización superficial.

Pontón #5.

Georreferenciación del pontón #5. (ddd.ddddd°-WGS84)

N 01.23800°

W 77.30813°

Altura (msnm) 2508

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Nariño, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada Payacones, el cual tiene buenas condiciones de flujo libre de obstáculos.

Dicho pontón según su sección transversal es del tipo losa simplemente apoyada, el cual tiene por dimensiones una longitud de 3.55m, un ancho de 10.6m, un gálibo de 3.77m, y un espesor de losa de 0.55m

Los elementos de la subestructura y superestructura se ven afectados esencialmente por contaminación del concreto y hormigueros.

VÍA: PANAMERICANA

TRAMO VIAL: Pasto - Mercaderes

En éste tramo vial de la vía Panamericana cuya competencia es de carácter nacional y su nivel funcional primario, se registraron dos pontones, elementos con una superficie de rodadura en pavimento flexible (asfalto) que ofrece un servicio vehicular para una capacidad de 2 carriles, cuyos alineamientos tienen en común que son curvos para los accesos de entrada y salida de las estructuras en mención.

A nivel general estos pasos a nivel se encuentran en buenas condiciones, debido a que no presenta señales de deterioro severas que comprometan sus elementos constitutivos con deformaciones, fisuras y grietas de consideración que puedan detectarse visualmente. Sin embargo, se desarrolla a continuación cada uno de estos elementos puntuales de interconexión.

Pontón #1.

Georreferenciación del pontón #1. (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.30495°

W 77.27204°

Altura (msnm) 2379

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Chachagüi en la vía Panamericana, el cual según su sección transversal es del tipo losa simplemente apoyada, el cual tiene por dimensiones una longitud de 2.20m, un ancho de 9.40m, un gálibo de 2.50m y un espesor de losa de 0.50m.

El pontón cuenta con una superficie de rodadura en pavimento flexible (asfalto) debidamente señalizada horizontalmente, la cual se encuentra en muy buenas condiciones, sin embargo, elementos de su subestructura como aletas y estribos presenta deterioro por contaminación del concreto y algunos hormigueros de tipo constructivos.

Pontón #2.

Georreferenciación del pontón #2. (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.36114°

W 77.28730°

Altura (SRTM30m) 1959

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Chachagüi en la vía Panamericana, el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada Alcalá el cual según su sección transversal es del tipo de losa simplemente

apoyada, registrando una longitud de 5.20m, un ancho de 10.75m, un gálibo de 6.0m y un espesor de losa de 0.70m.

La superficie de rodadura del pontón se encuentra deteriorada debido a la presencia de fisuras y de piel de cocodrilo que han fracturado el pavimento flexible.

Puente #1.

Georreferenciación del Puente #1. (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.23416°

W 77.28651°

Altura (SRTM30m) 1959

El puente de la figura 50 es un punto de interconexión que se ubica cerca del testigo K0+5.00 (2502) de la vía Panamericana, el cual salva como obstáculo el cauce del Río Pasto que según su sección transversal es del tipo de arco inferior, registrando una longitud de 25m, un ancho de 9.8m, un gálibo de 6.2m y un espesor de losa de 0.30m.

El puente cuenta con una superficie de rodadura en pavimento flexible (asfalto) debidamente señalizada horizontalmente, la cual se encuentra en muy buenas condiciones, sin embargo, elementos de su subestructura presentan deterioro por contaminación del concreto y algunos hormigueros de tipo constructivos.

Figura 50. Puente sobre el Río Pasto.



TRAMO VIAL: Ancuya – Sandoná

En éste tramo vial cuya competencia es de carácter departamental y su nivel funcional secundario, se registró un puente, elementos con una superficie de rodadura afirmada que ofrece un servicio vehicular para una capacidad de 1 carril, cuyos alineamientos tienen en común que son curvos para los accesos de entrada y salida de la estructura en mención.

A nivel general el puente se encuentran en buenas condiciones, debido a que no presenta señales de deterioro severas que comprometan sus elementos constitutivos con deformaciones, fisuras y grietas de consideración que puedan detectarse visualmente.

Puente #1.

Georreferenciación del puente #1. (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.271073°

W 77.507711°

Altura (msnm) 1092 (SRTM30m)

El puente de la figura 51 es un punto de interconexión entre los municipios de Sandoná y Ancuya salvando como obstáculo el cauce del Río Guaitara.

Dicho puente según su sección transversal es el tipo de losa sobre vigas el cual tiene por dimensiones una longitud de 35.6m, un ancho de 6.35m, un gálibo de 7.30m y un espesor de losa de 0.45m.

Figura 51. Puente sobre el Río Guaitara.



Visualmente no se detectan deformaciones, fisuras y grietas de consideración que comprometan el desempeño físico y funcional de los elementos constitutivos de la subestructura y superestructura del puente, sin embargo, dada la importancia del puente, éste tiene un pobre mantenimiento razón por la cual la superficie de rodadura afirmada presenta un deterioro avanzado manifestado en baches de magnitud considerable tal como se observa en la figura 52, situación que al continuar sin intervención pueden tener afectaciones de tipo estructural por la infiltración del agua que se acumula en estas depresiones puede afectar estructuralmente el puente.

Los elementos de la subestructura como los estribos y aletas están construidos en concreto reforzado, de los cuales cabe decir que su condición es buena debido a que no manifiestan señales de deterioro severas. Por otra parte, de su cimentación se puede decir que es superficial y se encuentra en buenas condiciones.

La superestructura consta de un tablero y vigas en concreto reforzado, cuyo deterioro obedece a las acciones de la intemperie manifestándose en contaminación del concreto en sus partes expuestas al medio ambiente.

Figura 52. Deterioro superficie de rodadura del puente sobre el Río Guaitara.



TRAMO VIAL: Ancuya – Linares

En éste tramo vial cuya competencia es de carácter departamental y su nivel funcional secundario, se registraron cinco pontones, elementos con una superficie

de rodadura que ofrece un servicio vehicular para una capacidad de 1 carril, cuyos alineamientos tienen en común que son curvos para los accesos de entrada y salida de la estructura en mención.

A nivel general los pontones se encuentran en buenas condiciones, debido a que no presentan señales de deterioro severas que comprometan sus elementos constitutivos con deformaciones, fisuras y grietas de consideración que puedan detectarse visualmente.

Pontón #1.

Georreferenciación del pontón #1. (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.28375°

W 77.53328°

Altura (msnm) 1652

El pontón de la figura 53 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Ancuya el cual salva como obstáculo un cauce de agua que según su sección transversal es el tipo de losa simplemente apoyada el cual tiene por dimensiones una longitud de 5.4m, un ancho de 5.0m, un gálibo de 8.0m y un espesor de losa de 0.30m

Los elementos de la subestructura como los estribos y aletas están contruidos en bloques de piedra, de los cuales cabe decir que su condición es buena debido a que no manifiestan señales de deterioro entre sus juntas. Por otra parte, no se puede determinar las condiciones de la cimentación debido a su inaccesibilidad.

Figura 53. Pontón sobre el tramo vial Ancuya – Linares.



Pontón #2.

Georreferenciación del pontón #2. (ddd.ddddd°-WGS84)

N 01.32645°

W 77.53165°

Altura (msnm) 1807

El pontón de la figura 54 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Linares el cual salva como obstáculo el cauce de la Quebrada la Mina, el cual dada su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas el cual tiene por dimensiones una longitud de 7.46m, un ancho de 8.58m, un gálibo de 3.0m. y un espesor de losa de 0.30m.

Figura 54. Pontón sobre la Quebrada La Mina.



El pontón tiene una superficie de rodadura afirmada, y a su vez, los elementos de la subestructura como las aletas están construidas en concreto reforzado, uno de los estribos en el mismo material mientras que el otro prácticamente está en condiciones del terreno natural.

La superestructura consta de un tablero con 17 vigas en concreto reforzado, de las cuales 3 vigas tienen por sección transversal 0.65m x 0.27m, de ellas, hay deterioros que se están causando por infiltración, además, hay exposición del acero de refuerzo por un recubrimiento inadecuado.

Pontón #3.**Georreferenciación del pontón #3. (ddd.ddddd°-WGS84)**

N 01.32820°

W 77.53250°

Altura (msnm) 1781

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Linares el cual salva como obstáculo un cauce de agua, el cual dada su sección transversal es del tipo de losa simplemente apoyada que tiene por dimensiones una longitud de 3.0m, un ancho de 6.0m, un gálibo de 2.9m. y un espesor de losa de 0.50m.

La subestructura del pontón esta construida en concreto reforzado, afectada por contaminación del concreto en sus elementos como estribos y aletas, acompañado por la proliferación de vegetación en exceso de sus alrededores, los cuales por medio de una limpieza pueden ser removidos con facilidad. A su vez, la superestructura del pontón cuenta con un tablero en concreto reforzado.

Pontón #4.**Georreferenciación del pontón #4. (hddd.ddddd°-WGS84)**

N 01.33536°

W 77.52982°

Altura (msnm) 1727

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Linares el cual salva como obstáculo un cauce de agua, el cual según su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas que tiene por dimensiones una longitud de 3.50m, un ancho de 6.60m, un gálibo de 5.60m y un espesor de losa de 0.30m.

La superficie de rodadura es en pavimento rígido el cual se encuentra en buen estado pero sin señalización horizontal que cuenta con bordillos y barandas a lado y lado de la vía, panorama que se contrarresta con la vía que continúa hacia la cabecera municipal de Linares, la cual se encuentra afirmada y deteriorada por ejemplo por la presencia de baches.

La superestructura del pontón cuenta con un tablero con vigas en concreto reforzado. Por la inaccesibilidad del terreno adyacente a la estructura y por razones de seguridad no se pudo determinar las condiciones de la cimentación.

Pontón #5.

Georreferenciación del pontón #5. (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.34639°

W 77.52591°

Altura (msnm) 1530

El pontón de es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Linares el cual salva como obstáculo un cauce de agua. Dicho pontón según su sección transversal es del tipo de losa simplemente apoyada que tiene por dimensiones una longitud de 2.50m, un ancho de 3.7m, un gálibo de 1.60m y un espesor de losa de 0.24m

El pontón tiene una superficie de rodadura afirmada, además, sus estribos están contruidos en concreto reforzado, y como forma de contención del terreno adyacente se hayan dispuestos bloques de piedra a lado y lado de los estribos.

