

**IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO FÍSICO
PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL DE
EFIGAS.S. A E.S.P. EN LOS MUNICIPIOS DE MANIZALES
(CALDAS) Y PEREIRA (RISARALDA)**

Leidy Johana Rojas Galvis

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica
Manizales, 2019

**IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO FÍSICO PARA LA RED DE
DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL DE EFIGAS.S. A E.S.P. EN LOS
MUNICIPIOS DE MANIZALES (CALDAS) Y PEREIRA (RISARALDA)**

Leidy Johana Rojas Galvis

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al
título de Magíster en Tecnologías de la Información Geográfica

Director:
Ph.D.Jhon Makario Londoño Bonilla

Línea de Investigación:
Tecnologías de la Información Geográfica

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica
Manizales, 2019

Agradecimientos

A Dios por ser mi fortaleza, por brindarme la sabiduría y la inteligencia, por permitirme alcanzar este sueño y escalar una montaña más alta. A él la honra, el poder y la gloria por siempre.

A mi familia (Rojas Galvis) por su amor incondicional, por alentarme con sensatez para que siempre cumpla mis sueños, por sus palabras de aliento, pues ha sido por ellos que he llegado a culminar satisfactoriamente ésta etapa y es por ellos que día tras día pongo mi alma, vida y corazón a todo lo que hago.

A John Makario, al equipo de ingeniería de la compañía EFIGAS S.A ESP por contribuir a mi proyecto ideas, insumos, apoyo, pasión y motivación para alcanzar la realización de este proyecto SIG, por sus valiosas enseñanzas, por el tiempo dedicado, por la confianza brindada, para alcanzar con gran satisfacción esta meta.

A los profesores de la Universidad de Manizales – Facultad de Ciencias e de Ingeniería, porque fue por cada uno de ustedes que logré alcanzar este triunfo, por los importantes conocimientos aportados y por guiarme con paciencia durante mi proceso de aprendizaje.

Debo agradecer de manera especial a aquellas personas que estuvieron ahí para darme un consejo, ayudarme a resolver cualquier dificultad, que estuvieron en las buenas y en las malas y que al igual que yo sueñan con ser mejores haciendo lo que aman. Gracias infinitas a Camilo Ospino, Álvaro, Lili Bonilla, Julián Duque, César Augusto, el grupo de cartografía por el tiempo compartido, han sido mi apoyo, mi motor, mi bastón, este triunfo es de ustedes también. A todos gracias.

Resumen

El Trabajo final de Maestría plantea identificar diferentes escenarios de riesgo haciendo uso de las tecnologías de información geográfica (TIG), para detectar áreas de vulnerabilidad en la red de distribución de EFIGAS S.A localizada en los municipios de Manizales y Pereira de los departamentos de Caldas y Risaralda.

La ubicación geográfica, la morfología y las condiciones geológicas donde la entidad tiene distribuidas sus redes de gas, hace que el sistema de comercialización sea más propenso a la afectación por los fenómenos naturales de remociones en masa, sismicidad, fallas y lineamientos; generando gran vulnerabilidad en las tuberías de gas existentes y riesgo a los clientes estratégicos de la compañía, por tal motivo el caso estudio se eligió teniendo en cuenta las localidades donde la empresa tiene la mayor concentración de usuarios, con el fin de adquirir un insumo base que sirva para la generación de un plan estratégico de riesgo para actuar con eficacia y eficiencia ante cualquier evento que se presente en el futuro. Actualmente en el occidente y el centro de Manizales y Pereira es donde se presentan las redes de gas con rangos altos y muy altos de vulnerabilidad y riesgo, por tal motivo se debe precisar metodologías que permitan mitigar los daños y prejuicios que se puedan presentar por la activación de un fenómeno natural presente en la zona de estudio.

Palabras clave: (Escenarios de riesgo, geología estructural, remoción en masa, sismicidad, TIG).

Abstract

The final Work of Mastery proposes to identify different risk scenarios using the Geographic Information technologies (TIG), to detect areas of vulnerability in the distribution network of EFIGAS S. A located in the municipalities of Manizales and Pereira from the departments of Caldas and Risaralda.

The geographical location, morphology and geological conditions where the entity has distributed its gas networks, makes the marketing system more prone to affectation by natural phenomena of mass removals, seismicity, failures and Guidelines; generating great vulnerability in existing gas pipelines and risk to the company's strategic customers, for this reason the case study was chosen taking into account the locations where the company has the highest concentration of users, in order to acquire An input base that serves to generate a strategic risk plan to act effectively and efficiently before any event that is presented in the future. Currently in the west and the center of Manizales and Pereira is where gas networks with high and very high ranges of vulnerability and risk are presented, for this reason, methodologies must be specified to mitigate the damages and prejudices

that may be presented by the activation of a natural phenomenon present in the study area.

Key Words: (Risk Scenarios, structural geology, mass removal, seismicity, TIG).

Contenido

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación..... | 3 |
| 1.1 Descripción del Área Problemática..... | 4 |
| 1.2 Formulación del Problema..... | 6 |
| 1.3 Justificación | 6 |
| 2. Antecedentes | 8 |
| 3. Objetivos..... | 10 |
| 3.1 Objetivo General..... | 10 |
| 3.2 Objetivos Específicos | 10 |
| 4. Referente Contextual..... | 11 |
| 5. Referente Normativo y legal..... | 14 |
| 6. Referente teórico | 16 |
| 6.1 Sismicidad Eje Cafetero | 16 |
| 6.2 Geología Estructural del Eje Cafetero | 19 |
| 6.3 Movimientos en Masa Eje Cafetero..... | 21 |
| 6.4 Sistemas de Información Geográfica (SIG) | 22 |
| 6.5 Componentes de un SIG | 23 |
| 6.6 Funciones de un SIG..... | 23 |
| 6.7 Bases de Datos Geográficas..... | 24 |
| 6.8 Tecnología ArcGis..... | 25 |
| 6.9 Función Álgebra de Mapas de ArcGis | 25 |
| 6.10 Riesgo | 27 |
| 6.11 Amenaza | 29 |
| 6.12 Vulnerabilidad..... | 29 |
| 7. Hipótesis de Investigación..... | 32 |
| 8. Metodología..... | 33 |
| 8.1 Enfoque Metodológico..... | 33 |
| 8.2 Tipo de Estudio..... | 33 |
| 8.3 Diseño de la Investigación..... | 34 |
| 8.4 Operacionalización de Variables | 36 |
| 8.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información..... | 37 |
| 8.6 Descripción Funcional del Sistema..... | 37 |
| 8.7 Analisis de Datos Fuente..... | 37 |
| 8.8 Diseño de la Base de Datos Espacial..... | 39 |
| 8.9 Requerimientos | 39 |
| 8.10 Formula Herramienta Algebra de Mapas..... | 40 |
| 8.11 Plan de Análisis | 41 |

| | |
|---|------------|
| 9. Resultados..... | 453 |
| 10. Analisis e Interpretación de resultados..... | 49 |
| 10.1 Escenarios de Riesgo..... | 50 |
| 11. Conclusiones | 53 |
| 12. Recomendaciones..... | 55 |
| A. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 1 de vulnerabilidad del municipio de Manizales..... | 56 |
| B. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 2 de vulnerabilidad del municipio de Pereira..... | 68 |
| C. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 3 de riesgo por remoción en masa del municipio de Manizales. | 80 |
| D. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 4 de riesgo por remoción en masa del municipio de Pereira..... | 92 |
| E. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 5 de riesgo por sismicidad en el municipio de Manizales..... | 104 |
| F. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 5 de riesgo por sismicidad en el municipio de Pereira..... | 116 |
| G. Anexo: Glosario..... | 128 |
| 13. Referencias Bibliografía..... | 131 |

Lista de figuras

| | <u>Pág.</u> |
|--|--------------------|
| Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Se visualiza los departamentos de Caldas y Risaralda con los municipios de Manizales y Pereira al occidente de Colombia | 05 |
| Figura 2. Fotografía de la ciudad de Manizales – Caldas tomada de la página de la alcaldía de Manizales..... | 12 |
| Figura 3. Fotografía de la ciudad de Pereira - Risaralda tomada de la página de la alcaldía de Pereira..... | 13 |
| Figura 4. Esquema tectónico del norte de los Andes. Las flechas indican los desplazamientos relativos con respecto a Suramérica (tomado de trenKamp et al..2002) | 17 |
| Figura 5. Mapa gotectónico regional sector Eje Cafetero – Bogotá tomado de GODUES) | 19 |
| Figura 6. Mapa de amenaza por remoción en masa para Colombia (SGC,2016)..... | 21 |
| Figura 7. Ejemplo de valores de pérdidas de suelo por subcuenca tomado de (https://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Algebra_de_mapas.html)..... | 26 |
| Figura 8. Relación entre la amenaza, vulnerabilidad y exposición. (Rodríguez, 2011).... | 27 |
| Figura 9. Inestabilidad del terreno deja 492 usuarios del eje cafetero y del valle sin gas natural. (Tomado de la página de la PATRIA)..... | 35 |
| Figura 10. Registro sísmico, tomado de una publicación realizada por santander hoy el día 24 de febrero del 2012..... | 36 |
| Figura 11. Esquemmatización de la metodología de trabajo | 42 |
| Figura 12. Resultado modelo 3 – mapa de riesgo por remoción en masa para el municipio de Manizales del departamento de Caldas..... | 46 |
| Figura 13. Resultado modelo 4 – mapa de riesgo por sismicidad para el municipio de Pereira del departamento de Risaralda..... | 48 |

Lista de tablas

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| Tabla 1. Descripción de los municipios de Manizales – Caldas y Pereira - Risaralda como referente contextual para la identificación de los escenarios de riesgo | 11 |
| Tabla 2. Resumen del marco normativo y legal para la gestión de riesgo en los municipios de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda | 14 |
| Tabla 3. Definición de variables y descripción de pesos W para los municipios de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda..... | 40 |
| Tabla 4. Impactos esperados de proyecto..... | 54 |

Introducción

El trabajo presentado para optar por el título de maestría en tecnología de información geográfica, identifica diferentes escenarios de riesgo para las redes de gas de EFIGAS S.A E.S.P donde se tiene en cuenta fenómenos naturales como sismicidad, remoción en masa y fallamiento en las localidades de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda.

Así mismo, en este estudio se revela las áreas donde las redes de gas natural son más vulnerables por la actividad de los fenómenos antes mencionados, ayudando a la compañía con un insumo base para la generación de un plan estratégico en el futuro, que permita la mitigación de los daños y perjuicios que se puedan generar en las zonas con posible afectación.

Para el desarrollo del proyecto investigativo se tuvo en cuenta información tanto del Servicio Geológico Colombiano, como los resultados logrados en el Plan de Ordenamiento Territorial de las alcaldías de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda. Los formatos de las bases de datos adquiridos en PDF y Shape, facilitaron el desarrollo de los geoprocursos ejecutados, brindando información confiable y más precisa.

Con el objetivo de identificar áreas vulnerables en las redes de distribución de gas natural localizadas en los municipios de Manizales y Pereira, se estableció la tarea de recopilar y analizar los estudios e información que se han logrado a nivel nacional e internacional, permitiendo la selección de datos para la formulación de una hipótesis y conclusiones.

El enfoque fundamental del proyecto investigativo es proporcionarle a la compañía una herramienta basada en las tecnologías de la información geográfica que le permita a la entidad trabajar en un plan de emergencias no solo para el cuidado y mantenimientos de las redes de gas (principal inversión de la compañía) que pueden sufrir daños por los fenómenos naturales de sismicidad, fallas, y remoción en masa; Si no también para ejecutar planes de prevención en las zonas donde los clientes estratégicos de la entidad, están cerca de las tuberías de gas vulnerables y prevenir los posibles daños de infraestructura y pérdidas humanas que se puedan generar por la actividad de los diferentes fenómenos naturales.

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

EL gas natural es implementado, tanto para el uso doméstico como para el industrial y comercial y es visto como una de las principales fuentes de energía en todo el planeta y en particular de Colombia. Su distribución se lleva a cabo por tuberías de acero y de polietileno que cambian de diámetros y composición según las diferentes etapas de regulación a las que son sometidas; este proceso se realiza con el fin de prestar un servicio óptimo, que dé cumplimiento a las normas impuestas por las entidades reguladoras y las necesidades del cliente que requiere la asistencia.

El transporte del gas natural inicia a partir de los entes de producción, los cuales se encargan de asignar el gasoducto a las diferentes localidades de los departamentos de Colombia; una vez el gas sale del campo de producción es llevado "de la puerta de ciudad" según (Luis E. YAMIN 1, 2004) y entregado al usuario final por medio de redes de distribución urbanas.

La infraestructura del gas existente en el occidente colombiano, actualmente se ve afectada por los continuos deslizamientos de tierra generados por las pendientes altas, tipos de suelos y el cambio climático que aporta tiempos de sequias y fuertes precipitaciones, contribuyendo a la alta inestabilidad en un talud. Lo anterior sumado a una importante actividad sísmico y geológico, resultante de la continua interacción de las placas tectónicas Nazca y suramericana, que han generado fuertes deformaciones en las rocas del interior de la tierra y han contribuido a la formación de complejos volcánicos y fallamiento a lo largo de todo el territorio colombiano. Esta configuración tectónica amenaza a comunidades, la infraestructura arquitectónica, oleoductos, además de provocar vulnerabilidad e inestabilidad en el transporte de gas y su sistema de distribución entre otros.

El gas natural domiciliario ha demostrado ser un servicio imperativo para la vida diaria y eventos recientes demuestran la importancia de identificar diferentes escenarios de riesgo, que permitan detectar tramos de tuberías vulnerables ante los diferentes fenómenos naturales. Lo anterior con el propósito de establecer estrategias de gestión de riesgos que logren mitigar los daños y perjuicios que se puedan generar por la actividad sísmica, deslizamientos y geología, además de contribuir al desarrollo de planes de emergencia ante estos sucesos naturales.

La importancia de un diagnóstico de riesgo adecuado empleando procesamiento de imágenes a partir de los sistemas de información geográfica (SIG) e integrando

los fenómenos de la sismicidad, la geología y las remociones en masa, en las redes de distribución del gas domiciliario en los municipios de Manizales y Pereira, podrían prevenir pérdidas de vidas humanas, heridas irreparables, además de minimizar los costos por daños generados por estos fenómenos naturales.

1.1 Descripción del Área Problemática

Las redes de gas domiciliario de EFIGAS S.A, se encuentran edificadas en la parte más septentrional del occidente colombiano y distribuidas principalmente a lo largo de tres dominios que conforman al eje cafetero: Caldas, Risaralda y Quindío; La morfología, la geología y las condiciones climáticas evidenciadas en la zona, incrementan la vulnerabilidad al riesgo por los diferentes factores naturales que se evidencia en cada uno de los municipios que componen a los tres departamentos, convirtiendo al occidente colombiano en una de las principales fuentes de estudio en relación a fenómenos naturales por muchos investigadores.

Actualmente la compañía EFIGAS S.A E.S.P presta el servicio de gas en 38 (treinta y ocho) municipios de los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío y distribuye el gas natural a más de 500.000 clientes estratégicos, los cuales se encuentra categorizados como clientes residenciales, industriales, comerciales y constructoras. Cada uno de los usuarios que consumen el servicio de gas que la compañía les presta se encuentran ubicados en las zonas urbanas y rurales de cada uno de los departamentos que constituyen el triángulo del café.

Las redes externas de la compañía cubren casi en su totalidad cada uno de las localidades donde se ha constituido el plan de negocio de la entidad y a la fecha no se tienen herramientas para identificar el riesgo por fenómenos naturales que afectan al occidente colombiano y que puedan generar daños no solo en el gasoducto sino también el bienestar de sus clientes que son el factor más importante de la compañía.

Este proyecto se enfoca especialmente en detectar diferentes escenarios de riesgo relacionando a la sismicidad, los movimientos en masa y la geología estructural, producto de los trabajos realizados por el Servicio Geológico Colombiano y los Planes de Ordenamiento Territorial (POT).

La investigación se centra principalmente en las ciudades capitales de Manizales y Pereira ubicadas en los departamentos de Caldas y Risaralda, ya que son los municipios con mayor cantidad de usuarios y son localidades donde se han evidenciado amenazas por eventos naturales recientes.

Con el fin de prever catástrofes futuras surge la necesidad de crear un insumo que permita analizar e identificar el efecto de estos factores de riesgo sobre la red de distribución de gas de EFIGAS S.A, lo cual servirá de base en la generación de un plan estratégico de riesgo para la prevención no solo de los daños en las tuberías diseñadas y en aquellas por construir, sino también en la protección de los usuarios que actualmente consumen el servicio de gas natural.

Las variables como licuefacción, avalanchas, flujos causados por erupciones volcánicas etc. no se consideran directamente en este proyecto.



Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Se visualiza los departamentos de Caldas y Risaralda con los municipios de Manizales y Pereira al occidente de Colombia
Fuente Autor.

1.2 Formulación del Problema

EFIGAS S.A (entidad de gas natural domiciliario), presta sus servicios de gas a más de treinta municipios del eje cafetero, las cuales se encuentran ubicadas en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío. A la fecha no se han realizado planes estratégicos de riesgos en las áreas donde han construido los gasoductos y no se han desarrollado trabajos usando SIG para detección del riesgo por la actividad sísmica, el efecto de los deslizamientos y la geología de la zona, en las redes de transporte de gas de EFIGAS S.A.

Por tal motivo se precisa la necesidad de procesar y analizar la información existente a factores naturales en relación al gasoducto de la compañía usando herramientas SIG, con el fin de combinar las variables más recurrentes en las localidades de Manizales y Pereira de los departamentos de Caldas y Risaralda ver (Figura 1) y brindar a la compañía un resultado equivalente a la amenaza de riesgo que puede presentar la infraestructura de gas de la entidad para la generación de estrategias preventivas que ataquen futuros desastres.

De esta manera se le otorgaría a la corporación una base de datos gráfica, que le permitirá prever qué tuberías podrían ser vulnerables por estos fenómenos, y así impedir daños futuros en las tuberías y en los elementos que la componen; además de mitigar las posibles víctimas humanas ocasionadas por el desconocimiento o la falta de investigación sobre el impacto que estos eventos naturales consiguen generar.

Se puede, por lo tanto, formular el problema a manera de pregunta:

“¿Qué insumos generados con tecnologías de información geográfica se requieren para evaluar el riesgo físico generado por los eventos de sismicidad, remoción en masa y geológico-estructurales sobre las redes de distribución de gas operadas por EFIGAS S.A en los municipios de Manizales – Pereira de los departamentos de Caldas y Risaralda?”

1.3 Justificación

EFIGAS S.A actualmente requiere un recurso que le permita identificar zonas de riesgo en el sistema de distribución de redes de gas natural, ocasionado por los fenómenos de sismicidad (fallamiento) y remoción en masa, generados en las ciudades de Manizales y Pereira de los departamentos de Caldas y Risaralda, respectivamente. En la actualidad la instalación de tuberías subterráneas en la

mayor parte de los países, no tiene en cuenta estos parámetros al momento de su diseño, lo cual impide tener un control y una estrategia preventiva oportuna ante dichos fenómenos naturales.

Los estudios e investigaciones que se han ejecutado hasta hoy, han demostrado que el daño infligido en las tuberías de transporte de gas, es generalmente ocasionado por las condiciones del suelo, diseño del gaseoducto, el tipo de tubo y el tamaño del evento sísmico, deslizamiento o fallamiento. La magnitud, la profundidad focal y las condiciones del suelo, determinan la intensidad, el daño y la calidad de las instalaciones de gas según (Ali Coşar1, 2013).

Los daños y perjuicios de las tuberías de gas, incrementan en las zonas cercanas a los fenómenos naturales; sin embargo, con un insumo que muestre las áreas de mayor afectación se podrían tomar medidas preventivas y disminuir cualquier efecto presentado por eventos sísmicos, la geología o por deslizamientos localizados en los municipios de Manizales y Pereira de los departamentos de Caldas y Risaralda.

Esta investigación busca mejorar, analizar y proporcionar una posible solución a las anomalías presentadas en las redes de distribución de gas de EFIGAS S.A, ocasionadas por los factores naturales detectados en el área de estudio, usando tecnologías de información geográfica (TIG). El resultado obtenido le permitirá a la entidad tomar medidas preventivas en las áreas donde actualmente se distribuye el gas natural, además de generar estrategias de gestión de riesgo que no solo servirán para la toma de decisiones para acrecentar el negocio, sino también para mejorar la calidad de las redes y la de cada uno de los usuarios que ha adquirido el servicio.

2. Antecedentes

El desarrollo de las tecnologías en las últimas décadas ha permitido almacenar, procesar y visualizar información geográfica de manera simple. La elaboración de tecnologías de información y el desarrollo de las herramientas que conforman cada uno de los softwares, han otorgado soluciones eficientes a los requerimientos de los usuarios y han permitido la generación de múltiples resultados fundamentales para la toma de decisiones.

En este trabajo se tuvo como referente trabajos realizados con sistemas de posicionamiento global tanto del Servicio Geológico Colombiano como en el plan de Ordenamiento Territorial de cada una de las alcaldías de los municipios de Manizales y Pereira, para la ejecución de los geoprocursos que conllevan la investigación y obtener los diferentes escenarios de riesgos para la prevención de catástrofes futuras.

Evaluar el riesgo se ha convertido en una necesidad mundial. Eventos recientes han demostrado la importancia de realizar estudios para preparar a la sociedad ante cualquier activación de un fenómeno natural e investigaciones como la de (Ali Coşar¹, 2013), y el artículo creado por (CORRADO V., 2008a) realizado en Turquía donde se analiza los efectos de la sismicidad en las infraestructura de las tuberías de gas lo demuestran.

Actualmente evaluar el riesgo en diferentes campos empleando análisis de imágenes satelitales y otras técnicas se ha convertido en la manera más simple para dar solución a los problemas que afrontan las diferentes áreas de investigación; ejemplo de esto se evidencia en el manual de ideas y técnicas para tratar el riesgo en las tuberías de gas desarrollado por (Muhlbauer, 2004) y el trabajo de (Castillo, 2009) enfocado en la evaluación del uso de espectros de diseño al análisis del riesgo sísmico en Barcelona, España donde emplea análisis estadístico para imágenes.

En Colombia se han generado metodologías para evaluar el riesgo por deslizamiento en las líneas de conducción de hidrocarburo (Rodríguez, 2011); se han realizado estudios cuyo objetivo principal es mitigar el impacto por fenómenos naturales en las tuberías de gas; tal es el caso del proyecto de (Rubio, UIS 2009) donde se crea un plan estratégico de riesgo para el gaseoducto de Cusiana ubicado en Boyacá y Casanare, teniendo en cuenta las fallas geológicas para medir la corrosión de las redes. (Amortegui, 2016) ha evaluado el riesgo de los ductos de hidrocarburos offshore (costa afuera) aplicando metodología de procesos analíticos

de jerarquías (AHP). Todos estos proyectos han sido partido de la necesidad de encontrar patrones que permitan mitigar los riesgos en los ductos existentes.

En la actualidad se tiene registros de proyectos realizados en los cuales se emplea la técnica de álgebra de imágenes para la caracterización de zonas donde las condiciones geotécnicas son adecuadas para la construcción de infraestructura (Tellez Vargas, 2017), además de trabajos como el de (Carolina Arboleda Díaz, 2016) en donde se identifican los riesgos en el acueducto Acuacombia de la ciudad de Pereira empleando la técnica de álgebra de imágenes, no se evidenció información de la implementación del método álgebra de mapas enfocado al riesgo en las redes de gas.

En Colombia se han ejecutado proyectos donde se trata de inferir el grado de afectación de la sismicidad en las tuberías madres de gas o troncales (Luis E. YAMIN 1, 2004), pero no se logró encontrar proyectos en los que se hayan estudiado dichos fenómenos en el gaseoducto urbano del país y tampoco se han documentado investigaciones donde se evalué el riesgo integrando los tres fenómenos naturales (sismicidad, remoción en masa y estructuras geológicas), para la detección de la vulnerabilidad de las tuberías de gas existentes empleando álgebra de mapas.

Estudiar el riesgo para cada una de las compañías es una fase importante en la planeación, actualmente la entidad EFIGAS S.A ESP ha realizado estudios de riesgo para cada uno de los procesos que se realizan dentro de la compañía, pero no cuenta con estudios espaciales enfocados en la visualización e identificación del riesgo de las redes de gas que son vulnerables ante los fenómenos naturales de sismicidad, remoción en masa y geología estructural. Por tal razón la ejecución del proyecto será de gran importancia para un posterior desarrollo de un plan estratégico de riesgo para las redes de la empresa y actuar de manera eficiente ante cualquier emergencia.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Identificar escenarios de riesgo generados por los movimientos en masa, sismicidad y las fallas geológicas, que afectan las redes de gas de EFIGAS S.A, en las localidades de Manizales - Caldas y Pereira – Risaralda haciendo uso de las tecnologías de Información Geográfica (TIG).

3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una base de datos espacial con el fin de obtener un insumo que permita visualizar las áreas donde la compañía pueda requerir refuerzos por los fenómenos naturales propuestos.
- Recopilar la información geoespacial disponible en el Plan de Ordenamiento territorial de las alcaldías de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda y en el Servicio Geológico Colombiano como insumo básico para la elaboración del geoproceso.
- Ejecutar el método de álgebra de mapas para la generación de diferentes escenarios de riesgo, que permita la identificación de tramos en las redes de distribución de gas natural de EFIGAS S.A susceptibles a afectación por los fenómenos naturales analizados.
- Analizar la información obtenida y elaborar mapas haciendo uso de herramientas SIG.

4. Referente Contextual

El proyecto investigativo se desarrolló en los siguientes municipios del Departamento de Caldas y Risaralda que se describen a continuación:

Tabla 1. *Descripción de los municipios de Manizales – Caldas y Pereira - Risaralda como referente contextual para la identificación de los escenarios de riesgo.*

| Municipio | Descripción | |
|------------------|--------------------|------------------------------|
| Manizales | Departamento | Caldas |
| | Subregión | Centro Sur |
| | Subdivisiones | 7 corregimientos 11 comunas |
| | Superficie | 571.8 km ² |
| | Altitud | 2.150 m.s.n.m |
| | Clima | Promedio 16°C |
| | Población | 397.466 hab |
| Pereira | Departamento | Risaralda |
| | Área Metropolitana | 628 km ² |
| | Subdivisiones | 12 corregimientos 19 comunas |
| | Superficie | 702 km ² |
| | Altitud | 1.411 m.s.n.m |
| | Clima | Promedio 27°C |
| | Población | 1.200.275 hab |

MANIZALES

La ciudad de Manizales según información tomada de la página de la alcaldía de Manizales, es la capital del departamento de Caldas está localizada en el centro occidente de Colombia, ubicada en la Cordillera Central, cerca del Nevado del Ruiz.

Forma parte de la llamada Región paisa y del llamado Triángulo de oro; fue fundada en 1849 por colonos antioqueños, hoy es una ciudad con gran actividad económica, industrial, cultural y turística.



Figura 2. *Fotografía de la ciudad de Manizales – Caldas tomada de la página de la alcaldía de Manizales (Manizales, s.f.).*

Manizales es denominada la "Ciudad de las Puertas Abiertas" ver (Figura 2). También se le conoce como "Manizales del Alma" debido a un pasodoble taurino que lleva su nombre, se encuentra a una altura de 2.150 msnm y acuerdo con las cifras presentadas por el CIE (Centro de Información y Estadística) para el año 2016 Manizales cuenta con una población de 397.466 habitantes, 48% son hombres y el restante 52% mujeres. El 28% es menor de 20 años, mientras que el 16% de las personas cuenta con 60 y más años. FUENTE: DANE, Instituto Agustín Codazzi información tomada (Manizales, s.f.).

PEREIRA

Según la página de la alcaldía de Pereira el municipio de Pereira está localizado a 4 grados 49 minutos de latitud norte, 75 grados 42 minutos de longitud y 1.411 metros sobre el nivel del mar; en el centro de la región occidental del territorio colombiano, en un pequeño valle formado por la terminación de un contra fuerte que se desprende de la cordillera central. Su estratégica localización central dentro de la región cafetera, lo ubica en el panorama económico nacional e internacional, estando unido vialmente con los tres centros urbanos más importantes del territorio nacional y con los medios tanto marítimos como aéreos de comunicación internacionales.



Figura 3. *Fotografía de la ciudad de Pereira - Risaralda tomada de la página de la alcaldía de Pereira (Pereira, Alcaldía de Pereira, s.f.).*

El Municipio de Pereira cuenta con pisos térmicos que van desde las nieves perpetuas (Nevado de Santa Isabel a 5.200 msnm) en límites con el Departamento del Tolima, hasta pisos cálidos a 900 msnm y a orillas del río Cauca. Por lo tanto, presenta distintas alternativas de uso agrícola.

La extensión geográfica municipal de Pereira es de 702 km² y se encuentra a una altura promedio de 1.411 msnm y cuenta con una temperatura promedio de 21°C tomado de (Pereira, Alcaldía de Pereira, s.f.).

5. Referente Normativo y legal

A continuación, se muestra el desarrollo normativo y legal relacionado con la gestión de riesgo para las localidades de Manizales del Departamento de Caldas (CALDAS, s.f.) y Pereira del Departamento de Risaralda (Pereira, NORMATIVIDAD, s.f.).

Tabla 2. *Resumen del marco normativo y legal para la gestión de riesgo en los municipios de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda.*

| Normativa y legalidad | Descripción y alcance |
|--------------------------------|---|
| Ley N° 46 de 1988 | En esta ley establece los objetivos y noción del Sistema Nacional, los aspectos a tener en cuenta del Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres, establece la necesidad de un Sistema Integrado de Información, la participación de entidades y organismos públicos y privados, y la aplicación del Plan Nacional en las actividades de planeación regional, departamental y municipal. |
| Decreto No. 919 de 1989 | Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones. |
| Ley 99 de 1993 | La ley 99 de 1993 crea el Ministerio del Medio Ambiente, en ella se plantea en el numeral 9 del artículo 1, que: “La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento”. |
| Ley No. 322 de 1996 | Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. |
| Ley No. 322 de 1996 | Por la cual se crea el Sistema Nacional de Bomberos de Colombia. En este se define que es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional, en forma directa o por medio de los Cuerpos de Bomberos Voluntarios, por lo que se crea el Sistema Nacional de Bomberos con el objeto de articular los esfuerzos públicos y privados para la prevención y atención de incendios, explosiones y demás calamidades conexas, haciendo parte del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. |
| Ley 388 de 1997 | Por medio de la cual se modifica la ley 9 de 1989 y se adoptan los Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Esta ley comprende un conjunto de acciones político administrativas y de planificación física concertadas por parte de los municipios o distritos, buscando orientar el desarrollo del territorio de acuerdo con estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente. |

| | |
|--|--|
| Decreto No.93 de 1998 | Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. |
| Ley 1523 de 2012 | Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, que se concentra en responsabilidades, principios y definiciones básicos, en donde el concepto de riesgo es la base; además se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. |
| Decreto 1974 DE 2013 | Por el cual se establece el procedimiento para la expedición y actualización del Plan Nacional de Gestión del Riesgo. |
| Decreto 200 de 2000 | Por medio del cual se determina la composición y el funcionamiento del Comité Local de Manizales para la Prevención, Atención y Recuperación de Desastres - COLPADE. Este decreto especifica las funciones en relación al Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres, al Sistema Integrado de Información, con relación a las situaciones de desastre y a los planes de acción específicos. |
| Acuerdo N°508 de 2001 | Por medio del cual se adopta el plan de ordenamiento Territorial del municipio de Manizales. |
| Ley 9 de 1979 | Por la cual se dictan medidas sanitarias. Dicha ley se refiere en su título VIII al tema de desastres. |
| Decreto 321 de 1999 | Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas. |
| Ley 09 de 1989 | Primera ley de gestión del suelo urbano, la ley de Reforma urbana establece en el ámbito de la prevención del riesgo, la obligatoriedad para los alcaldes de levantar los inventarios de los asentamientos humanos que presenten alto riesgos para sus habitantes, reubicar estos habitantes en zonas apropiadas y tomar medidas para que los inmuebles desocupados no vuelvan a usarse para vivienda humana. |
| Ley 02 de 1991 | Se precisa que los municipios deben no sólo levantar sino tener actualizados los inventarios de las zonas que presenten altos riesgos para la localización de asentamientos humanos y que los alcaldes contarán con la colaboración de las entidades pertenecientes al Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, para desarrollar las operaciones necesarias para eliminar el riesgo en los asentamientos localizados en dichas zonas. |
| Ordenanza 052 del 31 de diciembre de 1999 | El Departamento de Risaralda adoptó el Plan Departamental de Prevención y Atención de Desastres mediante esta ordenanza, el cual había sido redactado antes de la existencia del Plan Nacional. El Plan Departamental, bajo los mismos objetivos y estrategias del Plan Nacional, establece los proyectos principales y responsables de su ejecución en el departamento. |

6. Referente teórico

6.1 Sismicidad Eje Cafetero

La evolución de las ciencias de la tierra ha permitido tener un mejor panorama de todos los fenómenos a los que actualmente el planeta es sometido. Gracias a los avances y a los continuos estudios que en el presente son realizados, hoy se cuenta con un sistema de posicionamiento global (GPS), que proporciona mediciones precisas, restricciones efectivas y rentables en los modelos de procesos de tectónica de placas en los límites convergentes, tales como la deformación continua microplaca o rotación de bloques (Thatcher, 1995).

La información lograda sobre el sistema de posicionamiento global desde el sur de América Central y el noroeste de Sudamérica fue adquirida en los periodos 1991, 1994, 1996, y 1998 en los países de Costa Rica, Panamá, Ecuador, Colombia y Venezuela, los cuales permitieron definir con mayor claridad, cada uno de los procesos a los que estaban siendo sometidas cada una de las placas que conforman la zona norte y central de sur América, acontecimientos que fueron detectados gracias a estudios geodésicos y que hoy día nos brindan una muestra de su comportamiento a partir de la sismicidad histórica de la zona y el fallamiento activo existente según (Robert Trenkamp, 2002).

En la actualidad el territorio colombiano está situado en una zona de convergencia de tres placas tectónicas mayores: la placa Suramericana, la placa Nazca y la placa Caribe; las cuales están en constante dinamismo y en movimiento acercándose entre sí; dando origen a deformaciones en la corteza continental, a actividad volcánica y a una intensa actividad sísmica en el país evidenciada en el trabajo de (Robert Trenkamp, 2002) gracias a información de GPS. Los continuos movimientos que se generan por el contacto de las mencionadas placas, sumado la actividad volcánica son monitoreadas por red sismológica de cubrimiento nacional que poseen sensores con la capacidad de detectar movimientos relacionados con la actividad antes mencionada existente en la corteza terrestre, brindando a la comunidad información precisa y oportuna, con el fin prever y amortiguar la mínima manifestación de un desastre natural (Enrique Franco, 2002).

La sismicidad del territorio Colombiano es generada principalmente por la subducción a lo largo del Océano Pacífico la cual suele presentar eventos superficiales hasta profundos; acompañado de la sismicidad de carácter profundo

e intermedio atribuido a una posible antigua subducción, con sismicidad notoria desde Boyacá hasta Norte de Santander según (Enrique Franco, 2002).

Gran parte de los movimientos corticales superficiales, son producto del proceso de deformación actual de la corteza, ocasionada por la colisión de las placas antes nombradas, lo cual se encuentra enmarcado geográficamente dentro de la Zona Andina, acompañado de los principales sistemas de fallas que controlan los piedemontes cordilleranos, como son el sistema de Fallas de Cauca, Romeral, del Valle Superior y Medio del Magdalena, con zonas epicentrales importantes como: el departamento de Nariño, Páez (Cauca), occidente de Risaralda y norte del Valle, Viejo Caldas, el sector de Pulí y norte de Tolima, y, el sector occidental de Santander entre Cimitarra y Santa Helena del Opón tomado de (Enrique Franco, 2002).

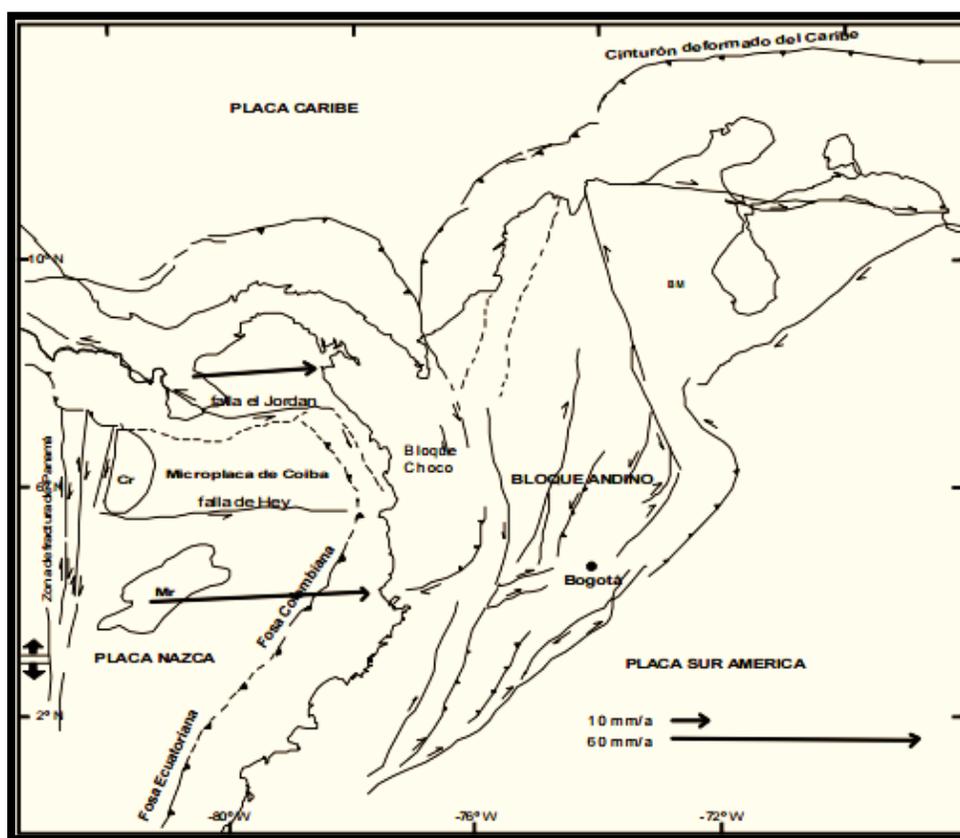


Figura 4. Esquema tectónico del norte de los Andes. Las flechas indican los desplazamientos relativos con respecto a Suramérica (tomado de Trenkamp et al., 2002).

El caso de estudio se caracteriza por la ocurrencia de sismos profundos y destructivos, producto de la interacción de las placas tectónicas. La subducción Este y Oeste de la placa Nazca bajo Colombia que se infiere por la orientación y profundidad focal de los sismos; los más someros se presentan en el océano

pacífico, cerca de la costa, y van aumentando en profundidad hacia el continente según (Tabares Ocampo, 1999) ver (Figura 4).

Teniendo en cuenta los eventos generados en las zonas limitantes con las placas tectónicas (Pennington, 1981) definió tres segmentos de litosfera subducida al norte y sur de los Andes las cuales denominó Bucaramanga, Cauca y Ecuador. Siendo el segmento de Cauca descrito por (Pennington, 1981) como una zona de sismicidad de profundidad intermedia con mecanismos focales normales y cadenas volcánicas sismicidad que afecta el área de estudio (departamentos de Caldas, Risaralda).

Gracias a estos estudios previos se ha considerado el triángulo del café como un área de sismicidad profunda, con una gran capacidad destructora evidenciada con los episodios:

- 4 de febrero de 1938 sismo generado en la ciudad de Manizales a una profundidad de 160 km y magnitud 7 en la escala de Richter, con una intensidad VII A VIII.
- 24 de abril de 1973 cerca de Anserma, sismo de magnitud 5,5 e intensidad VII con una profundidad de 118 km.
- 8 de febrero de 1995, con una magnitud Richter de 6, profundidad focal de 102km, que afectó notablemente a Pereira.
- 25 de enero de 1999, sismo con magnitud 6,2, el cual afectó considerablemente al Departamento del Quindío y parcialmente los departamentos de Risaralda, Valle, Tolima y Caldas.
- Según los registros históricos Manizales ha sido amenazada en los años 1938, 1961-62, 1979 y 1995, por fuertes eventos sísmicos con magnitudes cercanas a los 7 grados, producto de la actividad geoestructural generada por la fricción del sistema de fallas Cauca – Romeral y la actividad magmática del nevado del Ruiz.
- El municipio de Pereira en su historia ha evidenciado sismos con magnitudes superiores a 6 en la escala de Richter en los años 1906, 1938, 1961, 1962, 1979, 1991, 1995, 1999 generando muertes y desplome de infraestructura.

6.2 Geología Estructural del Eje Cafetero

Según el mapa geológico colombiano del año 2015 (SGC, 2015), La cinemática y la convergencia heterogénea, existente entre las placas Nazca y Suramérica y su evolución con el paso del tiempo ha generado la intensidad de los procesos tectónicos activos, la compleja interacción de convergencia es asumida al interior del continente en relaciones estructurales en el dominio de campos de esfuerzos particionados desde la misma zona de acople de las placas. Las nuevas tecnologías de posicionamiento global (GPS), han permitido tener una visión más clara en la orientación y el tipo de movimiento de los esfuerzos regionales, brindando información de la dirección predominante para las fallas limitantes en este caso con las placas Nazca y suramericana y siendo de gran importancia en la sociedad para llevar un control estructural en las diferentes localidades.

Gracias a los registros y a las investigaciones que se han llevado a cabo por un gran periodo de tiempo se tiene una extensa información de las fallas que componen a todo el territorio colombiano y en especial en el caso estudio las cuales serán descritas posteriormente.

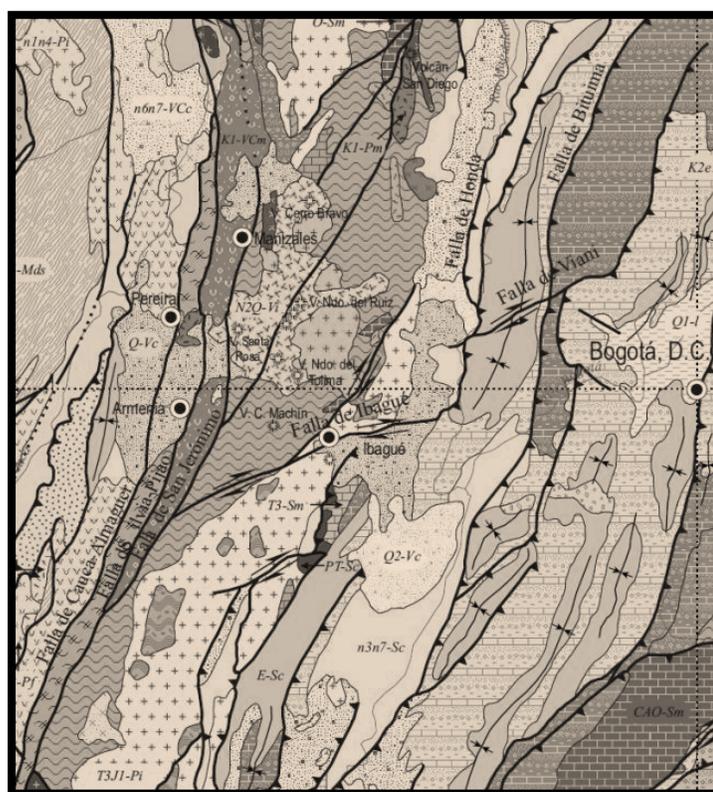


Figura 5. Mapa geotectónico regional sector Eje Cafetero – Bogotá tomado de GODUES.