TRAMO VIAL: Linares – El Tambo

En éste tramo vial cuya competencia es de carácter departamental y su nivel funcional secundario, se registraron dos pontones y un puente, elementos con una superficie de rodadura afirmada, cuyos alineamientos tienen en común que son curvos para los accesos de entrada y salida de la estructura en mención.

A nivel general el puente se encuentran en buenas condiciones, debido a que no presenta señales de deterioro severas que comprometan sus elementos constitutivos con deformaciones, fisuras y grietas de consideración que puedan detectarse visualmente.

Pontón #1.

Georreferenciación del pontón #1 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.35109°

W 77.520353°

Altura (msnm) 1441

El pontón de la figura 55 es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de Linares en el tramo vial Linares – San Pedro, el cual dada su sección transversal es del tipo de vigas sobre losa que tiene por dimensiones una longitud de 4.80m, un ancho de 5.30m, un gálibo de 5.60m y un espesor de losa de 0.20m.

La superficie de rodadura es afirmada que se encuentra muy deteriorada, dado que se encuentra un bache de considerable magnitud el cual puede almacenar agua que puede ocasionar infiltraciones como aparece en la figura 55.

Figura 55. Pontón sobre el tramo vial Linares – San Pedro.



Los estribos y aletas de la subestructura están contruidos en concreto reforzado presentando un avanzado deterioro relacionado con hormigueros de tipo constructivo y con contaminación del concreto asociado con la proliferación de vegetación, que se debe remover en labores de limpieza y mantenimiento. Por su parte, la cimentación esta contruida en concreto reforzado, de localización superficial.

La superestructura consta de un tablero con 3 vigas en concreto reforzado, que presentan desportillamientos en casi toda su sección y hormigueros de tipo constructivo. Sin embargo, tiene la peculiaridad de presentar dos viguetas entre los estribos como aparece en la figura 56.

Figura 56. Detalle de las viguetas entre los estribos del pontón sobre el tramo vial Linares – San Pedro.



Puente #1.

Georreferenciación del puente #1 (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.38330°

W 77.48228°

Altura (msnm) 810.51

El puente de la figura 57 salva como obstáculo el cauce del Río Guaitara, el cual dada su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas que tiene por dimensiones una longitud de 28m, un ancho de 6.30m, un gálibo de 8.60m y un espesor de losa de 0.20m.

Sin embargo, este puente cuenta con una estructura adicional para el aforo del caudal del Río Guaitara como se observa en la figura 78, al cual se accede por medio de una escalera metálica, dicha estructura se encuentra deteriorada por el desprendimiento de una parte considerable de su sección en la cual se está presentando problemas de socavación. Dicho aforo se lleva a cabo por medio de la lectura del caudal del agua sobre una mira, en cuya observación resultó una lectura de 4.6m.

Los elementos de la subestructura como los estribos y aletas están construidos en concreto reforzado. Por otra parte, no se puede determinar las condiciones de la cimentación debido a su inaccesibilidad.

La superestructura consta de un tablero con 3 vigas en concreto reforzado, cuyo deterioro obedece a las acciones de la intemperie manifestándose en contaminación del concreto en sus partes expuestas al medio ambiente.

Figura 57. Puente sobre el Río Guaitara.



Figura 58. Estructura de aforo del puente sobre el Río Guaitara.



Pontón #2.

Georreferenciación del pontón #2. (hddd.ddddd°-WGS84)

N 01.41192°

W 77.40012°

Altura (msnm) 2178

El pontón es un punto de interconexión que se ubica en el Municipio de El Tambo en el tramo denominado El Tambo – San Pedro, cuya competencia es de carácter departamental y su nivel funcional es secundario.

La estructura en mención salva como obstáculo el cauce de la Quebrada Llano Largo, el cual dada su sección transversal es del tipo de losa sobre vigas que tiene por dimensiones una longitud de 6.70m, un ancho de 4.80m un gálibo de 2.70m y un espesor de losa de 0.20m

La superficie de rodadura es afirmada que se encuentra muy deteriorada, dado que presenta baches y la exposición del acero de refuerzo tal como se observa en la figura 59.

Figura 59. Exposición del refuerzo en la superficie de rodadura.



Bajo el pontón el cauce modifica levemente su flujo debido a la acumulación de algunos sedimentos en los lados de los estribos, cabe decir, que según los habitantes del sector, el cauce en época de invierno, aumenta considerablemente su caudal causando problemas de deslizamientos aguas arriba y aguas abajo del pontón, y tal ha sido su magnitud que ha arrasado con muros de contención en concreto reforzado.

La superestructura consta de un tablero con 2 vigas de amarre de sección transversal de 0.70m x 0.36m y una viga riostra (ó de amarre) de 0.70m x 0.30m a 3.14m desde el estribo.

Los estribos y aletas de la subestructura están contruidos en concreto reforzado los cuales tienen contaminación del concreto que se pueden remover con labores de limpieza y mantenimiento.

5.3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES.

Teniendo en cuenta la metodología planteada por la Corporación OSSO, se determinó la vulnerabilidad física a partir del cruce del inventario de los componentes del sistema de vías y transportes georreferenciados en el área de estudio con los mapas de amenaza realizados por INGEOMINAS (1997) utilizando herramientas informáticas como el sistema de información geográfico – SIG a través del software empleado (Mapinfo Professional 9.0), el cual generó información sobre el posible daño que pueden sufrir los componentes del sistema ya sea éste daño severo, moderado, leve o nulo, determinado respecto a su localización con los fenómenos volcánicos; sin embargo para efectos de este proyecto de pasantía se concentro la atención sobre el daño severo para definir la vulnerabilidad física, debido a que dicho nivel de daño es aquel que puede causar el colapso físico total de la estructura y a su vez representa una pérdida total de la funcionalidad con una posibilidad de recuperación nula a corto o mediano plazo una vez se hayan manifestado los fenómenos.

A partir de los datos generados del software se generaron matrices de causa - efecto las cuales relacionan respectivamente los fenómenos volcánicos vs. zona de amenaza y los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño aplicable para los componentes del sistema de vías y transportes c elementos puntuales ó lineales, tal como se aprecian en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Matriz causa - efecto fenómenos volcánicos vs. zonas de amenaza para tramos viales y elementos puntuales (pasos a nivel).

TRAMO VIAL Y/O ELEMENTO PUNTUAL		AMENAZA			
		ALTA	MEDIA	BAJA	NULA
FENÓMENO	General				
	FP				
	LV				
	CP				
	FL				
	OCH				
	PB				
	NA				

Tabla 8. Matriz causa - efecto fenómenos volcánicos vs. nivel de daño para tramos viales y elementos puntuales (pasos a nivel).

TRAMO VIAL/ ELEMENTO PUNTUAL		DAÑO			
		SEVERO	MODERADO	LEVE	NULO
FENÓMENO	FP				
	LV				
	CP				
	FL				
	OCH				
	PB				
	NA				

Una vez definidos los tramos viales del análisis, se calculó la longitud total y el número de elementos puntuales (pasos a nivel) que sufren daño severo por cada fenómeno determinado en la matriz causa – efecto que relaciona a los fenómenos volcánicos con el nivel de daño que se presenta en la tabla 8, generando de éste modo las tablas 9 y 10 con el fin de determinar el porcentaje de daño con respecto a todo el tramo analizado y a partir de éste obtener el índice de vulnerabilidad física de los componentes del sistema de vías y transportes, el cual se estimó de acuerdo a la tabla 5 según la metodología de la Corporación OSSO.

Tabla 9. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD TRAMO VIAL

Tabla 10. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales (pasos a nivel) en el tramo vial.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD DE ELEMENTOS PUNTUALES

Este análisis se realizó tanto para elementos puntuales como para elementos lineales encontrados en el tramo. Con el ánimo de encontrar una vulnerabilidad general del sistema en conjunto se elaboró el cuadro 5 para la relación de la vulnerabilidad general para establecer la interrelación entre los elementos puntuales y lineales a criterio experto definido por el grupo evaluador a cargo de la Corporación OSSO, obteniendo como resultado la tabla 11.

Cuadro 5. Relación Vulnerabilidad General

Elemento Lineal	Elemento Puntual	Vulnerabilidad General
ALTO	ALTO	ALTO
ALTO	MEDIO	ALTO
ALTO	BAJO	ALTO
ALTO	NULO	ALTO

Elemento Lineal	Elemento Puntual	Vulnerabilidad General
MEDIO	ALTO	ALTO
MEDIO	MEDIO	MEDIO
MEDIO	BAJO	MEDIO
MEDIO	NULO	MEDIO

Elemento Lineal	Elemento Puntual	Vulnerabilidad General
BAJO	ALTO	ALTO
BAJO	MEDIO	MEDIO
BAJO	BAJO	BAJO
BAJO	NULO	BAJO

Elemento Lineal	Elemento Puntual	Vulnerabilidad General
NULO	ALTO	ALTO
NULO	MEDIO	MEDIO
NULO	BAJO	BAJO
NULO	NULO	NULO

Para este caso la vulnerabilidad física se expresa de manera cualitativa, debido a que no siempre la sollicitación y/o la resistencia son cuantificables o fáciles de cuantificar. En muchos casos esto no es posible (aun para vulnerabilidad física) y se tiene que recurrir a indicadores cualitativos.

Tabla 11. Determinación de la vulnerabilidad física general.

NOMBRE VÍA			
TRAMO VIAL			
FENÓMENO			
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)			
ELEMENTOS (#)			

A continuación se presenta la evaluación de la vulnerabilidad física de posibles tramos viales y sus correspondientes elementos puntuales (pasos a nivel) que pueden estar sujetos a sufrir daños severos ante la ocurrencia de los conocidos fenómenos volcánicos en la zona de estudio, los cuales se basan en los datos de las matrices causa – efecto de las tablas 7 y 8 cuyo análisis se presenta en el ejemplo presentado en el anexo 2, cuya metodología se aplica para todos los componentes del sistema de vías y transportes en la zona de estudio de interés para la presente pasantía.

VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: CEBADAL - YACUANQUER

El tramo vial Cebadal – Yacuanquer comprende el punto de inicio de la vía circunvalar al volcán Galeras, la cual dada su importancia tiene un nivel de competencia nacional y un nivel funcional primario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 3.35 Km, en el cual se localiza un (1) pontón. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en dos semi-tramos dado el cruce de su localización con los fenómenos volcánicos, los cuales una vez analizados en la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales, ninguno de ellos sufre daño severo, razón por la cual la vulnerabilidad física en éste tramo es nula cuyos resultados se observan en las tablas 12, 13 y 14.

Tabla 12. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Cebadal – Yacuanquer.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL CEBADAL – YACUANQUER						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
3.35	0	0	Ninguno	0	0,00	NULO

Tabla 13. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Cebadal – Yacuanquer.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CEBADAL – YACUANQUER					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
1	0	Pontón	Ninguno	0,00	NULO

Tabla 14. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Cebadal - Yacuanquer

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS		
TRAMO VIAL	CEBADAL - YACUANQUER		
FENÓMENO	NINGUNO		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	0	NULO	NULO
ELEMENTOS (#)	0	NULO	

VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: YACUANQUER – CONSACÁ

El tramo vial Yacuanquer – Consacá hace parte de la vía Circunvalar al volcán Galerías, la cual dada su importancia tiene un nivel de competencia nacional y un nivel funcional primario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 27.135 Km, en el cual se localiza a su vez un (1) puente y dos (2) pontones. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en doce semi-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, los cuales una vez analizados en la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que una sección del tramo vial y el puente Alfonso López que salva como obstáculo el cauce del Río Azufral dada su localización son susceptibles de sufrir daño severo frente al fenómeno de flujo de lodos, por lo cual dado el análisis de su vulnerabilidad física general se determina que ésta es media, cuyos resultados se apoyan en las tablas 15, 16 y 17.

Tabla 15. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Yacuanquer – Consacá.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL YACUANQUER - CONSACÁ						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
27,135	1	1	Flujo de Lodo	1,128	4,16	BAJO

Tabla 16. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Yacuanquer – Consacá.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL YACUANQUER - CONSACÁ					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
3	1	Puente	Flujo de Lodo	33.33	BAJO

Tabla 17. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Yacuanquer – Consacá.

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS		
TRAMO VIAL	YACUANQUER - CONSACÁ		
FENÓMENO	FLUJO DE LODO		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	1,128	BAJO	MEDIO
ELEMENTOS (#)	1	MEDIO	

**VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: CONSACÁ - SANDONÁ**

El tramo vial Consacá - Sandoná hace parte de la vía Circunvalar al volcán Galeras, la cual dada su importancia tiene un nivel de competencia nacional y un nivel funcional primario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 15.55 Km, en el cual se localizan cuatro pontones. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en cuatro semi-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. Nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que ninguno de ellos sufre daño severo razón por la cual la vulnerabilidad física en éste tramo es nula cuyos resultados se observan en las tablas 18, 19 y 20.

Tabla 18. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Consacá – Sandoná.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL CONSACÁ - SANDONÁ						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
15,55	0	0	Ninguno	0	0,00	NULO

Tabla 19. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Consacá – Sandoná.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CONSACÁ - SANDONÁ					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
4	0	Pontón	Ninguno	0,00	NULO

Tabla 20. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Consacá – Sandoná.

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS		
TRAMO VIAL	CONSACÁ - SANDONÁ		
FENÓMENO	NINGUNO		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	0	NULO	NULO
ELEMENTOS (#)	0	NULO	

**VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: SANDONÁ – LA FLORIDA**

El tramo vial Sandoná – La Florida hace parte de la vía Circunvalar al volcán Galeras, la cual dada su importancia tiene un nivel de competencia nacional y un nivel funcional primario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 20.86 Km, en el cual se localizan elementos puntuales como un puente y cinco pontones. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en diecinueve (19) semi-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. Nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que algunos de estos componentes sufren daño severo frente a tres de los siete fenómenos volcánicos característicos del Volcán Galeras, tales como flujo piroclásticos, flujo de lodos y nube acompañante por lo cual dado el análisis de su vulnerabilidad física general se determina que ésta es media, cuyos resultados se apoyan en las tablas 21,22 y 23.

Tabla 21. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Sandoná – La Florida.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA PARA EL TRAMO VIAL SANDONÁ – LA FLORIDA						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD TRAMO VIAL
20,86	12	10	Flujo Piroclástico	2.555	0,12	BAJO
		3	Flujo de Lodo	0,904	0,04	BAJO
		5	Nube Acompañante	1.313	0,06	BAJO

Tabla 22. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Sandoná – La Florida.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL SANDONÁ – LA FLORIDA					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
6	2	Puente y Pontón	Flujo Piroclástico	33,33	MEDIO
	1	Pontón	Flujo de lodo	16,67	MEDIO
	1	Pontón	Nube Acompañante	16,67	MEDIO

Tabla 23. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Sandoná – La Florida.

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS		
TRAMO VIAL	SANDONÁ – LA FLORIDA		
FENÓMENO	FLUJO PIROCLÁSTICO		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	2.555	BAJO	MEDIO
ELEMENTOS (#)	2	MEDIO	
FENÓMENO	FLUJO DE LODO		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA TOTAL
TRAMO VIAL (Km)	0,904	BAJO	MEDIO
ELEMENTOS (#)	1	MEDIO	
FENÓMENO	NUBE ACOMPAÑANTE		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA TOTAL
TRAMO VIAL (Km)	1.313	BAJO	MEDIO
ELEMENTOS (#)	1	MEDIO	

**VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: LA FLORIDA – NARIÑO**

El tramo vial La Florida – Nariño hace parte de la vía Circunvalar al volcán Galeras, la cual dada su importancia tiene un nivel de competencia nacional y un nivel funcional primario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 8.383 Km, en el cual se localizan elementos puntuales como un (1) puente y dos (2) pontones. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en veintidos (22) sub-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que algunos de estos componentes sufren daño severo frente a tres de los siete fenómenos volcánicos característicos del volcán Galeras, tales como flujo piroclásticos, flujo de lodos y nube acompañante por lo cual dado el análisis de su vulnerabilidad física general se determina que ésta tiende a ser media y alta, cuyos resultados se apoyan en las tablas 24, 25 y 26.

Tabla 24. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial La Florida – Nariño.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL LA FLORIDA – NARIÑO						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
8,383	18	16	Flujo Piroclástico	4,841	57,75	ALTO
		5	Flujo de Lodo	3,278	39,10	MEDIO
		5	Nube Acompañante	2,071	24,70	MEDIO

Tabla 25. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial La Florida – Nariño.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL LA FLORIDA - NARIÑO					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
3	2	Puente y Pontón	Flujo Piroclástico	66,67	ALTO
	2	Puente y Pontón	Flujo de lodo	66,67	ALTO
	1	Pontón	Nube Acompañante	33,33	MEDIO

Tabla 26. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial La Florida – Nariño.

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS		
TRAMO VIAL	LA FLORIDA – NARIÑO		
FENÓMENO	FLUJO PIROCLÁSTICO		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	4.841	ALTO	ALTO
ELEMENTOS (#)	2	ALTO	
FENÓMENO	FLUJO DE LODO		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	3.278	MEDIO	ALTO
ELEMENTOS (#)	2	ALTO	
FENÓMENO	NUBE ACOMPAÑANTE		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	2.071	MEDIO	MEDIO
ELEMENTOS (#)	1	MEDIO	

**VÍA: CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL: NARIÑO – PASTO**

El tramo vial Nariño – Pasto hace parte de la vía Circunvalar al volcán Galeras, la cual dada su importancia tiene un nivel de competencia nacional y un nivel funcional primario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 16.736 Km, en el cual se localizan elementos puntuales como cinco (5) pontones. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en cuarenta y un (41) sub-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que algunos de estos componentes sufren daño severo frente a tres de los siete fenómenos volcánicos característicos del volcán Galeras, tales como flujo piroclásticos, flujo de lodos y nube acompañante por lo cual dado el análisis de su vulnerabilidad física general se determina que ésta tiende a ser media y alta, cuyos resultados se apoyan en las tablas 27, 28 y 29.

Tabla 27. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Nariño – Pasto.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL NARIÑO - PASTO						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
16,736	38	38	Flujo Piroclástico	13,394	80,03	ALTO
		11	Flujo de Lodo	3,933	23,50	MEDIO
		9	Nube Acompañante	3,059	18,28	MEDIO

Tabla 28. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Nariño – Pasto.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL NARIÑO - PASTO					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
5	5	Pontón	Flujo Piroclástico	100,00	ALTO
	3	Pontón	Flujo de lodo	60,00	ALTO
	1	Pontón	Nube Acompañante	20,00	MEDIO

Tabla 29. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Nariño – Pasto.

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS		
TRAMO VIAL	NARIÑO - PASTO		
FENÓMENO	FLUJO PIROCLÁSTICO		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FISICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	13.394	ALTO	ALTO
ELEMENTOS (#)	5	ALTO	
FENÓMENO	FLUJO DE LODO		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FISICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	3.933	MEDIO	ALTO
ELEMENTOS (#)	3	ALTO	
FENÓMENO	NUBE ACOMPAÑANTE		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FISICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	3.059	MEDIO	MEDIO
ELEMENTOS (#)	1	MEDIO	

**VÍA: PANAMERICANA
TRAMO VIAL: PASTO – CHACHAGUI**

El tramo vial Pasto – Chachagui es un sub-tramo del tramo Pasto – Mercaderes de la vía Panamericana, la cual dada su importancia tiene un nivel de competencia nacional y un nivel funcional primario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 50.93 Km, en el cual se localizan elementos puntuales como (2) pontones Y (1) puente. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en doce (12) sub-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que una sección del tramo vial y el puente que salva como obstáculo el Río Pasto dada su localización son susceptibles de sufrir daño severo frente al fenómeno de flujo de lodo, por lo cual dado el análisis de su vulnerabilidad física general se determina que ésta es media, cuyos resultados se apoyan en las tablas 30, 31 y 32.

**Tabla 30. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial
Pasto – Mercaderes.**

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL PASTO - MERCADERES						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
50,93	5	5	Flujo de Lodo	0,467	0,92	BAJO

Tabla 31. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Pasto – Mercaderes.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL PASTO - MERCADERES					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
3	1	Puente	Flujo de Lodo	33.33	MEDIO

Tabla 32. Determinación de la vulnerabilidad física general para el tramo vial Pasto – Mercaderes.

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS		
TRAMO VIAL	PASTO - MERCADERES		
FENÓMENO	FLUJO DE LODOS		
TIPO	CANTIDAD EN DAÑO SEVERO	VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	0,467	BAJO	MEDIO
ELEMENTOS (#)	1	MEDIO	

**VÍA: PANAMERICANA
TRAMO VIAL: PEDREGAL – PASTO**

El tramo vial Pedregal – Pasto es un tramo de la vía Panamericana, la cual dada su importancia tiene un nivel de competencia nacional y un nivel funcional primario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 42,446 Km, en el cual no se localizan elementos puntuales como puentes o pontones. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en cinco (5) sub-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que la vulnerabilidad física quedará determinada por la estimada únicamente para el tramo vial determinada en la tabla 33.

Tabla 33. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Pedregal – Pasto.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL PEDREGAL - PASTO						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
42,446	5	1	Flujo de Lodo	0,215	0,51	BAJO

TRAMO VIAL: ANCUYA – SANDONÁ

El tramo vial Ancuya – Sandoná es un tramo vial que comunica al municipio de Ancuya con la vía Circunvalar al volcán Galeras, el cual tiene un nivel de competencia departamental y a su vez un nivel funcional secundario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 13.569 Km, en el cual se localizan elementos puntuales como un (1) pontón. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial su vez se fracciona en cinco (5) sub-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que una sección del tramo vial y el puente que salva como obstáculo el Río

Guaitara dada su localización son susceptibles de sufrir daño severo frente al fenómeno de flujo de lodos, por lo cual dado el análisis de su vulnerabilidad física general se determina que ésta es alta, cuyos resultados se apoyan en las tablas 34, 35 y 36.

Tabla 34. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Ancuya – Sandoná.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL ANCUYA - SANDONÁ						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMO VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
13,569	2	2	Flujo de Lodo	0,877	6,46	BAJO

Tabla 35. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Ancuya – Sandoná.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL ANCUYA - SANDONÁ					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
1	1	Puente	Flujo de Lodo	100,00	ALTO

Tabla 36. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Ancuya – Sandoná.

NOMBRE VÍA					
TRAMO VIAL	ANCUYA - SANDONÁ				
FENÓMENO	FLUJO DE LODO				
TIPO	CANTIDAD	VULNERABILIDAD FISICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL		
TRAMO VIAL (Km)	0,877	BAJO	ALTO		
ELEMENTOS (#)	1	ALTO			

TRAMO VIAL: CONSACÁ – ANCUYA

El tramo vial Consacá – Ancuya es un tramo vial que le permite al municipio de Ancuya comunicarse con la vía Circunvalar al volcán Galeras, el cual tiene un nivel de competencia departamental y a su vez un nivel funcional secundario.

Este tramo vial fue georreferenciado a través de una imagen satelital (SPOT) utilizando el software de Mapinfo Profesional 9.0 debido a que el recorrido de campo no se pudo realizar como estaba estipulado dentro del cronograma de trabajo de campo debido a la condición de invierno que se suscitó en la zona, por lo cual se declaró la emergencia vial afectando el tramo en mención. Una vez georreferenciado el tramo se pudo determinar que tiene una longitud total de 12.657 Km, en el cual se pudo identificar dentro de los elementos puntuales un (1) puente. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial su vez a su vez se fracciona en cinco (5) sub-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. Nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que una sección del tramo vial y el puente que salva como obstáculo el Río Guaitara dada su localización son susceptibles de sufrir daño severo frente al fenómeno de flujo de lodos, por lo cual dado el análisis de su vulnerabilidad física general se determina que ésta es alta, cuyos resultados se apoyan en las tablas 37, 38 y 39.

Tabla 37. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Consacá – Ancuya.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL CONSACÁ - ANCUYA						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
12,657	1	1	Flujo de Lodo	0,924	7,30	BAJO

Tabla 38. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Consacá – Ancuya.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CONSACÁ - ANCUYA					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
1	1	Puente	Flujo de Lodo	100,00	ALTO

Tabla 39. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Consacá – Ancuya.

NOMBRE VÍA					
TRAMO VIAL		CONSACÁ - ANCUYA			
FENÓMENO		FLUJO DE LODO			
TIPO	CANTIDAD	VULNERABILIDAD FISICA INDIVIDUAL		VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL	
TRAMO VIAL (Km)	0,924	BAJO		ALTO	
ELEMENTOS (#)	1	ALTO			

TRAMO VIAL: ANCUYA – LINARES

El tramo vial Ancuya – Linares es un tramo vial que le permite al municipio de Linares comunicarse con la vía Circunvalar al volcán Galeras a través del municipio de Ancuya, el cual tiene un nivel de competencia departamental y a su vez un nivel funcional secundario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 18.834 Km, en el cual se localizan elementos puntuales como un (1) pontón. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en cinco (5) sub-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que ninguno de ellos sufre daño severo razón por la cual la vulnerabilidad física en éste tramo es nula cuyos resultados se observan en las tablas 40, 41 y 42.

Tabla 40. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Ancuya – Linares.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL ANCUYA - LINARES						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
18,834	0	0	Ninguno	0	0,00	NULO

Tabla 41. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Ancuya – Linares.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL ANCUYA - LINARES					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
5	0	Ninguno	Ninguno	0,00	NULO

Tabla 42. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Ancuya – Linares.

NOMBRE VÍA					
TRAMO VIAL	ANCUYA - LINARES				
FENÓMENO	NINGUNO				
TIPO	CANTIDAD	VULNERABILIDAD FISICA INDIVIDUAL		VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL	
TRAMO VIAL (Km)	0	NULO		NULO	
ELEMENTOS (#)	0	NULO			

TRAMO VIAL: LINARES – EL TAMBO

El tramo vial Linares – El Tambo es un tramo vial que le permite al municipio de Linares comunicarse con la vía Circunvalar al volcán Galeras, a través del municipio de El Tambo, el cual tiene un nivel de competencia departamental y a su vez un nivel funcional secundario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 18.834 Km, en el cual se localizan elementos puntuales como un (1) pontón. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en cinco (5) sub-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que ninguno de ellos sufre daño severo razón por la cual la vulnerabilidad física en éste tramo es nula cuyos resultados se observan en las tablas 43, 44 y 45.

Tabla 43. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial Linares – El Tambo.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL LINARES - EL TAMBO						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
37,675	0	0	Ninguno	0	0,00	NULO

Tabla 44. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales en el tramo vial Linares – El Tambo.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL LINARES - EL TAMBO					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
3	0	Ninguno	Ninguno	0,00	NULO

**Tabla 45. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial
Linares – El Tambo.**

NOMBRE VÍA			
TRAMO VIAL	LINARES – EL TAMBO		
FENÓMENO	NINGUNO		
TIPO	CANTIDAD	VULNERABILIDAD FISICA INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL
TRAMO VIAL (Km)	0	NULO	NULO
ELEMENTOS (#)	0	NULO	

TRAMO VIAL: MOTILÓN – EL TAMBO

El tramo vial Motilón – El Tambo es un tramo vial que comunica al municipio de El Tambo con la vía Circunvalar al volcán Galeras, el cual tiene un nivel de competencia departamental y a su vez un nivel funcional secundario.

Como resultado del inventario se puede determinar que dicho tramo tiene una longitud total de 21.419 Km, en el cual no se localizan elementos puntuales como puentes o pontones. Cabe resaltar que a través del SIG se obtiene que éste tramo vial a su vez se fracciona en cinco (5) sub-tramos dado su cruce con los fenómenos volcánicos, sin embargo, una vez analizada la matriz de causa - efecto que relaciona los fenómenos volcánicos vs. Nivel de daño de los componentes del sistema sean éstos los tramos viales ó los elementos puntuales se puede observar que la vulnerabilidad física quedará determinada por la estimada únicamente para el tramo vial determinada en la tabla 46.

**Tabla 46. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial
Motilón – El Tambo.**

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL MOTILÓN - EL TAMBO						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km.)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km.)	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL
21,419	2	2	Flujo Piroclástico	0,393	1,83	BAJO
		1	Nube Acompañante	0,223	1,04	BAJO

Como apoyo en la representación gráfica de los daños severos que sufren los elementos expuestos del sistema de vías y transportes frente a los fenómenos del volcán Galeras se crearon mapas temáticos que se presentan a continuación los cuales se generaron para los Flujos Piroclásticos, Flujos de Lodo y la Nube Acompañante que se representan en el anexo 3 respectivamente, debido a que son los fenómenos potencialmente destructivos generando daños severos en los tramos viales y por ende en sus elementos puntuales como pasos a nivel (puentes y pontones), los cuales se determinaron del análisis de las matrices de causa – efecto que relacionan a los fenómenos volcánicos con el nivel de daño (Severo, Moderado, Leve y Nulo).

A partir del modelo de ceniza de la Corporación OSSO se determinó la cantidad promedio de ceniza que se acumula en los tramos viales, del mismo modo, a partir del dato de espesor de ceniza se calculo el volumen de ésta depositada en los elementos puntuales dado que se conocen sus dimensiones, obteniendo los resultados que se aprecian en las tablas 47, 48 y 49. cuyo análisis se presenta en el ejemplo presentado en el anexo 4, cuya metodología se aplica para todos los componentes del sistema de vías y transportes en la zona de estudio de interés para ésta pasantía.

Tabla 47. Promedio del espesor de ceniza sobre los tramos viales de la zona de estudio según el modelo de ceniza OSSO.

TRAMO VIAL	PROMEDIO DEL ESPESOR DE CENIZA (cm.)
Cebadal - Yacuanquer	17,53
Yacuanquer - Consacá	14,00
Consacá - Sandoná	13,42
Sandoná - La Florida	16,02
Florida - Nariño	14,80
Nariño - Pasto	16,32
Ancuya - Sandoná	7,08
Ancuya - Linares	8,93
Linares - El Tambo	8,39
Motilón - El Tambo	11,93
Consacá - Ancuya	10,71
Pasto - Mercaderes	16,21
Pedregal - Pasto	12,83

Tabla 48. Cantidad de ceniza sobre los elementos puntuales de la vía Circunvalar al volcán Galeras en la zona de estudio según el modelo de ceniza OSSO.