- **Geología Estructural del Departamento de Caldas**

El mapa tectónico estructural indica que el departamento de caldas actualmente se localiza en el límite geológico - geográfico entre las cordilleras Central y Occidental la cuales se encuentran dominadas por un sistema de fallas aproximadamente paralelas, representadas por las Fallas de Romeral, dentro del cual se ubica el caso a estudiar, y al este por las fallas de Palestina y Mulatos con direcciones variables entre noreste – suroeste que coinciden con las direcciones generales de los sistemas tectónicos de la cadena Andina. El segundo sistema tiene dirección aproximada noroeste – sureste y está constituido por la falla de Salamina – Marulanda y el alineamiento del Río Arma según (González, 1993). Esta información ha sido corroborada con estudios realizados en Caldas donde se han encontrado plegamientos, lineamientos, controles estructurales de quebradas, facetas triangulares, análisis fotogeológicos etc, aportando una información acertada de la geología estructural presente en la zona.

- **Geología Estructural del Departamento de Risaralda**

Según los estudios ambientales, realizados por la CARDER, se han evidenciado para el territorio risaraldense 37 fallas geológicas aproximadamente, presentando alrededor de 64 segmentos que inciden en los 14 municipios del departamento. Risaralda actualmente es atravesada por el Sistema de Fallas de Cauca- Romeral, al igual que Caldas y Quindío la cual está dominada por numerosas fallas subparalelas. La alta actividad tectónica que presenta la región occidental de Suramérica es evidenciada por el fuerte fracturamiento que presentan las rocas de la corteza terrestre.

6.3 Movimientos en Masa Eje Cafetero

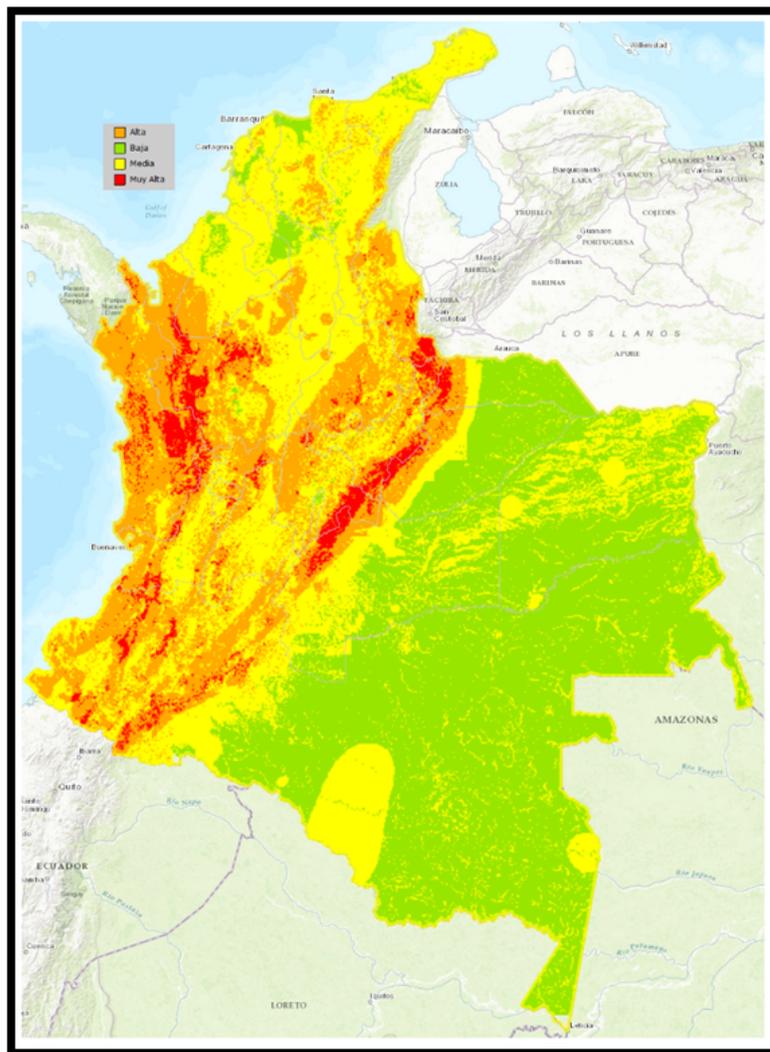


Figura 6. Mapa de Amenaza por Remoción en Masa para Colombia tomado (Colombiano, SIMMA, s.f.)

Los movimientos de masa son un fenómeno frecuente en Colombia, actualmente se tienen sistemas de posicionamiento global como los SAR (Radar de Apertura Sintética) para medir la deformación que generan los deslizamientos, pero su ocurrencia no se puede prever con facilidad. Este fenómeno ha sido causante de grandes pérdidas económicas y de vidas humanas, lo cual es evidenciado por (DESINVENTAR, 2001), que en su estudio reporta para Colombia, entre los años 1921 y 2001, 3.243 movimientos en masa que afectaron 11.085 viviendas y destruyeron otras 7.063.

En Colombia se han realizado diversos estudios sobre movimientos en masa enfocados a evaluar la susceptibilidad y la amenaza, sin embargo, han sido pocas las oportunidades de evaluar la acción conjunta de dos de los principales factores de disparo, como son los sismos y las lluvias.

El área de estudio está cruzada estratégicamente por las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena, cuenta en su mayoría con todas las expresiones de ecosistemas y de pisos térmicos existentes siendo más susceptible a inestabilidades en los taludes, presenta características geológicas y geomorfológicas similares, las cuales determinan la existencia de diferentes amenazas que, conjugadas con las condiciones de vulnerabilidad, configuran diferentes escenarios compartidos de riesgo que al no recibir un oportuno tratamiento pueden generar grandes catástrofes naturales.

El componente climático, sísmico, estructural y el situarse sobre una serie de cadenas montañosas facilitan que los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío sean más vulnerables o expuestos a los movimientos en masa.

6.4 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Con la importancia que tiene la construcción de un insumo que permita el buen desarrollo y la mejora de la infraestructura de gas en los municipios de Manizales – Caldas y Pereira - Risaralda, es indispensable acoplar las diversas herramientas de compilación, distribución y diseño de la información con las diferentes herramientas software que hacen parte de los sistemas de información geográfica (SIG), con los cuales se pretende generar una base de datos que permita tener un mejor control en las tuberías existentes ante fenómenos naturales, que incluye eventos sísmicos, remociones en masa en el área de estudio, actividad de las fallas geológicas representativas de los departamentos a analizar y las redes de gas donde actualmente EFIGAS S.A distribuye gas domiciliario.

Con los SIG se pretende entonces conocer la tipología, distribución geográfica de cada uno de los elementos a tener en cuenta en el caso estudio, e identificar áreas donde la tubería presenta mayor vulnerabilidad.

Los SIG han evolucionado a grandes pasos durante el tiempo y son múltiples los conceptos aportados por diferentes investigadores, lo cual ha permitido concluir que los SIG son un sistema informático compuesto de software y hardware, diseñados para soluciones a problemas sin tener contacto con el objeto, implementando bases de datos y permitiendo tener información georreferenciada para la localización de los eventos, mapas, visualización de diferentes escenarios, gráficos, análisis estadísticos, etc, facilitando la toma de decisiones.

6.5 Componentes de un SIG

Los sistemas de información geográfica como sistema se componen de:

- **Hardware:** Conjunto de elementos físicos y materiales (servidores, computadores) que facilitan la manipulación de las bases de datos y los programas SIG.
- **Programas o Software:** Administradores de bases de datos, que permiten la visualización, almacenamiento, diseño, análisis e integración de la información.
- **Datos:** Representación de un atributo o una variable cuantitativa que diferencian a los SIG de otros sistemas de información. La calidad de la base de datos determina la eficiencia y eficacia de los resultados obtenidos por medio del SIG.
- **Procedimientos:** Técnicas implementadas por los usuarios que tienen contacto con los sistemas de información geográfica, para llevar a cabo sus fines, en las cuales se realizan actividades como captura de datos (datos alfanuméricos, digitalización), estructuración, edición, actualización de información, entre otros.
- **Recurso Humano:** Personal compuesto por analistas, desarrolladores, administradores, programadores, y usuarios encargados de operar, editar y administrar el SIG, facilitando el establecimiento de la estructura del mismo, para la toma de decisiones en lo relacionado a procesos propios del sistema.

6.6 Funciones de un SIG

- **Captura de la información:** Funciones por medio de las cuales, se obtiene la información geográfica y espacial, para la generación de procedimientos que permitan dar soluciones a diferentes problemáticas. Esta información se puede adquirir por:
 - Levantamiento topográfico.
 - Fotogrametría.
 - Teledetección.
 - Muestreo en campo y encuestas.
 - Bibliografía, censos, etc.

- **Gestión de información:** Permite realizar diversas operaciones sistemáticas para facilitar la estructuración de la información, tales como administrar la base de datos, generar capas superpuestas, realizar modelos, cambios de escalas y trabajar con imágenes ráster. Con el fin de focalizar el área de interés y lograr un mejor entendimiento de los componentes del caso estudio y de esta manera dar soluciones efectivas a los cuestionamientos a los que se les desea dar respuesta.
- **Análisis de datos:** procesamiento y manipulación de los datos, por el cual se pretende generar nueva información, que permita la posterior toma de decisiones para llegar a una solución, apoyándose en:
 - Consultas a la base de datos
 - Realización de pruebas y modelos
 - Generación de análisis temporales y
 - Ejecución estudios complejos.
- **Salida:** Resultado final que permite al usuario el entendimiento de los resultados a los cuestionamientos, los cuales pueden ser representados por mapas, gráficas, tablas, listados.

6.7 Bases de Datos Geográficas

“Una base de datos geográfica es una colección de datos organizados de tal manera que sirvan efectivamente para una o varias aplicaciones SIG. Esta base de datos comprende la asociación entre sus dos principales componentes: Datos espaciales y atributos o datos no espaciales”. [ESRI, 1998].

Las bases de datos geográficas son colecciones de datos espaciales que permiten la localización de un punto en una determinada área de la tierra; estas bases están almacenadas y organizadas sistemáticamente con el fin de servir eficientemente a una o varias aplicaciones. Cada una de las estructuras de las bases de datos geográficas contiene un vínculo localizado en un campo clave que contiene un número identificador para cada uno de los objetos el cual hace parte de atributos gráficos y no gráficos.

Las bases de datos almacenan los atributos de cada uno de los objetos cartográficos, que en un SIG son representados en capas vectoriales que contienen la tipología y geometría de cada representación, los cuales son organizados por capas de información, llamadas también niveles.

6.8 Tecnología ArcGis

ARCGIS es una tecnología pionera en los Sistemas de Información Geográfica, esta herramienta ha sido actualizada, mejorada y modificada desde hace más de 30 años por la compañía ESRI (Environmental Systems Research Institute) y se ha ido incorporando en el mercado con nuevos avances, que han permitido agilizar los procesos, facilitar el análisis y realizar numerosos estudios con el fin de dar solución a los problemas que afronta el mundo, las sociedades, la política, el medio ambiente, la geología etc. Lo anterior es gracias a que la tecnología ARCGIS está compuesta de una gama escalable de productos software que comparten la misma arquitectura de componentes (ArcObjects) lo cual permite crear, administrar, manipular, editar, analizar y distribuir la información geográfica de una manera más cómoda.

Actualmente ARCGIS ha evolucionado en el mercado no solo por sus innumerables funciones y por ser un herramienta óptima para la elaboración de mapas sino que es también una infraestructura basada en la nube que posibilita la colaboración y el uso compartido de la información geográfica haciéndola una tecnología más amigable para su uso.

6.9 Función Álgebra de Mapas de ArcGis

El álgebra de mapas está conformada por un conjunto de variables (los mapas), expresiones y funciones, los cuales, a través de una sintaxis adecuada, permiten la obtención de nuevos resultados geográficos. Las funciones que se implementan en las calculadoras de mapas son, un subconjunto de funciones que se pueden denominar aritmética de mapas. El concepto de álgebra de mapas constituye sin embargo no una herramienta puntual, sino un completo marco de trabajo para el manejo de capas ráster y, muy especialmente, el análisis encaminado a la obtención de nuevos resultados.

A través del algebra de mapas se pueden ejecutar todas las herramientas, los operadores y las funciones de Spatial Analyst para realizar análisis geográficos en ArcGis.

Esta función de la tecnología ArcGis, permite ejecutar complejas operaciones de álgebra con una o varias imágenes para generar un resultado visual.

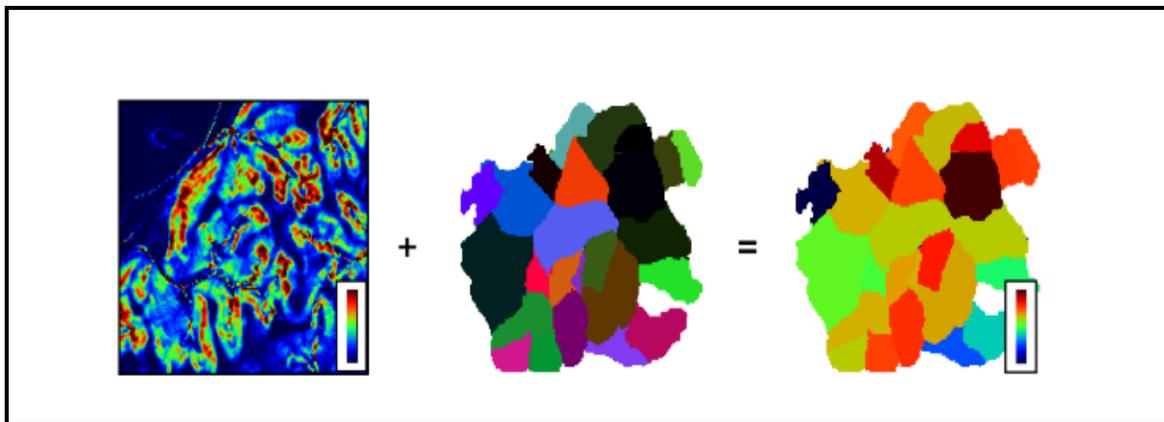


Figura 7. Ejemplo de valores de pérdidas de suelo por sub-cuenca tomado de (Olaya, s.f.)

- **Tipos de Funciones en el Álgebra de Mapas**

Las funciones son el elemento principal del álgebra de mapas. Se divide en cuatro tipos de funciones principales, agrupadas según la forma en que toman la información necesaria para su cálculo de entre la contenida en todas las celdas de las capas de origen.

Local. El valor en cada celda de la capa resultante es función únicamente de los valores en esa misma celda en las capas de partida.

Focal. El valor en cada celda de la capa resultante es función del valor en dicha celda y en las situadas en un entorno definido alrededor de la misma.

Zonal o regional. El valor en cada celda de la capa resultante es función del valor de todas las celdas conectadas a esta que presentan un mismo valor para una de las capas de entrada (pertenecen a la misma clase que esta).

Global. El valor resultante de la función es obtenido a partir de todas las celdas de la capa.

La combinación de cada una de las funciones con enfoques variados da lugar a un enorme conjunto de operaciones de análisis basados en el álgebra de mapas. Este conjunto es el que dota de toda su potencia a los SIG como herramientas de análisis del medio, y permite extraer de los datos geográficos en formato ráster toda la información que realmente contienen.

6.10 Riesgo

El riesgo es la probabilidad de que ocurra un hecho adverso. Es la combinación de la probabilidad de la ocurrencia de un evento adverso y la magnitud del impacto que se puede causar, así mismo es la incertidumbre frente a la ocurrencia de eventos y situaciones que afecten los beneficios de una actividad. En la actualidad todas las compañías del mundo buscan evaluar el riesgo como prevención ante daños, desastres, pérdidas etc. (Ucha, 2008)

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

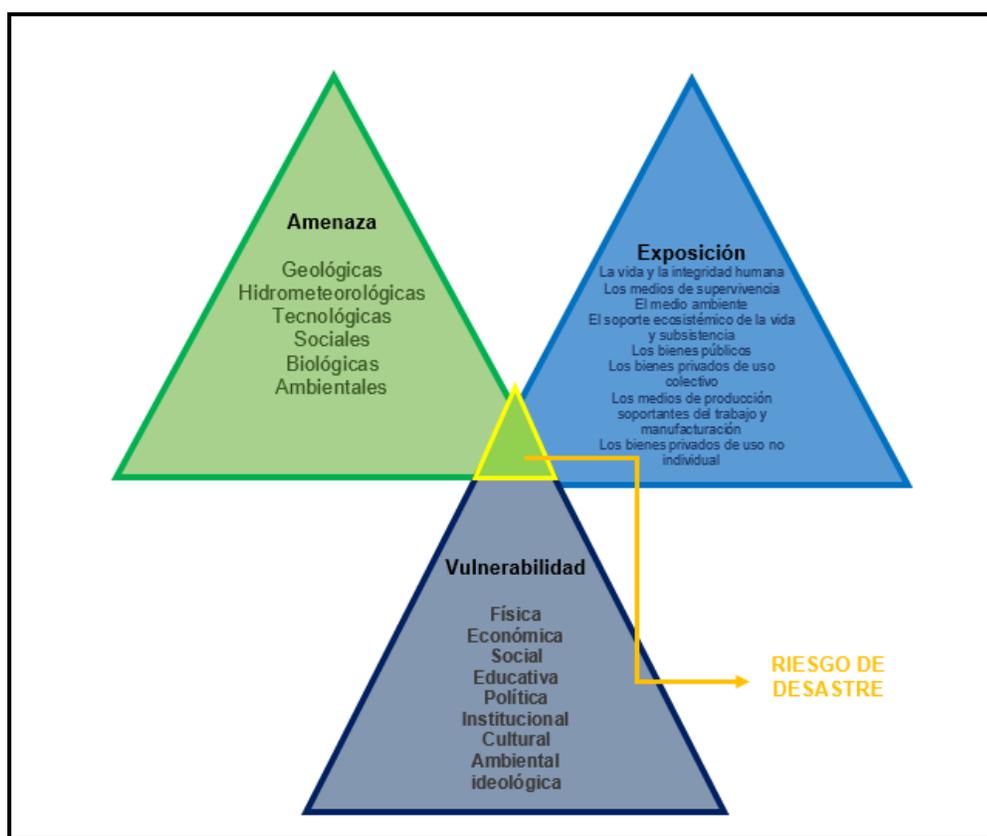


Figura 8. Relación entre la amenaza, vulnerabilidad y exposición. (Rodríguez, 2011).

Los riesgos se pueden clasificar en:

- **Riesgo Físico**

Ruido.

Presión.

Temperatura.

Iluminación.

Vibraciones, sismicidad

Radiación Ionizante y no Ionizante.

Temperaturas Extremas (Frío, Calor, Clima).

Radiación Infrarroja y Ultravioleta.

- **Riesgo Químico**

Polvos.

Vapores.

Líquidos.

Disolventes.

- **Riesgo Biológico**

Anquilostomiasis.

Carbunco.

La Alergía.

Muermo.

Tétanos.

Espiroquetosis Icterohemorrágica.

- **Riesgo Ergonómico.**

- **Riesgo Psicosocial:**

Stress.

6.11 Amenaza

Factor externo de riesgo, con respecto al sujeto o sistema expuesto vulnerable, representado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generada por la actividad humana, con una magnitud dada, que puede manifestarse en un sitio específico y con una duración determinada, suficiente para producir efectos adversos en las personas, comunidades, producción, infraestructura, bienes, servicios, ambientes y demás dimensiones de la sociedad. (Bembibre, 2010)

Para identificar la amenaza es necesario en primer lugar conocer los eventos no deseados que se puede presentar en el sistema bajo estudio.

La amenaza en la distribución de gas natural se divide en:

- **Amenazas internas**

Distribución de gas inflamante a presión

- **Amenazas Externas**

Naturales

Humanas

Tecnológicas

6.12 Vulnerabilidad

Está íntimamente relacionado con el riesgo y la amenaza y se puede definir como la debilidad o grado de exposición de un sujeto, objeto o sistema. (Raffino, 2019)

Es el factor complejo interno de riesgo o sistema que corresponde al grado de exposición a sufrir algún daño por la manifestación de una amenaza específica, ya sea de origen natural o antrópico, debido a su disposición intrínseca de ser dañado. Tienen un carácter multidimensional, el cual se expresa a través de diversas dimensiones: físico, cultural, psico-social, ambiental, económico, político e institucional.

(Wilches-Chaux, 1989) sostiene que una sociedad puede enfrentar distintas vulnerabilidades y las clasifica de la siguiente manera:

- **Vulnerabilidad natural**

Los seres humanos necesitan ciertas condiciones ambientales y sociales para poder desarrollarse. La vulnerabilidad natural de los ecosistemas de los distintos países se incrementó diferencialmente, provocando la resistencia de la población

a condiciones ambientales severas y a veces haciéndola más vulnerable frente a ellas.

- **Vulnerabilidad física**

Se refiere a la localización de la población en zona de riesgo físico, condición provocada por la pobreza y la falta de oportunidades para una ubicación de menor riesgo (condiciones ambientales y de los ecosistemas, localización de asentamientos humanos en zonas de riesgo).

- **Vulnerabilidad económica**

Se observa una relación indirecta entre los ingresos en los niveles nacional, regional, local o poblacional y el impacto de los fenómenos físicos extremos. Es decir, la pobreza aumenta el riesgo de desastre (vulnerabilidad de los sectores más deprimidos, desempleo, insuficiencia de ingresos, explotación, inestabilidad laboral, dificultad de acceso a los servicios de educación, salud, ocio).

- **Vulnerabilidad social**

Se produce un grado deficiente de organización y cohesión interna de la sociedad bajo riesgo, que limita su capacidad de prevenir, mitigar o responder a situaciones de desastres (tipo de acceso al saneamiento ambiental, nutrición infantil, servicios básicos, que permitan la recuperación de los daños ocurridos).

- **Vulnerabilidad política**

Concentración de la toma de decisiones, centralismo en la organización gubernamental y la debilidad en la autonomía de los ámbitos regionales, locales y comunitarios, lo que impide afrontar los problemas. (autonomía en el poder de decisión y de solucionar problemas).

- **Vulnerabilidad técnica**

Se refiere a las inadecuadas técnicas de construcción de edificios e infraestructura básica utilizadas en áreas de riesgo (incapacidad de control y manejo de las tecnologías frente a los riesgos).

- **Vulnerabilidad ideológica**

alude a la forma y concepción del mundo y el medio ambiente donde se habita y con el cual se relaciona y la posibilidad de enfrentar los problemas. La pasividad, fatalismo, presencia de mitos, aumentan la vulnerabilidad de la población.

- **Vulnerabilidad educativa**

falta de programas educativos que proporcionen información sobre el medio ambiente, sobre el entorno, los desequilibrios y las formas adecuadas de comportamiento individual o colectivo en caso de amenaza o de situación de desastre (conocimiento de las realidades locales y regionales para hacer frente a los problemas).

- **Vulnerabilidad cultural**

refiere a la forma en que los individuos y la sociedad conforman el conjunto nacional y el papel que juegan los medios de comunicación en la consolidación de estereotipos o en la transmisión de información relacionada con el medio ambiente y los potenciales o reales desastres (influencia de la personalidad de los habitantes que se identifican con un modelo de sociedad, influencias de los medios masivos de comunicación frente a los riesgos).

- **Vulnerabilidad ecológica**

relacionada a la convivencia con el medio ambiente, sin la dominación por destrucción (vulnerabilidad de los ecosistemas frente a los efectos directos o indirectos de la acción humana, y por otra, altos riesgos para las comunidades que los explotan o habitan).

- **Vulnerabilidad institucional**

obsolescencia y la rigidez de las instituciones, en las cuales la burocracia, la prevalencia de la decisión política, el dominio de criterios personalistas, impiden respuestas adecuadas y ágiles a la realidad existentes y demoran el tratamiento de los riesgos o sus efectos.

7.Hipótesis de Investigación

El diseño e implementación de mapas que muestren diferentes escenarios de riesgo para las tuberías de gas natural domiciliario haciendo uso de Tecnologías de Información Geográfica, permitirá obtener un insumo para la mejora de la gestión del riesgo en relación a la sismicidad, movimientos en masa y actividad de fallas geológicas, en la red de distribución de gas operada por EFIGAS S.A en los municipios de Manizales – Caldas y Pereira- Risaralda.

8. Metodología

8.1 Enfoque Metodológico

El proyecto investigativo se enmarcó bajo la perspectiva metodológica cuantitativa, ya que el objetivo principal del trabajo se enfoca en la generación de diferentes escenarios de riesgo que permitan medir la vulnerabilidad de las redes de gas generada por los fenómenos naturales de sismicidad, remoción en masa y actividad de fallas geológicas en los municipios de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda.

8.2 Tipo de Estudio

Para el presente estudio se propuso una metodología cuantitativa de tipo exploratoria y correlacional ya que cumple con los siguientes ítems:

Cuantitativo Exploratorio:

- El problema del trabajo investigativo no se ha estudiado dentro de la compañía EFIGAS S.A E.S.P.
- La investigación promete identificar áreas de vulnerabilidad de los municipios de Manizales – Caldas y Pereira - Risaralda para proteger no solo la infraestructura de gas natural de la compañía, sino también propender por el bienestar de los aliados estratégicos de la entidad.
- El proyecto busca ser una herramienta base para la generación de un plan estratégico de riesgo futuro para las redes de distribución de gas natural y contribuir a las mejores prácticas que actualmente se están ejecutando en las áreas de seguridad y salud en el trabajo y ambiental de la institución.

Cuantitativo Correlacional:

- La investigación pretende por medio de la ejecución del proceso algebra de mapas predecir las áreas donde las redes de gas son vulnerables a diferentes fenómenos naturales.
- Para la ejecución de los geoprocesos propuestos en el proyecto investigativo se emplean diferentes variables significativas para la generación del producto.

8.3 Diseño de la Investigación

El desarrollo de la investigación se inició con la recopilación bibliográfica en un marco mundial, donde se analizó diferentes estudios publicados, para proporcionar un contexto y una justificación a la estructura del trabajo. Esto en conjunto con una fase de campo la cual constó de tres parámetros fundamentales, los cuales brindaron las bases principales para la construcción del trabajo (Figura 11). La información de interés plasmada en el proyecto se generó con la ayuda de los estudios y los registros obtenidos por el Servicio Geológico Colombiano y el Plan de Ordenamiento Territorial de las alcaldías de los municipios de Manizales y Pereira y se dividen así:

- **Mapa de Riesgo y Amenaza por Movimientos en Masa de los Municipios de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda.**

Actualmente todas las alcaldías de cada municipio de Colombia deben cumplir con el desarrollo de un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) que es un instrumento técnico y normativo de planeación y gestión del territorio a largo plazo, el cual se formula para orientar el desarrollo de los municipios para los próximos años y permite regular la utilización, ocupación y transformación del espacio físico, tanto urbano, como rural. El foco principal de este documento es el desarrollo de un mapa de riesgo y para la creación del modelo se contempla la amenaza por movimiento ya que por la ubicación geográfica del eje cafetería y su estructura geológica hace a la zona más vulnerable ante deslizamientos como se muestra en el (Figura 9).

La información adquirida por las diferentes entidades públicas fue suministrada en tanto en formato PDF como en geodatabase y en la actualidad gran parte de los datos están disponibles por la ley de datos abiertos para todos los usuarios que lo requieran.

Para el proyecto de maestría la información fue solicitada a las alcaldías de Manizales y Pereira y para la ejecución de los escenarios de riesgo las bases de datos logradas se convirtieron a formato ráster a igual tamaño de pixel con el fin de tener la información homogeneizada.



Figura 9. Inestabilidad del terreno ocurrida en noviembre 18 del 2011 deja a 492 usuarios del eje cafetero y del valle sin gas natural. (Tomado de la página de la PATRIA).

- **Mapa de Amenaza Sísmica en los Municipios de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda.**

El Servicio Geológico Colombiano, cuenta con una plataforma que permite la consulta y descarga de la información generada por medio de trabajos investigativos relacionados a geociencias básicas y aplicadas al subsuelo, el potencial de recursos, la evaluación y monitoreo de amenazas de origen geológico, con el fin de atender las necesidades de la política nacional.

Actualmente la entidad del estado ha incorporado en su infraestructura una serie de visores de uso público, relacionados con la sismicidad (Figura 10) nivel nacional (Colombiano, Servicio Geológico Colombiano, s.f.), por el cual se extrajo la información relacionada con la amenaza sísmica en los municipios de Manizales y Pereira para el desarrollo del trabajo investigativo, lo cual fue convertido a formato ráster a la escala de los demás archivos para lograr una eficiente interacción entre cada una de las capas a emplear.

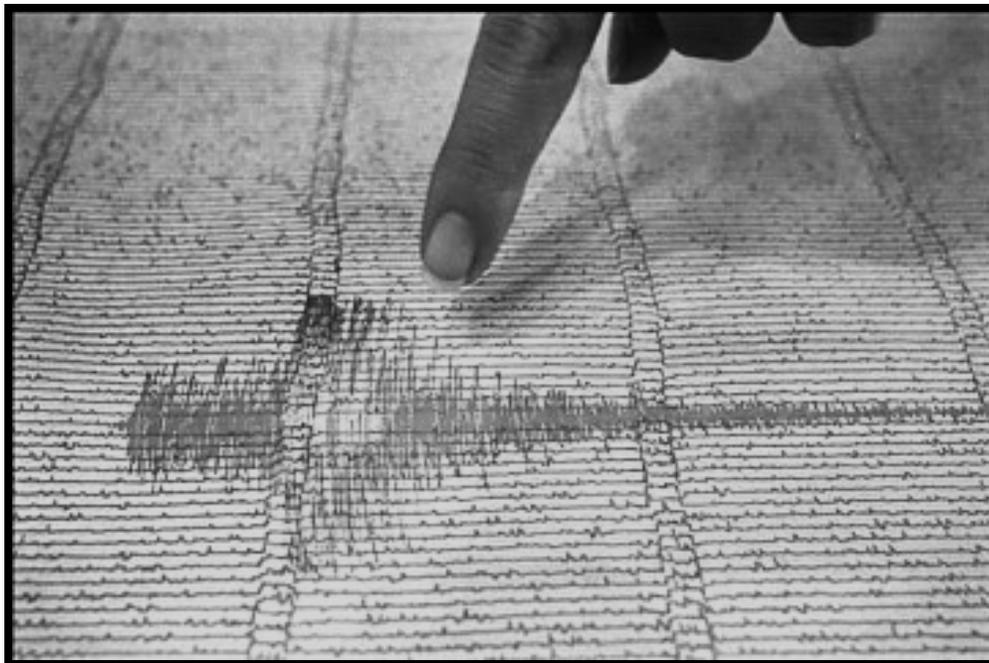


Figura 10. Registro sísmico, tomado de una publicación realizada por Santander hoy el día 24 de febrero del 2012.

- **Mapa de Geología Estructural en los Municipios de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda.**

Con base a los mapas generados por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) en formato PDF, para las ciudades de Manizales y Pereira se redigitalizaron las fallas monitoreadas para cada uno de los municipios en formato shape y posteriormente se convirtieron a formato ráster para generar consistencia con la información existente.

8.4 Operacionalización de Variables

Cada uno de los ráster empleados para el desarrollo del trabajo investigativo están representados por rangos de amenaza que van en intervalos de 1 al 5 siendo 5 la amenaza más alta y 1 las más baja.

Para la creación de los escenarios de riesgo para las tuberías de gas natural en los municipios de Manizales y Pereira, se definió un índice que correlaciona las diferentes variables a estudiar mediante el uso de álgebra de mapas empleando tecnología ARCGIS. Para lograr el resultado esperado cada una de las capas

espaciales empleadas para la generación de los diferentes escenarios de riesgo, fueron convertidas en formato ráster cumpliendo con el mismo tamaño del pixel.

El producto final serán mapas con diferentes escenarios de riesgo para el gasoducto de distribución de gas de EFIGAS S.A que servirá como insumo base para el posterior desarrollo de un plan estratégico de riesgo en la compañía.

8.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

La base de la información del proyecto investigativo, corresponde a los resultados arrojados por los trabajos que se han ejecutado en el Servicio Geológico Colombiano, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de las alcaldías de Manizales - Pereira y el registro histórico de las redes de EFIGAS S.A.

Para la adquisición del mapa geológico y el mapa de amenaza y riesgo por remoción en masa de los municipios de Manizales y Pereira, fue necesario crear un oficio dirigido a las diferentes alcaldías, donde se debía explicar por qué y el para qué de la solicitud de la información; posteriormente la información fue organizada y geoprocesada.

La información de amenaza por sismicidad en las ciudades de Manizales – Caldas y Pereira - Risaralda, se descargó de la plataforma del Servicio Geológico Colombiano que actualmente está abierta para la consulta pública. Posteriormente se le modificó la escala.

EFIGAS S.A actualmente posee una plataforma SIG, la cual se alimenta continuamente con cada una de las redes que son construidas en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío. Para anclar la información de la compañía fue necesario extraer las redes de Manizales y Pereira existentes en el software y convertirla a formato ráster y al mismo tamaño de pixel de las demás capas para generar los resultados propuestos.

8.6 Descripción Funcional del Sistema

La empresa privada de gas natural EFIGAS S.A, presta sus servicios a treinta y dos municipios de los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío por medio de tuberías de polietileno, que presentan diferentes diámetros y longitudes dependiendo de los requerimientos del proyecto que se desee llevar a cabo. Estos ductos son principalmente de dos tipos:

El primero corresponde a tuberías troncales constituidas por diámetros mayores a 1" y se encuentran generalmente distribuidas por las vías principales de cada localidad, las segundas son tuberías de anillo que oscilan en rangos menores a $\frac{3}{4}$ ",

estas tuberías recorren y atraviesan las vías internas y las manzanas de cada municipio, para entregarle el gas natural a cada uno de los clientes estratégicos de la compañía por medio de acometidas.

Con el interés de identificar los escenarios de riesgo en las tuberías existentes en las ciudades capitales de los departamentos de Caldas y Risaralda y con la finalidad de prevenir pérdidas humanas y daños en la infraestructura de gas, se compiló la información de la amenaza por sismicidad, amenaza por remoción en masa, y se identificaron las fallas locales de los municipios de Manizales y Pereira, para identificar por medio de la herramienta algebra de mapas las tuberías vulnerables antes los fenómenos naturales mencionados.

Descripción de los eventos naturales para el caso estudio:

- **Evento Sísmico:** movimiento de la superficie terrestre, generado por vulcanismo o fricción de las estructuras geológicas, categorizado en el sistema por la fecha del evento, la magnitud y profundidad, factores de gran importancia puesto que definen el grado de peligrosidad del sismo.
- **Evento de Remoción en Masa:** Desprendimiento de tierra que para el caso estudio esta subdividido en tipo de movimiento, grado de importancia y la vereda en la que se dio lugar al desprendimiento de talud.
- **Fallas Geológicas:** Término empleado para definir el fracturamiento, ruptura y desgaste de la corteza terrestre, este ítem está constituido por el nombre y tipo de falla además de la actividad de la misma y de esta manera tener un mayor conocimiento de la estructura. Las fallas geológicas atraviesan los municipios y los municipios son atravesados por una o más fallas geológicas.

8.7 Análisis Datos Fuente

Para la creación de las imágenes ráster se tuvieron en cuenta siete (7) capas en formato shape para cada una de las ciudades capitales de los departamentos de Caldas y Risaralda procedentes de cinco fuentes principalmente divididas así:

Fuente SIGGAS EFIGAS S.A: Gracias a la colaboración del área de ingeniería de la empresa EFIGAS S.A se logró obtener los shapefiles de las redes de gas y pendientes de las localidades de Manizales y Pereira. El diseño de la tubería de transporte de gas junto son insumos correspondientes a los levantamientos que funcionarios expertos en el tema de distribución de gas realizan en campo, donde la información es levantada haciendo uso de un receptor GPS con precisión entre 3 y 5 metros complementando las medidas con cinta métrica.

Fuente Servicio Geológico Colombiano: Para la generación de los shapets de amenaza sísmica y fallas de la zona estudio, se descargó las bases de datos espaciales libres localizadas en la página del Servicio Geológico Colombiano los cuales fueron extraídos de la web a escala 1:10.000.

Fuente Sigot - Instituto Geográfico Agustín Codazzi: La capa de precipitación disponible en el SIG corresponde a información suministrada por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), la erosión a escala 1:500000 y la capa tipos de suelos a escala 1:100000 fueron exportadas de los datos libres que actualmente se suministran en la página para consulta externa (SIGOT, s.f.).

Fuente Alcaldía de Manizales: El mapa de amenaza por remoción fue facilitado por la alcaldía de Manizales y es producto del trabajo realizado para el plan de ordenamiento territorial del municipio escala 1:5.000

Fuente Alcaldía de Pereira: El mapa de amenaza por remoción fue facilitado por la alcaldía de Pereira y es producto del trabajo realizado para el plan de ordenamiento territorial del municipio escala 1:2.000.

8.8 Diseño de la Base de Datos Espacial

El diseño de la base de datos espacial corresponde a la construcción del modelo lógico donde se abstrae la realidad y se convierte a formato vectorial o ráster.

El caso estudio se llevó a cabo para cuatro capas correspondientes a cada uno de los municipios de Manizales y Pereira las cuales fueron transformadas a formato ráster, todas con unas características en común; el tamaño del pixel de cada una de imágenes fue de un metro (1m) y proyectadas en el sistema de coordenadas Magna Colombia Oeste.

8.9 Requerimientos

Obtener una herramienta gráfica y espacial que permita identificar y analizar los siguientes ítems:

- Examinar los fenómenos naturales (eventos sísmicos, remoción en masa y fallamiento) causante de las posibles rupturas, desgaste o deformación mecánica de las tuberías de gas de EFIGAS S.A. en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío.

- Identificar las posibles tuberías en riesgos para la implementación futura de un escenario de riesgo y evitar daños en el presente y al futuro.
- Verificar las variaciones en la vulnerabilidad en las redes gas de los municipios de Manizales y Pereira, al cambiar los patrones de amenaza por los fenómenos naturales en el caso estudio.
- Evidenciar áreas donde la tubería presentan mayor vulnerabilidad.
- Generar un insumo base para la generación de plan de emergencias que contribuya a reducir el riesgo en las posibles zonas que puedan sufrir afectación ante la reactivación de un evento natural.

8.10 Fórmula Herramienta Álgebra de Mapas

La primera fórmula aplicada en la herramienta algebra de mapas, está compuesta por la suma de las variables de tubería, sismicidad, fallamiento local, erosión, precipitación, tipo de suelo y pendiente. Cada variable es multiplicada por un porcentaje lo cual permite identificar como aumenta o disminuye la vulnerabilidad física (V) de las tuberías en relación con los fenómenos propuestos, mediante la siguiente expresión:

$$V = T * W1 + S * W2 + F * W3 + E * W4 + P * W5 + TS * W6 + PE * W7 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^3 W_i = 1.0 \quad (2)$$

Donde T es la variable que representa el diámetro de la tubería, S la sismicidad ocurrida en los municipios de Pereira y Manizales, F es la variable de fallas geológicas (si/no) intersectada con la tubería, E erosión del área de estudio, P rango de precipitación del terreno, TS tipo de suelo y PE pendiente del terreno. A cada variable se le asignó un peso (W_i), de acuerdo a la (Tabla 3).

Tabla 3. Definición de variables y descripción de pesos W para los municipios de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda.

| VARIABLE | MODELO | MODELO | MODELO | MODELO |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | PESO (W) | PESO (W) | PESO (W) | PESO (W) |
| T (Diámetro Tubería) | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.7 |
| S (Sismicidad) | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |

| | | | | |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| F (Falla geológica) | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.3 |
| E (Erosión) | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.2 |
| P (Rango Precipitación) | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.3 |
| TS (Tipo de suelo) | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |
| PE (Pendiente Terreno) | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 0,6 |

La segunda fórmula propuesta para el trabajo realizado en las ciudades capitales de los departamentos de Caldas y Risaralda mide el riesgo por movimientos en masa (R_{mm}) y por sismicidad (R_s) en cada una de las localidades, multiplicando la suma de las vulnerabilidades por la amenaza por remoción en masa (A_{mm}) ó por la amenaza sísmica (A_s):

$$R_{mm} = A_{mm} * V \quad (3)$$

$$R_s = A_s * V \quad (4)$$

8.11 Plan de Análisis

Los escenarios de riesgos propuestos se desarrollaron empleando tecnología ARCGIS y las capas utilizadas para el geoprocresamiento se representaron en el sistema de coordenadas Magna Colombia Oeste.

El análisis de los datos cuantitativos se realizó llevando a cabo los siguientes parámetros:

- Uso del software ArcGis para el análisis y procesamiento de los datos.
- Se ejecuta la herramienta álgebra de mapas de la tecnología ArcGis para creación de nuevas capas de información.
- Se evaluó la confiabilidad de los datos logrados, validando la consistencia de la información adquirida con los datos base.
- Se eligió una escala de 1 a 5 de manera arbitraria, de acuerdo a los diferentes valores que tomaban las variables.

Los resultados gráficos arrojados se analizaron e interpretaron.

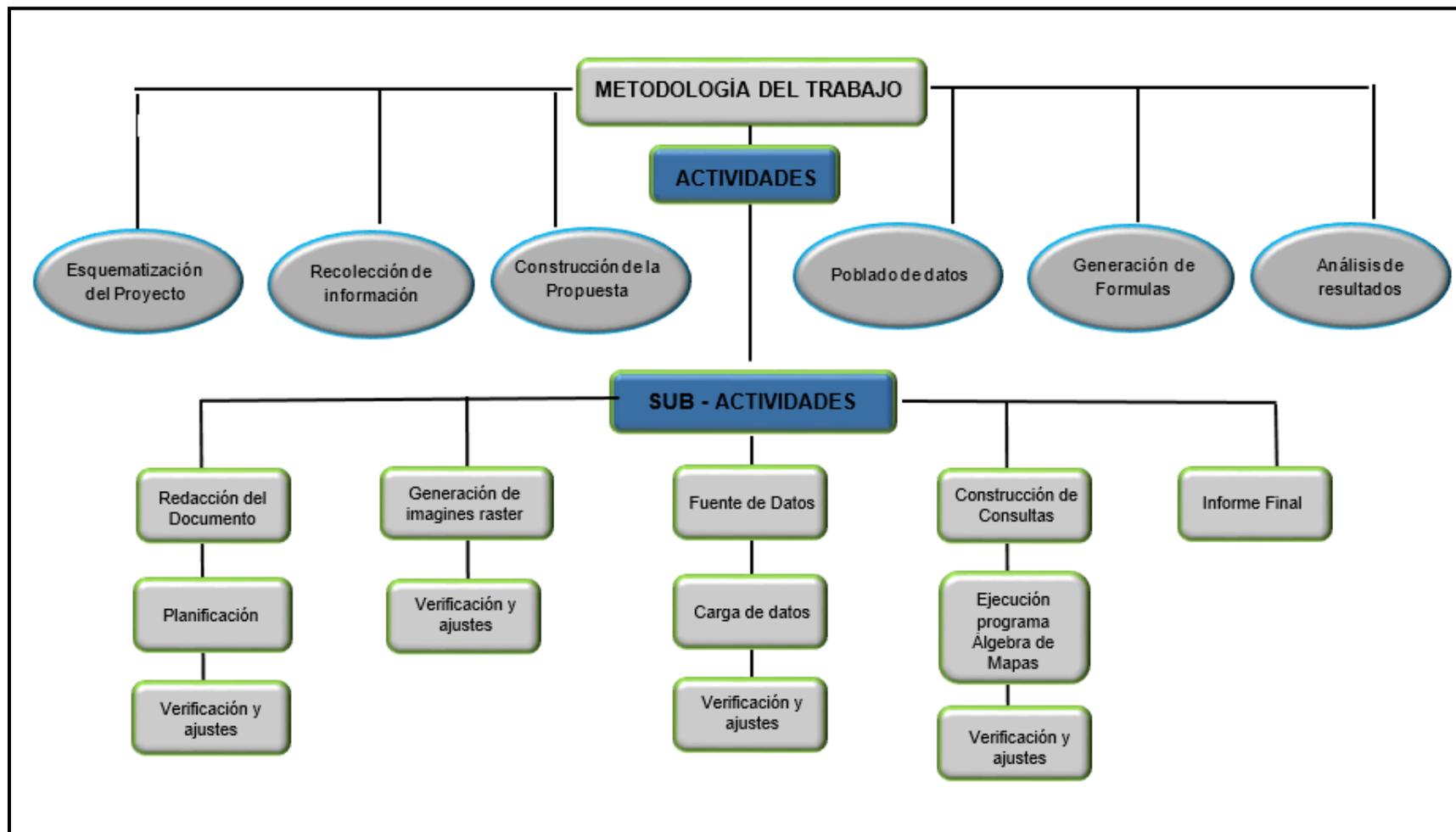


Figura 11. Esquematación de la metodología de Trabajo. (Fuente Autor).