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS	
TRAMO VIAL	ELEMENTO	VOLUMEN DE CENIZA (m³)
Cebadal - Yacuanquer	Pontón	10,63
Yacuanquer - Consacá	Pontón	1,87
	Puente	25,37
Consacá - Sandoná	Pontón	5,79
	Pontón	3,11
	Pontón	10,19
	Pontón	2,33
Sandoná - La Florida	Pontón	2,50
	Pontón	8,76
	Puente	12,93
	Pontón	12,36
	Pontón	3,61
	Pontón	5,89
Florida - Nariño	Pontón	3,71
	Puente	24,83
	Pontón	13,10
Nariño - Pasto	Pontón	5,13
	Pontón	4,58
	Pontón	2,67
	Pontón	8,48
	Pontón	3,72
	Pontón	6,35

Tabla 49. Cantidad de ceniza sobre los elementos puntuales de la vía Panamericana y otros tramos viales en la zona de estudio según el modelo de ceniza OSSO.

NOMBRE VÍA	PANAMERICANA	
TRAMO VIAL	ELEMENTO	VOLUMEN DE CENIZA (m³)
Pasto – Mercaderes	Puente	66,89
	Pontón	4,82
	Pontón	5,55
TRAMO VIAL	ELEMENTO	VOLUMEN DE CENIZA (m³)
Ancuya - Linares	Pontón	1,19
	Pontón	3,04
	Pontón	1,25
	Pontón	1,21
	Pontón	1,45
Ancuya – Sandoná	Puente	11,05
Linares - El Tambo	Pontón	1,40
	Puente	29,04
	Pontón	1,77

5.4 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES.

Para evaluar la vulnerabilidad funcional del sistema de vías y transportes a fenómenos volcánicos, se procedió, en primera instancia a elaborar una matriz de interdependencia, tal como se aprecia en la tabla 50, analizando los elementos básicos del sistema que son necesarios para el funcionamiento.

Una vez determinados los valores para los dos parámetros de calificación: **el nivel de influencia (NI)** y **el nivel de dependencia (ND)** que corresponden a las variables a representar en el plano (Y/X), se obtiene un valor común de 61, el cual dividido entre el número total de los elementos del sistema (7), se obtiene el valor medio cuyo valor corresponde a 8,71 que determinará las zonas del plano de interrelación a partir del cruce de las líneas rojas.

Los pares de valores que corresponden a los dos parámetros de calificación: **el nivel de influencia (NI)** y **el nivel de dependencia (ND)** se presentan en la siguiente tabla 51.

Tabla 50. Matriz de interdependencia.

	Vías primarias	Vías secundarias	Cruces o intersecciones viales	Cruces o paso a desnivel	Accesos viales	Puentes-Pontones a nivel	Nodos de llegada o de salida	INFLUENCIA (I)
Vías primarias	5	0	0	0	0	0	5	10
Vías secundarias	0	5	0	0	0	0	3	3
Cruces o intersecciones viales	5	3	5	0	0	0	5	13
Cruces o paso a desnivel	3	1	0	5	0	0	5	9
Accesos viales	3	3	0	0	5	0	5	11
Puentes-Pontones a nivel	5	5	0	0	0	5	5	15
Nodos de llegada o de salida	0	0	0	0	0	0	5	0
DEPENDENCIA (D)	16	17	0	0	0	0	28	61

Tabla 51. Pares de valores según los parámetros de calificación (NI) y (ND).

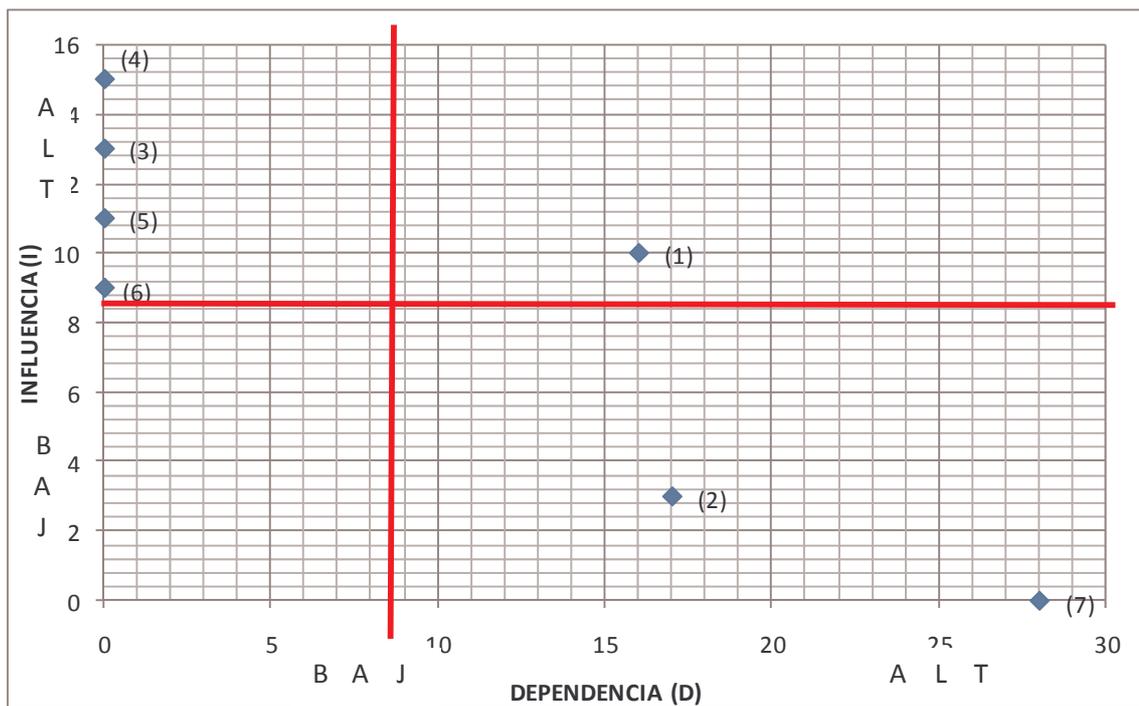
N°	ELEMENTO	D	I
1	Vías primarias	16	10
2	Vías secundarias	17	3
3	Cruces o intersecciones viales	0	13
4	Cruces o paso a desnivel	0	9
5	Accesos viales	0	11
6	Puentes-Pontones a nivel	0	15
7	Nodos de llegada o de salida	28	0

Los cuales una vez representados en el plano de interrelación definen que los elementos que se encuentran en la zona de poder son los enumerados (4) *cruces ó paso a desnivel*, (3) *cruces o intersecciones viales*, (5) *accesos viales* y (6) *puentes – pontones a nivel*, en orden descendiente de mayor a menor según el nivel de influencia, determinando que los cruces o pasos a desnivel son los

elementos menos dependientes, es decir, que cualquier afectación sobre estos afecta el resto del sistema, por tal razón dentro del sistema deben tener un orden de intervención de carácter prioritario.

En la zona de conflicto se encuentran (1) *las vías primarias*, las cuales son muy influyentes sobre el resto de elementos hasta el punto de dejar totalmente incomunicados los nodos de llegada o de partida que se traducen en cabeceras municipales ó cascos poblados, pero al mismo tiempo, éstas vías primarias, pueden verse afectadas por el funcionamiento de otros elementos como por ejemplo los pasos a nivel, los cuales al sufrir cualquier percance afectarán directamente a la vía primaria. Por tal razón las vías primarias son elementos muy importantes dentro del sistema y deben ser evaluadas en la doble vía, es decir, en el sentido de la influencia como en el de dependencia.

Figura 60. Plano de interrelación de los parámetros de calificación según el nivel de influencia (NI) y el nivel de dependencia (ND)



En la zona de salida se encuentran (7) *los nodos de llegada ó salida* y (2) *las vías secundarias*, presentan una alta dependencia del resto de elementos, es así como, los nodos de llegada ó salida que se traducen en las cabeceras municipales ó cascos poblados quedan totalmente aislados e incomunicados si llegase a presentarse algún tipo de obstrucción o deterioro en sus vías de acceso; y a su vez, las vías secundarias también se encuentran en ésta zona debido a que para

que éstas funcionen depende directamente del estado y flujo de tránsito de las vías primarias.

No se obtuvo en los resultados elementos que pertenezca a la zona de problemas autónomos, debido a que las características de los elementos del sistema, no estiman que éstos tengan poca influencia y poca dependencia de los unos sobre los otros.

6. CONCLUSIONES.

- Los elementos puntuales o pasos a nivel sufren deterioros asociados esencialmente al efecto de la intemperie, razón por la cual se recomienda realizar labores de mantenimiento y limpieza en forma periódica y continua.
- La infraestructura vial juega un papel muy importante en la zona de estudio, teniendo en cuenta su carácter lineal y uso continuo desde una perspectiva funcional, debido a que ante la posible ocurrencia de los fenómenos volcánicos propios del volcán Galeras, tales como: Flujo Piroclástico, Flujo de Lava, Flujos de Lodo, Nube Acompañante, Onda de Choque, Proyectiles Balísticos, es el sistema que permite la evacuación de las poblaciones hacia zonas seguras.
- Los resultados del estudio indican que los elementos expuestos del sistema de vías y transportes sufren daño severo ante los fenómenos de Flujo Piroclásticos, Flujo de Lodos, y Nube Acompañante.
- Se evidenció un desconocimiento de los efectos de los fenómenos volcánicos sobre los sistemas de infraestructura vial por parte de la comunidad e instituciones en la zona de estudio, razón por la cual este informe pretende convertirse en una base de referencia para estudios complementarios con el fin de proporcionar conocimientos para la toma de decisiones que permitan atender o prevenir situaciones de emergencia vial.
- Como resultado del cruce de los fenómenos volcánicos con los elementos expuestos del sistema de vías y transportes mediante el SIGVULGALERAS, se concluyen que son susceptibles a sufrir daño severo frente al fenómeno de flujos piroclásticos los tramos viales de la vía circunvalar al volcán y sus elementos puntuales como pasos a nivel (puentes vehiculares y pontones) los localizados entre los municipios de Pasto - Nariño , Nariño – La Florida y La Florida – Sandoná lo cual significa que su vulnerabilidad física y funcional es alta.
- Como resultado del cruce de los fenómenos volcánicos con los elementos expuestos del sistema de vías y transportes mediante el SIGVULGALERAS, se concluyen que son susceptibles a sufrir daño severo frente al fenómeno de flujos de lodos los tramos viales y elementos puntuales que salvan como obstáculo los cauces de: Río Guaitara, Río Azufral, Río Chacaguico, Río El Barranco, Quebrada Maragato, Quebrada Chorillo, Quebrada Tequendama, Quebrada Genoy, Quebrada Agua Fría, Quebrada El Vergel, Quebrada El Guaico, Quebrada San Francisco, Quebrada Payacones, Río Pasto y la

Quebrada Mijitayo, lo cual significa que su vulnerabilidad física y funcional es alta.

- .Como resultado del cruce de los fenómenos volcánicos con los elementos expuestos del sistema de vías y transportes mediante el SIGVULGALERAS, se concluyen que son susceptibles a sufrir daño severo frente al fenómeno de nube acompañante los tramos viales de la vía circunvalar al volcán y sus elementos puntuales como pasos a nivel (puentes vehiculares y pontones) localizados entre los municipios de Pasto - Nariño , Nariño – La Florida y La Florida – Sandoná lo cual significa que su vulnerabilidad física y funcional es alta.
- Como resultado del cruce de los fenómenos volcánicos con los elementos expuestos del sistema de vías y transportes mediante el SIGVULGALERAS, se concluyen que presentan un daño nulo los tramos viales incluyendo sus elementos puntuales como pasos a nivel (puentes vehiculares y pontones) comprendidos entre Cebadal – Yacuanquer, Consacá – Sandoná, Ancuya – Linares y Linares – El Tambo, dado que la incidencia de los siete fenómenos volcánicos característicos del volcán Galeras sobre estos no tienen por consecuencia efecto alguno sobre ellos ni física ni funcionalmente.

7. RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta la vulnerabilidad física y funcional del sistema de vías y transporte en la zona de estudio objeto de este trabajo de pasantía, porque es un estudio piloto en la región con el cual, se pretende contribuir en el conocimiento de la influencia de los fenómenos volcánicos propios del volcán Galeras, tales como: Flujo Piroclástico, Flujo de Lava, Flujos de Lodo, Nube Acompañante, Onda de Choque, Proyectiles Balísticos, en los elementos expuestos del sistema en mención, a través del cual se espera se generen procesos de ordenamiento, planeación y gestión de escenarios de riesgo.
- Crear brigadas viales encargadas del barrido y la remoción de la caída piroclástica (comúnmente conocida como ceniza) sobre las vías debido a que es el único fenómeno volcánico mitigable, con el fin de reducir su impacto debido a que ésta produce en la vías la pérdida de fricción entre las ruedas de los vehículos y la superficie de rodadura, además, la ceniza asociada con el agua por lo general producto de lluvia pueden producir a su vez hidropneumático en la vía, razones por las cuales la ceniza genera que las vías se tornen rápidas provocando accidentes de tránsito.
- Implementar un programa de mantenimiento rutinario y periódico de inspección de estructuras como la red vial, puentes y pontones que permita de esta forma tomar medidas adecuadas para su mantenimiento con el fin de minimizar la posibilidad de pasar por alto algunas deficiencias que puedan convertirse en daños severos que comprometan no solo su desempeño funcional sino estructural si no son reparados a tiempo.
- tener en cuenta para futuros proyectos de construcción de vías en la zona de estudio su grado de exposición frente a los fenómenos volcánicos, con el fin de tener previo conocimiento del posible impacto y daño que pueden sufrir por cada uno de ellos.
- Plantear con las vías existentes posibles rutas alternas de evacuación con el propósito de salvaguardar la vida de la comunidad, y dada la posibilidad promover la construcción de nuevas vías que tengan éste mismo propósito.

BIBLIOGRAFÍA

CORPORACIÓN OSSO (Observatorio Sismológico del Sur Occidente). Comprendiendo la vulnerabilidad física y funcional de poblaciones. Cali: Corporación OSSO, 2008. 90 p.

CORPORACIÓN OSSO (Observatorio Sismológico del Sur Occidente). Estudio de vulnerabilidad física y funcional a fenómeno volcánicos, en el área de influencia del Volcán Galeras: propuesta técnico-económica. Cali: Corporación OSSO, 2006. 30 p.

INGEOMINAS. Volcán Galeras: generalidades. (en línea). En: Observatorio vulcanológico y sismológico de Pasto. San Juan de Pasto: 3 ago. 2008 (consultada: 3 ago. 2008). Disponible en la dirección electrónica : <http://intranet.ingeminas.gov.co/pasto/images/3/35/Generalidades2.PDF>

INGEOMINAS (Instituto Geológico de Minas y Energía). Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia. Popayán: Impretec Ltda., 1999. 121 p.

INGEOMINAS (Instituto Geológico de Minas y Energía). Mapa de amenaza volcánica del Galeras (tercera versión). Santafé de Bogotá: INGEOMINAS, 1997. 46 p.

INGEOMINAS (Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química). Evaluación de la resistencia estructural de las cubiertas de las edificaciones ubicadas en la zona de influencia del Volcán Galeras. San Juan de Pasto: INGEOMINAS, 1997. 122 p.

OSSO 2002. Propuesta: Evaluación de la vulnerabilidad física por terremoto y sus fenómenos asociados en poblaciones del litoral de Nariño. Cali. 2002.

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DEL INTERIOR Y JUSTICIA. Documento CONPES 3501. Santa fe de Bogotá: Presidencia de la República de Colombia, 2007. 51 p.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Ley 400 de 1997. NSR-98 (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente) Santafé de Bogotá: Presidencia de la República de Colombia, 1997. 1147 p.

ANEXOS

ANEXO 1

FORMATOS PARA EL INVENTARIO DE ELEMENTOS EXPUESTOS.



Estudio de vulnerabilidad física y funcional a fenómenos volcánicos,
en el área de influencia del Volcán Galeras – Convenio de
Cooperación N° 1005-08-12-07 entre el Fondo Nacional de
Calamidades/DPAD y la Corporación OSSO



CONTEXTO ESPACIAL

Ficha	Pontón				
Departamento		Nombre de la Vía		Georreferenciación (hddd.ddddd° - WGS84)	
Municipio		Código de la Vía		Latitud	
Corregimiento		Nombre del Puente		Longitud	
Vereda		Sobre		Altitud (msnm)	
Tramo		Entidad Encargada			

CONTEXTO FUNCIONAL

Tipo de Puente		TIPO DE SERVICIO		NIVEL ADMINISTRATIVO		
Años de Servicio		Vehicular		Peatonal		Nacional
Mantenimiento		Otro				Departamental
						Caminos Vecinales
						Otro

CONTEXTO FÍSICO

SUPERFICIE Y EQUIPAMIENTOS

DATOS GENERALES						MATERIAL SUPERFICIE DEL PUENTE			
Abscisa	Longitud Total (m)	Ancho Calzada (m)	Gálibo (m)	No. de Carriles	No. De Luces	Concreto	Asfalto	Afirmado	Madera
						Otro			

ALINEAMIENTOS

ACCESO (Entrada)	Curvo	Recto	PUENTE	Curvo	Recto	ACCESO (Salida)	Curvo	Recto
------------------	-------	-------	--------	-------	-------	-----------------	-------	-------

ELEMENTO	LOCALIZACION				AUSENCIA ELEMENTO	TIPO DE DAÑO				FOTO	OBSERVACIONES
Juntas	inicio	Centro	Fin			Fisuras	Otro				
Señalización	Izq.	Centro	Der.			Golpes	Invisibilidad	Otros			
Drenaje	Izq.	Centro	Der.			Fisuras	Taponamiento	Otros			
OTRO											



Libertad y Orden
Ministerio del Interior
y de Justicia

Estudio de vulnerabilidad física y funcional a fenómenos volcánicos,
en el área de influencia del Volcán Galeras – Convenio de
Cooperación N° 1005-08-12-07 entre el Fondo Nacional de
Calamidades/DPAD y la Corporación OSSO



Dirección de
Prevención y Atención
de Desastres

CONTEXTO FÍSICO

SUBESTRUCTURA

ELEMENTO	MATERIAL			ESTADO	TIPO (Forma)	
ALETAS	Concreto Reforzado		Madera	Bueno	Trapezoidal	
	Concreto Ciclópeo		Mampostería	Regular	OTRO	
	OTRO			Malo		
ELEMENTO	MATERIAL			ESTADO	TIPO (Forma)	
ESTRIBOS	Concreto Reforzado		Madera	Bueno	Rectangular	
	Concreto Ciclópeo		Mampostería	Regular	OTRO	
	OTRO			Malo		
ELEMENTO	MATERIAL			ESTADO	TIPO (Forma)	
PILAS	Concreto Reforzado		Madera	Bueno	Rectangular	
	Concreto Ciclópeo		Mampostería	Regular	OTRO	
	OTRO			Malo		
ELEMENTO	MATERIAL	CONDICIÓN		ESTADO	TIPO	
CIMENTACIÓN	Concreto Reforzado	Superficial		Bueno	Zapatás	
	Concreto Ciclópeo	Sumergida		Regular	OTRO	
	OTRO			Malo		

DAÑO	ELEMENTO	ALETAS	ESTRIBOS	PILAS	CIMENTACION	OBSERVACIONES
Fisuras						
Hormigueros						
Recubrimiento Inadecuado y Exposición del Acero de Refuerzo						
Infiltración y Eflorescencia						
Corrosión de la Armadura						
Contaminación del Concreto						
Socavación						
OTRO						
OTRO						

OBSERVACIONES



Libertad y Orden
Ministerio del Interior
y de Justicia

Estudio de vulnerabilidad física y funcional a fenómenos volcánicos,
en el área de influencia del Volcán Galeras – Convenio de
Cooperación N° 1005-08-12-07 entre el Fondo Nacional de
Calamidades/DPAD y la Corporación OSSO



Dirección de
Prevención y Atención
de Desastres

CONTEXTO FÍSICO

SUPERESTRUCTURA EN CONCRETO

LOSA				
TIPO DE LOSA		MATERIAL		ESPESOR (m)

VIGAS				
TIPO DE VIGA		MATERIAL		NO. VIGAS
				SECCIÓN VIGAS (m)

APOYO			ARCOS			AUSENCIA ARCOS	
APOYOS	IZQUIERDO	DERECHO	TIPO DE ARCO	Superior		Inferior	
TIPO DE APOYO			MATERIAL	Concreto		Mampostería	
MATERIAL			OTRO				

DAÑO	ELEMENTO	APOYO	LOSA	VIGAS	ARCOS	OBSERVACIONES
Fisuras						
Hormigueros						
Recubrimiento Inadecuado y Exposición del Acero de Refuerzo						
Infiltración y Eflorescencia						
Corrosión de la Armadura						
Contaminación del Concreto						
Piel de Cocodrilo						
Baches						
Abultamiento						
Socavación						
Desprendimiento unidades de mampostería						
OTRO						
OTRO						

OBSERVACIONES

ANEXO 2

EJEMPLO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA APLICACIÓN DE LAS MATRICES CAUSA - EFECTO PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD FÍSICA A FENOMENOS VOLCÁNICOS DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES EN LA ZONA DE ESTUDIO.