9. Resultados

En este capítulo se muestran los resultados logrados con la metodología de álgebra de mapas. Solo se presentan los mapas del modelo 3 de riesgo por remoción en masa en la localidad de Manizales ver (Figura 12) y el modelo 4 de riesgo por sismicidad en la ciudad de Pereira ver (Figura 13). Los resultados gráficos de los otros modelos se pueden observar en el Anexo A,B,C,D,E y F del proyecto.

- **Vulnerabilidad en las redes de gas del Municipio de Manizales Caso 1.**

- La vulnerabilidad física evaluada en el caso 1 para las redes de gas del occidente, centro y oriente del municipio de Manizales del departamento de Caldas ver (anexo A), se identificó que el rango predominante de vulnerabilidad del gasoducto de EFIGAS S.A oscila entre moderado a muy alto ver (Anexo A).

- En el modelo 1 se evidencian los rangos más altos de vulnerabilidad localizados al centro y en el occidente de la localidad de Manizales.

- El modelo 2 con respecto al modelo 1 y 3 da a conocer un incremento alto de la vulnerabilidad hacia la parte sur del occidente del municipio, explícitamente en los barrios Arrayanes, Nevado y Cervantes.

- Los Modelos 2,3,4 nos muestran grandes variaciones comparados con el modelo 1 que es el que brinda rangos de vulnerabilidad más altos en el occidente de la ciudad, afectando hasta 25 barrios de Manizales.

- La zona central de la ciudad de Manizales para los cuatro modelos del caso 1 se evidencio en el modelo 3 un incremento de la vulnerabilidad de bajo a moderado en los barrios de Peralonso, Caribe, Bosques del Norte, Bengala y San Cayetano.

- En el oriente de Manizales, hacia los barrios de la Enea y Maltería las redes de gas presentan vulnerabilidades moderadas a altas para los 4 modelos propuestos.

- **Vulnerabilidad en las redes de gas del Municipio de Pereira Caso 2.**

- En los modelos 1,2,3 y 4 del caso 2 se evidencia una vulnerabilidad predominante del gasoducto de EFIGAS S.A que oscila en los rangos moderado a alto ver (Anexo B).

- En los 4 modelos no se evidencia cambios en la vulnerabilidad de las redes en al occidente y oriente de la región.

- Según el análisis realizado el municipio de Pereira muestra hasta 32 barrios con redes de gas en vulnerabilidad alta.

-El modelo 4 se diferencia de los modelos 1, 2, y 3 por que muestra un incremento en la vulnerabilidad de las redes de bajo a moderado hacia los barrios Cachipay, Rocio Alto, Balcones Villa del Prado, Samaria II, Villa del Prado y Samaria I.

- En las zonas consideradas como rural según el plan de ordenamiento territorial de la alcaldía de Pereira muestran las mayores variaciones en la vulnerabilidad de las redes de gas.

- En la zona urbana de la ciudad capital no se tienen estructuras geológicas que afecten el sector.

• Riesgo por Remoción en Masa Ciudad de Manizales Caso 3.

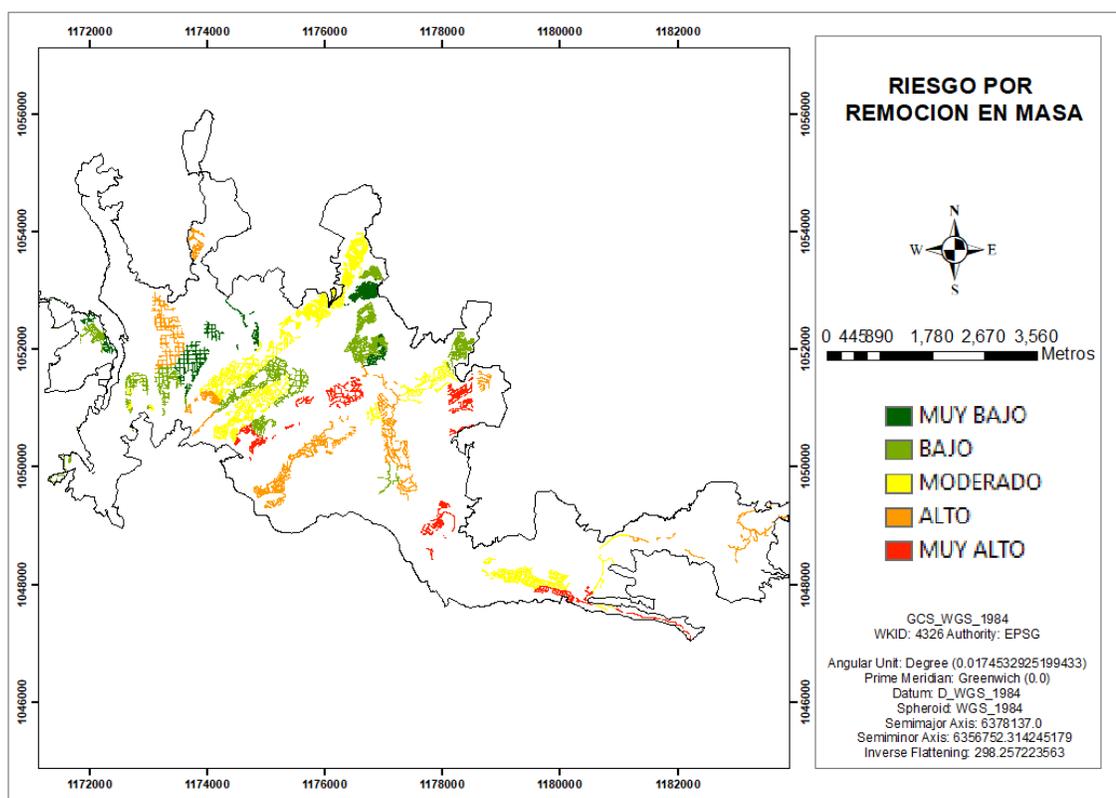


Figura 12. Resultado modelo 3 – mapa de riesgo por remoción en masa para el municipio de Manizales del departamento de Caldas (Fuente Autor).

- Las redes de gas de EFIGAS S.A en el caso 3 de riesgo por remoción en masa presentan muestra un predominio en el rango de moderado, bajo a muy bajo ver (Anexo C).

- Hacia el occidente de la ciudad de Manizales se identifica la mayor concentración de redes de gas en riesgo muy alto por remoción en masa afectando a 11 barrios del municipio como son Peralonso, Campohermoso, el Nevado, el Caribe, Paraíso, Persia, Cervantes, Camilo Torres, Guamal, Santos y el barrio Isabel.

- En el centro de la ciudad las redes con riesgo alto a muy alto se evidencian principalmente en los barrios los Rosales, la Estrella, Bosques del Norte, Bengala, San Cayetano, Belén, Milán, el Trébol y la Sultana.

- La zona de riesgo alto a muy alto al oriente de Manizales se localiza al sur-oriente del barrio la enea en los 4 modelos propuestos.

- Analizando los 4 modelos propuestos se identifica que alrededor de 41 barrios aproximadamente presentan un riesgo por remoción en masa entre bajo a muy bajo.

- **Riesgo por Remoción en Masa Ciudad de Pereira Caso 4.**

- En los modelos 1 y 3 del occidente de la ciudad de Pereira hay un predominio de tuberías de gas con riesgo moderado por remoción en masa, en cambio en los modelos 2 y 4 las tuberías presentan riesgo alto. Estos cambios son evidentes en los barrios Puerto caldas, Caimalito y Cerritos ver (Anexo D).

- En el corregimiento Combia las tuberías en los 4 modelos muestran un riesgo alto por remoción en masa.

-En el centro de la ciudad de Pereira específicamente en los barrios Rocio Alto, el Bosque y la vereda Huertas las redes de gas en los 4 modelos del caso 4 se evidencian redes de gas con riesgo muy alto.

- Al oriente del municipio se presentan los rangos más bajos de riesgo pasando de moderado, bajo a muy bajo identificándose en el modelo 4 rangos de bajo a muy bajo únicamente.

- **Riesgo por Sismicidad en la Ciudad de Manizales Caso 5.**

- Los modelos 1 y 2 en el occidente de Manizales presentan 11 barrios en riesgo por sismicidad alto a muy alto al ejecutar el modelo 3 se evidencia que 5 de los barrios en riesgo alto en los modelos 1 y 2 pasan a ser muy alto y en el modelo 4 5 barrios que en los modelos 1,2 y3 estaban en rango muy alto pasan a rango alto ver (Anexo E).

- Los barrios Persia, Camilo Torres, Santo e Isabella las redes presentan riesgo muy alto en los 4 modelos para la identificación del riesgo por sismicidad.

- Al centro de la ciudad de Manizales exactamente en los barrios Rosales, Estrella, Arboleda, Bosques de Niza, Belén, la Sultana, Milán y el Trébol presentan riesgo muy alto en el gasoducto por sismicidad.

- En el modelo 3 los barrios Peralonso, Caribe, Bosques del Norte, Bengala y San Cayetano muestran riesgo alto en los demás modelos el riesgo por sismicidad es moderado.

- Al oriente del municipio en los barrios Enea y Maltería los 4 modelos muestran redes en alto y muy alto rango de riesgo.

- **Riesgo por Sismicidad en la Ciudad de Pereira Caso 6.**

- Al occidente del municipio de Pereira se evidencia en los 4 modelos que las redes de gas presentan un riesgo por sismicidad alto a muy alto ver (Anexo F).

- En 58 barrios del centro de la localidad de Pereira las tuberías presentan riesgo alto a muy alto por sismicidad.

- El oriente del municipio presenta riesgo por sismicidad bajo a muy bajo.

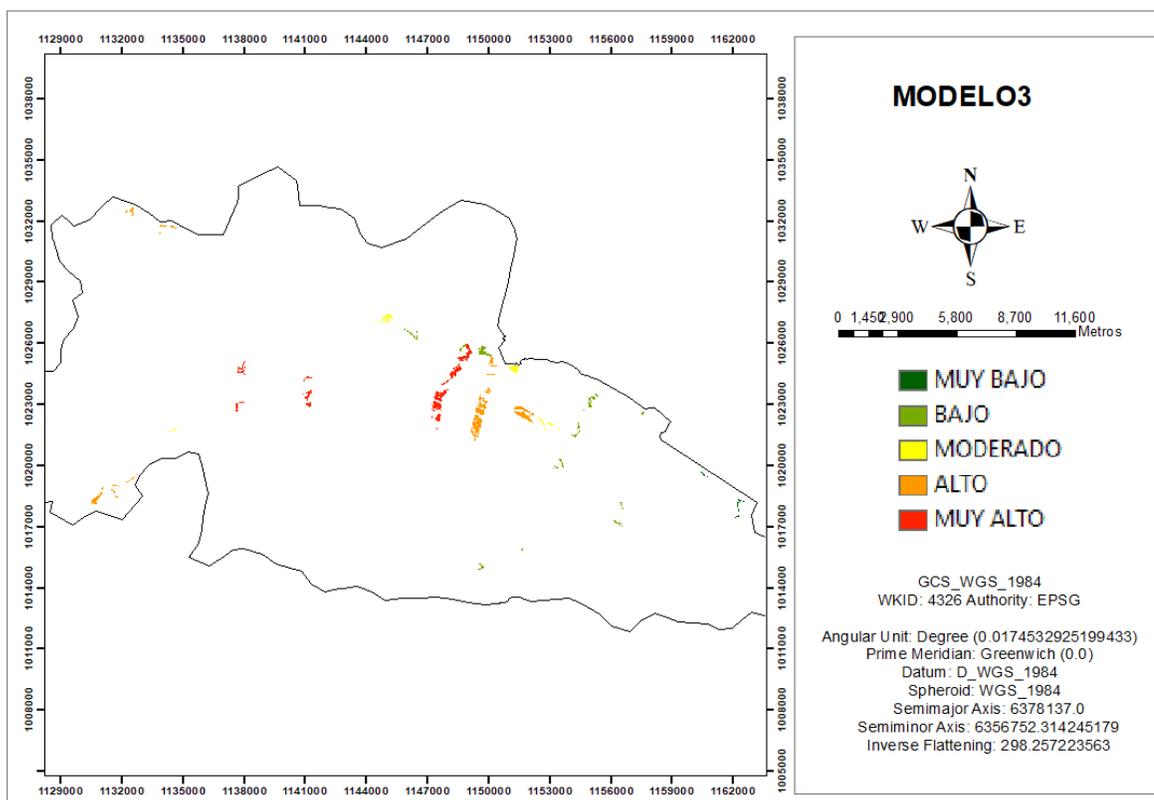


Figura 13. Resultado modelo 4 – mapa de riesgo por sismicidad para el municipio de Pereira del departamento de Risaralda (Fuente Autor).

10. Análisis e Interpretación de Resultados

- **Vulnerabilidad en las redes de gas del Municipios de Manizales – Caldas y Pereira – Risaralda.**

Al analizar la información arrojada por la herramienta de algebra de mapas para medir la vulnerabilidad de las redes de gas en el municipio de Manizales se evidenció lo siguiente:

Hacia el centro de la ciudad, se presentan rangos de alto a muy alto de vulnerabilidad en la infraestructura, lo anterior se estima que sucede gracias a la interacción del gasoducto con la gran variedad de fallas y lineamientos existentes en el sector sumado la pendiente de la zona ver (Anexo A).

El modelo 1 muestra las variaciones más relevantes posiblemente a que los pesos suministrados para el modelo contienen valores en sus variables de 0.5 para los fenómenos naturales.

En los modelos 2 y 3 se evidencia que al sur occidente de la ciudad más exactamente en los barrios Arrayanes, Cervantes, el Nevado y el Paraíso la infraestructura de gas tiene una vulnerabilidad alta lo cual sucede al incrementar el peso de las Fallas a 0.6 y 0.7.

El modelo 3 no solo muestra vulnerabilidad muy alta en los barrios del sur occidente de Manizales como en el modelo 2, sino también en los barrios Campo Hermoso, Colón y San Joaquín localizados al occidente de Manizales, lo cual se identifica al darle un peso a las fallas de 0.7 y al aumentar la precipitación a 0.5 adquiriendo una vulnerabilidad muy alta en las redes de Efigas.

Para la localidad de Pereira del departamento de Risaralda se evidencio que los modelos 1,2 y 3 no muestran variaciones en la vulnerabilidad física. El centro de la ciudad presenta los rangos más altos de vulnerabilidad y el modelo 4 da a conocer que al incrementar el peso de la pendiente a 0.6 no solo incrementa la vulnerabilidad de algunas redes del centro de Pereira sino también del occidente del municipio.

Los cuatro modelos calcularon para el oriente de Pereira una vulnerabilidad de baja a muy baja, lo cual puede definirse a que el sector presenta una erosión ligera y no se tienen casi registros sísmicos monitoreados ver (Anexo B).

- **Riesgo por Remoción en Masa en los municipios de Manizales – Caldas y Pereira - Risaralda.**

Según los cuatro modelos ejecutados para medir el riesgo por remoción en masa de las redes de gas en el municipio de Manizales, los mayores tramos de tubería con riesgo alto a muy alto se localizan en zonas de vertiente de montaña de la ciudad de Manizales ver (Anexo C), lográndose visualizar al norte y sur del occidente de la ciudad, al igual que al norte y sur del centro de la localidad. El modelo 4 se diferencia de los demás modelos ya que al incrementar el peso de la pendiente a 0.6 el barrio la Cumbre de Manizales pasa de un riesgo bajo a moderado.

Los modelos 2 y 4 de riesgo por remoción en masa para el municipio de Pereira muestran los valores más altos de riesgo hacia el occidente y centro de la ciudad, esto puede darse debido a que las redes no solo están en contacto con estructuras geológicas sino también con áreas de pendientes fuertes, además de suelos lodosos y arcillosos ver (Anexo D).

- **Riesgo por Sismicidad en los municipios de Manizales – Caldas y Pereira - Risaralda.**

El modelo 3 de riesgo por sismicidad para las redes de la ciudad de Manizales es el que muestra los rangos más altos de riesgo hacia el occidente de Manizales, lo cual puede darse a que el peso para las fallas es de 0.7 y las redes están más cercanas al foco sísmico. Los modelos 1,2 y 4 no presentaron variaciones, los rangos más altos de riesgo por sismicidad se localizaron en el centro del municipio y mostraron rangos más bajos de riesgo comparado con el modelo 3.

Los modelos 1,2,3 y 4 ejecutados para medir el riesgo por sismicidad en las redes del municipio de Pereira no mostraron cambios, posiblemente porque las redes intersectadas con las fallas geológicas no tienen cercanía a ninguno de los focos sísmicos detectados. Las redes con mayor riesgo en los cuatro modelos se localizan en el centro y occidente de la ciudad y los valores bajos se visualizan al oriente de Pereira donde se tienen pocos registros sísmicos.

10.1 Escenarios de Riesgo

Para analizar los escenarios de riesgo teniendo en cuenta los mapas de vulnerabilidad y de riesgo logrados con el procedimiento de álgebra de mapas, se propone una situación hipotética para cada una de las ciudades del caso estudio.

- **Escenario de Riesgo Manizales**

Para el caso de Manizales, se propone como escenario, la ocurrencia de una gran temporada de lluvias, la cual origina varios movimientos por remoción en masa que afectan varios tramos de la red de distribución de gas, principalmente los ubicados en los barrios Arrayanes, Nevado, Cervantes, Peralonso, Caribe, Bosques del Norte, Bengala, Persia Gonzales, San Cayetano y Materia. En medio de la ola invernal se presenta un sismo de magnitud 5.8 localizado a 2 km al Sur occidente de Manizales, con una profundidad de 7km, el cual generó el rompimiento de varios tramos de la red de distribución de gas, en el sector de Campo hermoso, Centro, Colón y San Joaquín.

Ante esta situación, EFIGAS utilizando la información obtenida en este trabajo propone la siguiente línea de acción:

De acuerdo al mapa de riesgo físico por movimientos en masa y sismo se observa que la zonas afectas por remoción en masa presentan vulnerabilidad física y riesgo por remoción en masa altos a muy altos, razón por la que se realizó un monitoreo georreferenciado de las válvulas existentes en los barrios para tener un control preciso del gas que controla cada elemento, se determinaron para las zonas con riesgo alto tiempos más cortos de mantenimientos para controlar el desgaste que puedan sufrir los elementos de la infraestructura por la actividad de los diferentes fenómenos naturales, se realizó un trabajo con la comunidad para generar conciencia en los controles que se deben tener al hacer uso del gas natural y se creó un centro de operación al occidente del municipio de Manizales para lograr atender con mayor inmediatas el suceso además de una comunicación con bomberos para dar una atención más eficiente.

- **Escenario de Riesgo Pereira**

Para el municipio de Pereira se determina un escenario de activación de falla al occidente del municipio, el cual presenta 5 sismos con magnitudes mayores a 5.6 y a profundidades de 3 km, el sector afectado está caracterizado por pendientes fuertes y material lodoso, la sismicidad producida genera inestabilidad en el terreno, el desplome de casas y algunas redes instaladas en el sector Puerto Caldas, Galicia del Parque, Galicia, Portal del Campo y Vereda Cerritos.

Con la información lograda EFIGAS realiza el siguiente plan de atención a emergencia.

Se analizaron las zonas de riesgo por sismicidad para determinar planes de mitigación, se determinó la ubicación de las válvulas del sector para bloquear el curso del gas e impedir la generación de explosiones e incendios en el sector, se realizaron brigadas de atención ante emergencia dentro de los miembros de la compañía para que en conjunto se pueda tener un mayor apoyo en la generación

de un acontecimiento de gran magnitud y se realizaron grupos de siembras de árboles para contrarrestar el impacto ambiental generado por la liberación del gas liberado a la atmosfera.

11. Conclusiones

- El trabajo ejecutado en el proyecto investigativo puede servir como insumo para planes de emergencia, pero no se enfoca en proponerlos.
- EL diseño adecuado de un modelo de datos que abstraiga la realidad, la correcta manipulación de los datos y su posterior implementación en un sistema manejador de bases de datos resulta ser indispensable para optimizar los procesos al interior de una empresa.
- Los resultados que se obtienen por medio de las consultas generadas por medio de la herramienta algebra de mapas permiten tener una visión más clara de la amenaza y riesgo a la que se exponen las tuberías de gas instaladas por EFIGAS S.A frente a un fenómeno natural ya sea evento sísmico, remoción en masa y/o falla geológica.
- El uso de software y herramientas geo informáticas que permitan almacenar, manipular y analizar la información espacial resulta ser indispensable en la ejecución de investigaciones y proyectos, dado que un registro histórico tanto alfanumérico como georreferenciado sirve de insumo base para la ejecución de nuevos estudios.
- El complemento de bases de datos con SIG han revolucionado la visión del mundo, dan soluciones a muchos problemas que requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por distribución espacial, ayudando a la clasificación y monitoreo de recursos, tanto naturales como humanos, así como en la evaluación del impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente natural.
- El análisis espacial de los diferentes fenómenos naturales (remoción en masa, sismicidad, y geología), en la red de distribución de EFIGAS S.A, es de suma importancia para la compañía con el fin de identificación las áreas susceptibles para amortiguar los factores de riesgo.
- Identificar las redes de gas vulnerables y en riesgo por los fenómenos naturales de sismicidad, fallas geológica y remoción en masa es de suma importancia para mitigar el impacto humano, ambiental y los daños que se puedan presentar en las áreas afectadas.
- Las redes de gas ubicadas en los barrios Arboleda, Arrayanes, Belén, Betania, Bosques de Niza, Camilo Torres, Cervantes, el Nevado, el Trébol, Isabella, la Sultana, lo Rosales, Milán, el Paraíso, Persia y Santos del municipio de Manizales, deben ser de especial atención y se deben realizar controles especiales, puesto que es repetitivo en los modelos de vulnerabilidad y riesgo un rango muy alto en la infraestructura.

- El gasoducto localizado en los barrios la Alhambra, Alto de Llano Grande, Alto de Llano Grande II, Bello Horizonte, Confamiliares, Corales, Bosque, Gamma I, Gamma II, Gamma IV, Gilberto Peláez, Matecaña, Olímpico I, Olímpico II, Pinar de Gamma, Rocio Alto, Torres de Fegove, Vereda Huertas, Villa, Residencia el Nogal, Galicia del Parque, Jardines del Nogal, Portal del Campo, Reservas de la Villa, Rincón de Unicentro, Urbanización Luis Alberto Duque y vereda cerritos del municipio de Pereira presentan riesgo y vulnerabilidad en los intervalos alto y muy alto lo cual deben ser analizado por la compañía Efigas, para realizar controles que contribuyan a la mitigación del riesgo y la vulnerabilidad de la zona.

Tabla 4. *Impactos esperados de proyecto*

| Impacto | Plazo (años) | Indicador | Supuestos¹ |
|---|--|------------------|---|
| Conciencia social en el uso del gas natural | finalizado el proyecto: mediano (1-4), mediano (5-9), largo (10 o más) | verificable | Con el desarrollo de un plan estratégico de riesgo en trabajo conjunto con las áreas de gestión humana, social y ambiental de la compañía, se podrá llegar a las comunidades y educarlas en el manejo del gas natural. |
| Desarrollo de mapa de riesgo | finalizado el proyecto: mediano (1-4), mediano (5-9), largo (10 o más) | verificable | Supuestos² Actualmente la compañía no cuenta con un mapa de riesgo para las redes de distribución de gas domiciliario ante diferentes fenómenos naturales, se estima que con esta herramienta base se logró prevenir daños futuros en la infraestructura y en las comunidades. |
| Mantenimiento preventivo en las redes de gas que muestren estar en zonas de alto riesgo | finalizado el proyecto: mediano (1-4), mediano (5-9), largo (10 o más) | verificable | Supuestos³ Con la detección de las áreas de riesgo llevará a cabo un trabajo de mantenimiento de redes con el área de OYM para la prevención de daños y perjuicios ante una activación de un fenómeno natural |

12. Recomendaciones

Se deben generar mapas de vulnerabilidad y riesgo para todas las localidades de la compañía para identificar zonas de vulnerabilidad y prevenir los daños y pérdidas que se puedan generar por la actividad de las fallas geológicas, sismicidad y deslizamientos.

Llevar a cabo un plan estratégico de riesgo para atacar las tuberías de gas, que con este estudio sean reconocidas e identificadas como vulnerables a rupturas, deformación mecánica etc.

Realizar una recopilación de los registros de emergencias que han ocurrido en la compañía EFIGAS S.A, con respecto a la red de distribución de gas, para identificar posibles relaciones con las tuberías con vulnerabilidad y riesgo alto - muy alto generado por los fenómenos naturales del caso estudio.

Realizar un trabajo conjunto con las áreas de responsabilidad social, seguridad y salud en trabajo y operación y mantenimiento, para realizar controles y conciencia social que permitan amortiguar y prevenir perjuicios que se puedan generar por los factores naturales.

A. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 1 de vulnerabilidad del municipio de Manizales.

- *Modelo 1 resultados aplicación fórmula de vulnerabilidad en el municipio de Manizales Caso 1.*

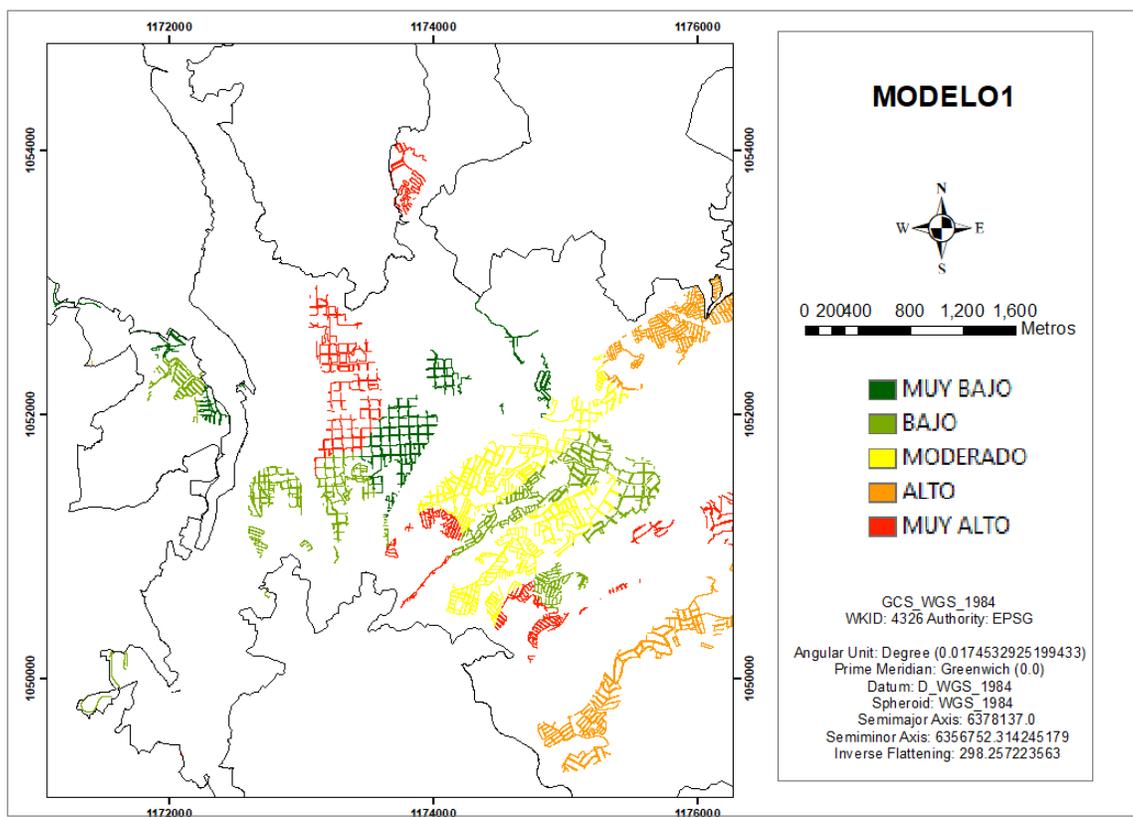
CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD OCCIDENTE DE MANIZALES

PARAMETROS DEL MODELO 1

UBICACIÓN: OCCIDENTE DE MANIZALES

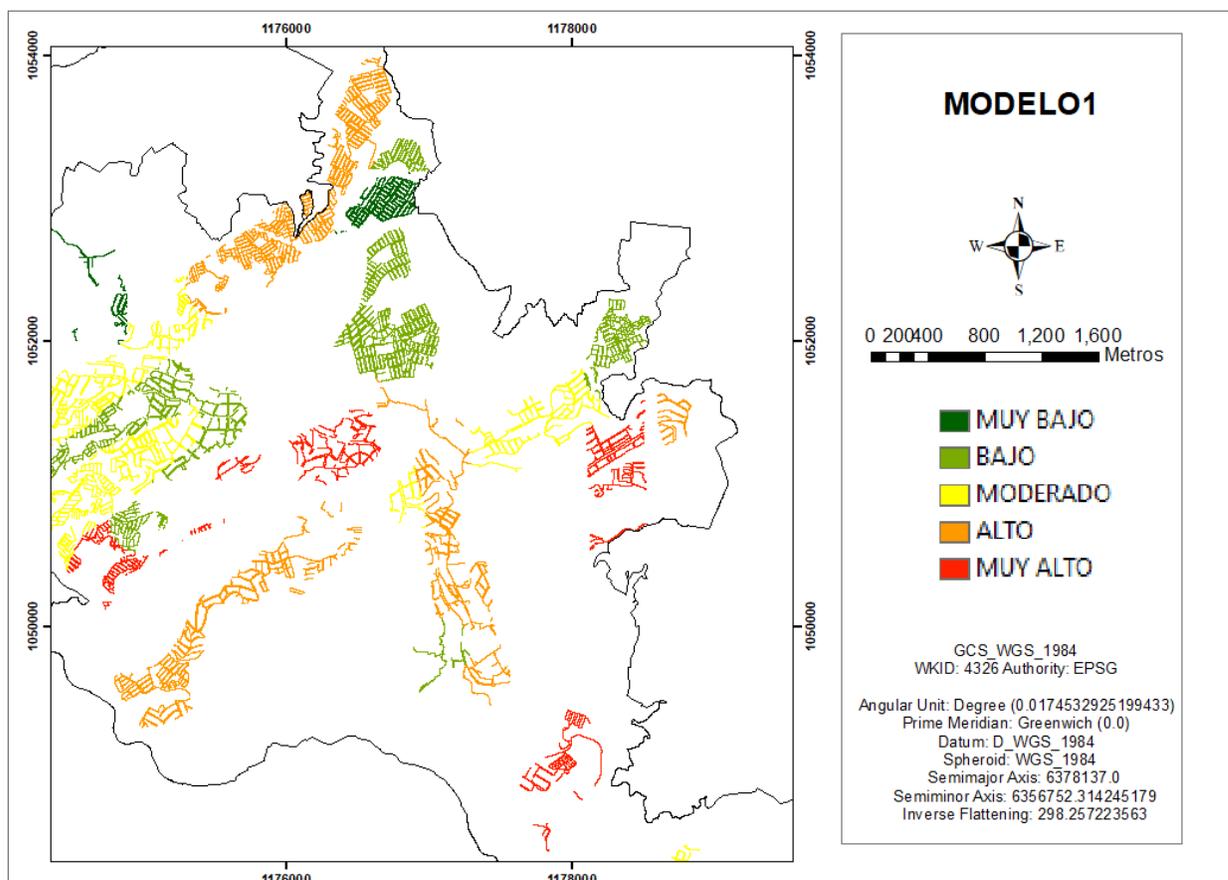
PESO W: TuberíaP80 = 0.5
 BufSismicidad = 0.5
 BufFalla = 0.5
 Erosión=0.5
 Precipitación = 0.5
 Tipo Suelo = 0.5
 Pendiente = 0.5

RESULTADO GRÁFICO



CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 1****UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES

PESO W: TuberiaP80 = 0.5
BufSismicidad = 0.5
BufFalla = 0.5
Erosión=0.5
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.5
Pendiente = 0.5

RESULTADO GRÁFICO

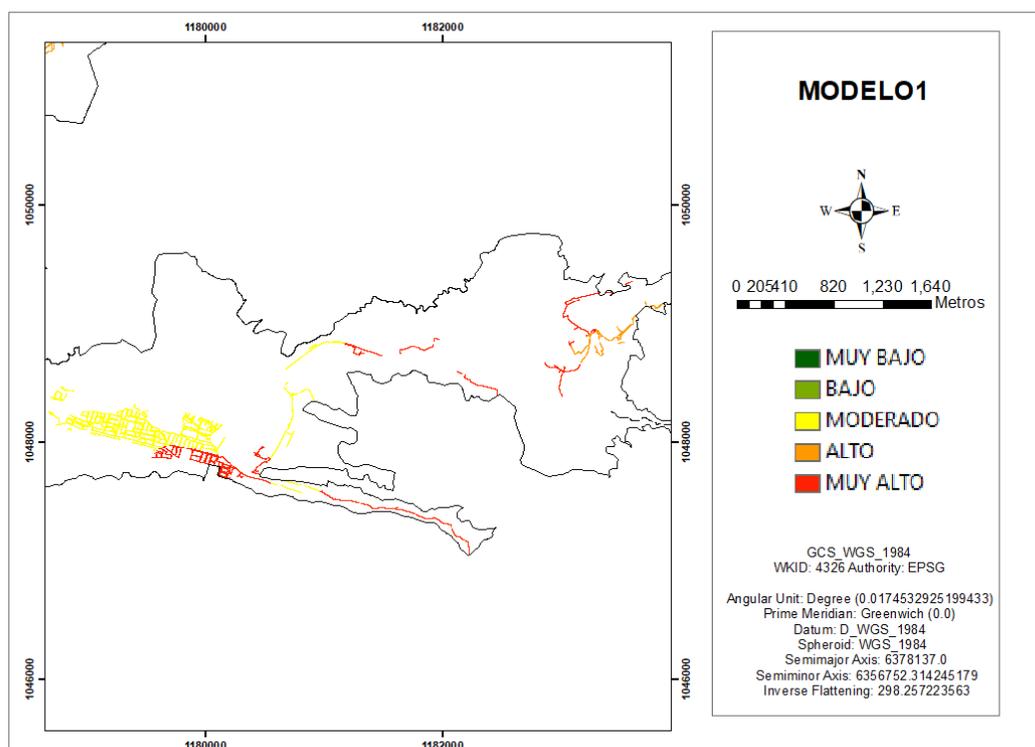
CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD ORIENTE DE MANIZALES

PARAMETROS DEL MODELO 1

UBICACIÓN: ORIENTE DE MANIZALES

PESO W: TuberiaP80 = 0.5
BufSismicidad = 0.5
BufFalla = 0.5
Erosión=0.5
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.5
Pendiente = 0.5

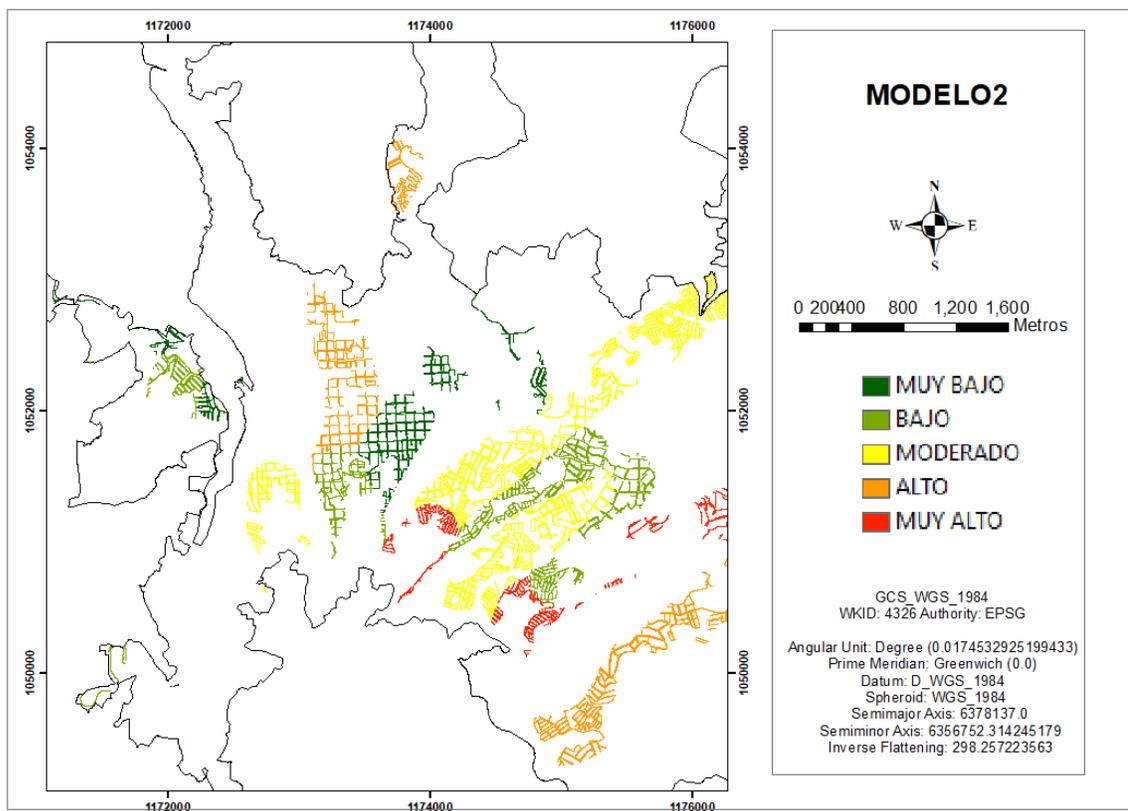
RESULTADO GRÁFICO



- *Modelo 2 resultados aplicación fórmula de vulnerabilidad en el municipio de Manizales Caso 1.*

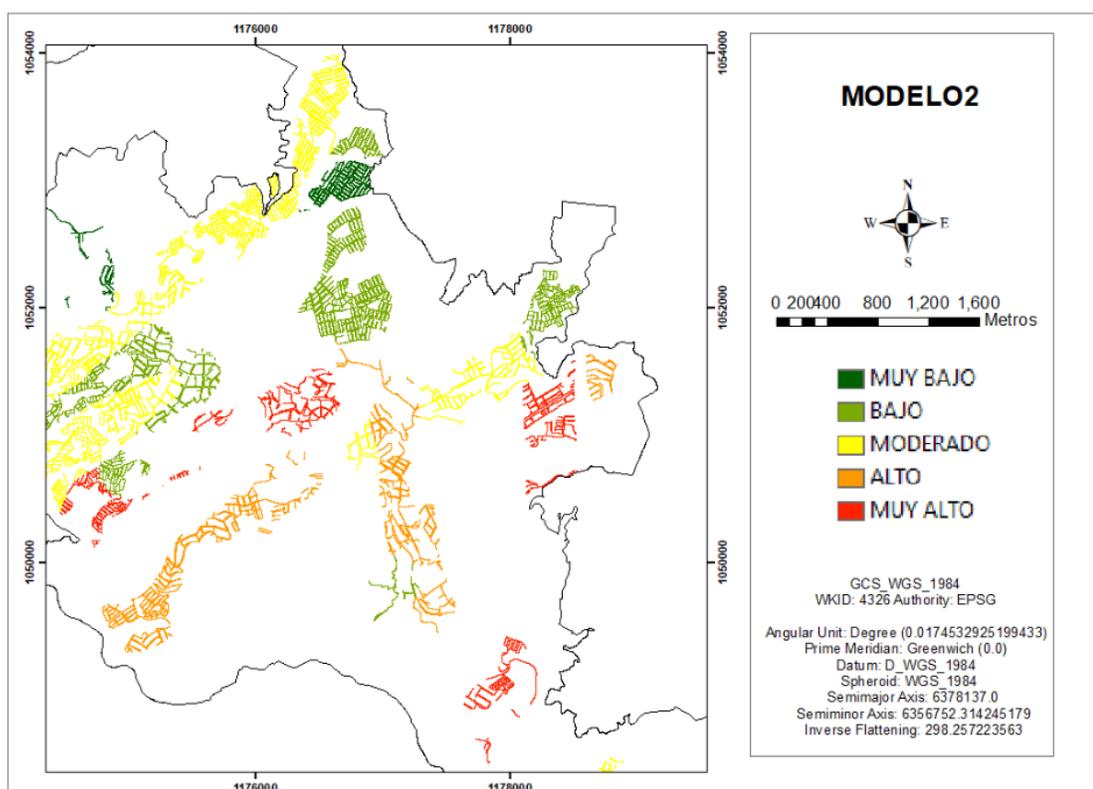
CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD OCCIDENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 2****UBICACIÓN:** OCCIDEDENTE DE MANIZALES

PESO W: TuberiaP80 = 0.4
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.6
Erosión=0.5
Precipitación = 0.4
Tipo Suelo = 0.4
Pendiente = 0.3

RESULTADO GRÁFICO

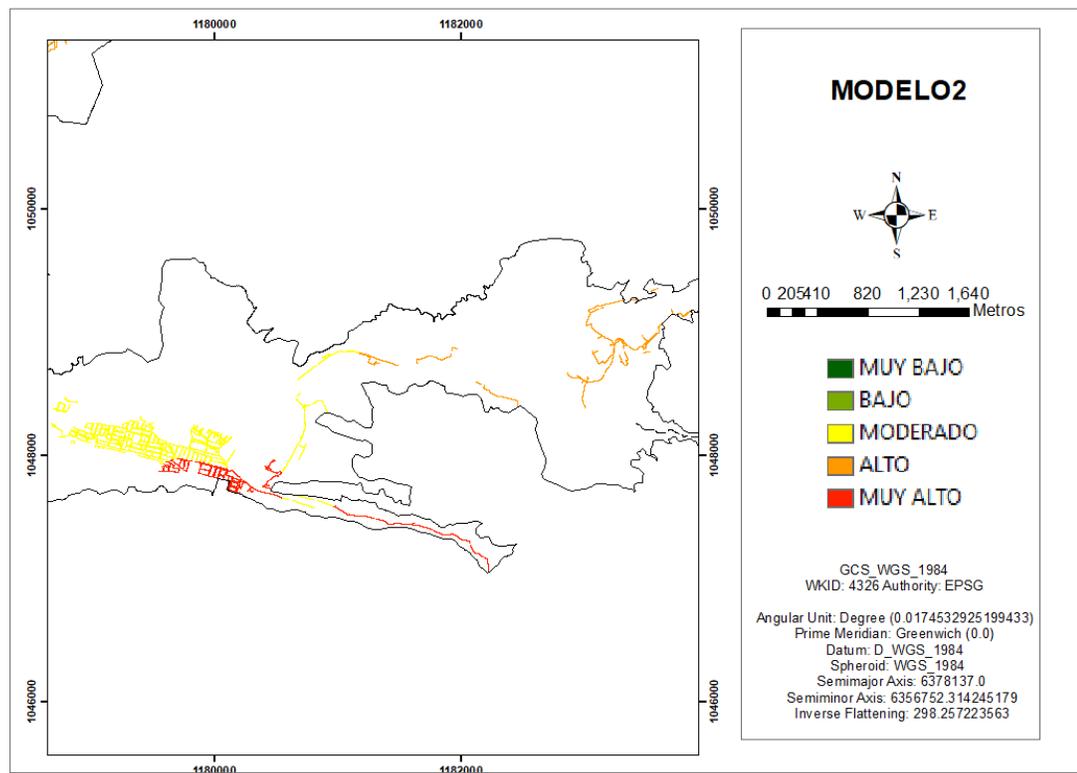
CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 2****UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES

PESO W: TuberiaP80 = 0.4
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.6
Erosión=0.5
Precipitación = 0.4
Tipo Suelo = 0.4
Pendiente = 0.3

RESULTADO GRÁFICO

CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD ORIENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 2****UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES

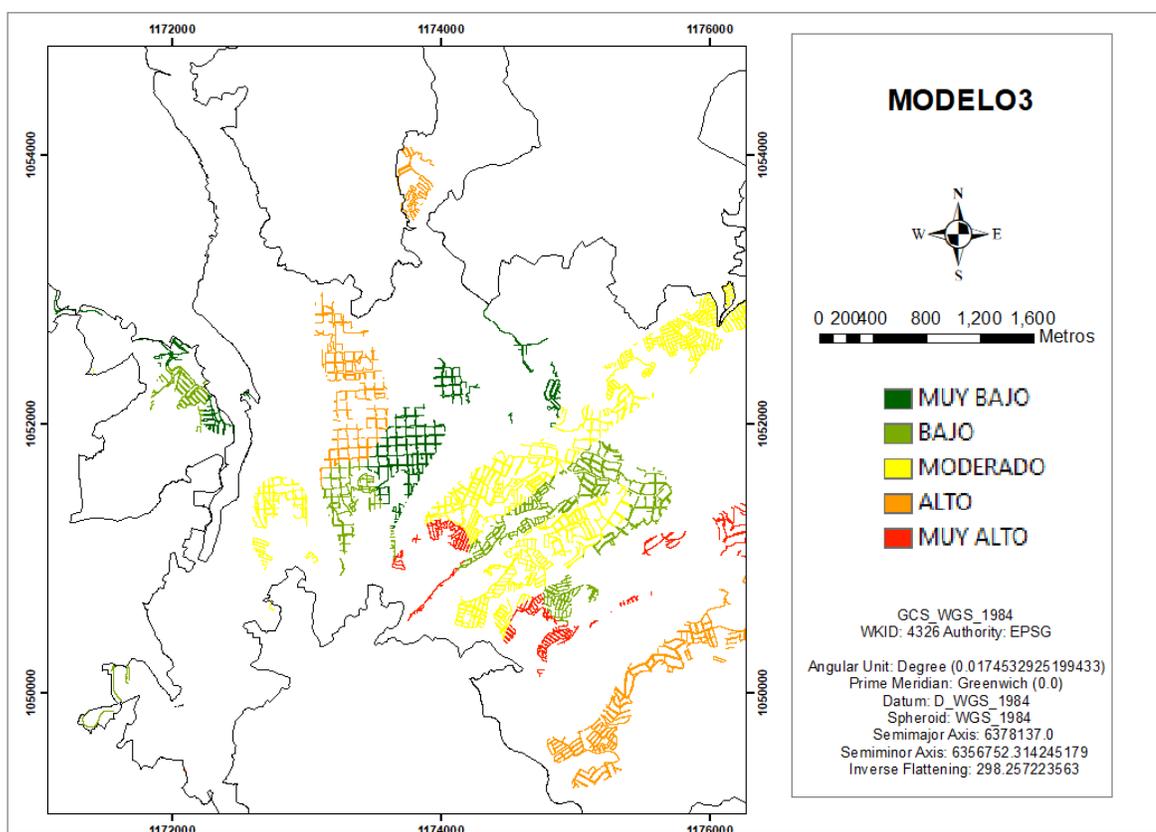
PESO W: TuberiaP80 = 0.4
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.6
Erosión=0.5
Precipitación = 0.4
Tipo Suelo = 0.4
Pendiente = 0.3

RESULTADO GRÁFICO

- *Modelo 3 resultados aplicación fórmula de vulnerabilidad en el municipio de Manizales Caso 1.*

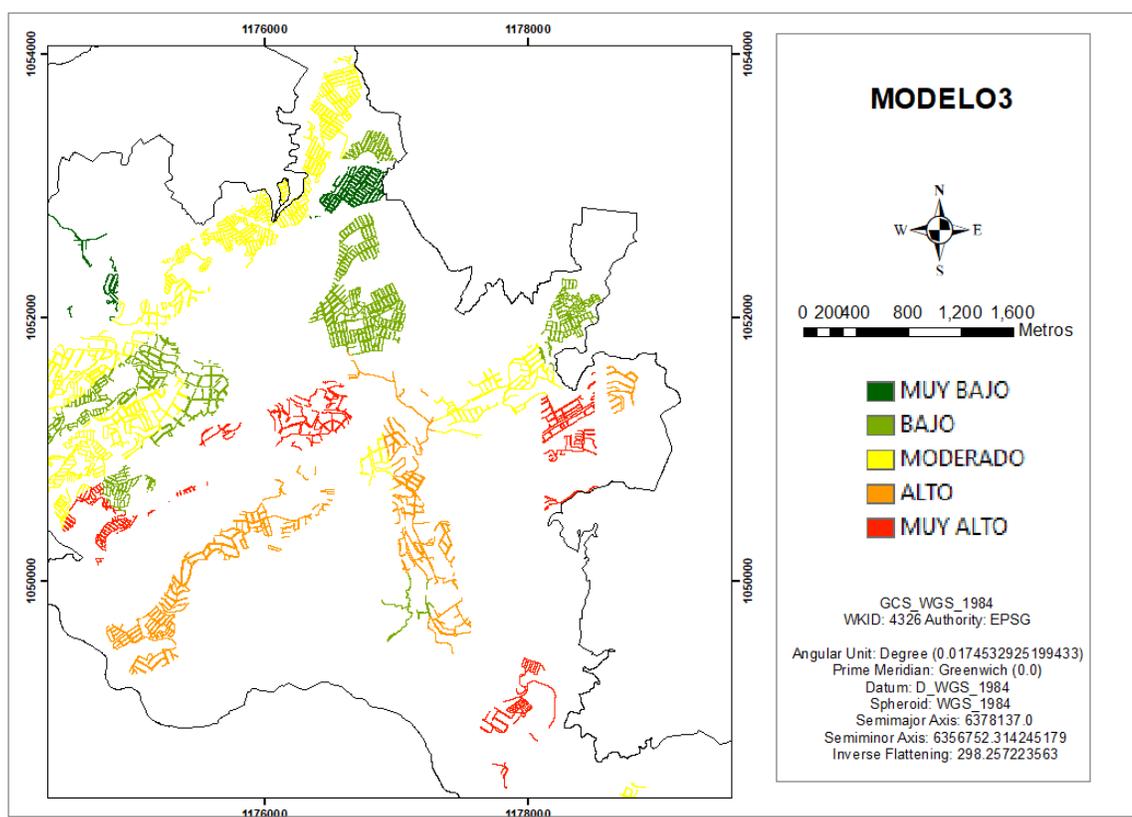
CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD OCCIDENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 3****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE MANIZALES

PESO W: TuberíaP80 = 0.3
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.7
Erosión=0.4
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.4

RESULTADO GRÁFICO

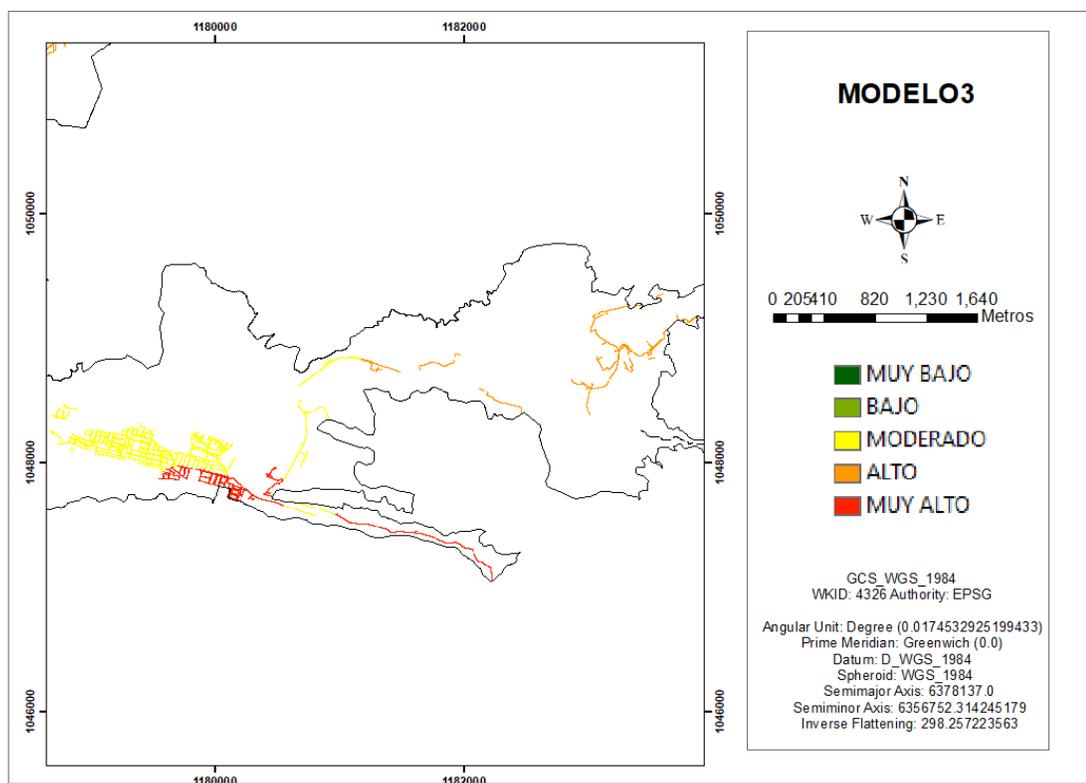
CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 3****UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES

PESO W: TuberiaP80 = 0.3
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.7
Erosión=0.4
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.4

RESULTADO GRÁFICO

CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD ORIENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 3****UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES

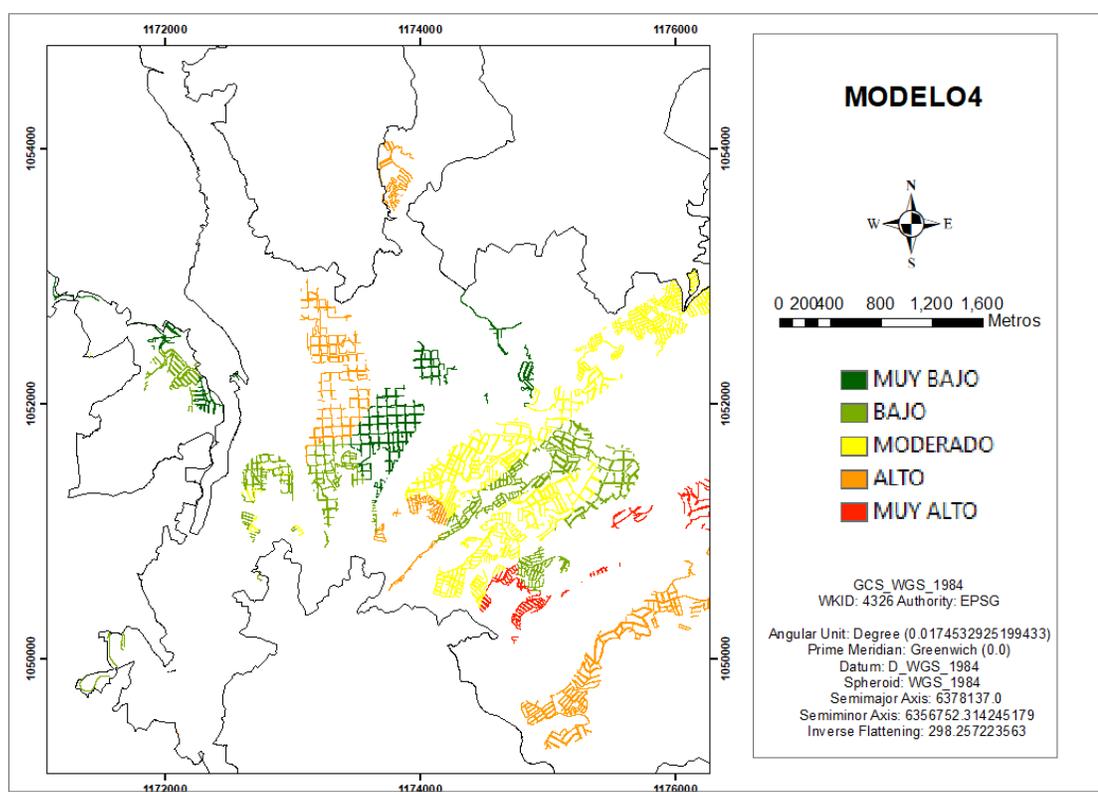
PESO W: TuberiaP80 = 0.3
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.7
Erosión=0.4
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.4

RESULTADO GRÁFICO

- *Modelo 4 resultados aplicación fórmula de vulnerabilidad en el municipio de Manizales Caso 1.*

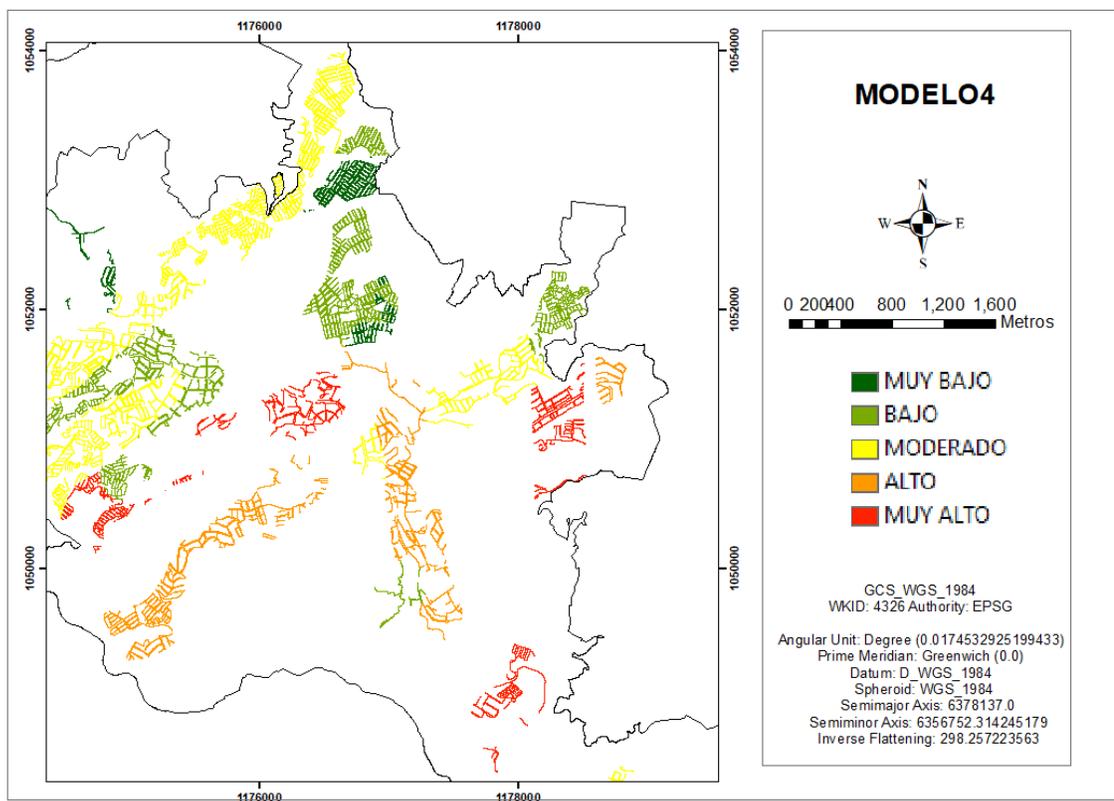
CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD OCCIDENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 4****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE MANIZALES

PESO W: TuberiaP80 = 0.7
BufSismicidad = 0.4
BufFalla = 0.3
Erosión=0.2
Precipitación = 0.3
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.6

RESULTADO GRÁFICO

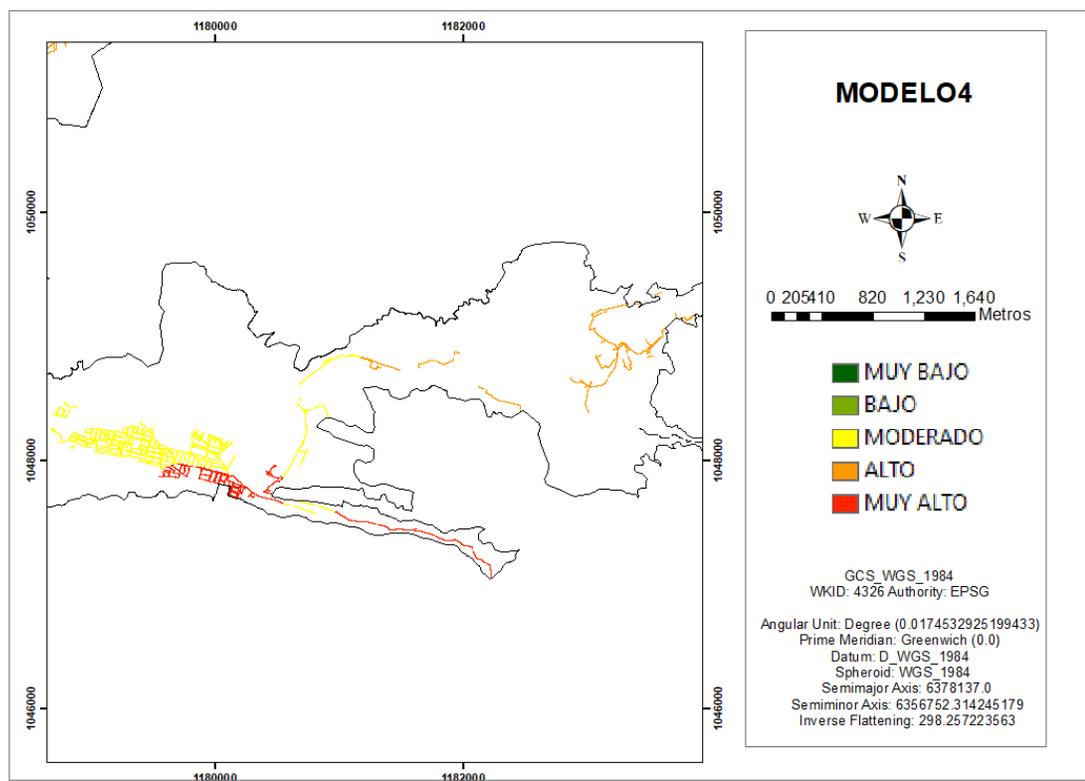
CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 4****UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES

PESO W: TuberiaP80 = 0.7
BufSismicidad = 0.4
BufFalla = 0.3
Erosión=0.2
Precipitación = 0.3
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.6

RESULTADO GRÁFICO

CASO 1. MAPA DE VULNERABILIDAD ORIENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO 4****UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES

PESO W: TuberiaP80 = 0.7
BufSismicidad = 0.4
BufFalla = 0.3
Erosión=0.2
Precipitación = 0.3
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.6

RESULTADO GRÁFICO

B. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 2 de vulnerabilidad del municipio de Pereira.

- *Modelo 1 resultados aplicación fórmula de vulnerabilidad en el municipio de Pereira Caso 2.*

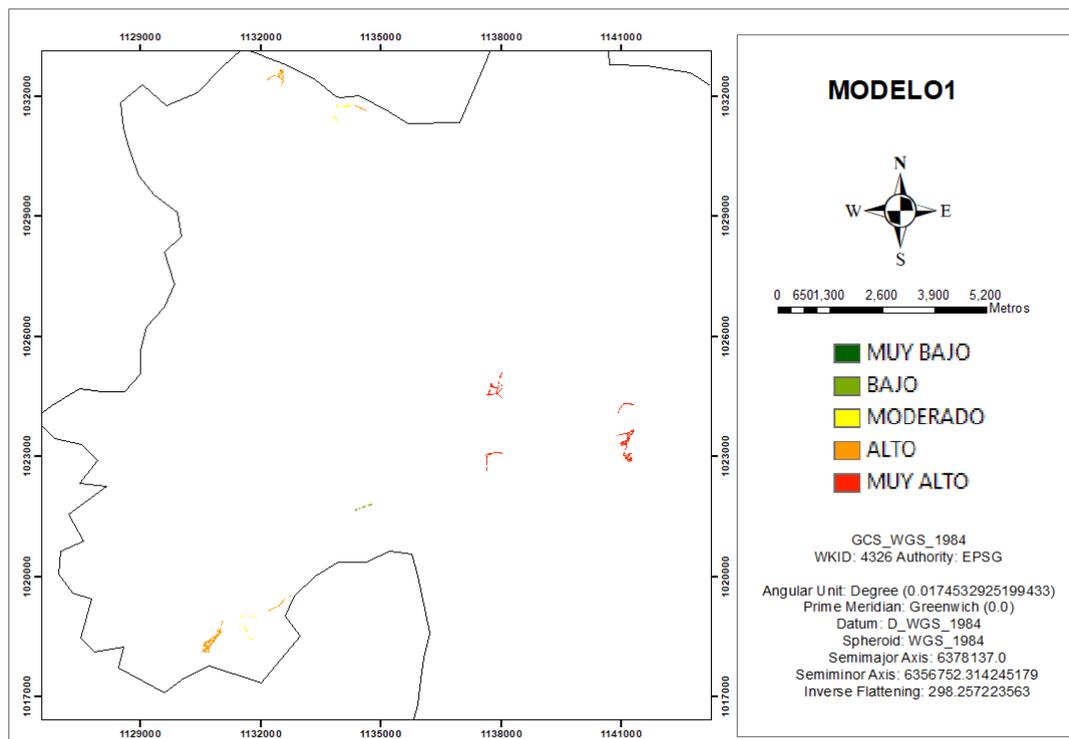
CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD OCCIDENTE DE PEREIRA

PARAMETROS DEL MODELO 1

UBICACIÓN: OCCIDENTE DE PEREIRA

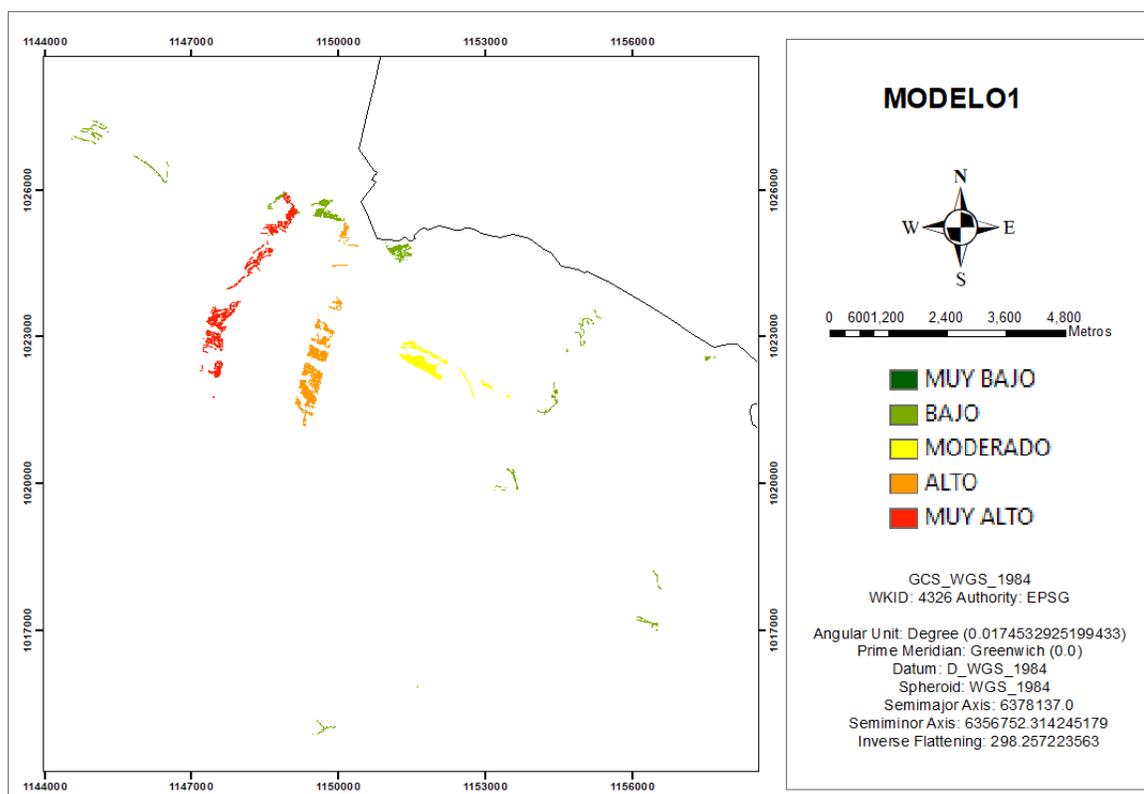
PESO W: TuberíaP80 = 0.5
 BufSismicidad = 0.5
 BufFalla = 0.5
 Erosión=0.5
 Precipitación = 0.5
 Tipo Suelo = 0.5
 Pendiente = 0.5

RESULTADO GRÁFICO



CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 1****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA

PESO W: TuberiaP80 = 0.5
BufSismicidad = 0.5
BufFalla = 0.5
Erosión=0.5
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.5
Pendiente = 0.5

RESULTADO GRÁFICO

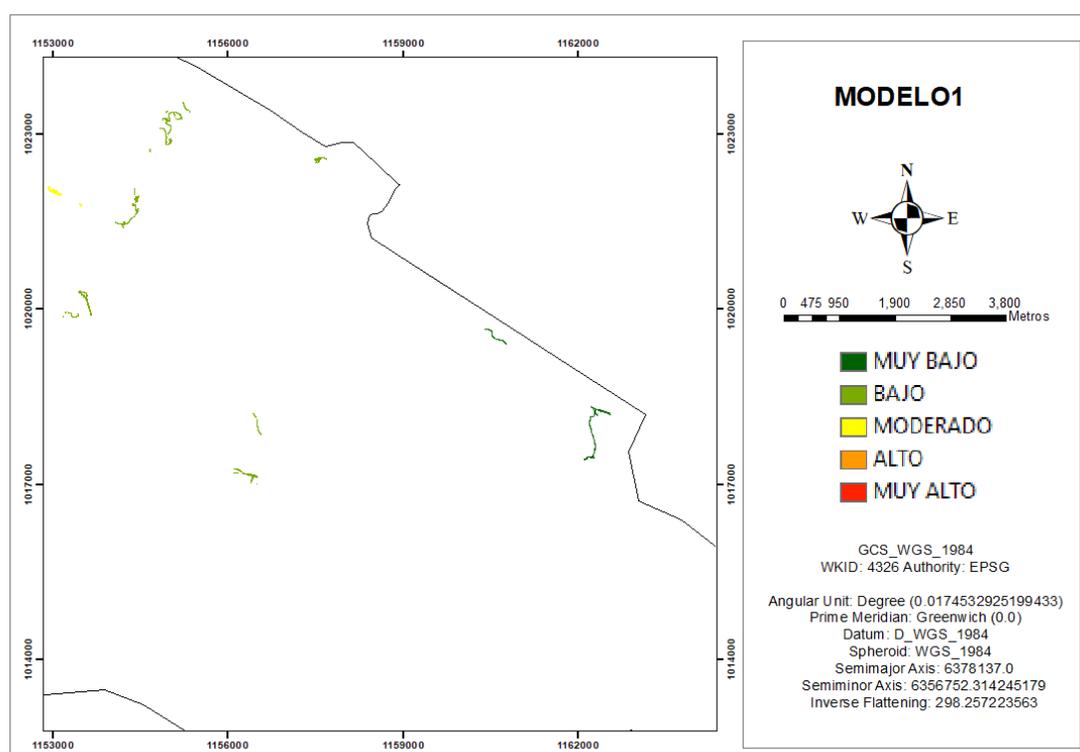
CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD ORIENTE DE PEREIRA

PARAMETROS DEL MODELO 1

UBICACIÓN: ORIENTE DE PEREIRA

PESO W: TuberiaP80 = 0.5
BufSismicidad = 0.5
BufFalla = 0.5
Erosión=0.5
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.5
Pendiente = 0.5

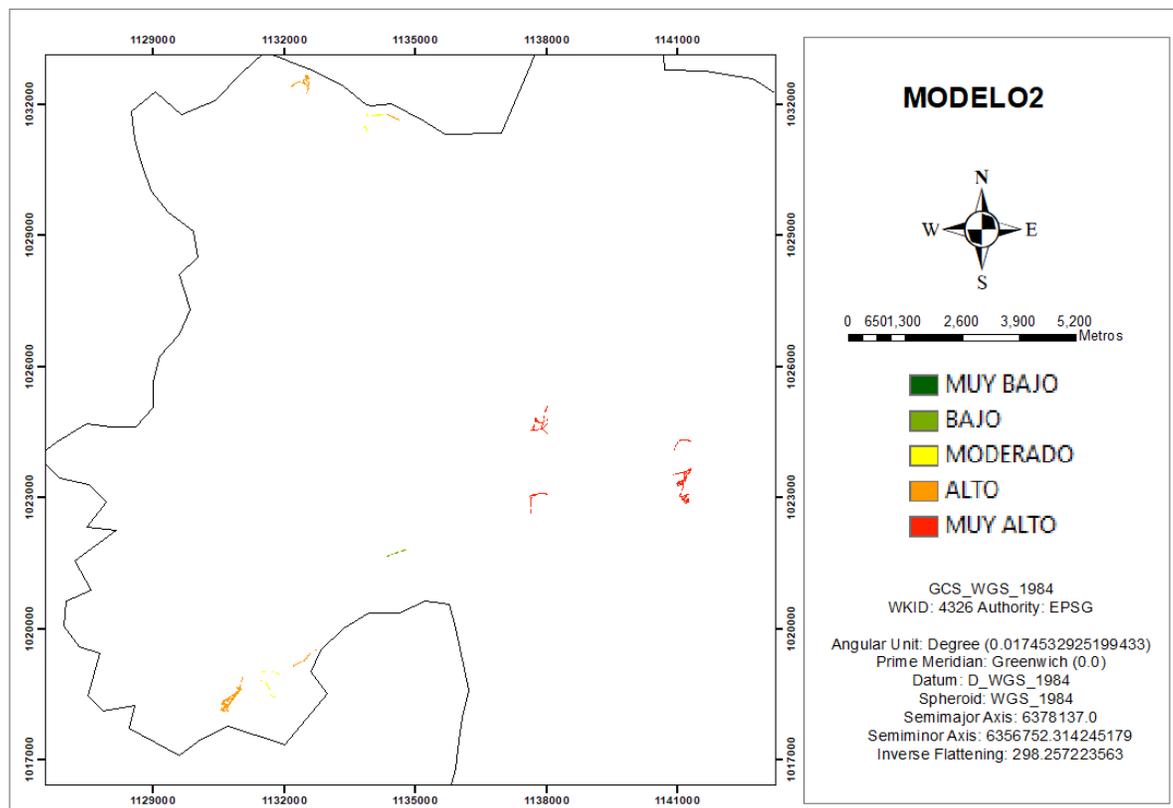
RESULTADO GRÁFICO



-
- *Modelo 2 resultados aplicación fórmula de vulnerabilidad en el municipio de Pereira Caso 2.*

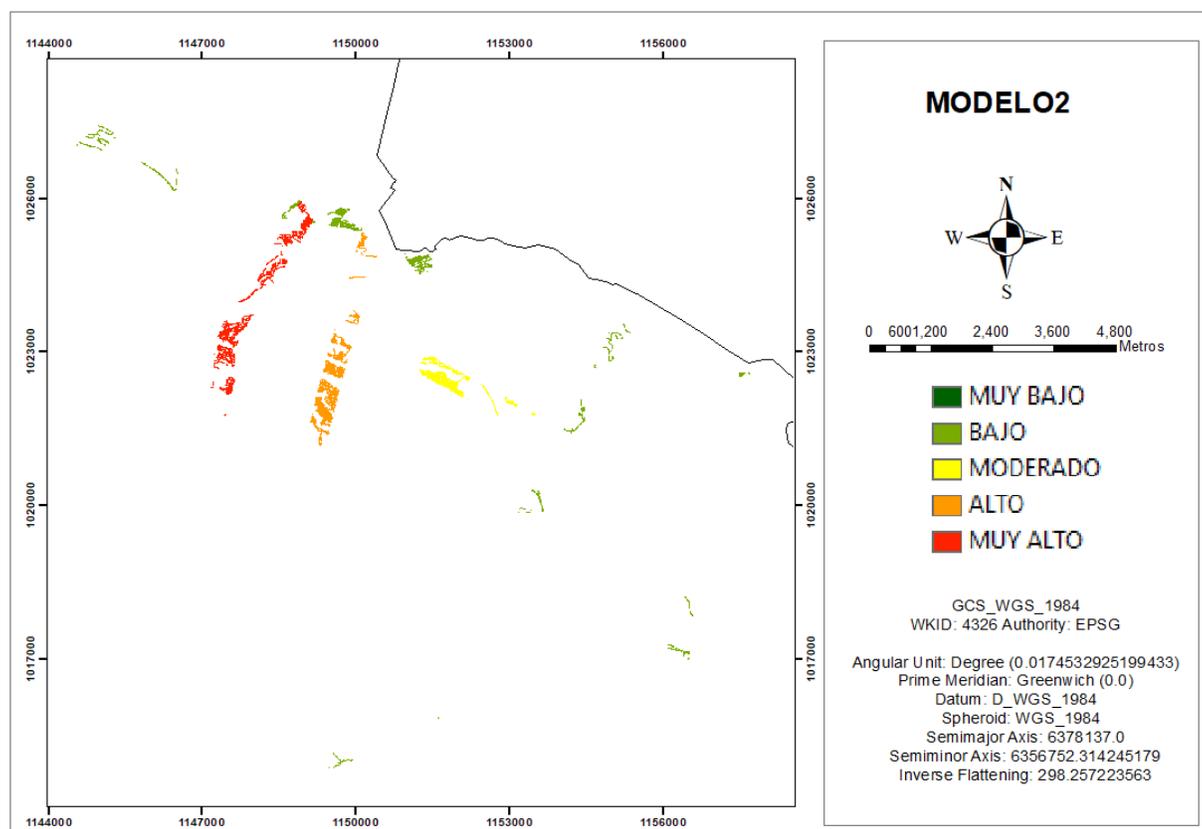
CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD OCCIDENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 2****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE PEREIRA

PESO W: TuberíaP80 = 0.4
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.6
Erosión=0.5
Precipitación = 0.4
Tipo Suelo = 0.4
Pendiente = 0.3

RESULTADO GRÁFICO

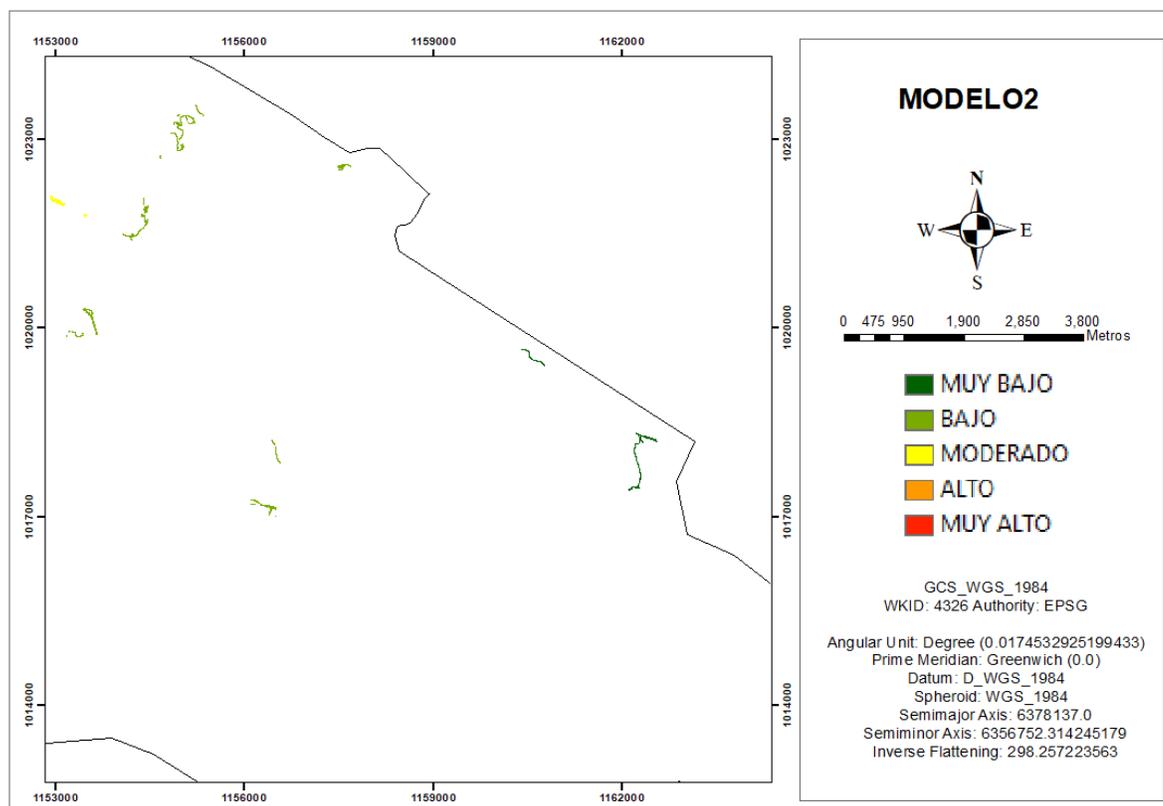
CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 2****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA

PESO W: TuberíaP80 = 0.4
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.6
Erosión=0.5
Precipitación = 0.4
Tipo Suelo = 0.4
Pendiente = 0.3

RESULTADO GRÁFICO

CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 2****UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA

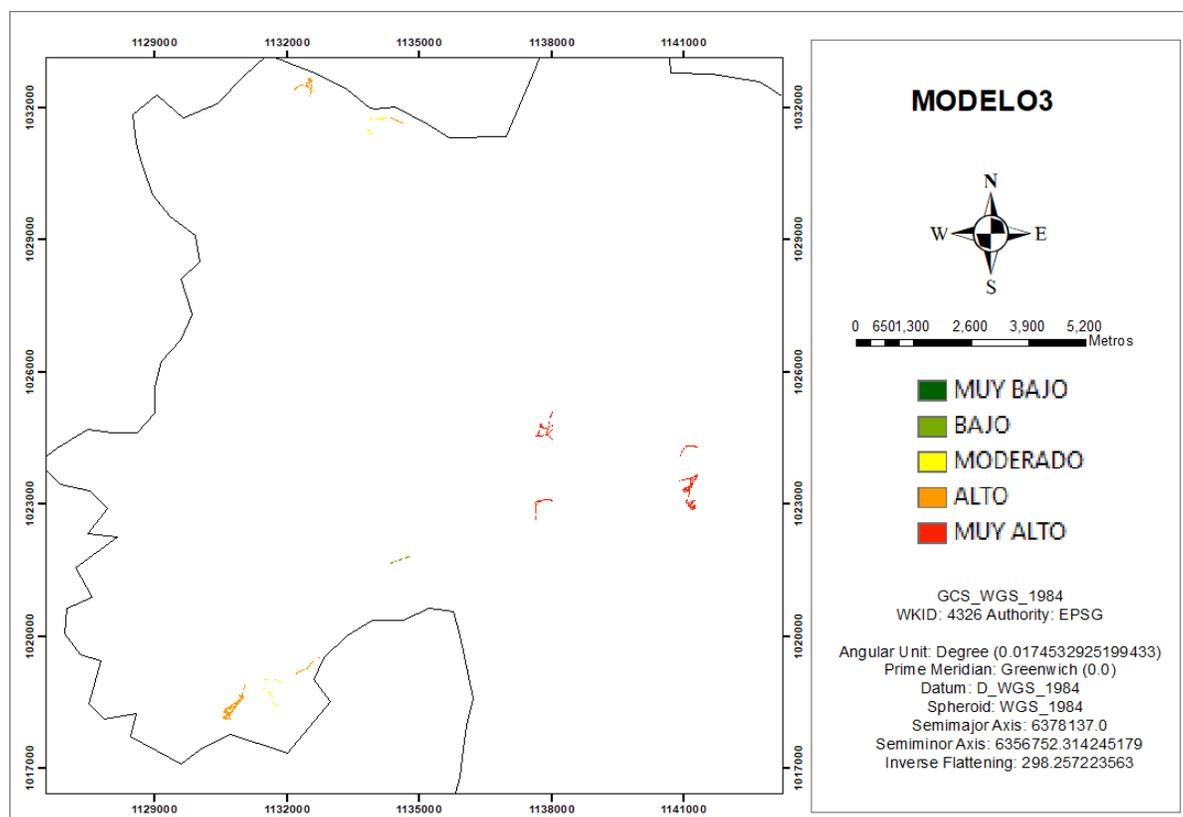
PESO W: TuberiaP80 = 0.4
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.6
Erosión=0.5
Precipitación = 0.4
Tipo Suelo = 0.4
Pendiente = 0.3

RESULTADO GRÁFICO

- *Modelo 3 resultados aplicación fórmula de vulnerabilidad en el municipio de Pereira Caso 2.*