**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL PARA
ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL**

CEBADAL - YACUANQUER.

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL	Cebadal – Yacuanquer

ELEMENTOS	CANTIDAD
Pontón	1
TOTAL ELEMENTOS	1

Tabla 7. Matriz causa - efecto fenómenos volcánicos vs. zonas de amenaza para elementos puntuales (pasos a nivel).

TRAMO VIAL		AMENAZA			
Cebadal - Yacuanquer		ALTA	MEDIA	BAJA	NULA
E L E M E N T O S	Gral	0	0	1	0
	FP	0	0	0	1
	LV	0	0	0	1
	CP	0	0	1	0
	FL	0	0	0	1
	OCH	0	0	1	0
	PB	0	0	0	1
	NA	0	0	0	1

Tabla 8. Matriz causa - efecto fenómenos volcánicos vs. nivel de daño para elementos puntuales (pasos a nivel).

TRAMO VIAL		DAÑO			
Cebadal - Yacuanquer		SEVERO	MODERADO	LEVE	NULO
E L E M E N T O S	FP	0	0	0	1
	LV	0	0	0	1
	CP	0	1	0	0
	FL	0	0	0	1
	OCH	0	0	0	1
	PB	0	0	0	1
	NA	0	0	0	1

Tabla 10. Determinación de la vulnerabilidad física de los elementos puntuales (pasos a nivel) en el tramo vial.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CEBADAL - YACUANQUER					
TOTAL ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL	No. ELEMENTOS PUNTUALES EN EL TRAMO VIAL CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	ELEMENTO	FENÓMENO	% DAÑO	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS ELEMENTOS PUNTUALES
1	0	Pontón	Ninguno	0,00	NULO

**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA INDIVIDUAL PARA
EL TRAMO VIAL CEBADAL - YACUANQUER.**

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS		
Total tramos Vía	TRAMO VIAL	No. TRAMOS	LONGITUD (km)
2	Cebadal - Yacuanquer	1	1,618
	Cebadal - Yacuanquer	1	1,73
	TOTAL	2	3,35

Tabla 7. Matriz causa - efecto fenómenos volcánicos vs. zonas de amenaza para tramos viales.

TRAMO VIAL		AMENAZA			
Cebadal - Yacuanquer		ALTA	MEDIA	BAJA	NULA
FENÓMENO	Gral	0	0	1,73	1,618
	FP	0	0	0	3,35
	LV	0	0	0	3,35
	CP	0	0	1,73	1,618
	FL	0	0	0	3,35
	OCH	0	0	3,35	0
	PB	0	0	0	3,35
	NA	0	0	0	3,35

Tabla 8. Matriz causa - efecto fenómenos volcánicos vs. nivel de daño para tramos viales.

TRAMO VIAL		DAÑO			
Cebadal - Yacuanquer		SEVERO	MODERADO	LEVE	NULO
FENÓMENO	FP	0	0	0	3,35
	LV	0	0	0	3,35
	CP	0	1,73	0	1,618
	FL	0	0	0	3,35
	OCH	0	0	0	3,35
	PB	0	0	0	3,35
	NA	0	0	0	3,35

Tabla 9. Determinación de la vulnerabilidad física del tramo vial

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL TRAMO VIAL						
LONGITUD TOTAL DEL TRAMO VIAL (Km)	No. TOTAL DE SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO	No. SUBTRAMOS VIALES CON DAÑO SEVERO POR FENÓMENO	FENÓMENO	LONGITUD (Km)	% DAÑO	VULNERABILIDAD TRAMO VIAL
0	0	Pontón	Ninguno	0	0,00	NULO

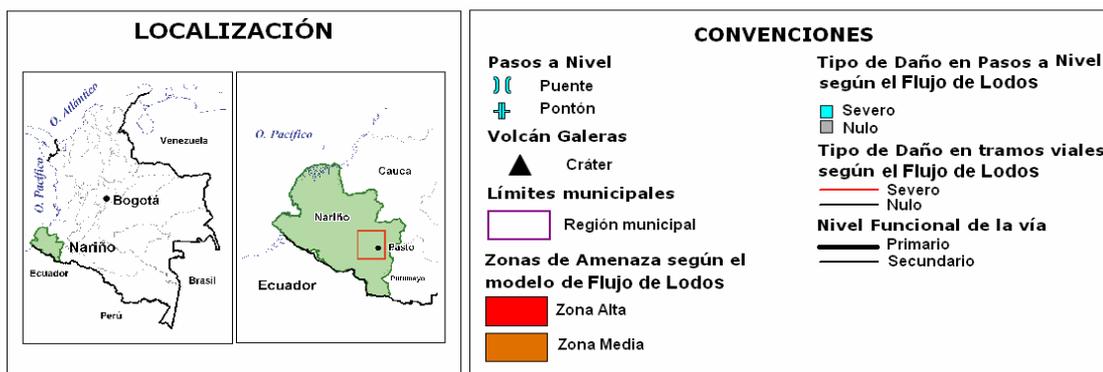
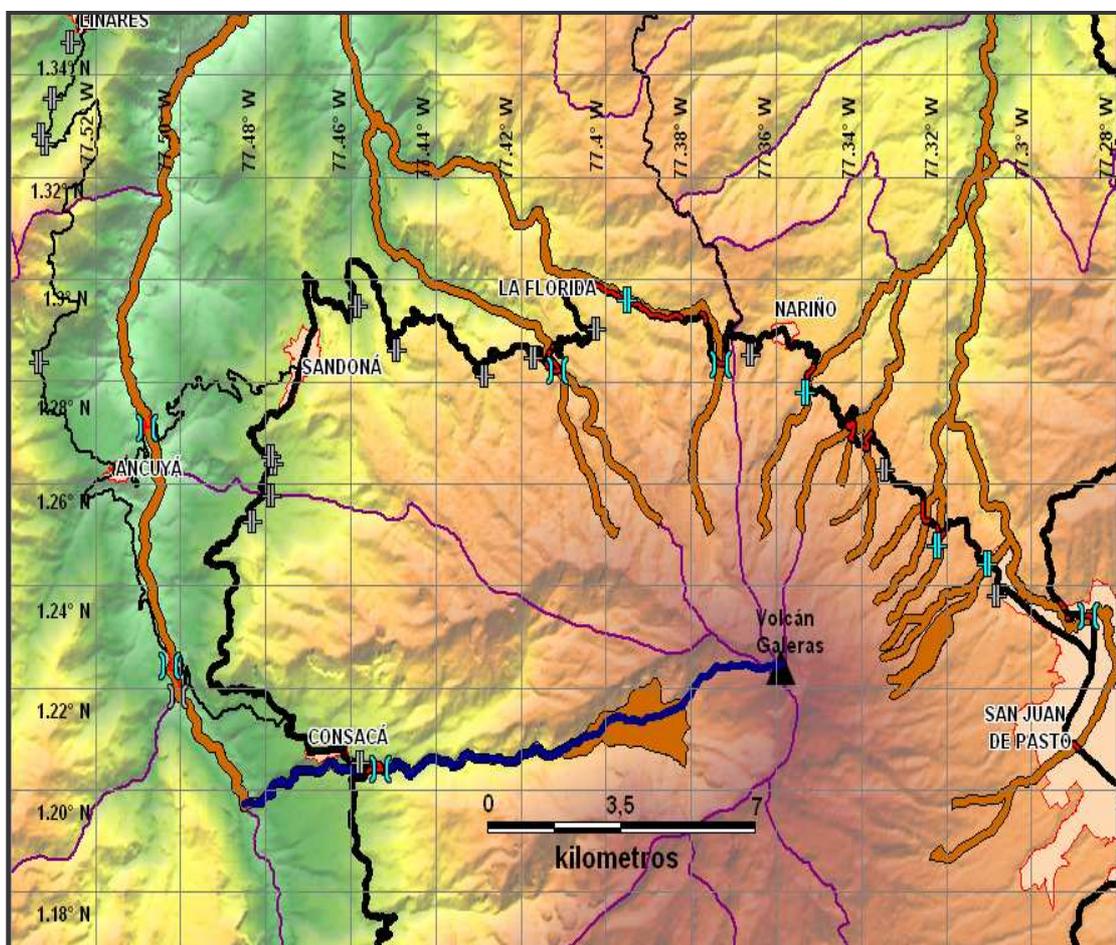
DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA GENERAL PARA EL TRAMO VIAL CEBADAL - YACUANQUER.