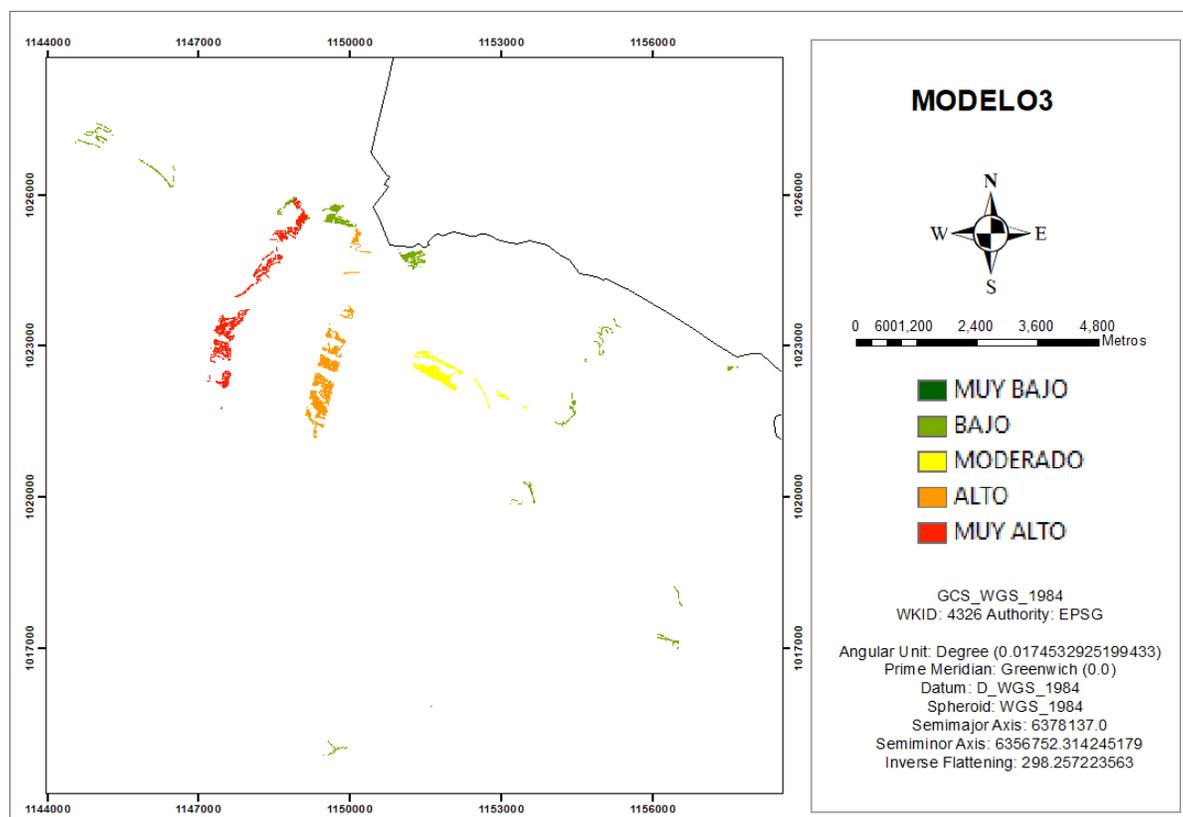
CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD OCCIDENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 3****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE PEREIRA

PESO W: TuberíaP80 = 0.3
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.7
Erosión=0.4
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.4

RESULTADO GRÁFICO

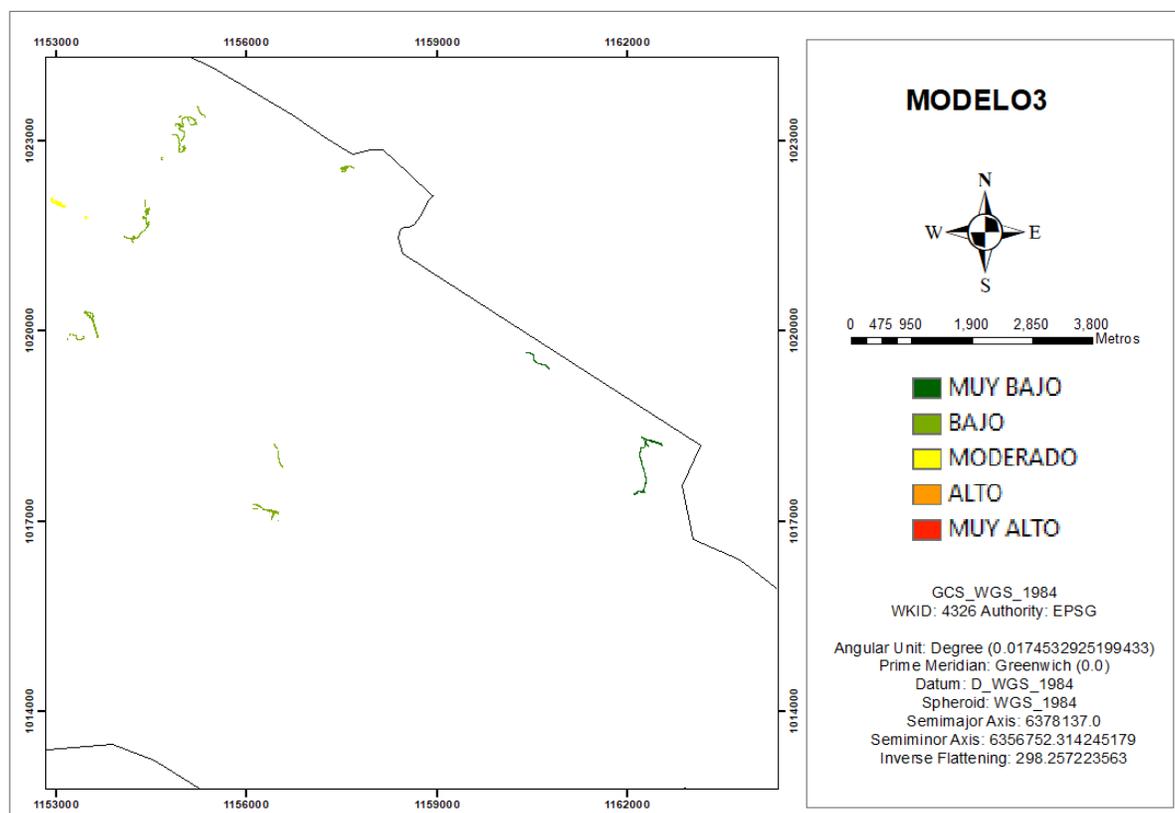
CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 3****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA

PESO W: TuberíaP80 = 0.3
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.7
Erosión=0.4
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.4

RESULTADO GRÁFICO

CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 3****UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA

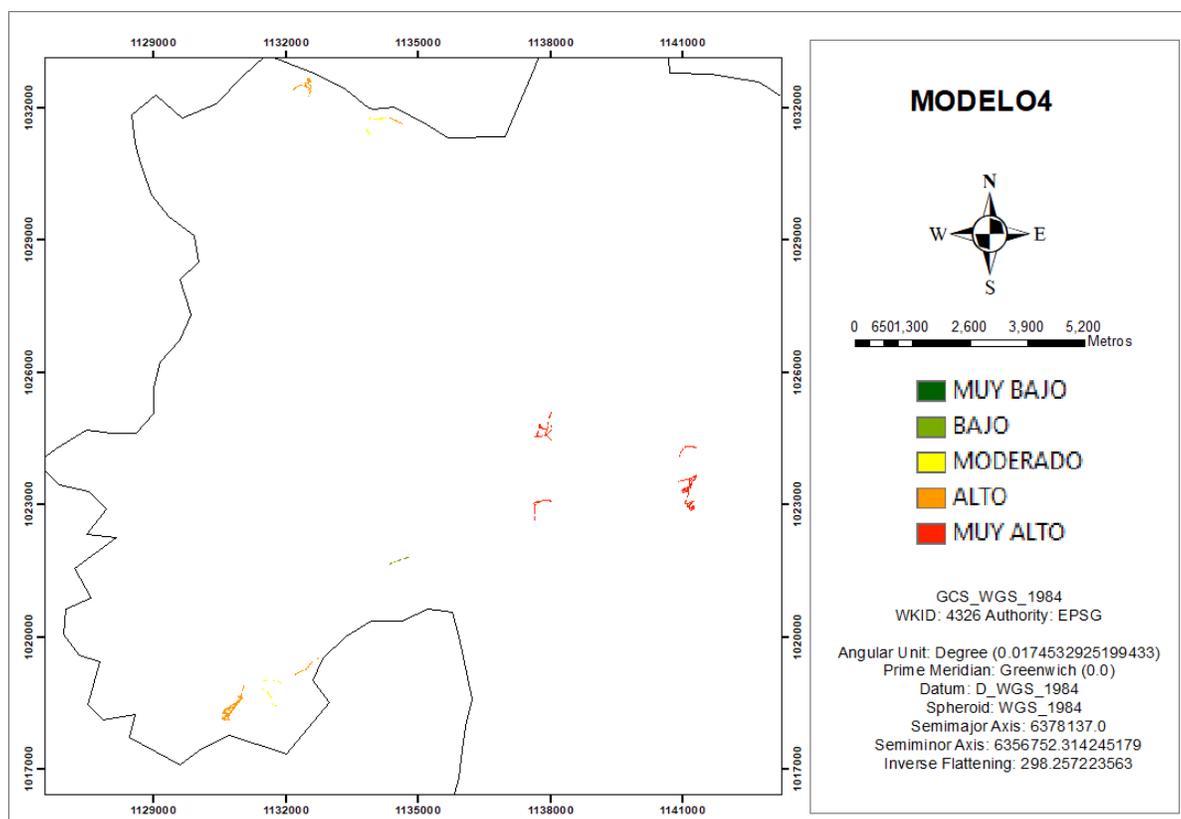
PESO W: TuberiaP80 = 0.3
BufSismicidad = 0.2
BufFalla = 0.7
Erosión=0.4
Precipitación = 0.5
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.4

RESULTADO GRÁFICO

- *Modelo 4 resultados aplicación fórmula de vulnerabilidad en el municipio de Pereira Caso 2.*

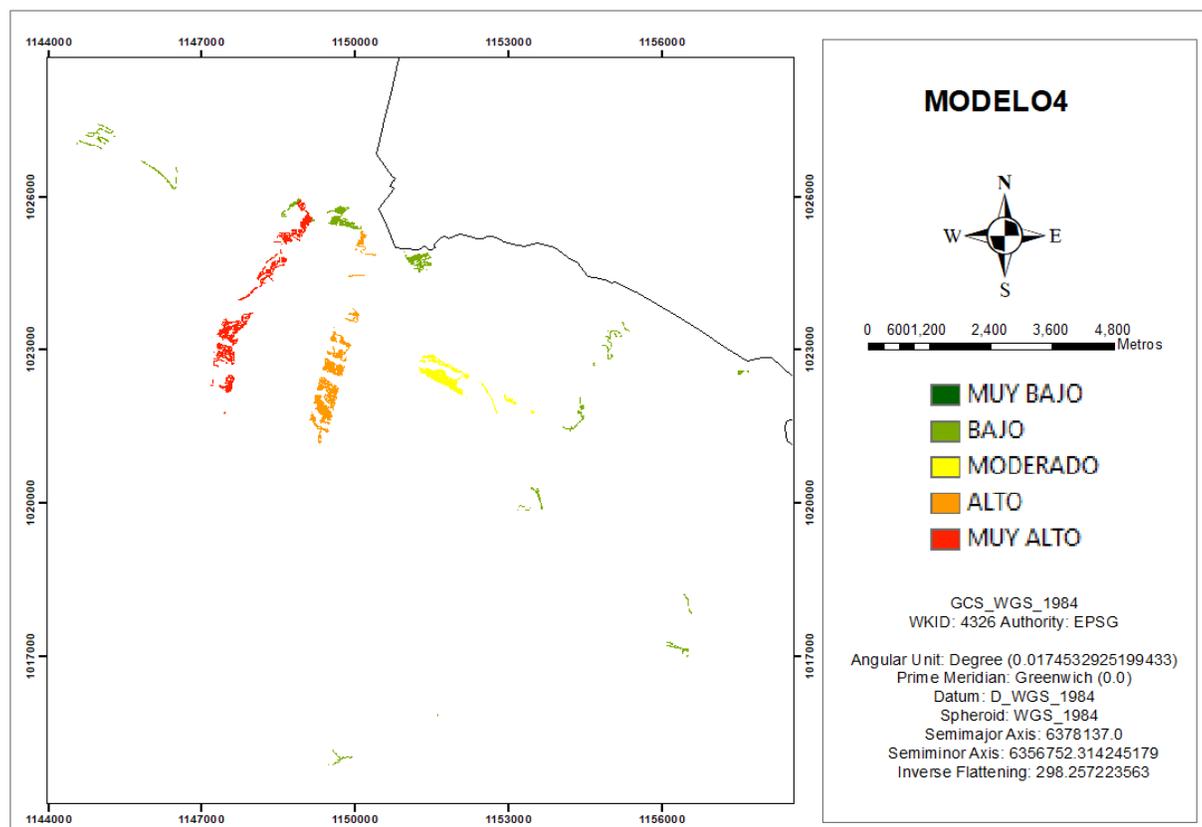
CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD OCCIDENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 4****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE PEREIRA

PESO W: TuberíaP80 = 0.7
BufSismicidad = 0.4
BufFalla = 0.3
Erosión=0.2
Precipitación = 0.3
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.6

RESULTADO GRÁFICO

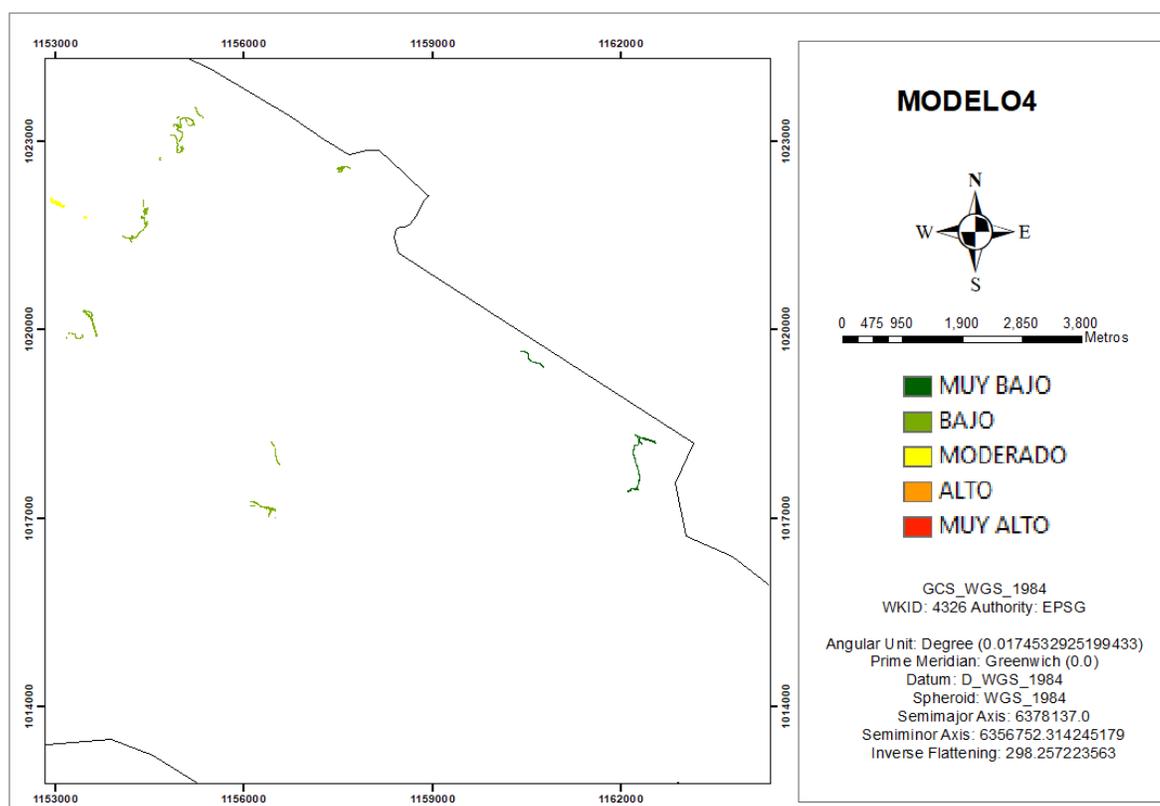
CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 4****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA

PESO W: TuberíaP80 = 0.7
BufSismicidad = 0.4
BufFalla = 0.3
Erosión=0.2
Precipitación = 0.3
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.6

RESULTADO GRÁFICO

CASO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO 4****UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA

PESO W: TuberiaP80 = 0.7
BufSismicidad = 0.4
BufFalla = 0.3
Erosión=0.2
Precipitación = 0.3
Tipo Suelo = 0.3
Pendiente = 0.6

RESULTADO GRÁFICO

C. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 3 de riesgo por remoción en masa del municipio de Manizales.

- *Modelo 1 resultados aplicación fórmula de riesgo por remoción en masa en el municipio de Manizales Caso 3.*

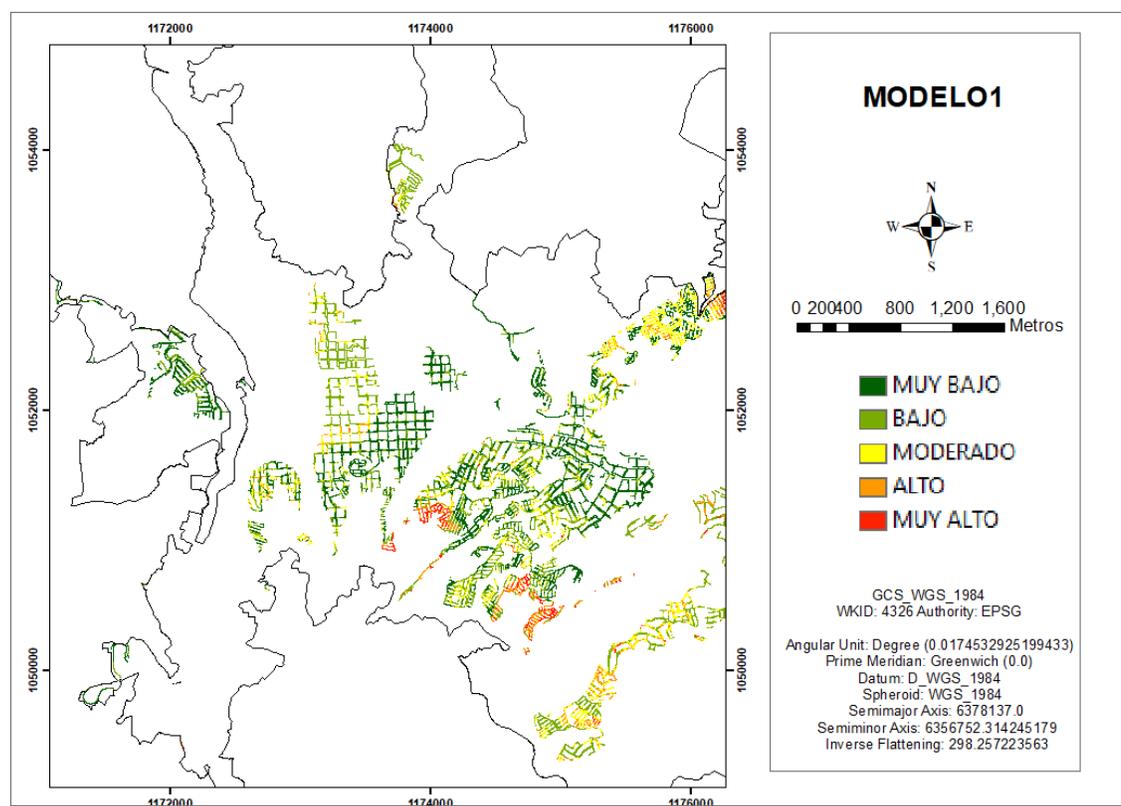
CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL OCCIDENTE DE MANIZALES

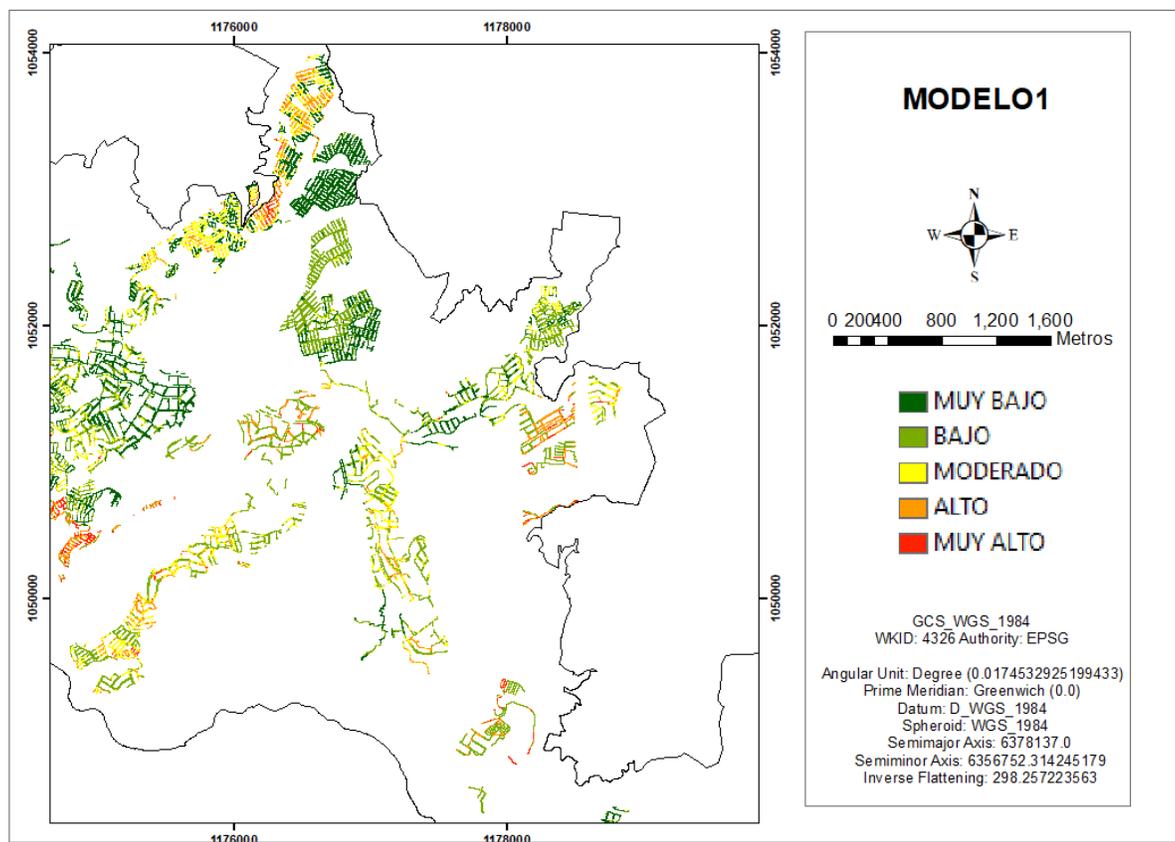
PARAMETROS DEL MODELO Rmm

UBICACIÓN: OCCIDENTE DE MANIZALES

Rmm = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa

RESULTADO GRÁFICO



CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

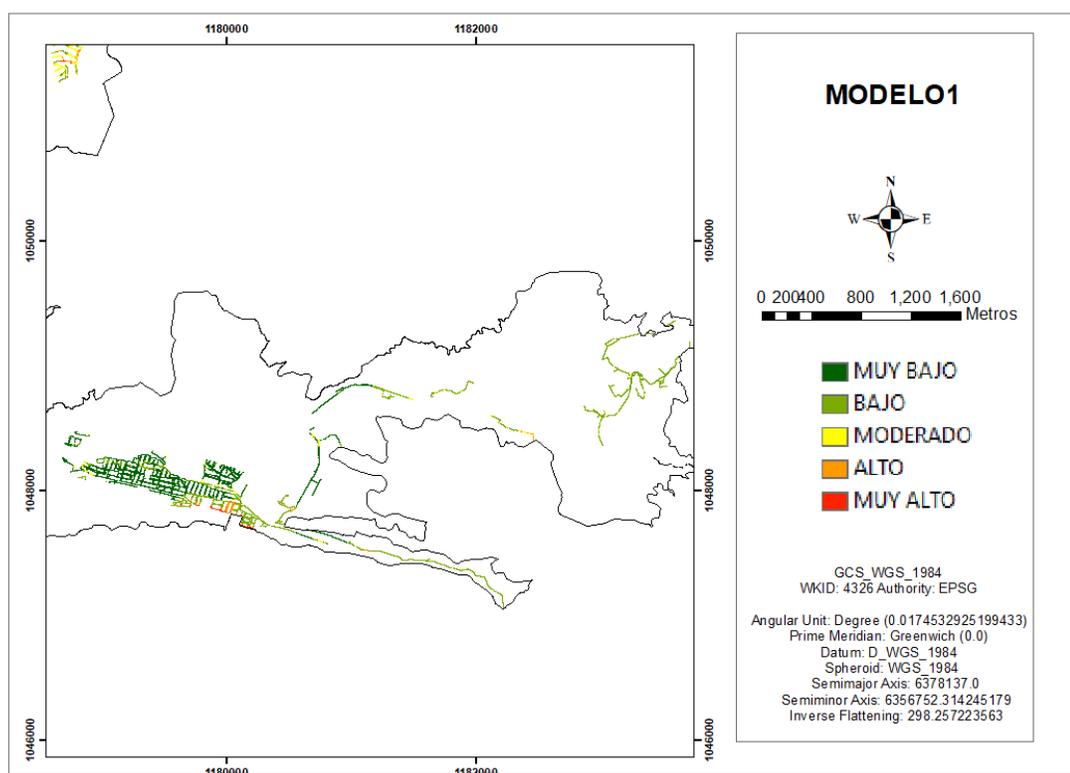
CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL ORIENTE DE MANIZALES

PARAMETROS DEL MODELO Rmm

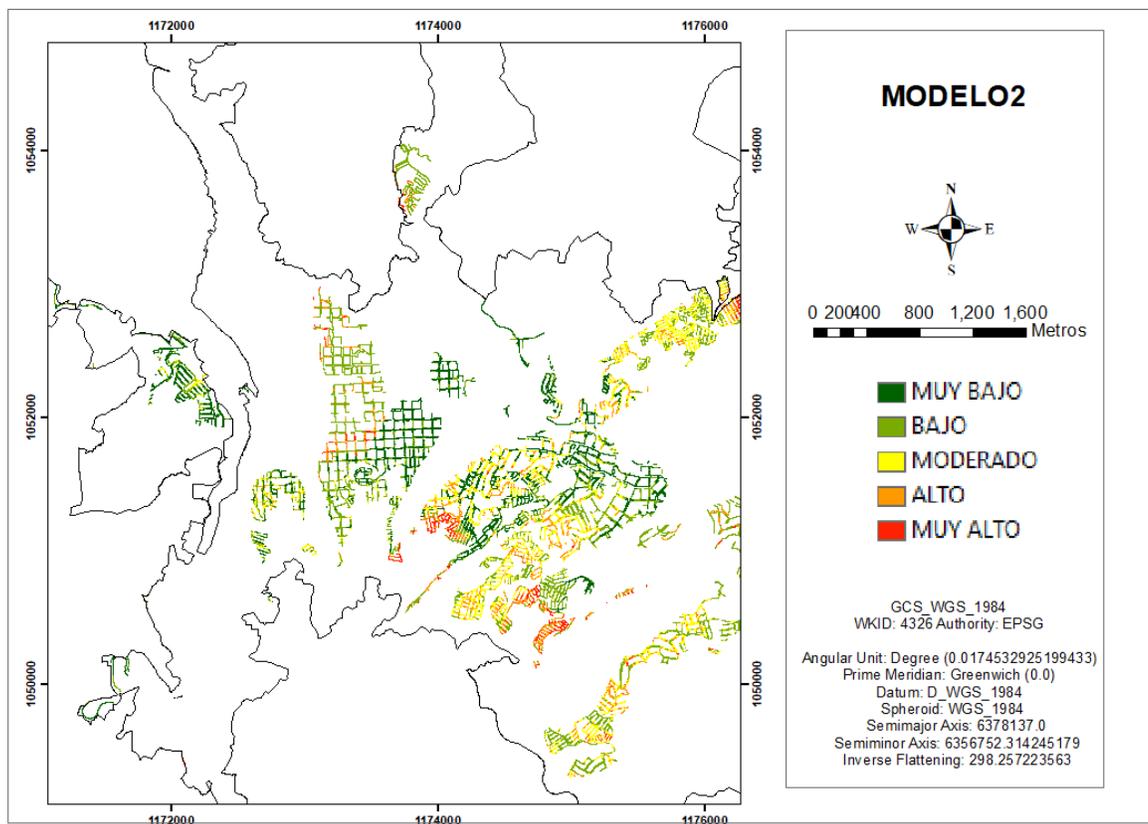
UBICACIÓN: ORIENTE DE MANIZALES

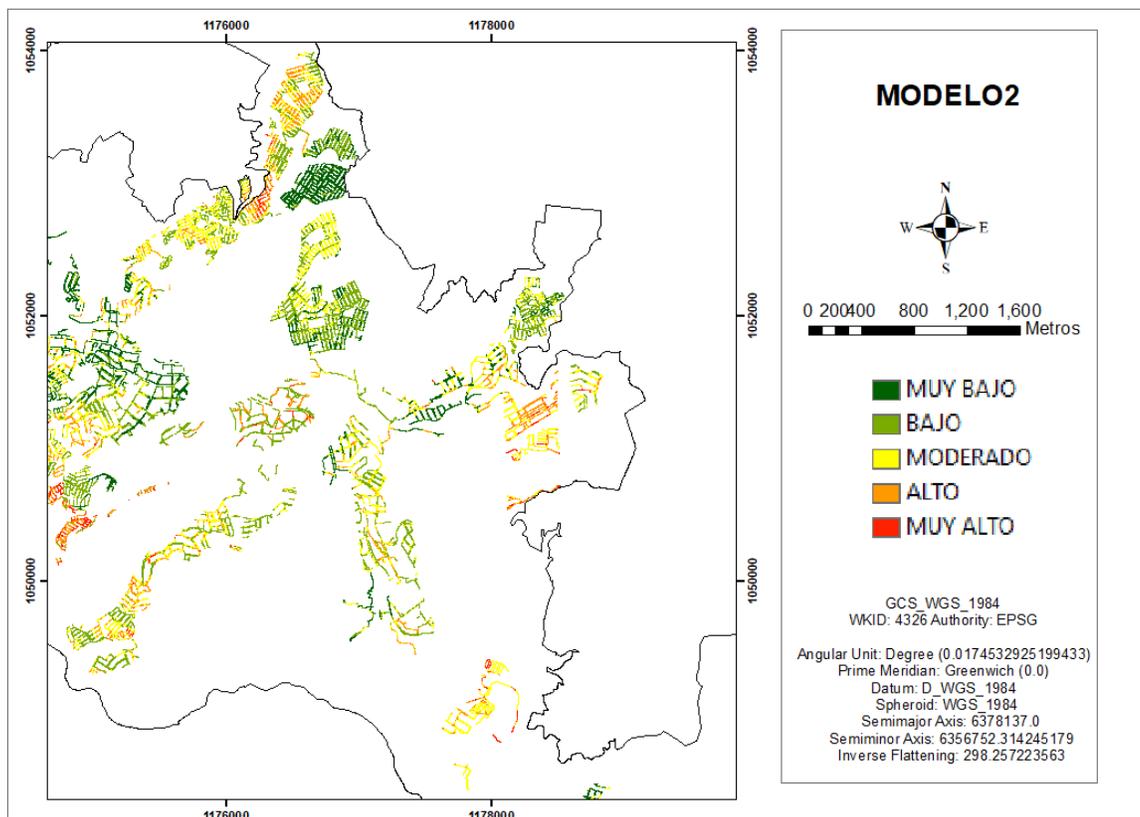
Rmm = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa

RESULTADO GRÁFICO



- *Modelo 2 resultados aplicación fórmula de riesgo por remoción en masa en el municipio de Manizales Caso 3.*

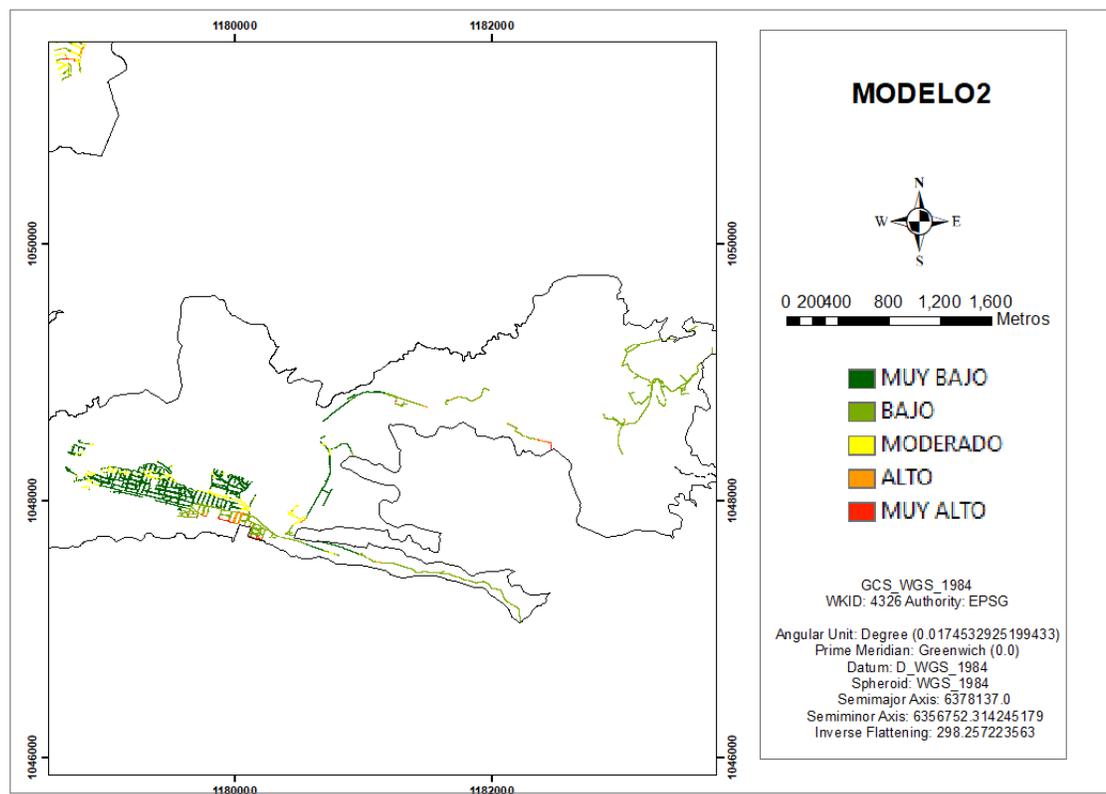
CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL OCCIDENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

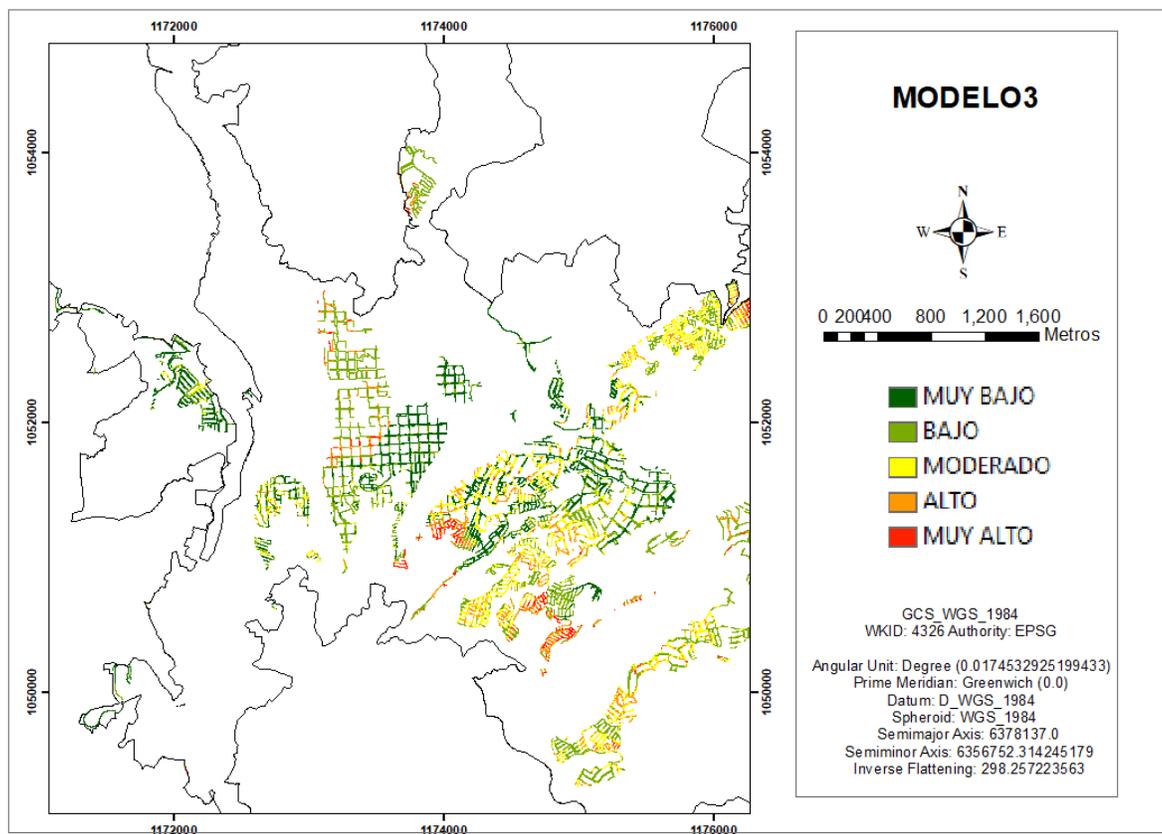
CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL ORIENTE DE MANIZALES

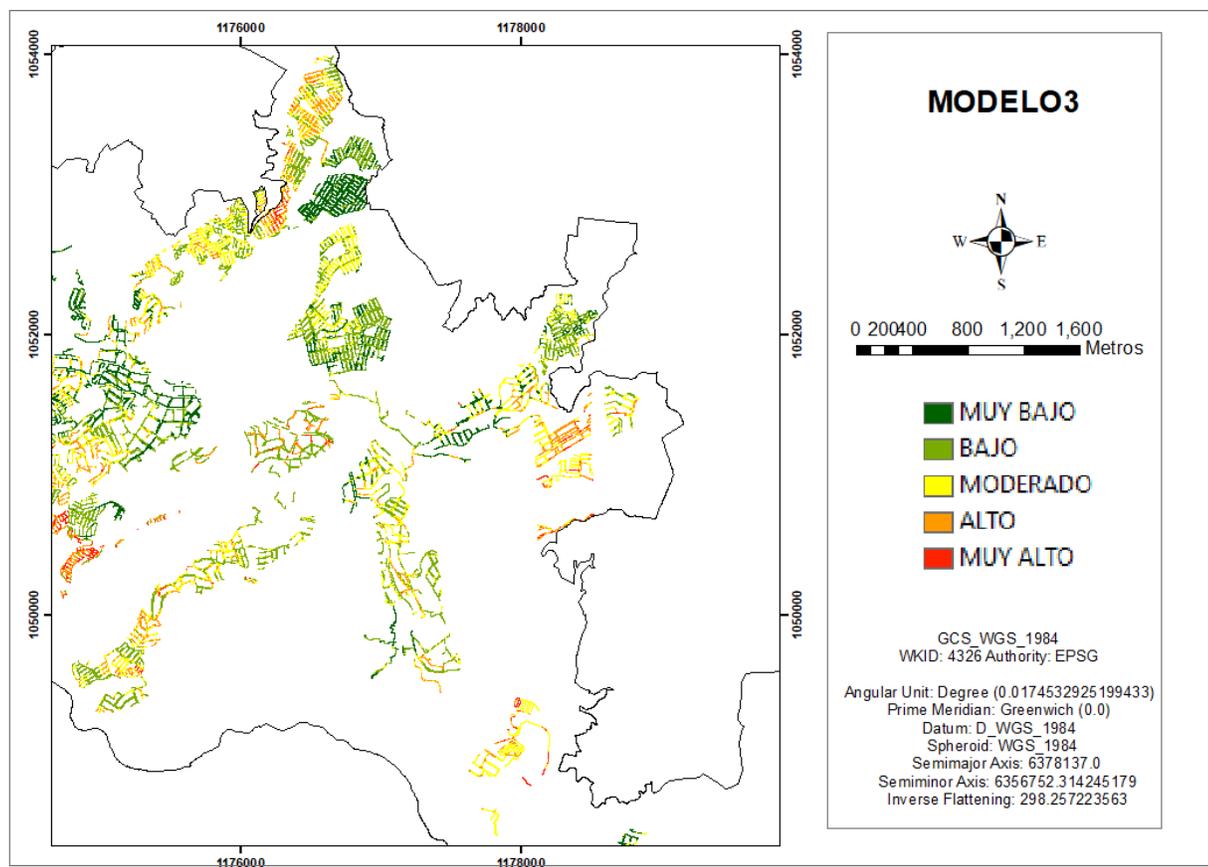
PARAMETROS DEL MODELO Rmm**UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa

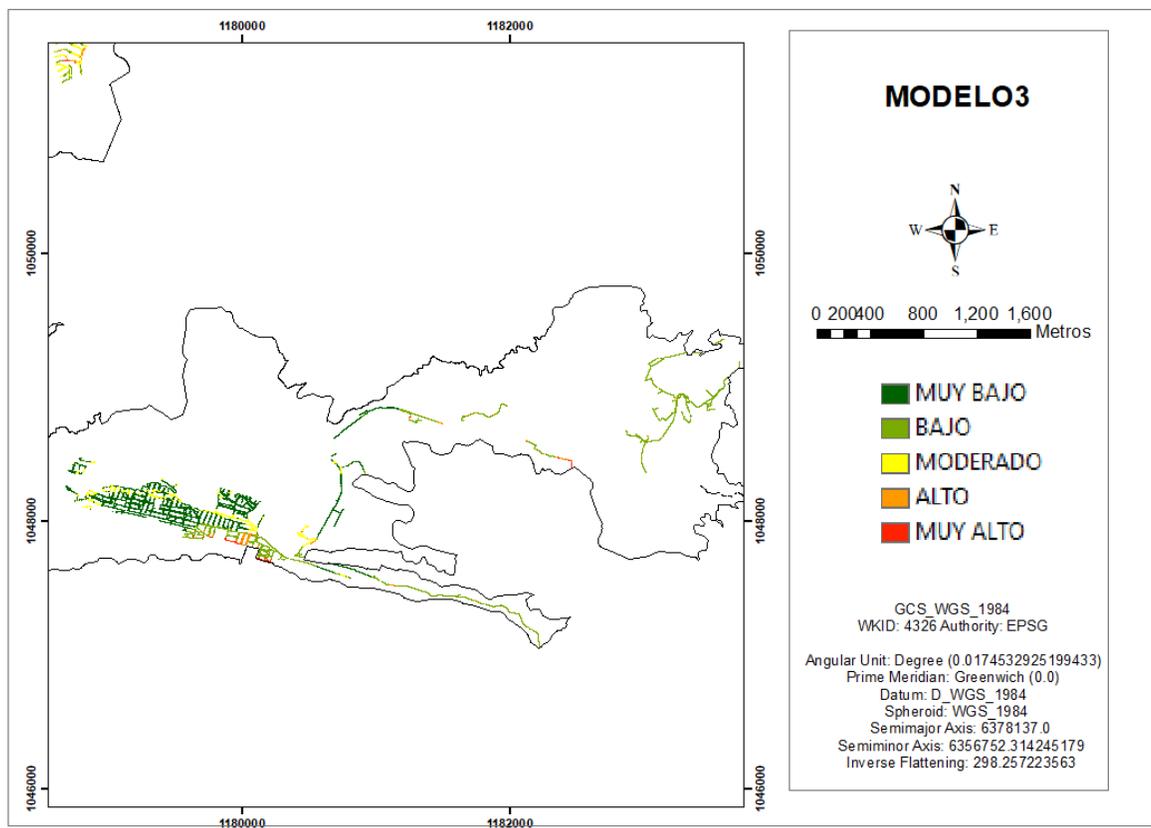
RESULTADO GRÁFICO



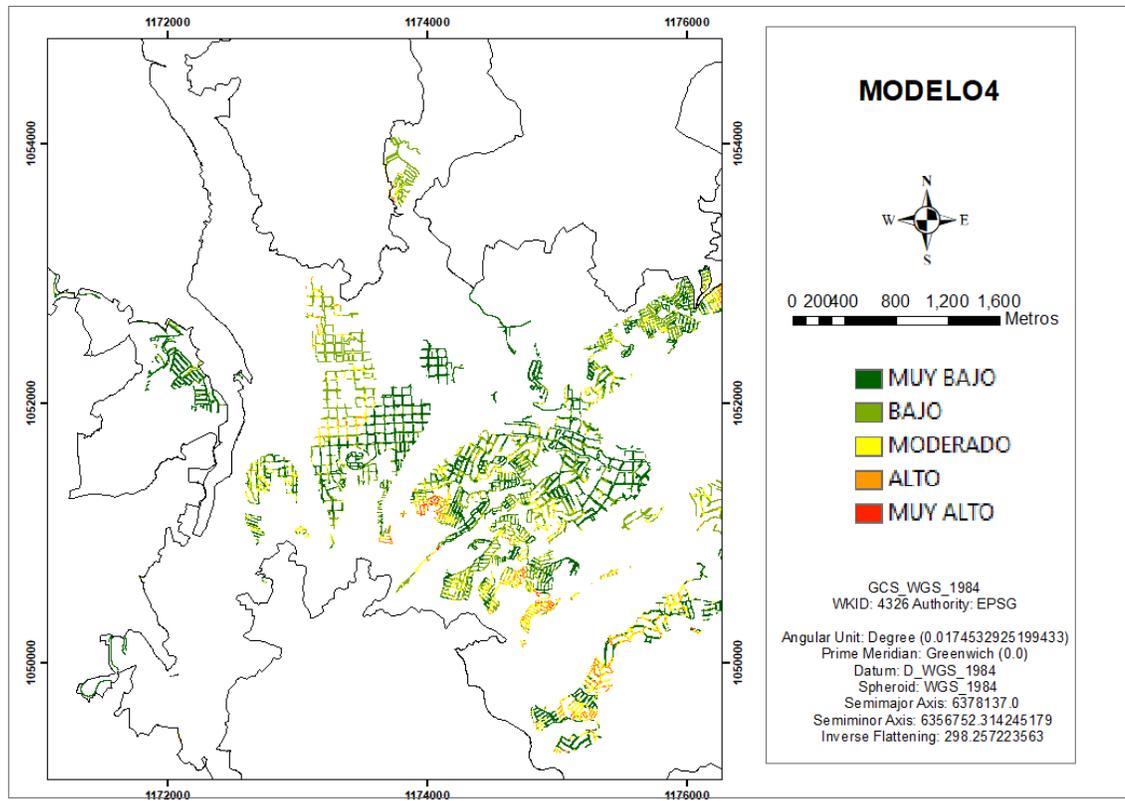
- *Modelo 3 resultados aplicación fórmula de riesgo por remoción en masa en el municipio de Manizales Caso 3.*

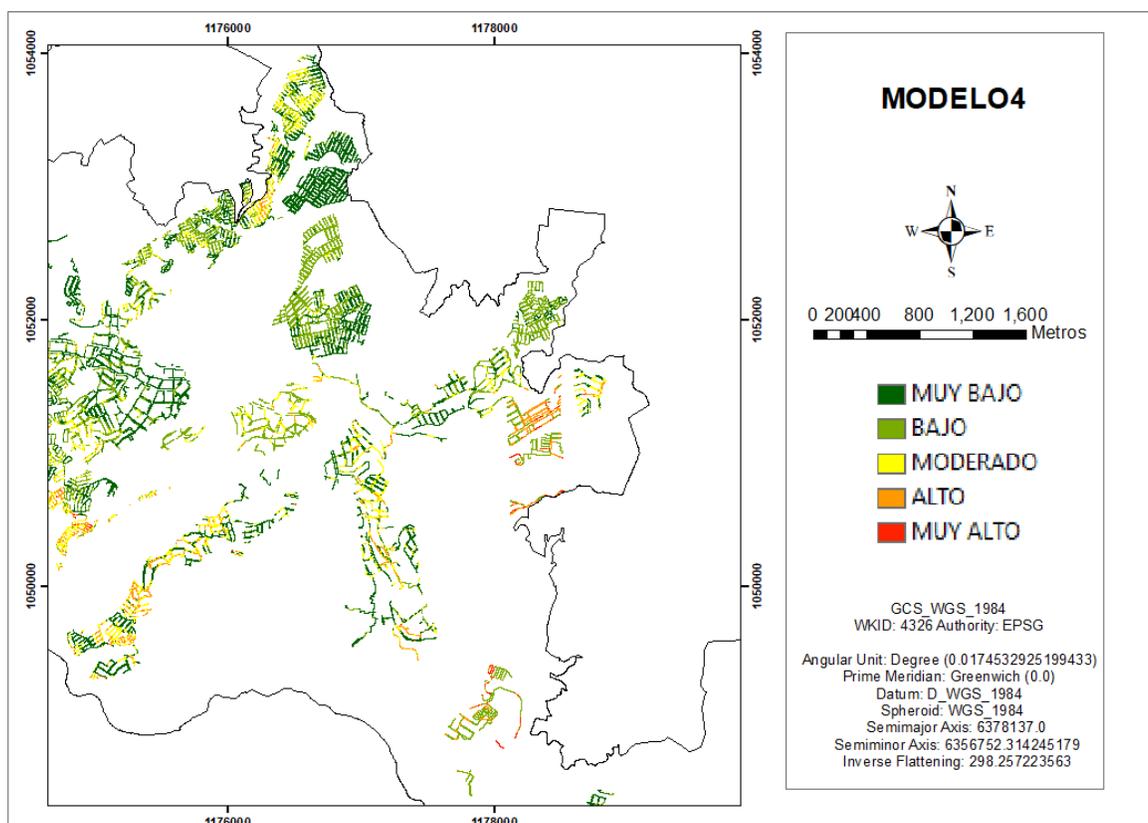
CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL OCCIDENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

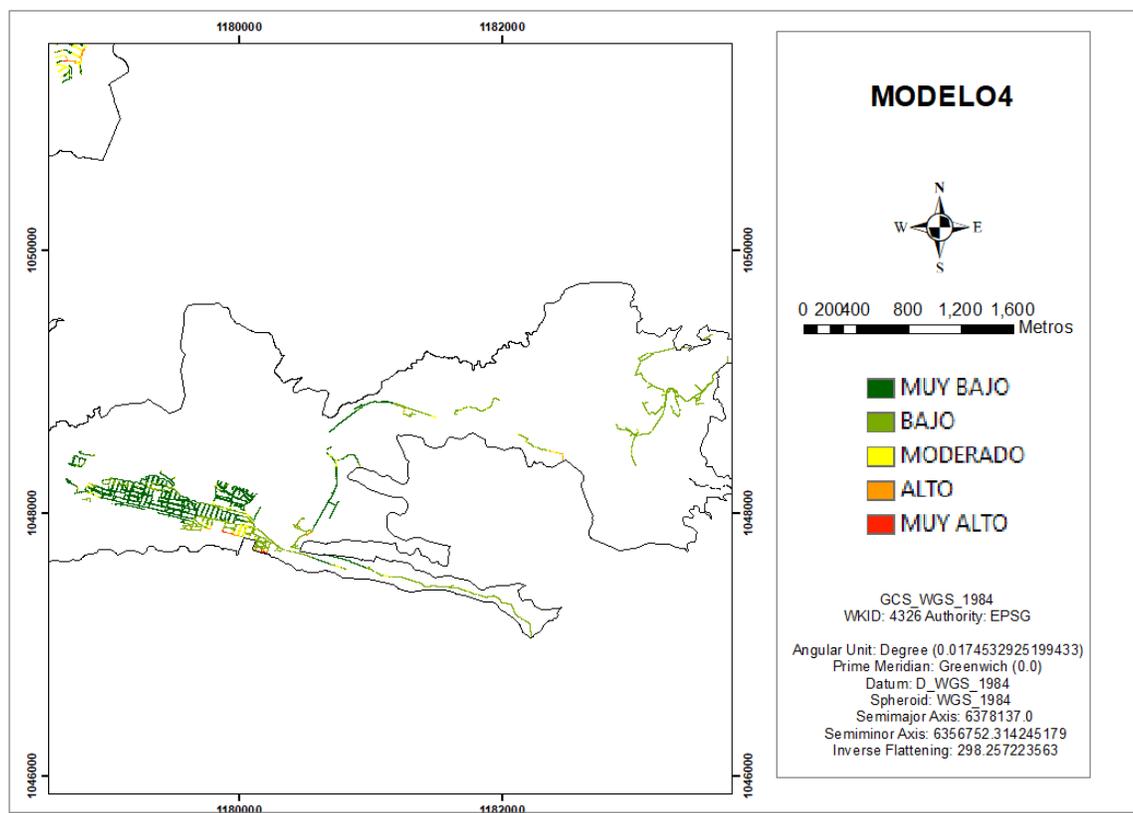
CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL ORIENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

- *Modelo 4 resultados aplicación fórmula de riesgo por remoción en masa en el municipio de Manizales Caso 3.*

CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL OCCIDENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 3. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL ORIENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES**Rmm** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

D. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 4 de riesgo por remoción en masa del municipio de Pereira.

- *Modelo 1 resultados aplicación fórmula de riesgo por remoción en masa en el municipio de Pereira Caso 4.*

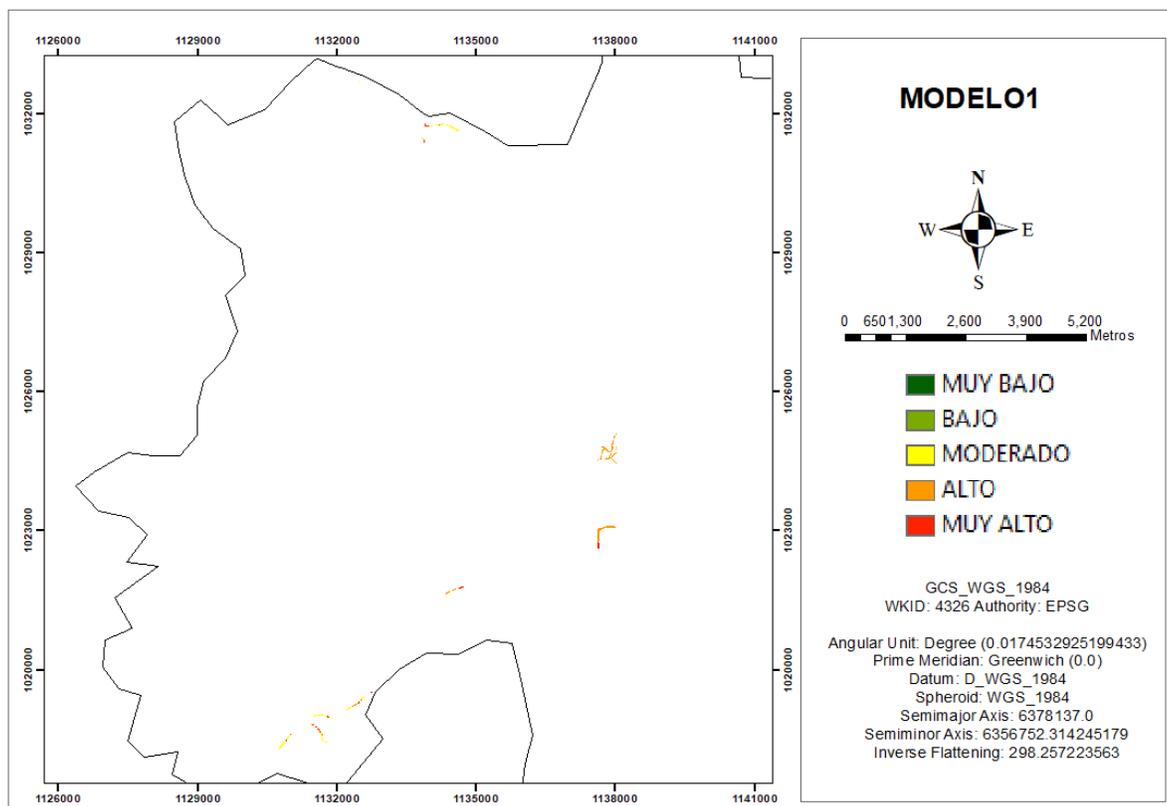
CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL OCCIDENTE DE PEREIRA

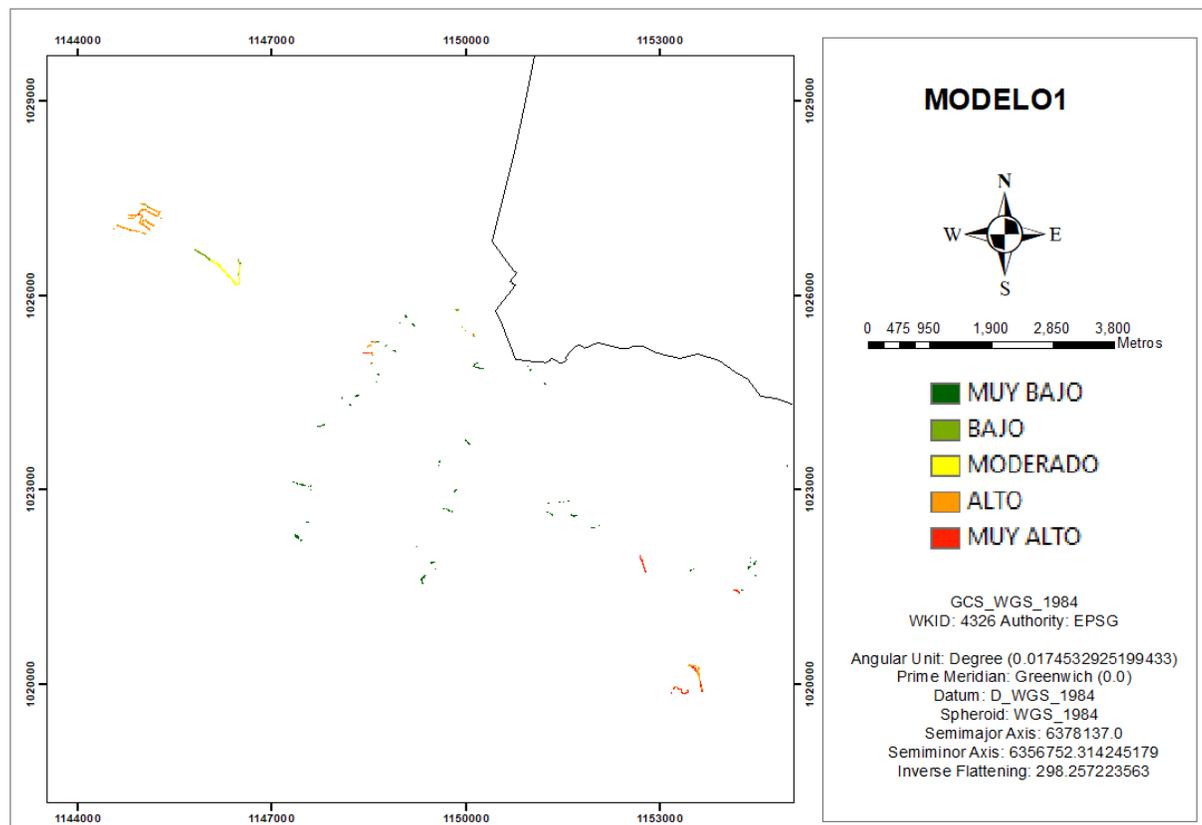
PARAMETROS DEL MODELO Rmm

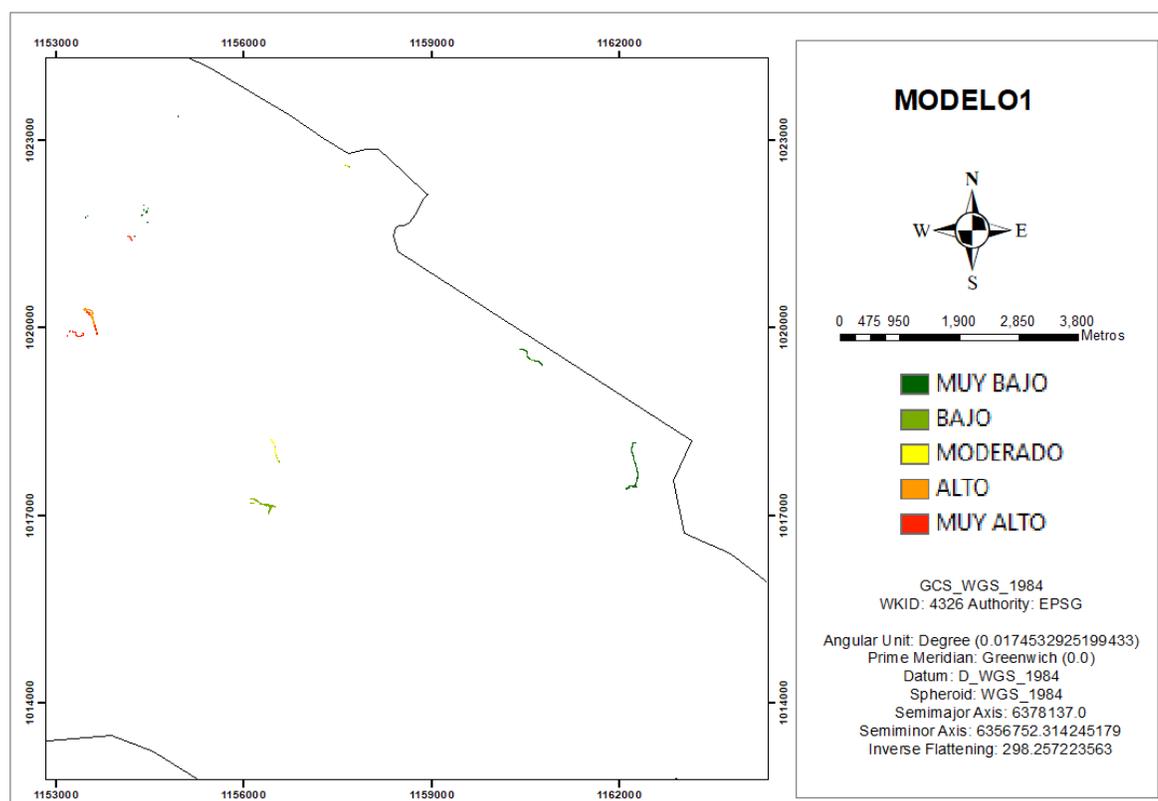
UBICACIÓN: OCCIDENTE DE PEREIRA

Rmm = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa

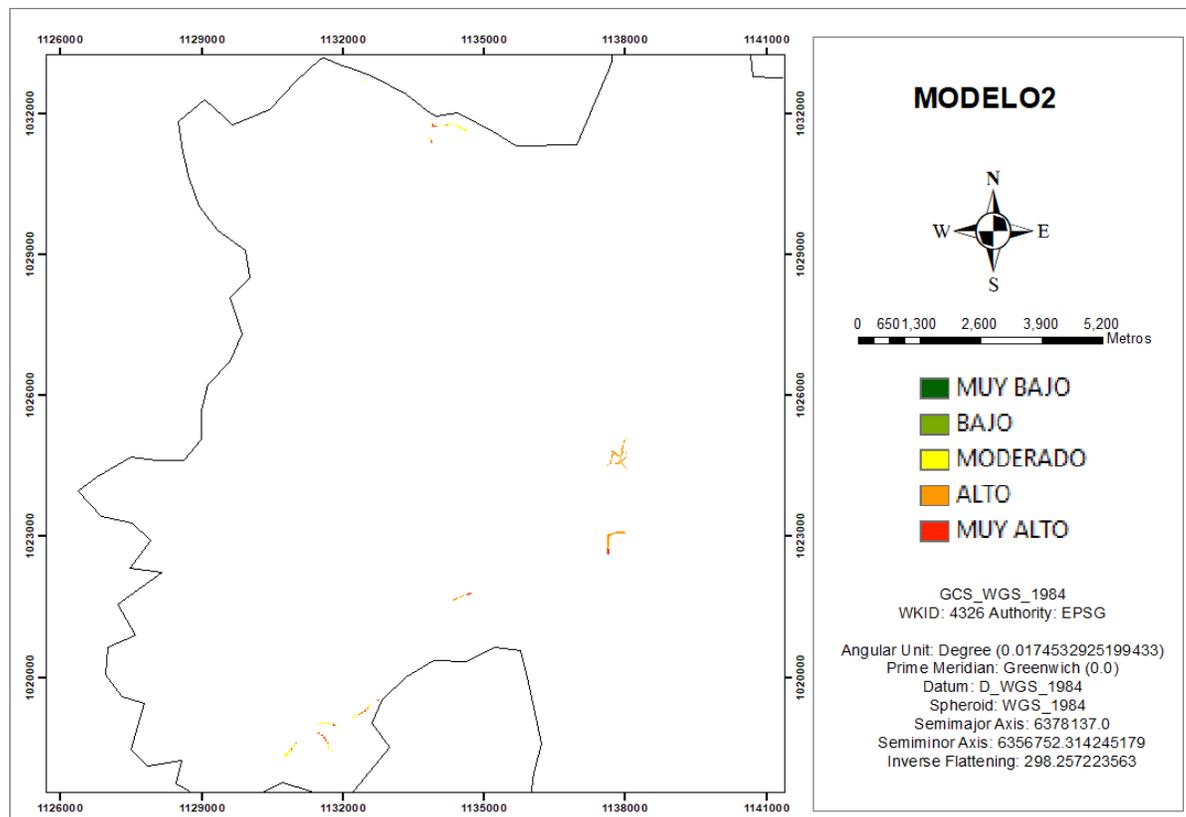
RESULTADO GRÁFICO

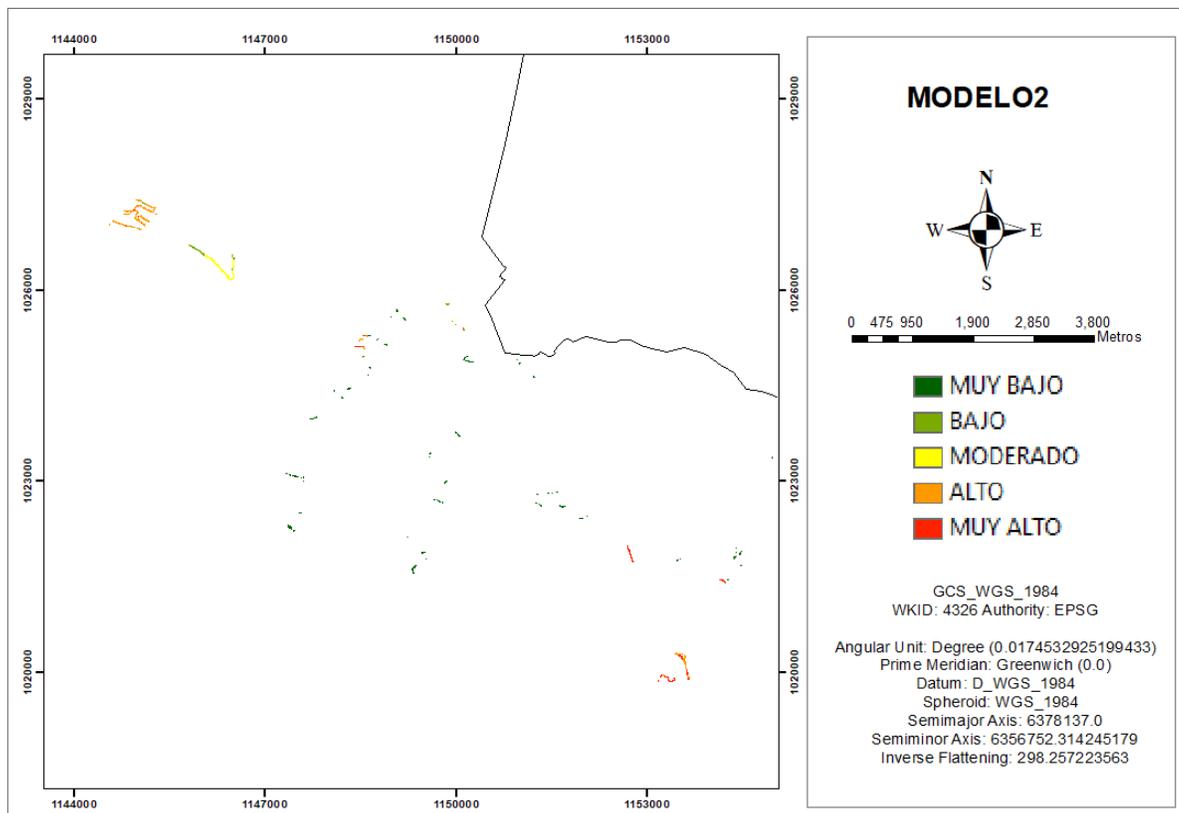


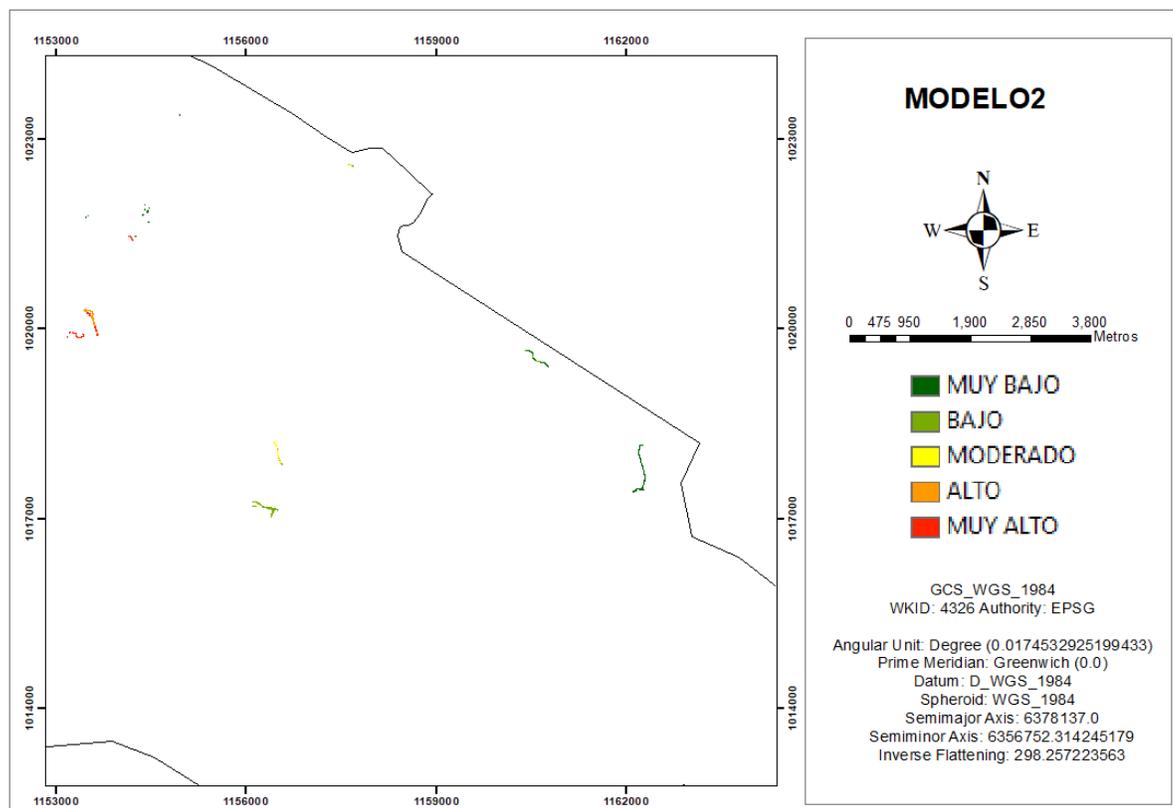
CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

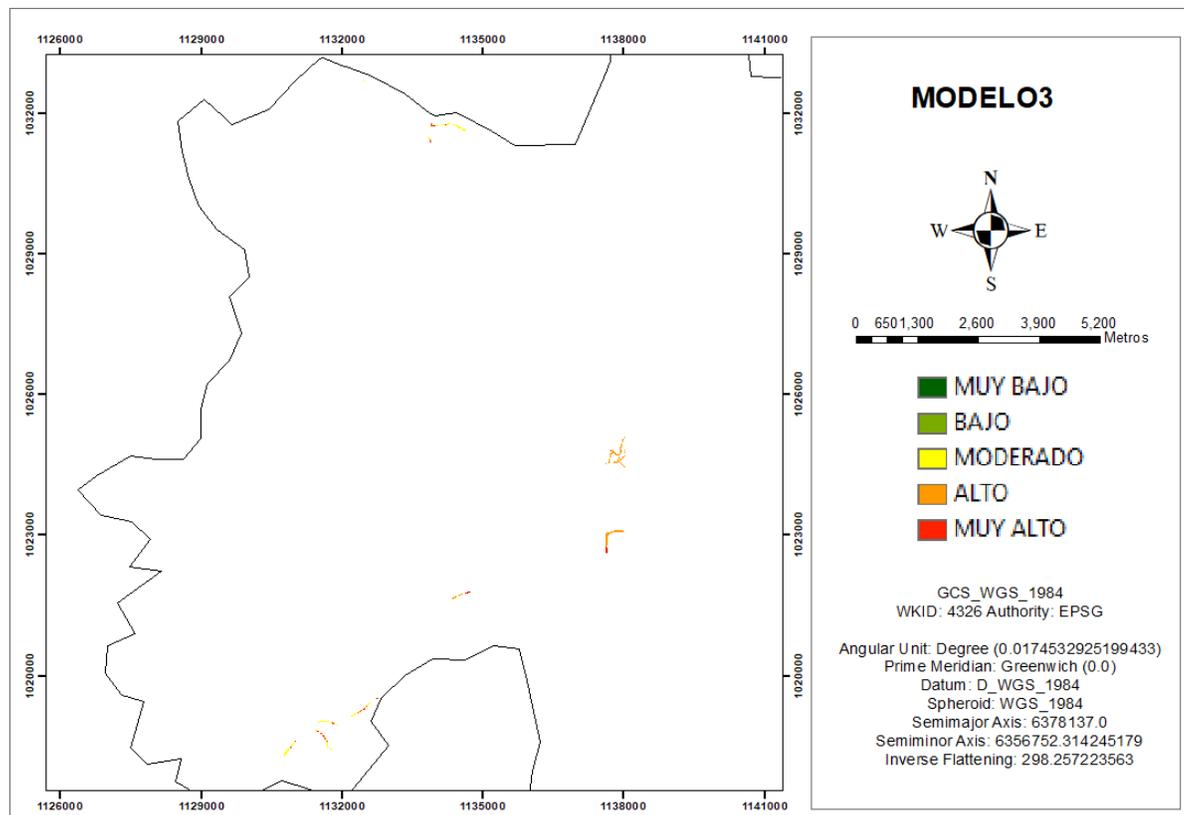
- *Modelo 2 resultados aplicación fórmula de riesgo por remoción en masa en el municipio de Pereira Caso 4.*

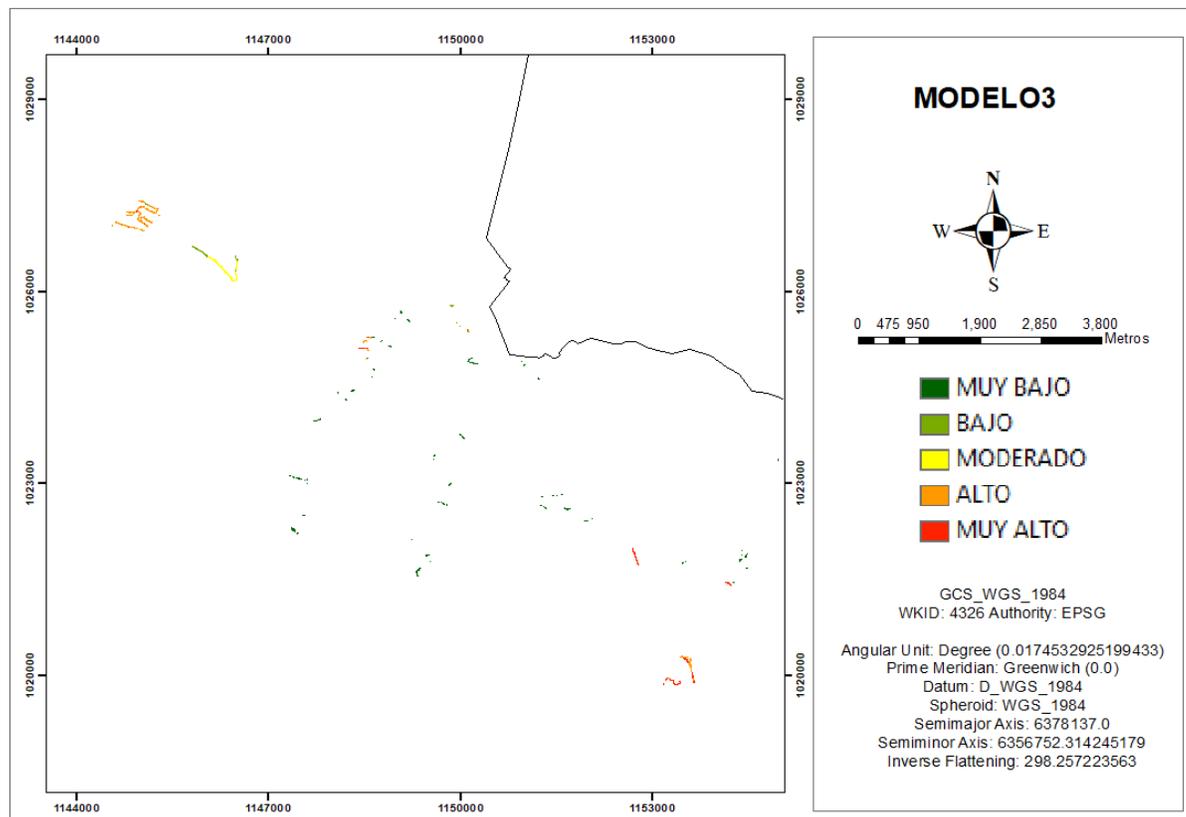
CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL OCCIDENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

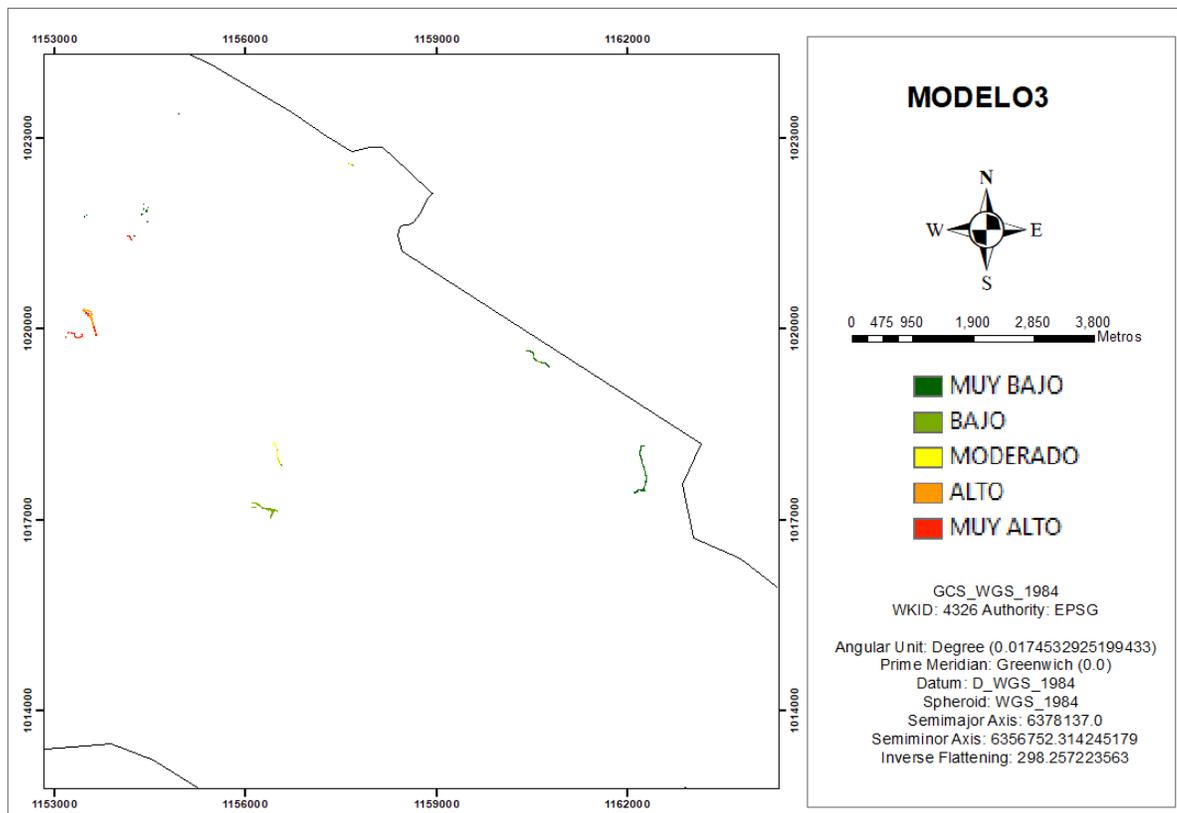
CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

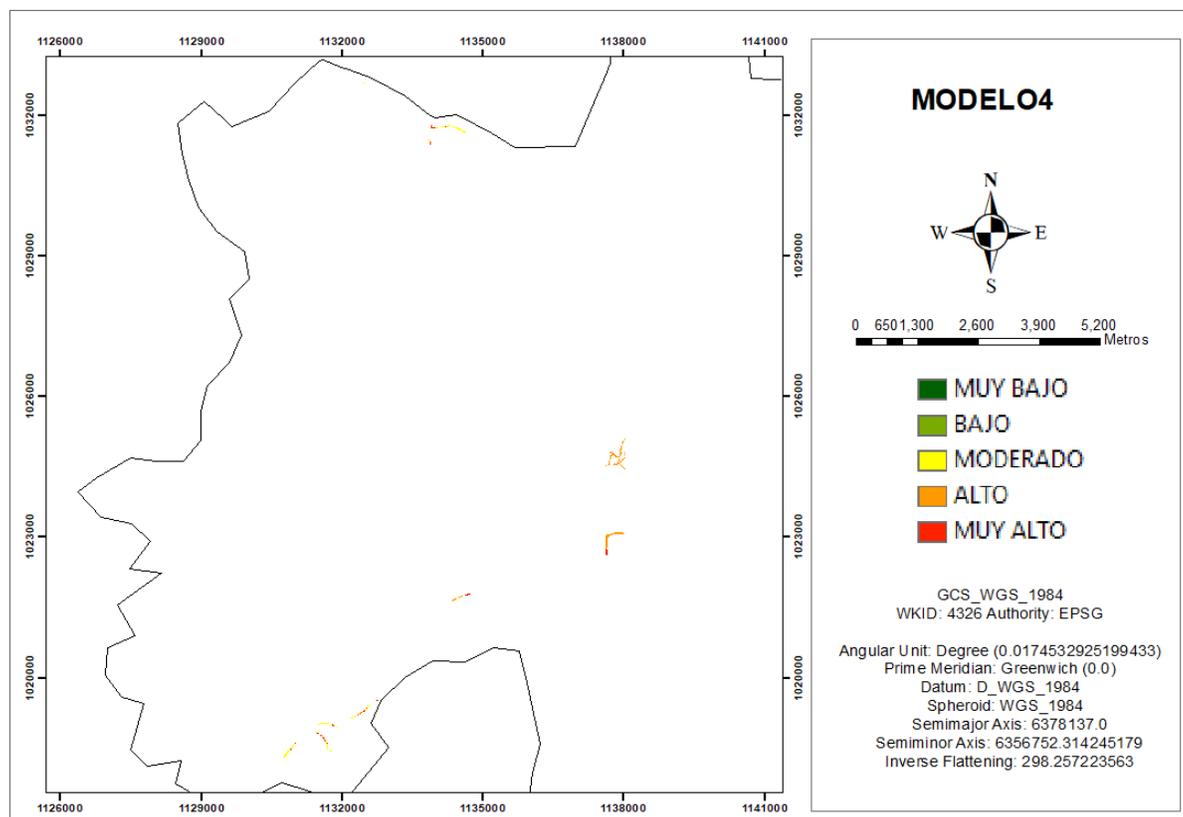
- *Modelo 3 resultados aplicación fórmula de riesgo por remoción en masa en el municipio de Pereira Caso 4.*

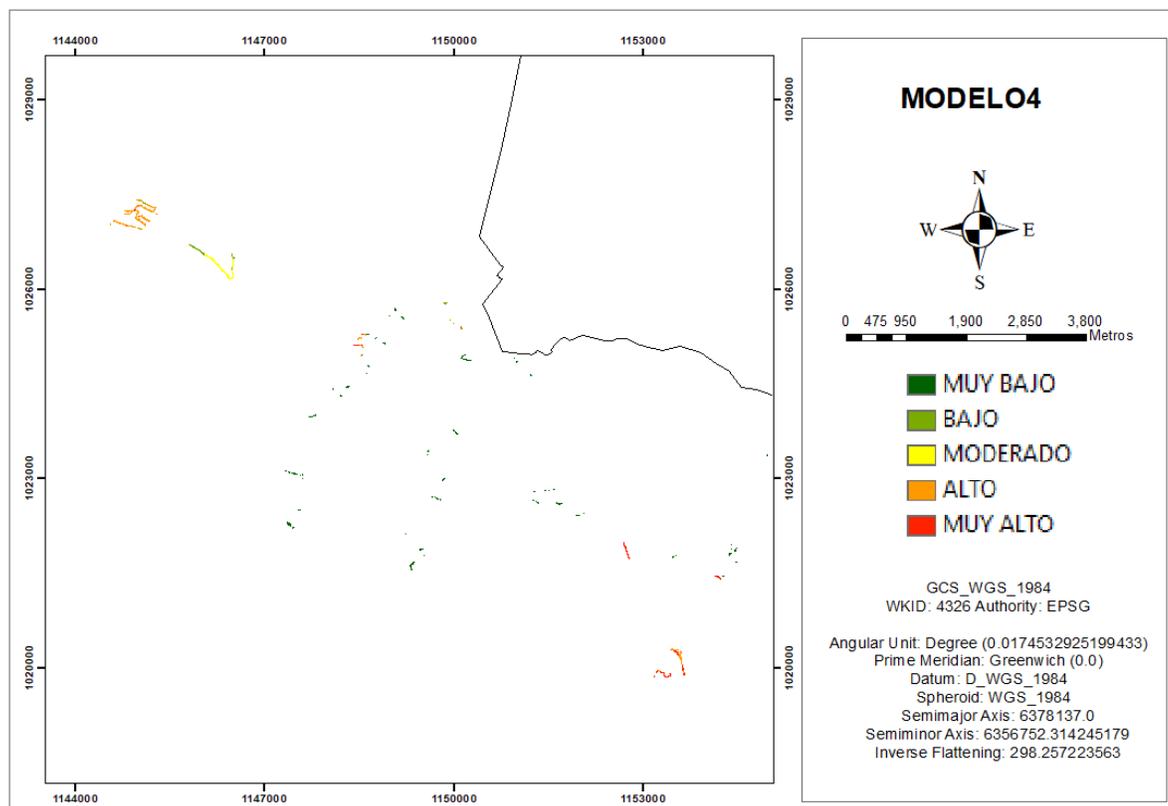
CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL OCCIDENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

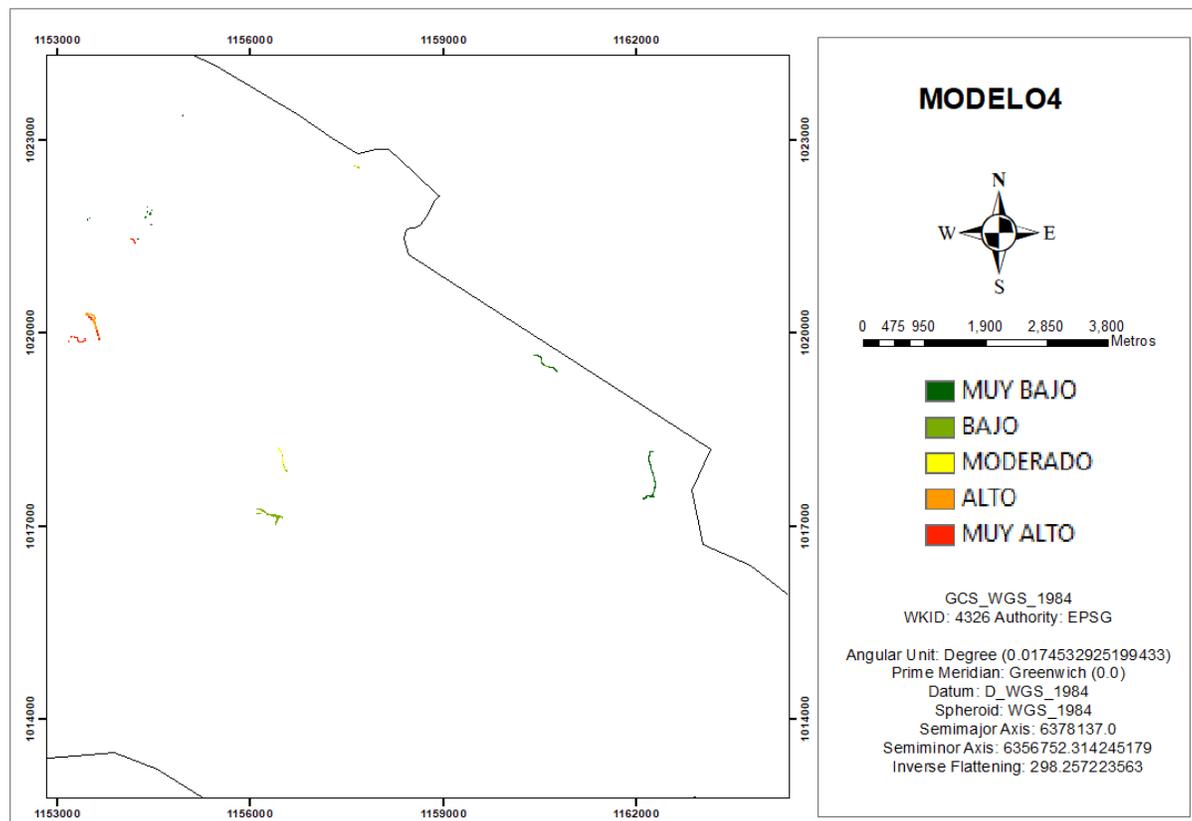
CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

- *Modelo 4 resultados aplicación fórmula de riesgo por remoción en masa en el municipio de Pereira Caso 4.*

CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL OCCIDENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 4. MAPA DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA DEL ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rmm****UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA**Rmm** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por Remoción en Masa**RESULTADO GRÁFICO**

E. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 5 de riesgo por sismicidad en el municipio de Manizales.

- *Modelo 1 resultados aplicación fórmula de riesgo por sismicidad en el municipio de Manizales Caso 5.*

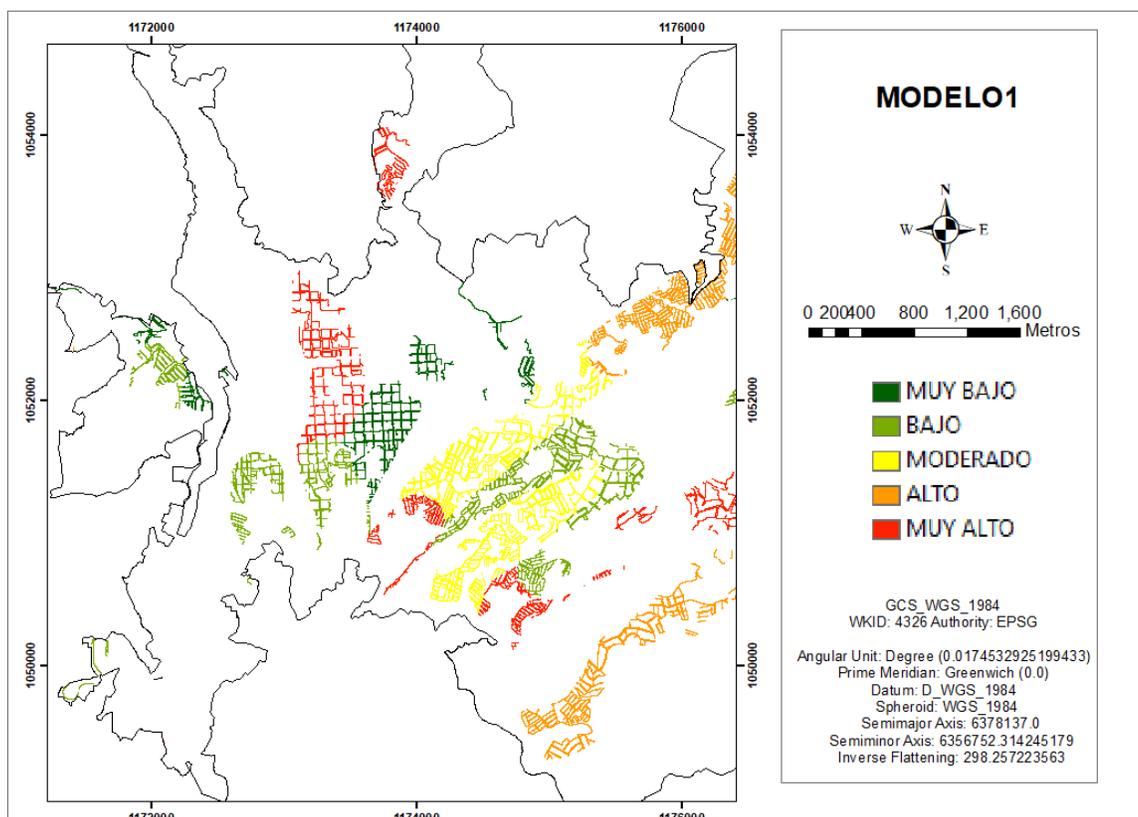
CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL OCCIDENTE DE MANIZALES

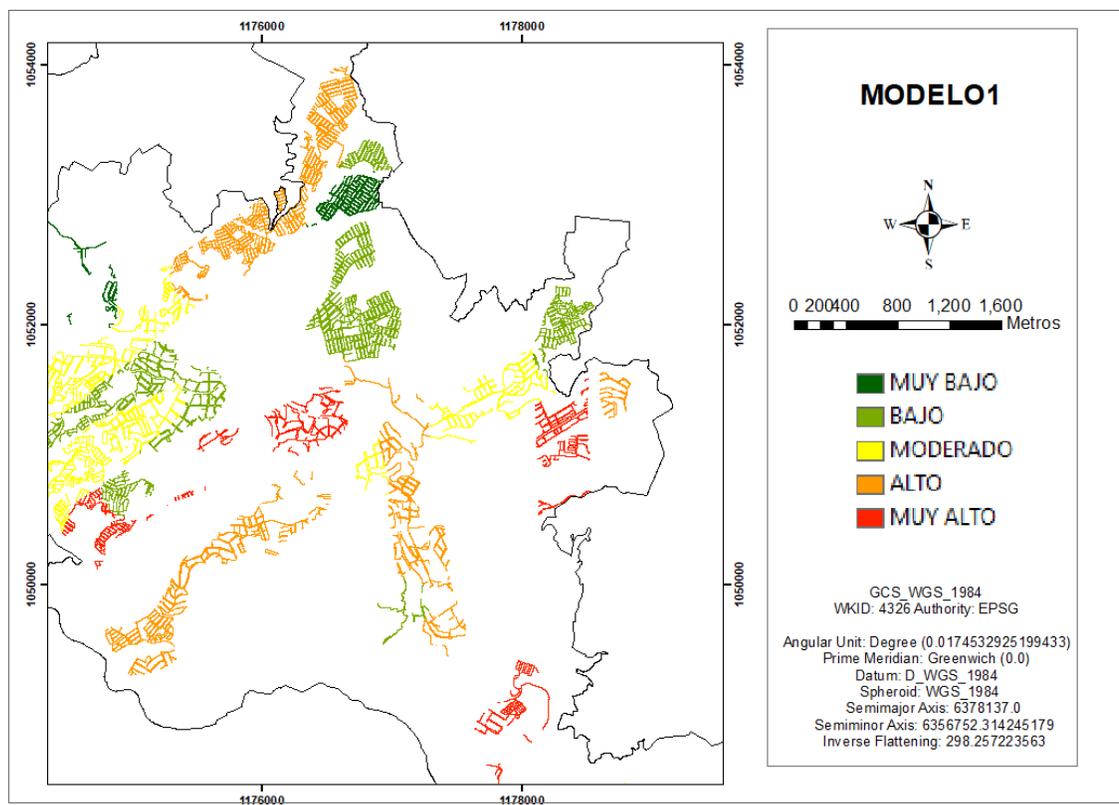
PARAMETROS DEL MODELO Rs

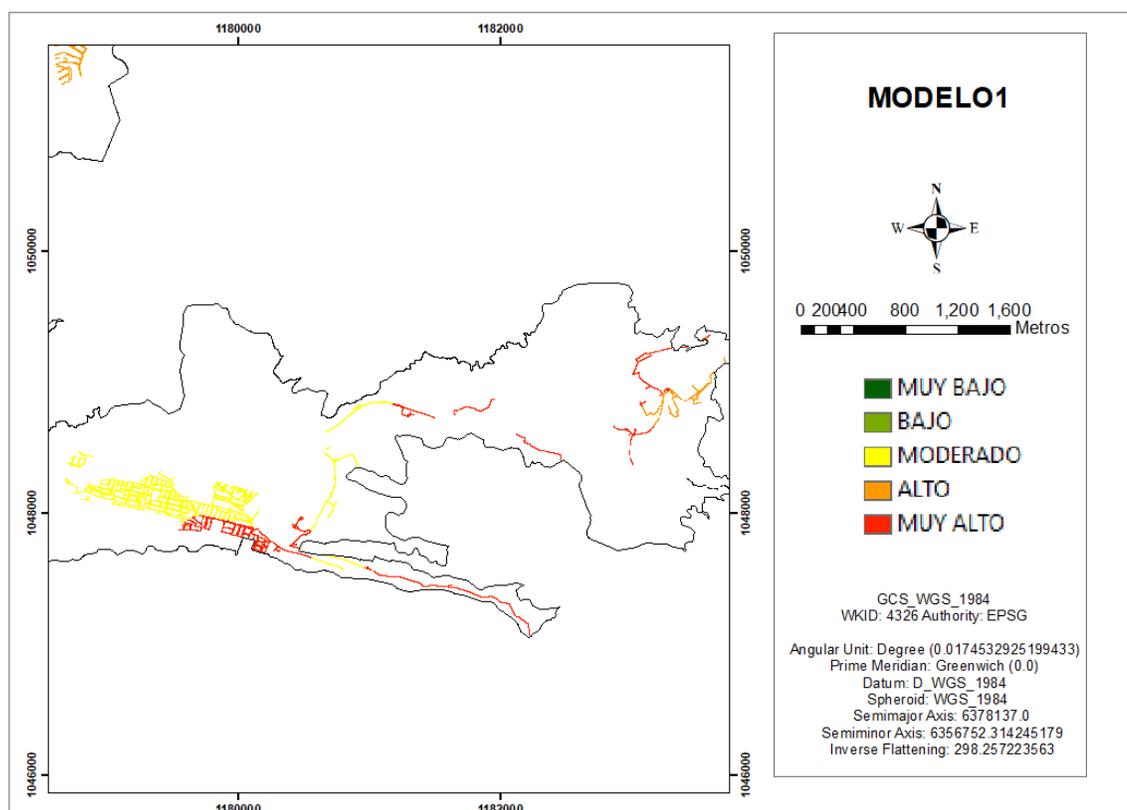
UBICACIÓN: OCCIDENTE DE MANIZALES

Rs = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad

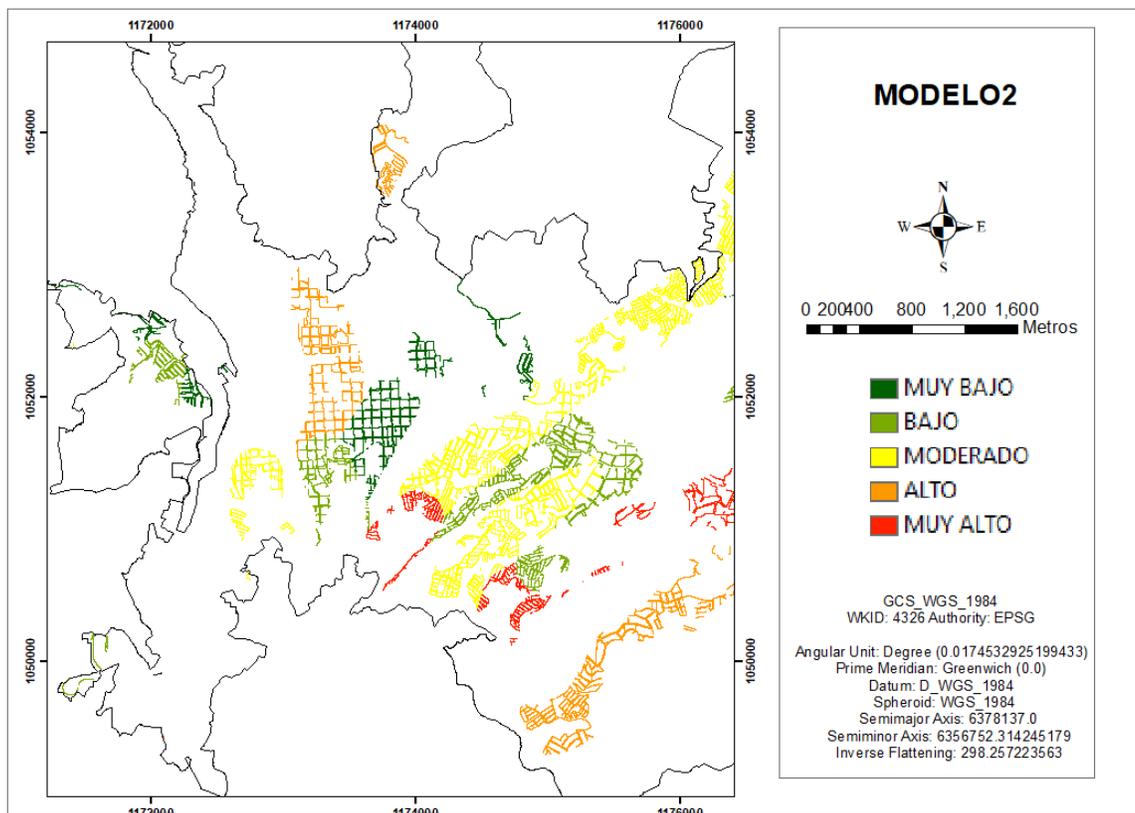
RESULTADO GRÁFICO

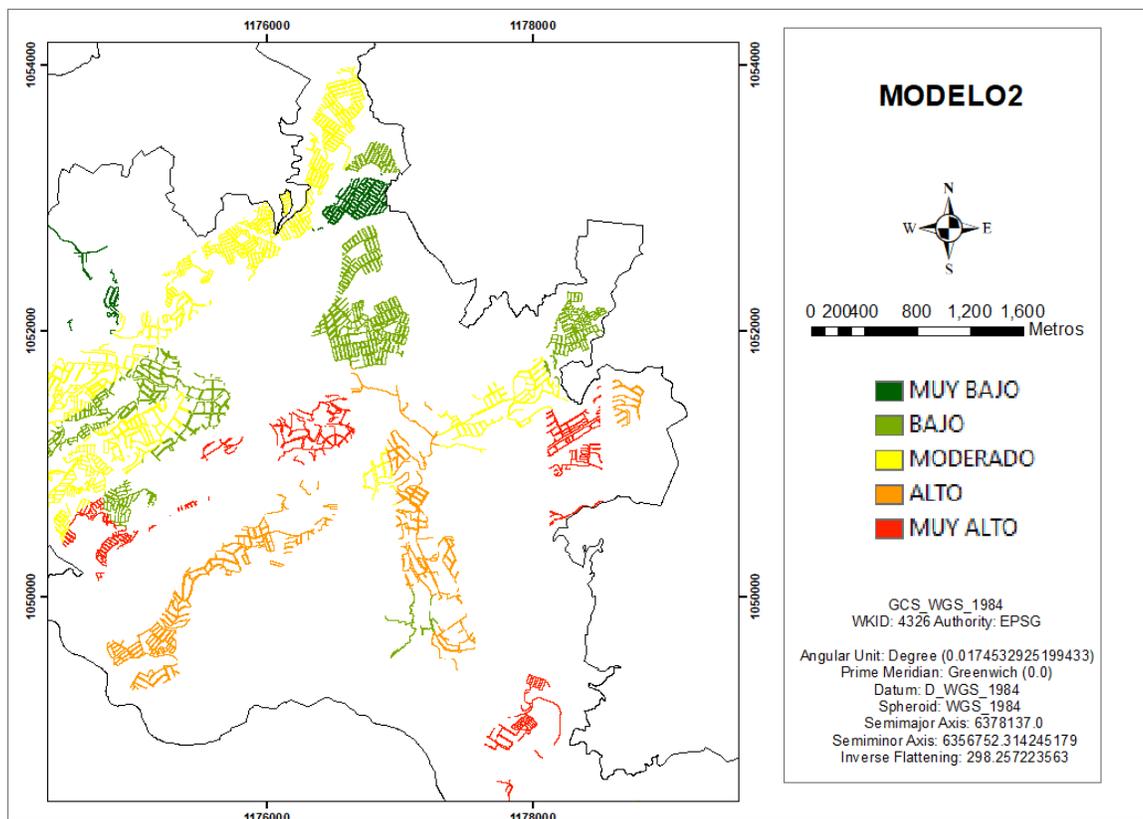


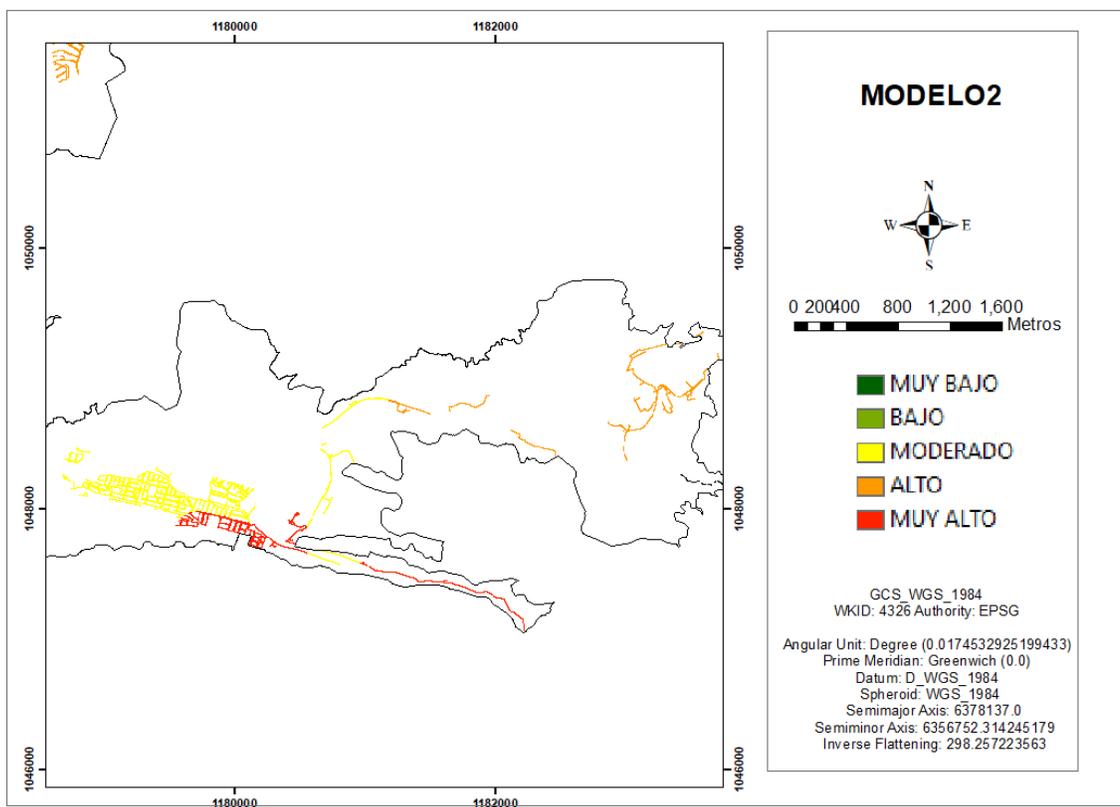
CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES **R_s** = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL ORIENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES **R_s** = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

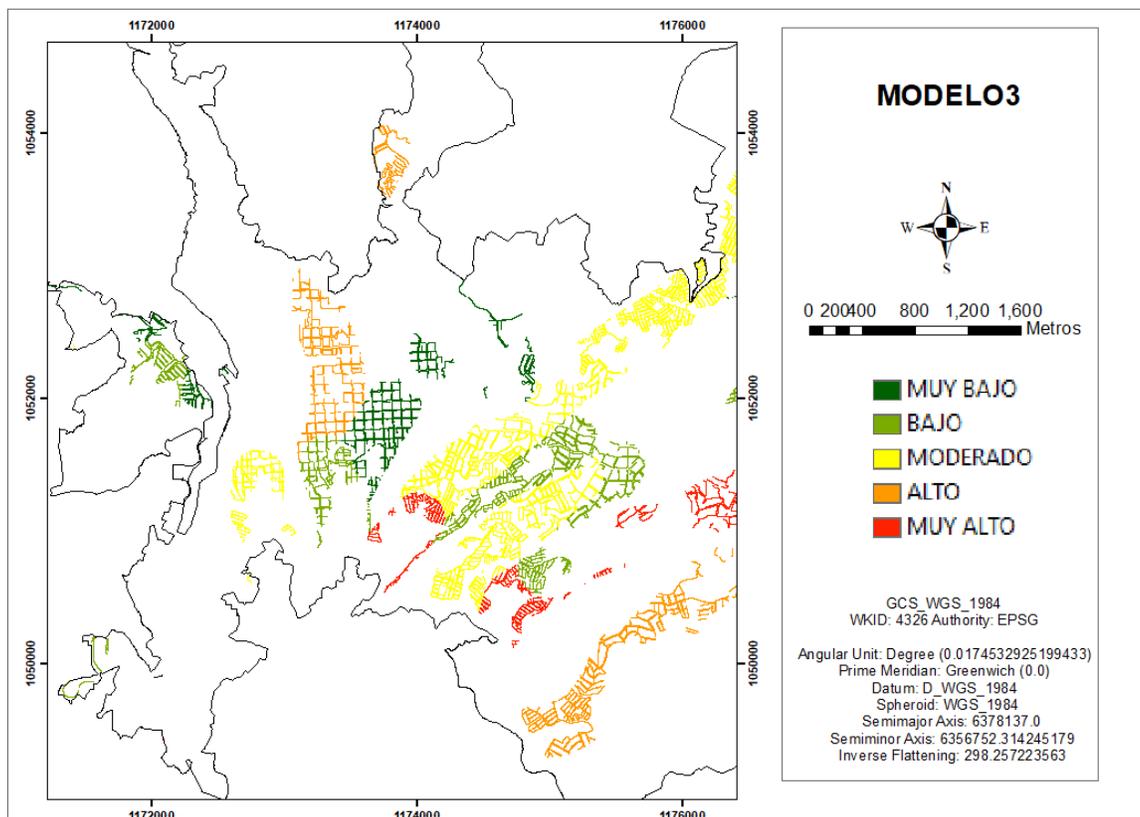
- *Modelo 2 resultados aplicación fórmula de riesgo por sismicidad en el municipio de Manizales Caso 5.*

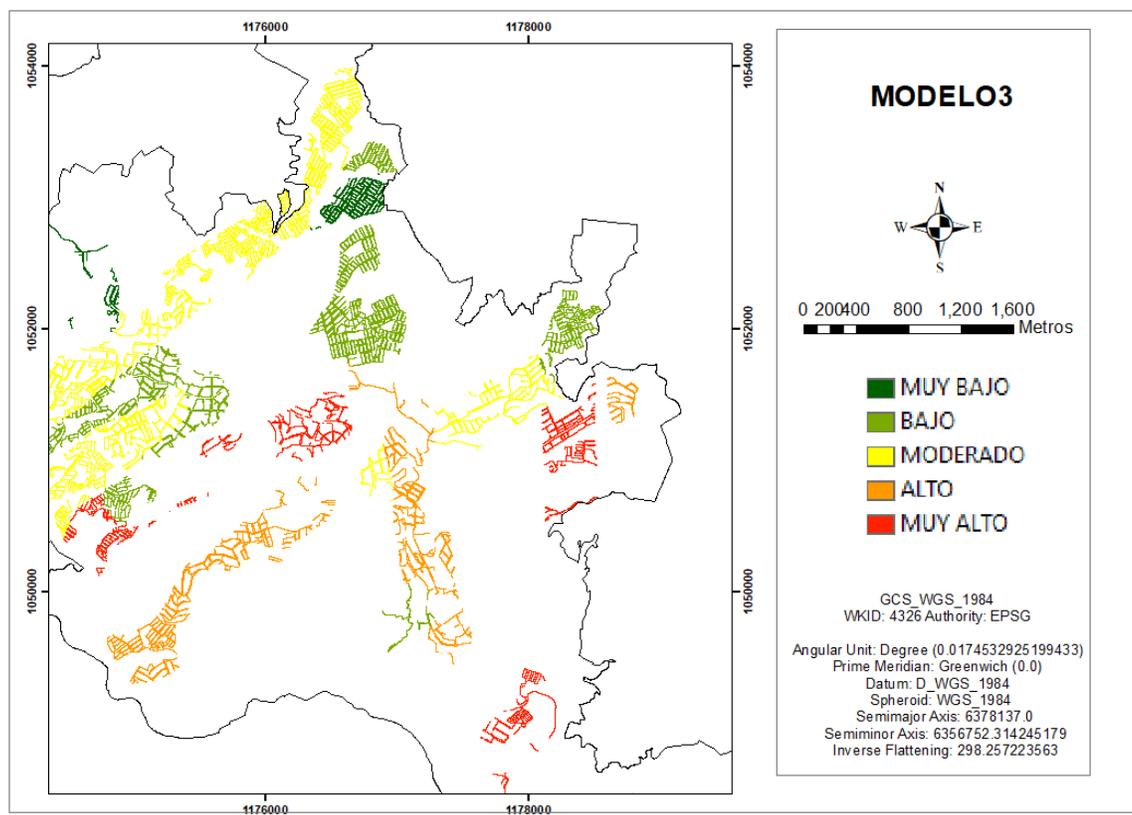
CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL OCCIDENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE MANIZALES **R_s** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

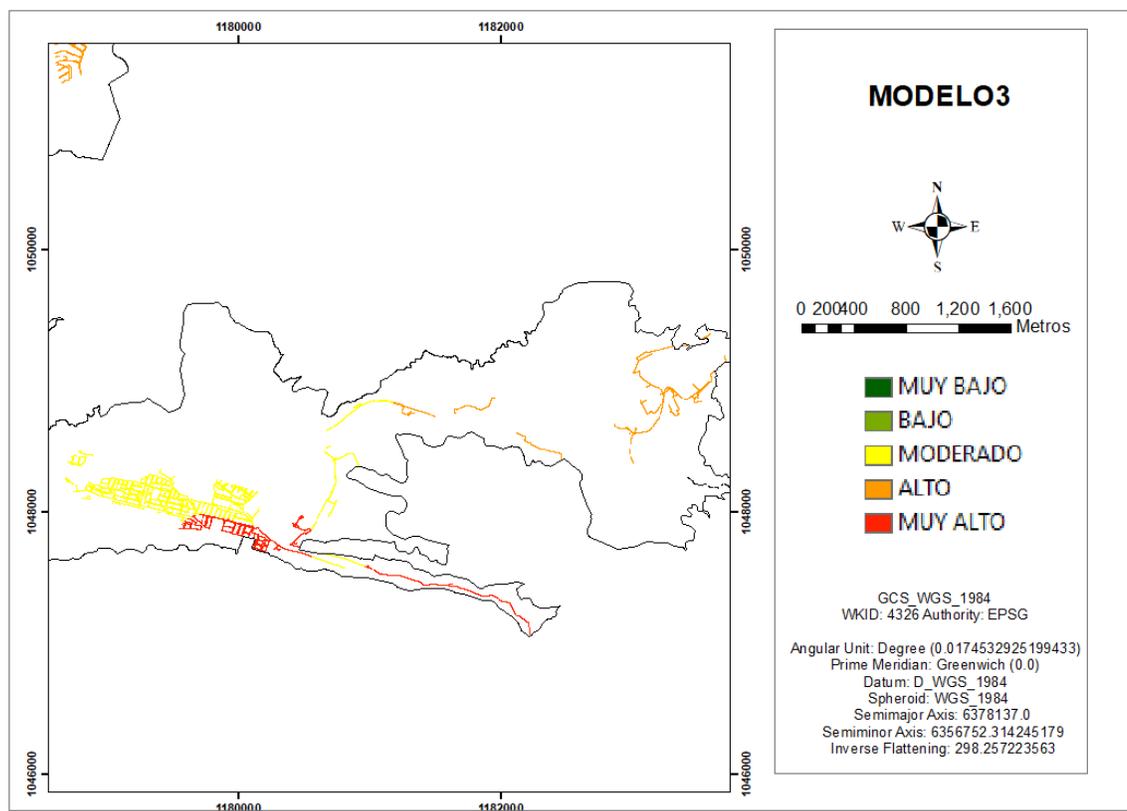
CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES **R_s** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL ORIENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES **R_s** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

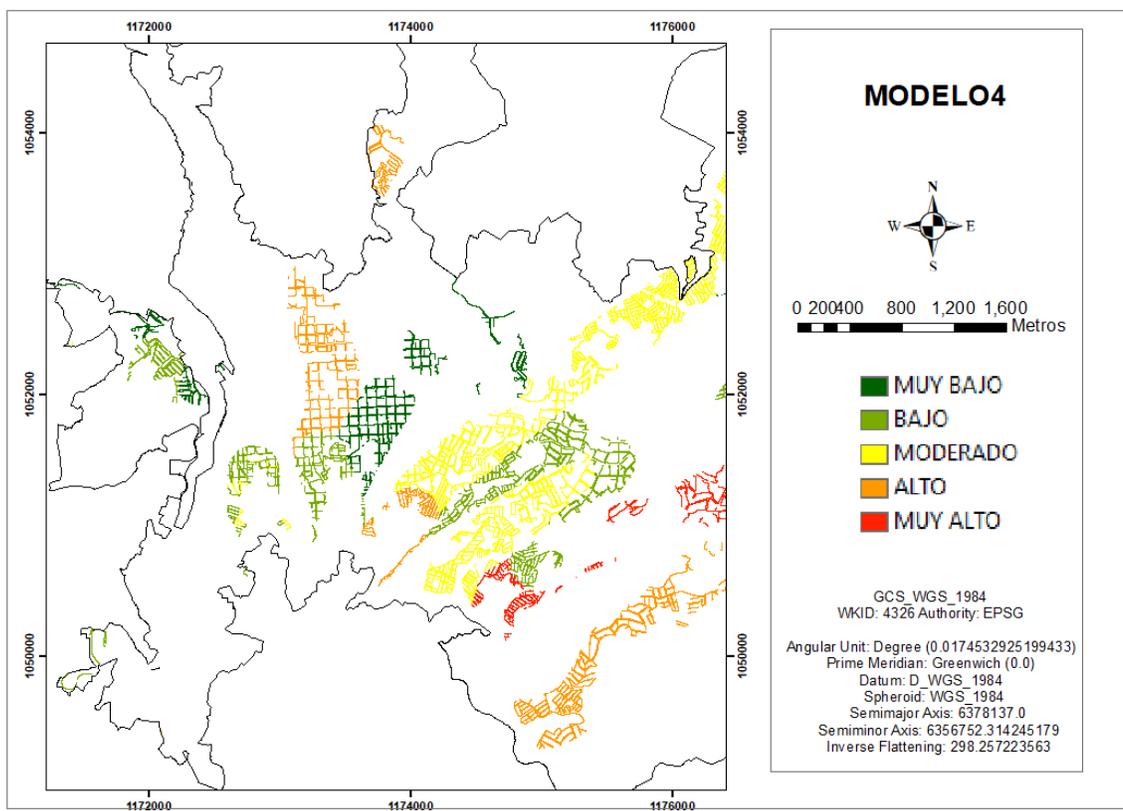
- *Modelo 3 resultados aplicación fórmula de riesgo por sismicidad en el municipio de Manizales Caso 5.*

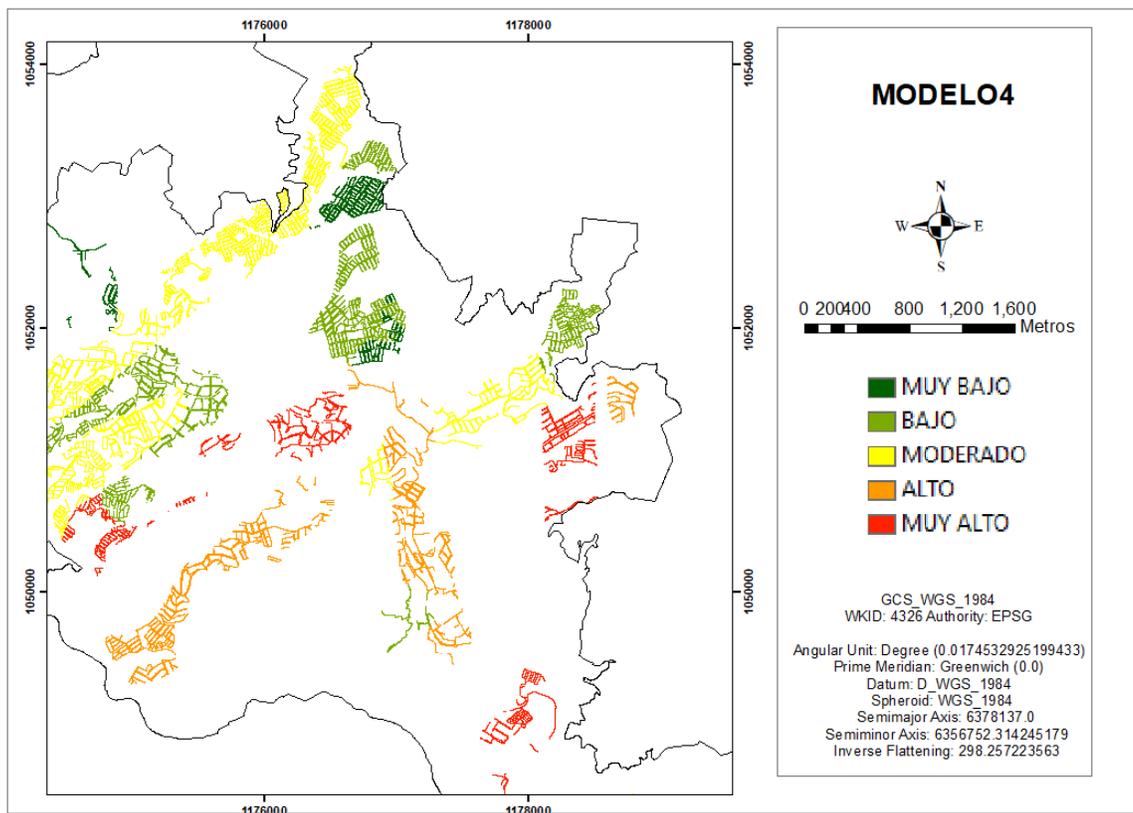
CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL OCCIDENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE MANIZALES **R_s** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

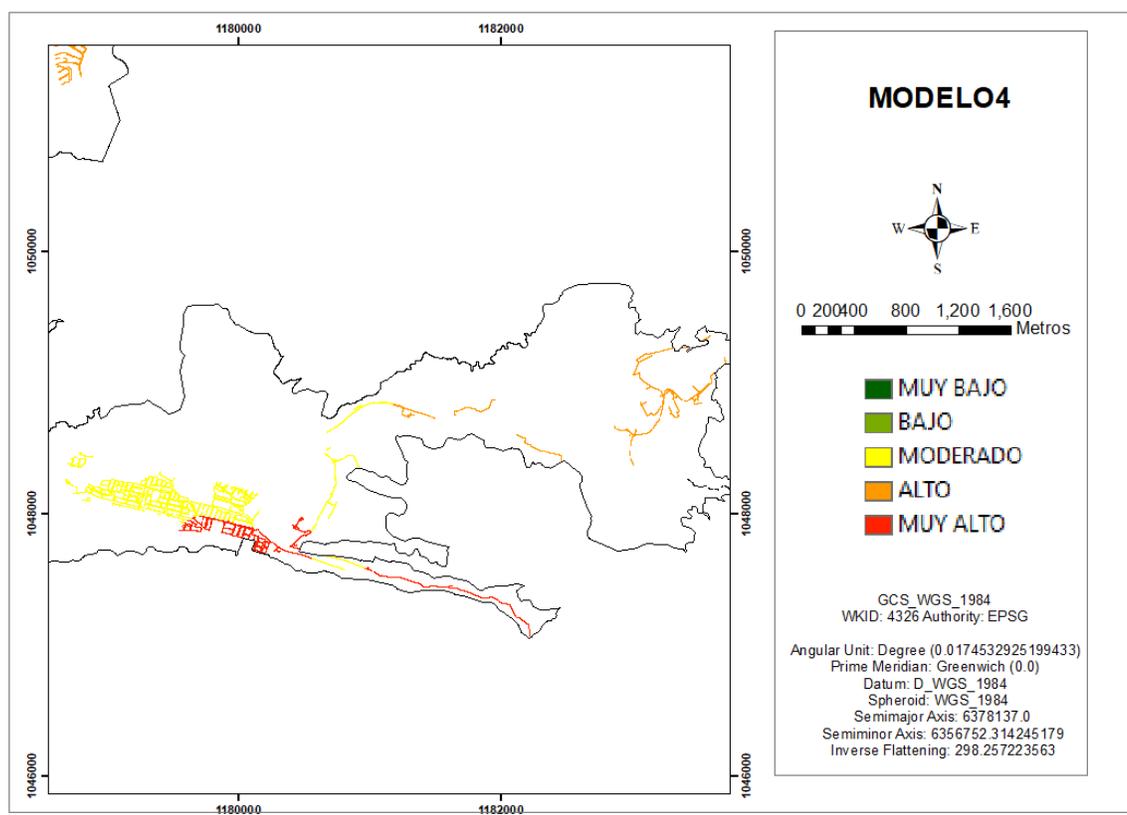
CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES **R_s** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL ORIENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO Rs****UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES**Rs** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

- *Modelo 4 resultados aplicación fórmula de riesgo por sismicidad en el municipio de Manizales Caso 5.*

CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL OCCIDENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE MANIZALES **R_s** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL CENTRO DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** CENTRO DE MANIZALES **R_s** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 5. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL ORIENTE DE MANIZALES**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** ORIENTE DE MANIZALES **R_s** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

F. Anexo: Modelos 1,2,3 y 4 del caso 5 de riesgo por sismicidad en el municipio de Pereira.

- *Modelo 1 resultados aplicación fórmula de riesgo por sismicidad en el municipio de Pereira Caso 6.*

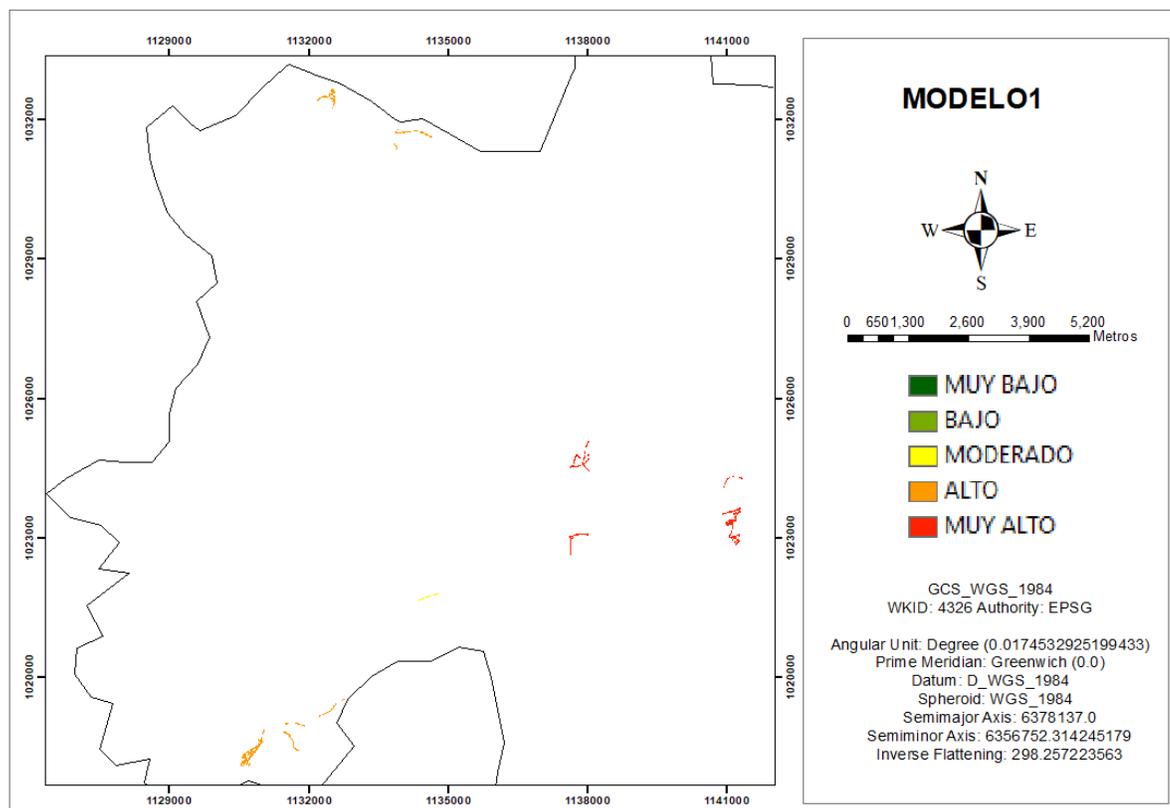
CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL OCCIDENTE DE PEREIRA