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS		
TRAMO VIAL	Cebadal - Yacuanquer		
FENÓMENO	NINGUNO		
TIPO	CANTIDAD	VULNERABILIDAD INDIVIDUAL	VULNERABILIDAD TOTAL
TRAMO VIAL (Km)	0	NULO	NULO
ELEMENTOS (#)	0	NULO	

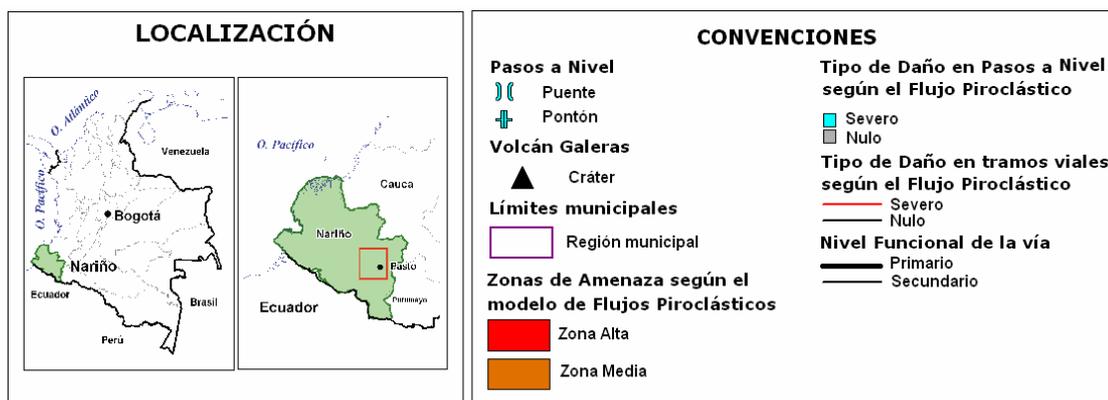
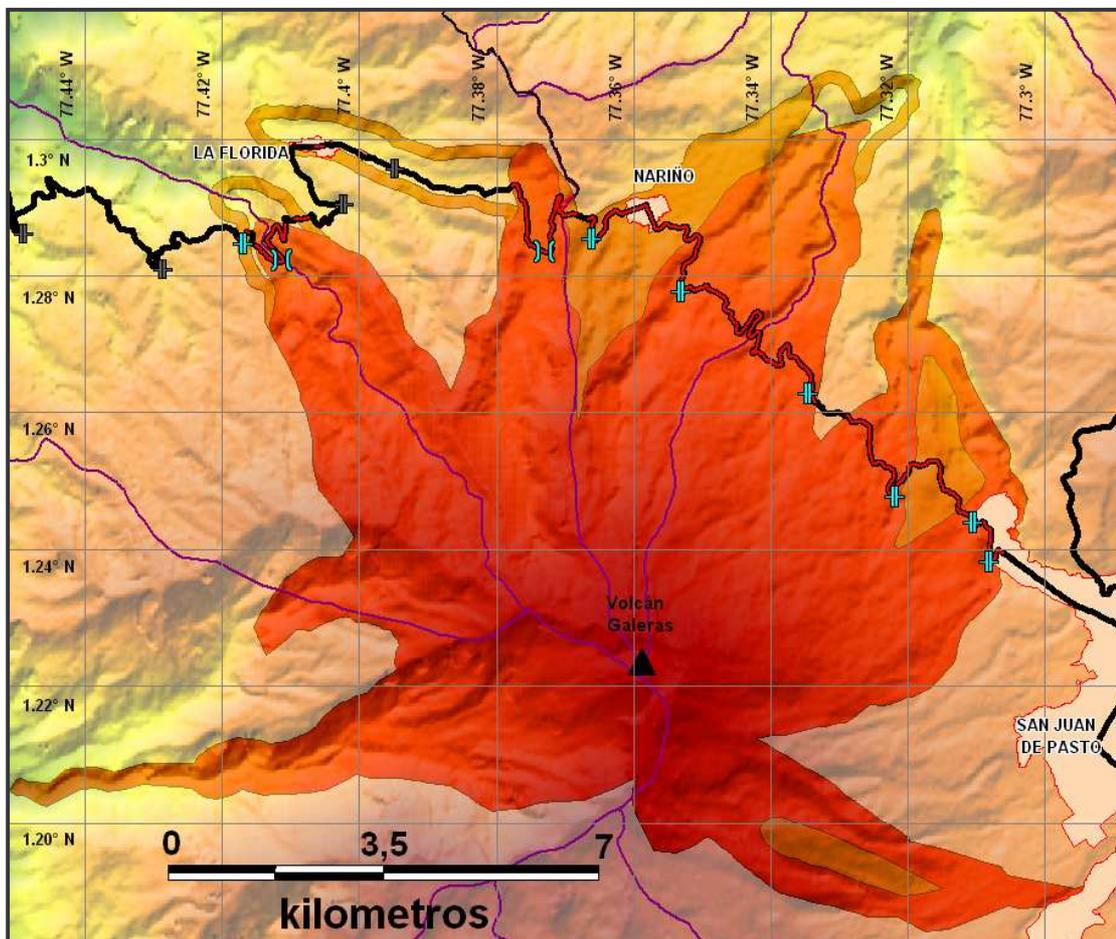
ANEXO 3

MAPAS TEMÁTICOS

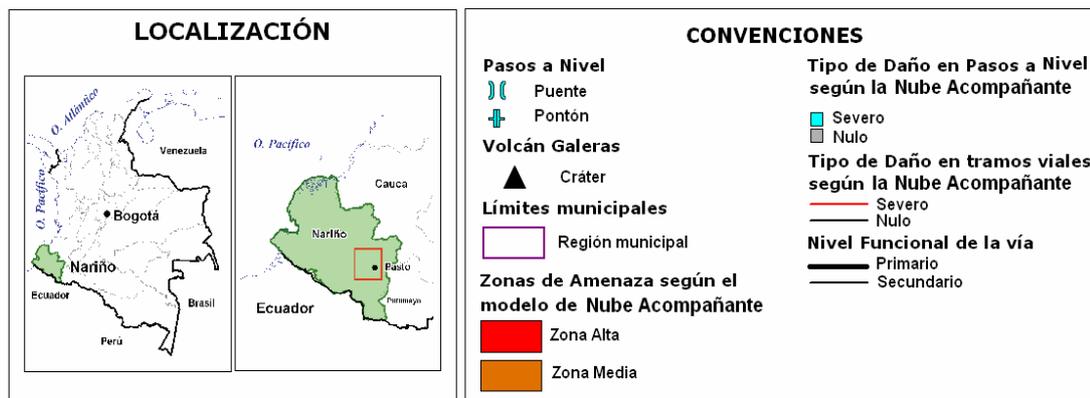
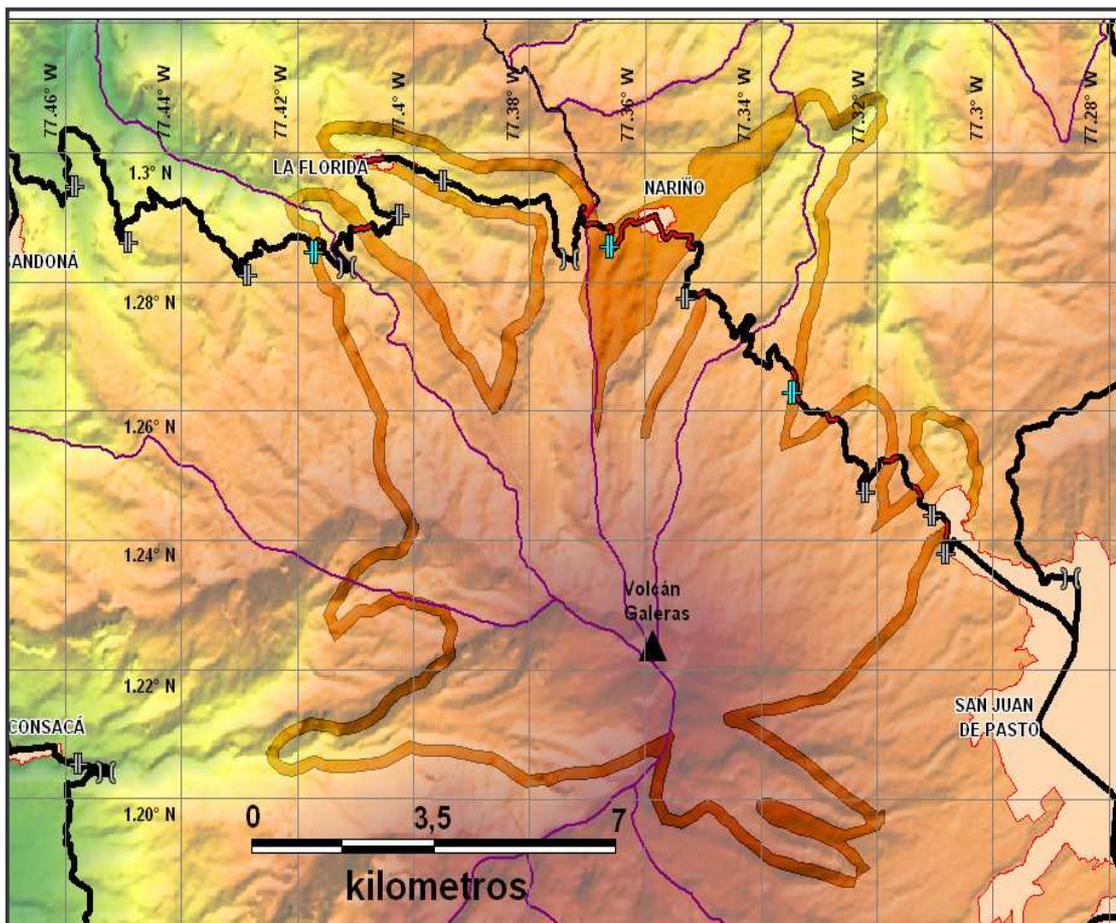
Daños severos en el sistema vial por Flujos de Lodos.



Daños severos en el sistema vial por Flujos Piroclásticos.



Daños severos en el sistema vial por Nube Acompañante.



ANEXO 4

EJEMPLO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE CENIZA SOBRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE VÍAS Y TRANSPORTES EN LA ZONA DE ESTUDIO SEGÚN EL MODELO DE CENIZA OSSO.

**CANTIDAD DE CENIZA SOBRE EL TRAMO VIAL CEBADAL - YACUANQUER
SEGÚN EL MODELO DE CENIZA OSSO**

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS			
	TRAMO VIAL	No. TRAMOS	LONGITUD (km)	ESPEJOR CENIZA (cm)
Total tramos Vía				
2	Cebadal - Yacuanquer	1	1,618	14,8
	Cebadal - Yacuanquer	1	1,73	20,25
	TOTAL	2	3,35	35,05

PROMEDIO DEL ESPEJOR DE CENIZA (cm)	17,53
--	-------

**CANTIDAD DE CENIZA SOBRE LOS ELEMENTOS PUNTUALES EN EL
TRAMO CEBADAL - YACUANQUER SEGÚN EL MODELO DE CENIZA OSSO**

NOMBRE VÍA	CIRCUNVALAR AL VOLCÁN GALERAS
TRAMO VIAL	Cebadal - Yacuanquer

ELEMENTOS	No.	ESPEJOR DE CENIZA		DIMENSIONES		VOLUMEN
		cm	m	Largo (m)	Ancho (m)	
Pontón	1	23,45	0,2345	4,4	10,3	10,63