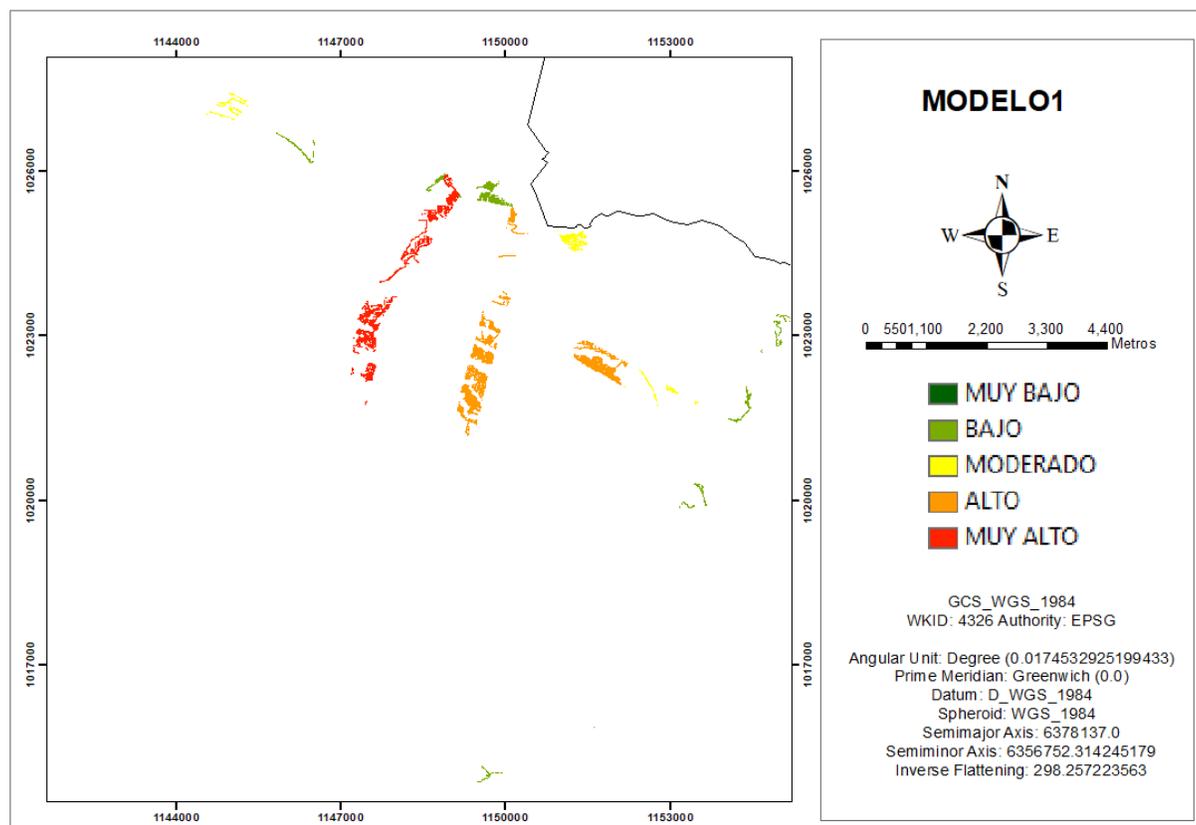
PARAMETROS DEL MODELO Rs

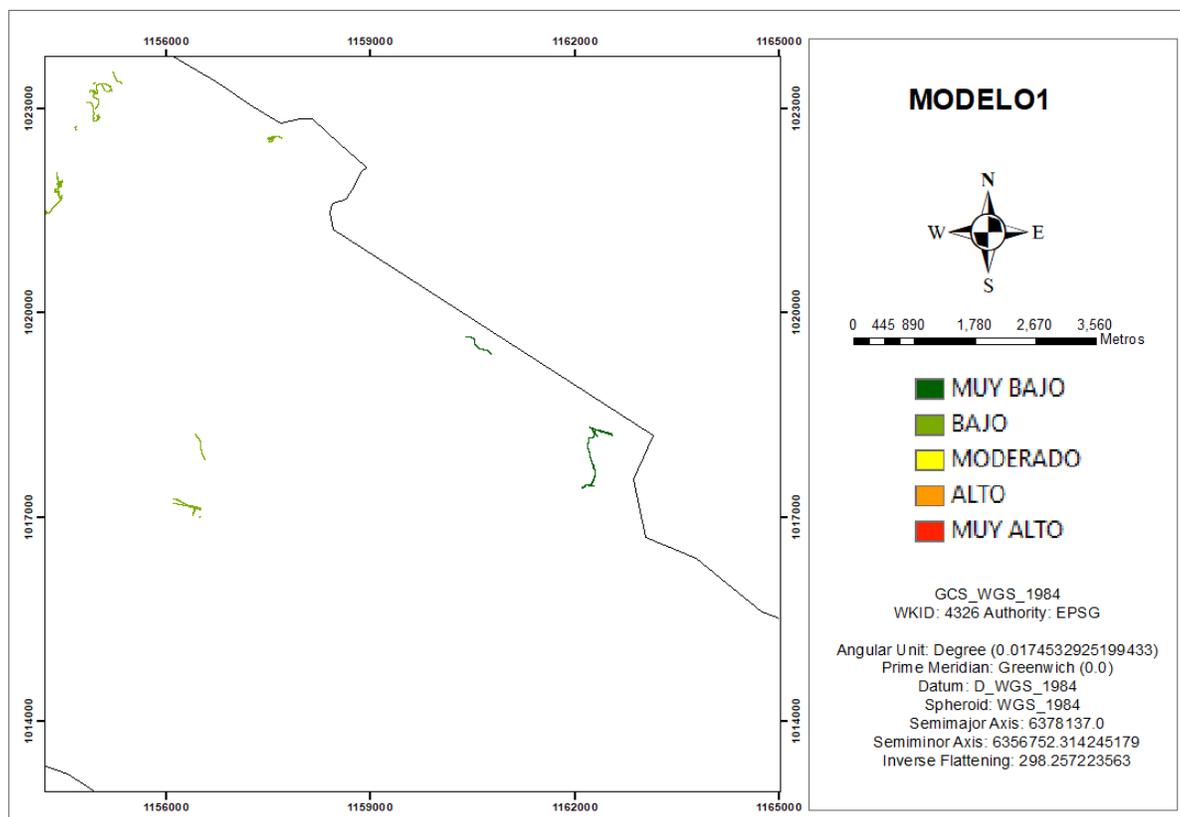
UBICACIÓN: OCCIDENTE DE PEREIRA

R_s = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad

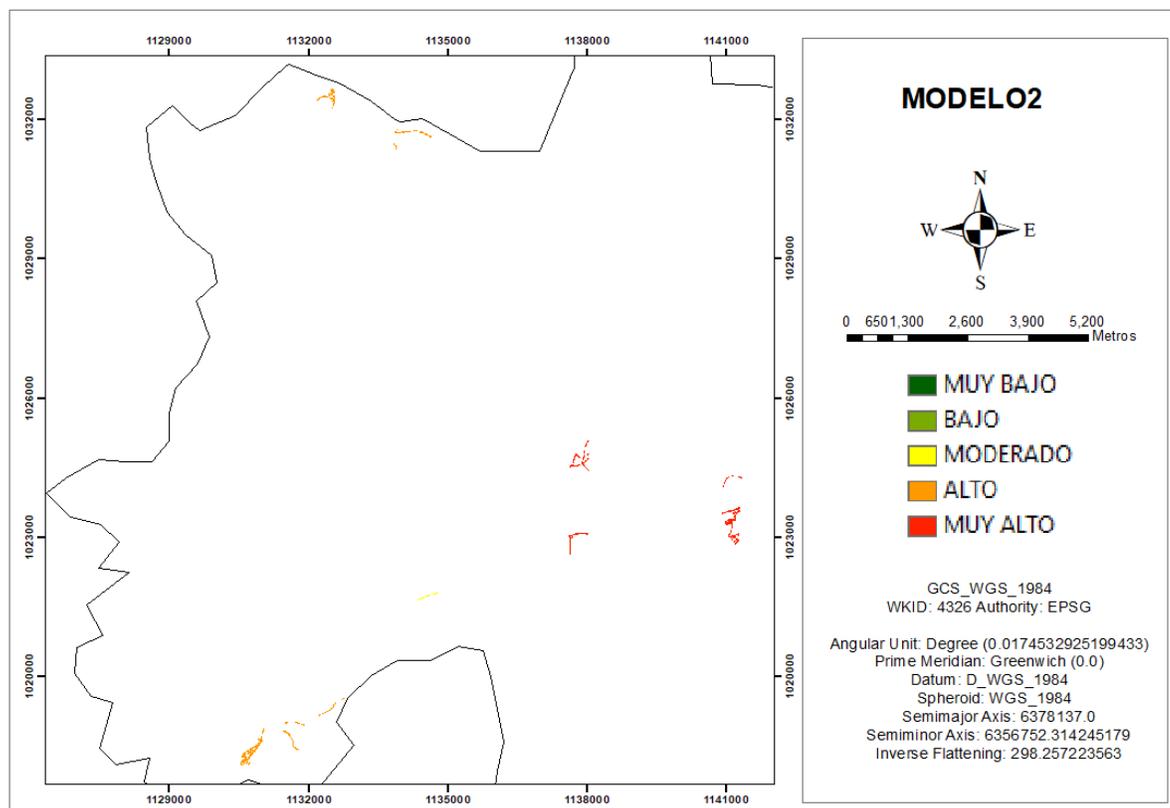
RESULTADO GRÁFICO

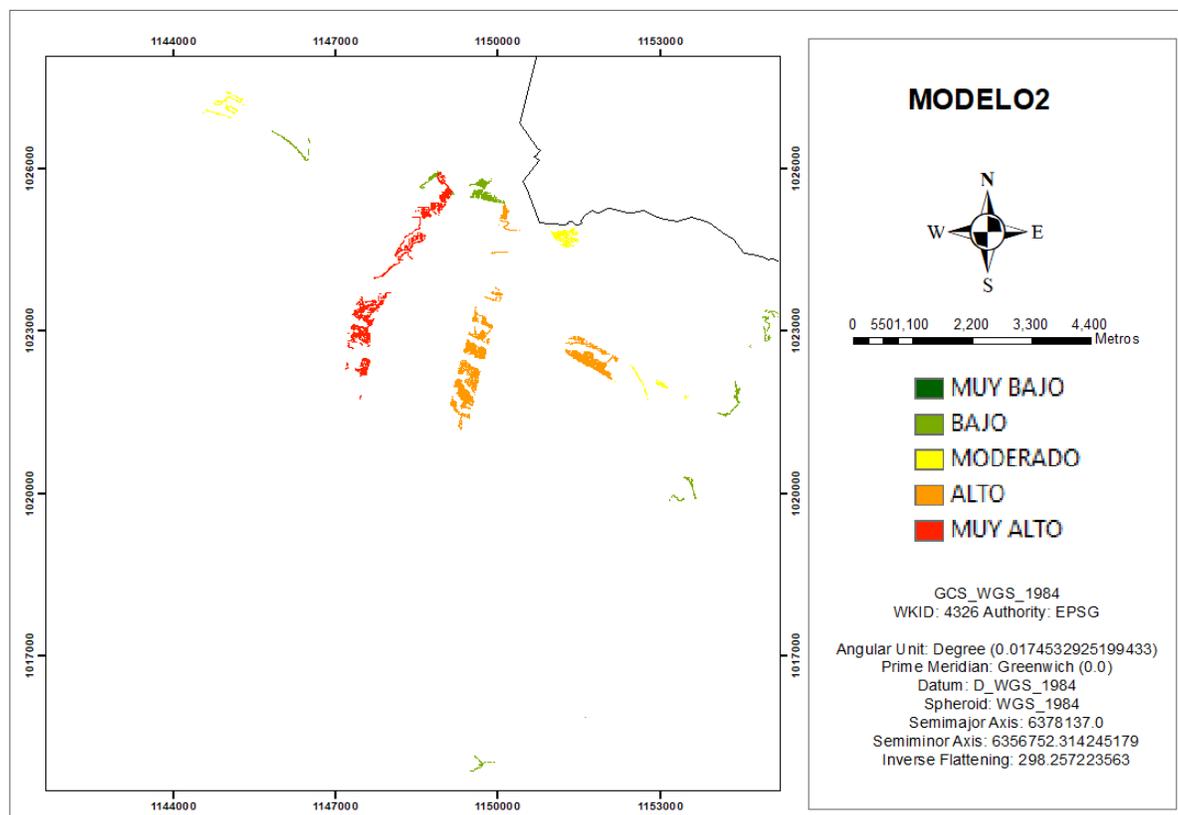


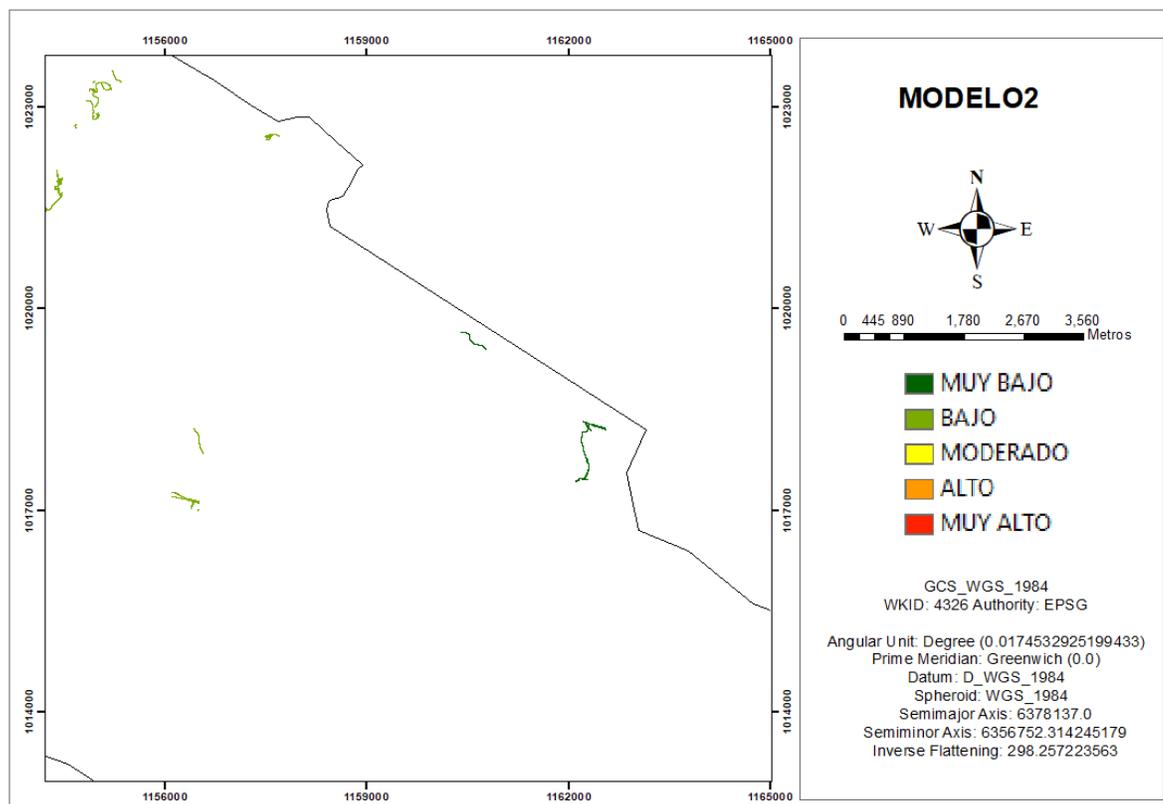
CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rs****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA**Rs** = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA **R_s** = Modelo 1 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

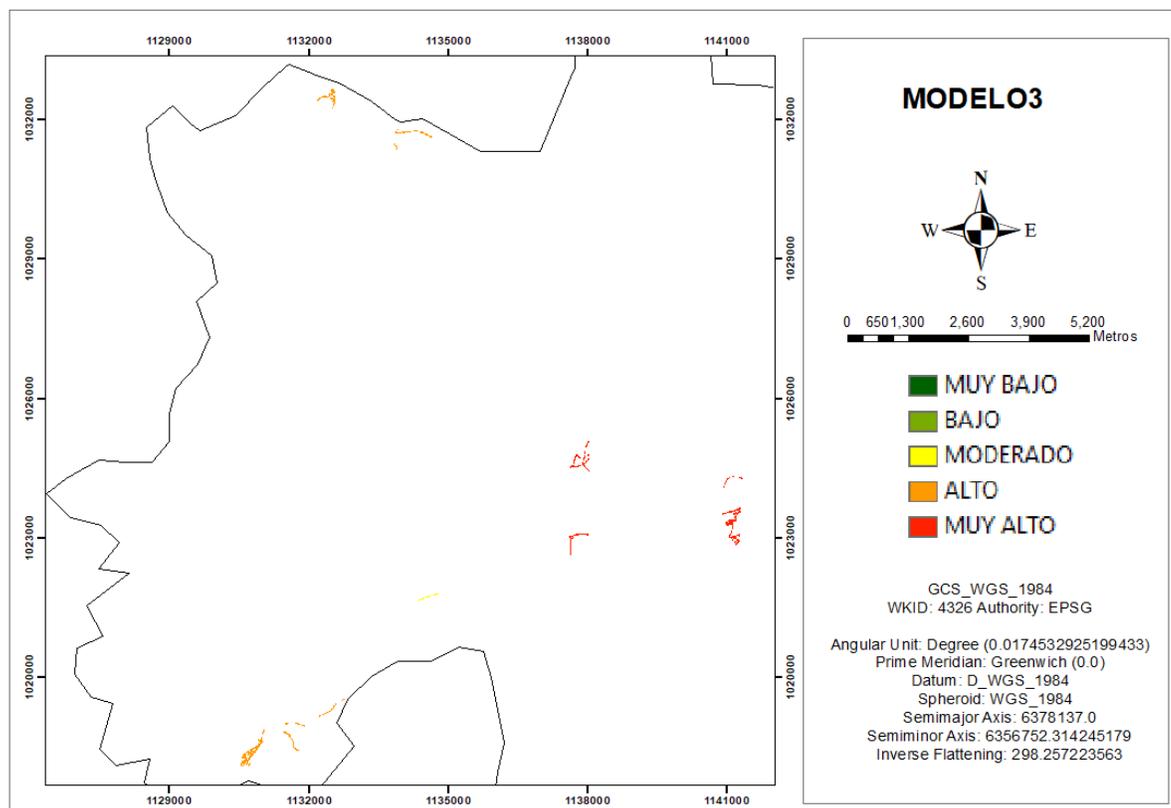
- *Modelo 2 resultados aplicación fórmula de riesgo por sismicidad en el municipio de Pereira Caso 6.*

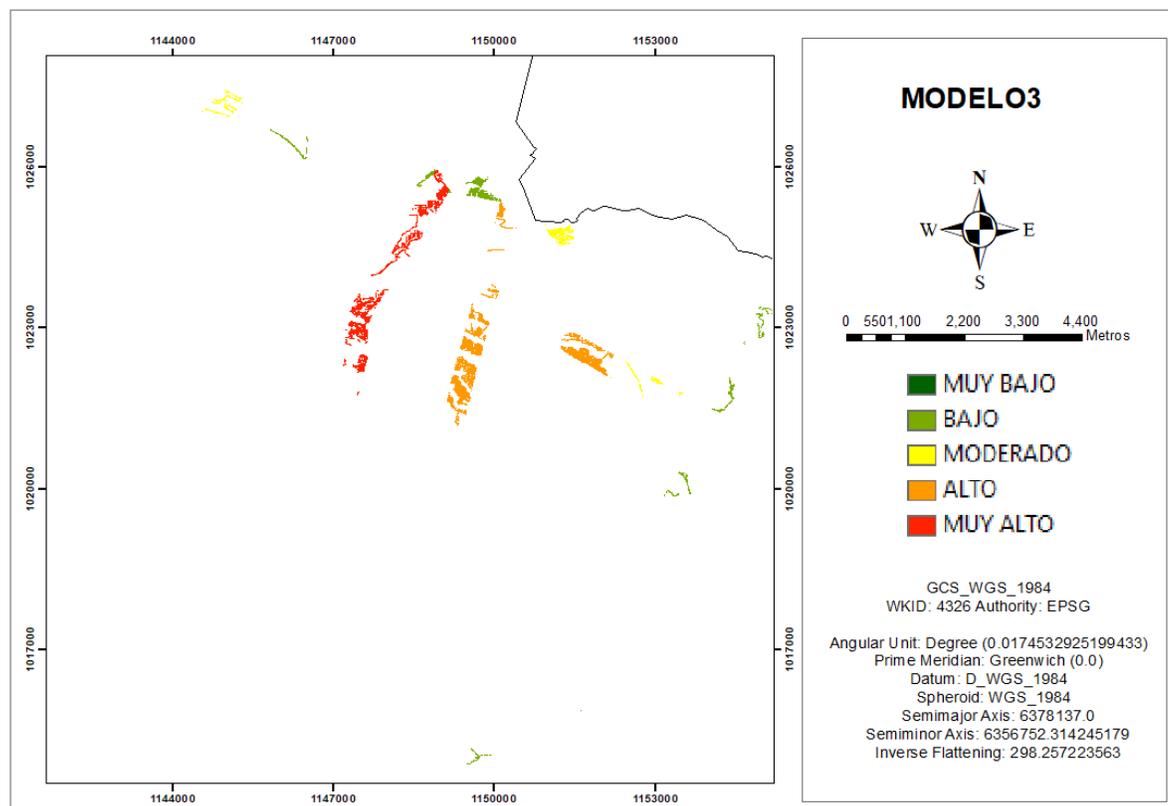
CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL OCCIDENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rs****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE PEREIRA**Rs** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

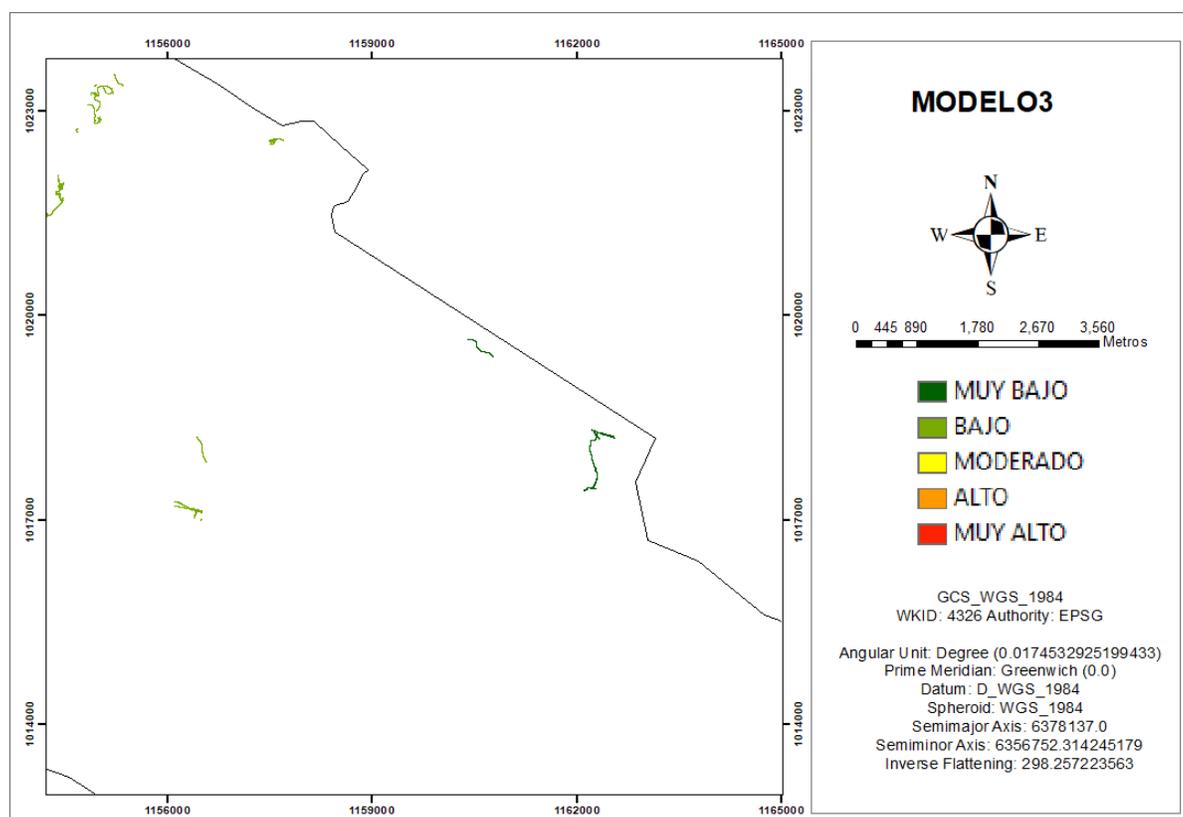
CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rs****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA**Rs** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA **R_s** = Modelo 2 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

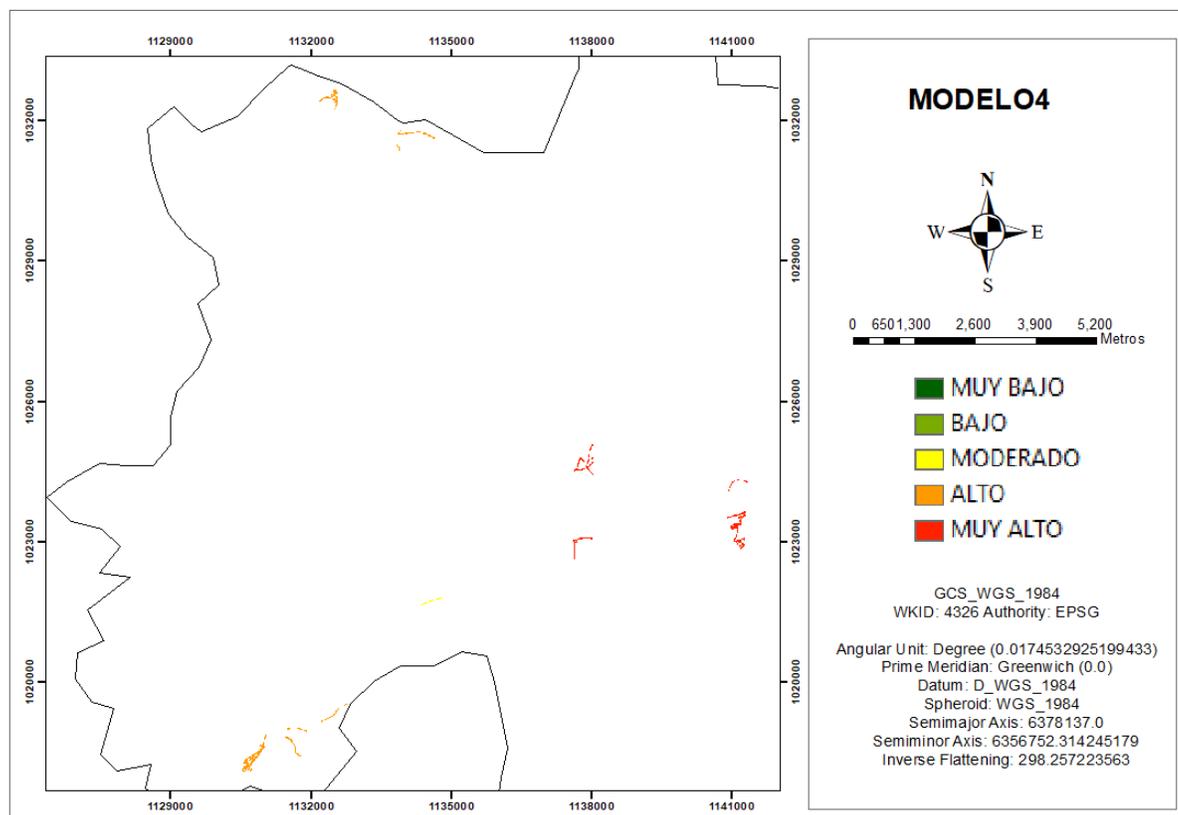
- *Modelo 3 resultados aplicación fórmula de riesgo por sismicidad en el municipio de Pereira Caso 6.*

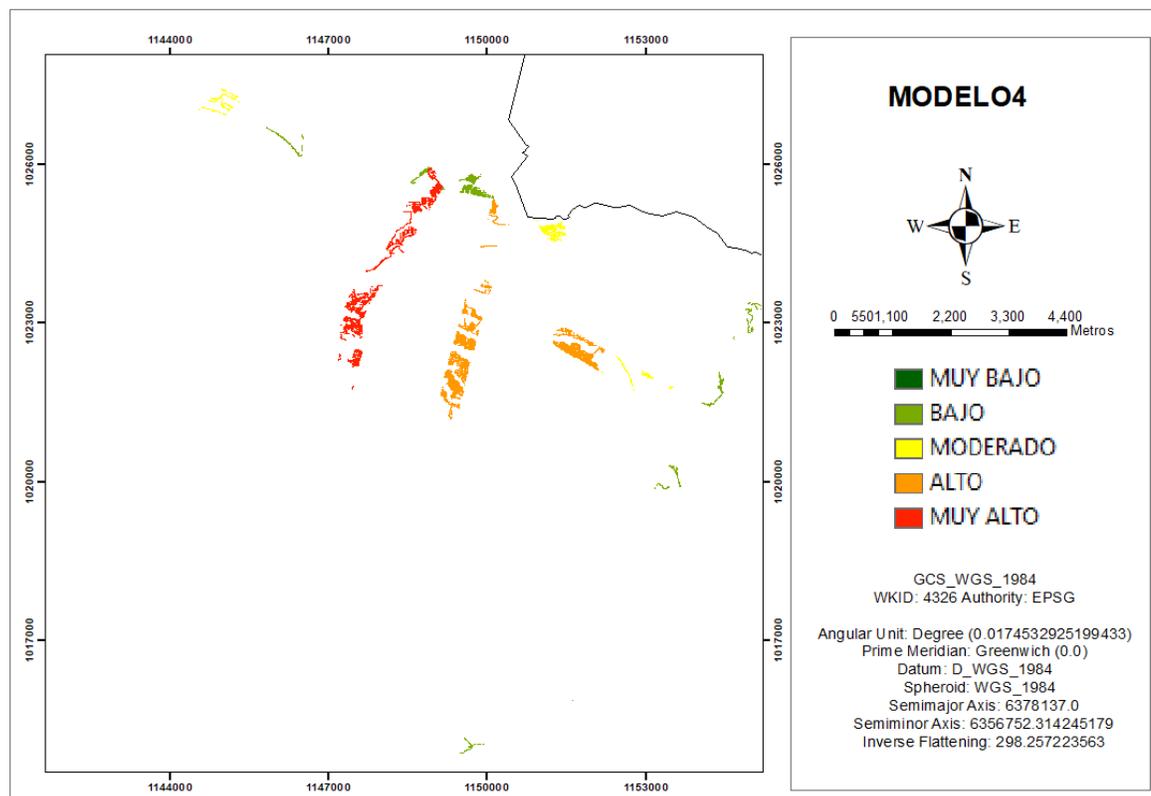
CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL OCCIDENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rs****UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE PEREIRA**Rs** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

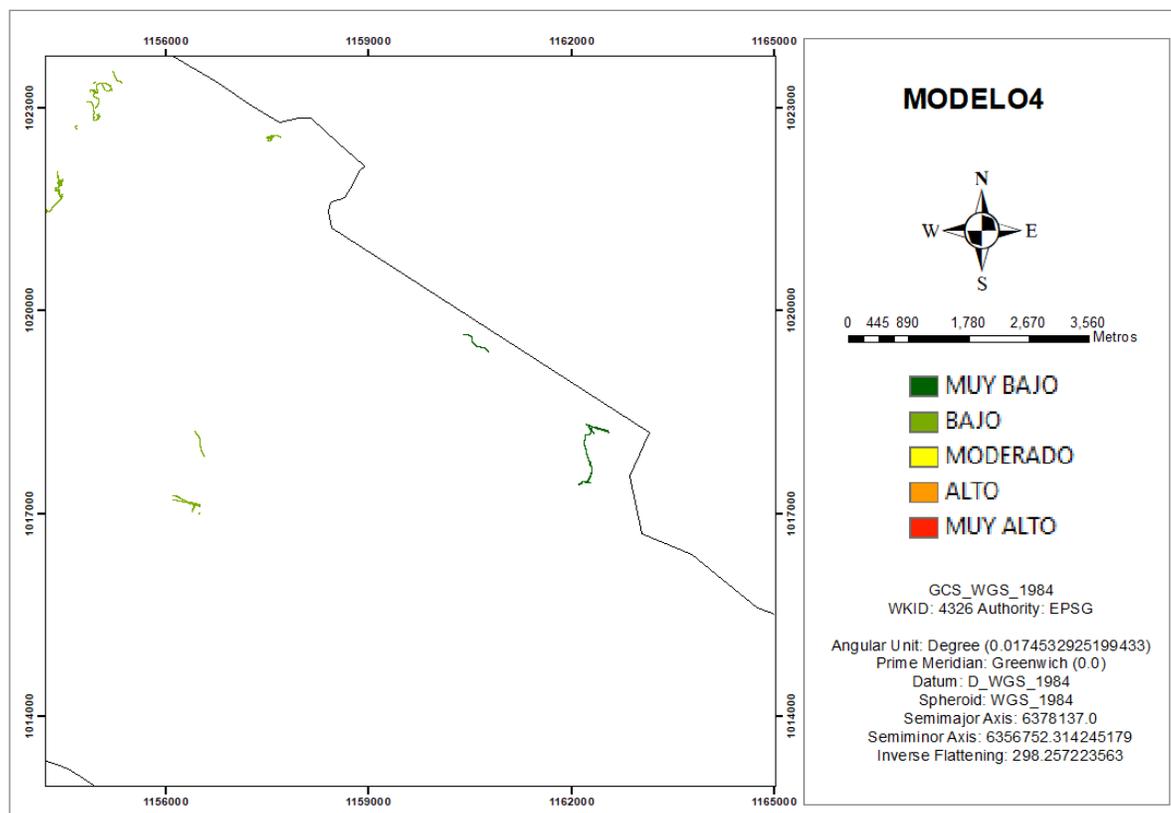
CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rs****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA**Rs** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA **R_s** = Modelo 3 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

- *Modelo 4 resultados aplicación fórmula de riesgo por sismicidad en el municipio de Pereira Caso 6.*

CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL OCCIDENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO R_s** **UBICACIÓN:** OCCIDENTE DE PEREIRA **R_s** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL CENTRO DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rs****UBICACIÓN:** CENTRO DE PEREIRA**Rs** = Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

CASO 6. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD DEL ORIENTE DE PEREIRA**PARAMETROS DEL MODELO Rs****UBICACIÓN:** ORIENTE DE PEREIRA**Rs =** Modelo 4 Vulnerabilidad * Amenaza por sismicidad**RESULTADO GRÁFICO**

G. Anexo: Glosario

Álgebra de mapas: Conjunto de procedimientos y métodos que permiten llevar a cabo dicho análisis y extraer nuevos valores a partir de los contenidos en una o varias capas. (Alicante, s.f.)

Análisis de redes: Conjunto de técnicas del análisis espacial que se utilizan para el análisis de sistemas representados en forma de red. Incluye el trazado de rutas óptimas, el análisis de áreas de influencia, etc. (Alicante, s.f.)

Área de influencia: Considerada como una función propia de los SIG, es un análisis de proximidad, donde se generan zonas de una distancia dada, alrededor de los elementos de una cobertura. (Alicante, s.f.)

Atributo: Propiedad o característica de una clase de elementos en una base de datos. (Alicante, s.f.)

Buffer: Palabra que indica la zona de proximidad existente a un determinado objeto geográfico. (Alicante, s.f.)

Capa: Conjunto de datos espaciales asociados a un contenido temático común. (Alicante, s.f.)

Cobertura: Información digital del territorio, referida a una variable temática concreta. (Alicante, s.f.)

ESRI: Environmental Systems Research Institute. Empresa de comercialización de productos SIG, creada en 1969, por Jack Dangermond, arquitecto que completó sus estudios en la Universidad de Harvard y al que no fueron ajenos las técnicas e ideas desarrolladas por el Harvard Laboratory. Ejemplo más paradigmático de todos cuantos podemos encontrar, respecto a una empresa dedicada a producción y venta de software SIG. (Alicante, s.f.)

Georreferenciar: Asignar coordenadas geográficas a un objeto o estructura. El concepto aplicado a una imagen digital implica un conjunto de operaciones geométricas que permiten asignar a cada pixel de la imagen un par de coordenadas (x,y) en un sistema de proyección. (Alicante, s.f.)

Intersección: Operación de combinación de dos mapas en la cual se conservan las zonas incluidas en el dominio espacial común a los dos mapas. (Alicante, s.f.)

GPS: Global positioning system, o sistema de localización global. (Alicante, s.f.)

Mapa: Representación gráfica del territorio, de acuerdo a determinadas convenciones o normas, en un modelo reducido y a escala, que establece una

correspondencia matemática, continua y biunívoca, entre los distintos puntos de la superficie terrestre y los de un plano. (Alicante, s.f.)

Mapa raster: Representación cartográfica de la superficie terrestre, obtenida como contraste de los valores de los píxeles o celdas, en que se ha subdividido el territorio, en el modelo raster. (Alicante, s.f.)

Modelo: Representación simplificada de un objeto o proceso en la que se representan algunas de sus propiedades. (Alicante, s.f.)

Modelo raster: Sistema de referencia espacial que establece una relación biyectiva entre las celdas de una cuadrícula y un conjunto de áreas elementales de la superficie terrestre. (Alicante, s.f.)

Píxel: Elemento espacial básico de recogida de la información que se utiliza en el modelo raster. (Alicante, s.f.)

Raster: Modelo de datos en el que la realidad se representa mediante teselas elementales que forman un mosaico regular. (Alicante, s.f.)

Riesgo: Expectativa de que se produzca una pérdida, bien en forma de vidas humanas, o bienes naturales, o capacidad productiva, etc. Los riesgos pueden obedecer a una naturaleza muy diversa. (Alicante, s.f.)

Shape: Es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas.

SIG: Acrónimo de Sistema de información geográfica. (Alicante, s.f.)

Vulnerabilidad: El porcentaje de pérdida de un elemento como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada. (Alicante, s.f.)

13. Referencias Bibliografía

- Ali Coşar1, A. K. (2013). Effect of Seismicity on Infrastructure Pipelines. 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, 23-25 May 2013, Epoka University, Tirana, Albania.
- Alicante, G. S. (s.f.). Glorioso Servidor Alicante. Obtenido de <https://glosarios.servidor-alicante.com>
- Amortegui, J. V. (2016). Evaluación del Riesgo en ductos de transporte de hidrocarburos ante amenazas naturales.
- Bembibre, C. (Noviembre de 2010). Definición ABC. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/amenaza.php>
- Caldas, g. D. (s.f.). Legislacion Asociada con la Gestion de Riesgo. Obtenido de http://www.gestiondelriesgomanzales.com/index.php?option=com_content&view=article&id=101%3alegislacion-relacionada-con-la-gestion-de-riesgos&catid=48%3aaspectos-juridicos&itemid=28
- Cambio, S. A. (2018). Caracterización de Escenarios de Riesgo GAR-PD-06 versión 1. Bogotá.
- Carolina Arboleda Díaz, E. F. (2016). Identificación de riesgos en la red del acueducto acuacombia del municipio de Pereira. Pereira.
- Castillo, M. A. (2009). Evaluación del uso de espectros de diseño al análisis del riesgo sísmico aplicación a Barcelona (España). Barcelona.
- Colombiano, S. G. (s.f.). Servicio Geológico Colombiano. Obtenido de (http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_Sismica)
- Colombiano, S. G. (s.f.). SIMMA. Obtenido de <http://simma.sgc.gov.co/#/public/basic/>
- CORRADO V., D. B. (2008a). Estimation of dynamic strain finite end-constrained pipes in seismic areas Mathematical and computer modelling.
- Enrique Franco, F. R. (2002). Sismicidad Registrada Por La Red Sismológica Nacional De Colombia Durante el Tiempo de Operación: Junio de 1993 Hasta Agosto de 2002.
- González, H. (1993). . Mapa geológico de Caldas, escala 1:250.000. . Memoria Explicativa. INGEOMINAS. , (pág. 62p.). Bogotá.

- Luis E. YAMIN 1, S. A. (2004). Earthquake loss estimation for a gas lifeline transportation system in Colombia.
- Manizales, A. d. (s.f.). Alcaldía de Manizales. Obtenido de <https://manizales.gov.co/Contenido/Alcaldia/24/informacion-general>
- Muhlbauer, W. K. (2004). Pipeline Risk Manamegent Manual Ideas, Techniques, And Resources - 3rd ed.
- Olaya, V. (s.f.). Sistemas de Información geografica. Obtenido de https://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Algebra_de_mapas.htm
- Pennington, W. (1981). Subduction of the Eastern Panama Basin And Seismotectonics of Northwestern South America. JOurnal Of Geophysical Recarch.
- Pereira, A. d. (s.f.). Alcadia de Pereira. Obtenido de <http://www.pereira.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Pereira, A. d. (s.f.). NORMATIVIDAD. Obtenido de <http://www.pereira.gov.co/Transparencia/Paginas/Normatividad.aspx>
- Raffino, M. E. (Febrero de 2019). Concepto.de. Obtenido de <https://concepto.de/vulnerabilidad/>
- Robert Trenkamp, J. N. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. Manizales.
- Rodríguez, C. C. (2011). Metodología para la evaluación del riesgos por deslizamientos en líneas de conducción de hidrocarburos. Bogota.
- Rubio, A. R. (UIS 2009). SIG para mitigación riesgos en gasoducto Cusiana.
- SIGOT. (s.f.). SIGOT. Obtenido de <http://sigotvg.igac.gov.co:8080/>
- Tabares Ocampo, L. M. (1999). Actividad y tasa de deformación sismotectónica en la zona del Viejo Caldas.
- Tellez Vargas, L. M. (2017). Caracterización de las Zonas Donde las Condiciones Geotécnicas son Adecuadas para la Construcción de Infraestructura. Repositorio institucional Ucuindinamarca.

Thatcher, W. (1995). Microplate versus continuum descriptions of active tectonic deformation. *Geophysical Res.* 100,3885-3894.

Ucha, F. (Octubre de 2008). Definición ABC. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/riesgo.php>

Wilches-Chaux, G. (1989). *Desastres, ecologismo y formación profesional : Herramientas para la crisis.* Popayán; Colombia.