

**Utilización de los SIG para la generación de mapa de amenaza por deslizamientos, análisis de estabilidad del talud crítico y alternativas para mitigar la amenaza, caso de estudio tramo vial Dosquebradas- Santa Rosa**

Una Tesis Presentada Para Obtener El Título De  
Ingeniero Civil  
Universidad Antonio Nariño, Pereira

Alexander Vélez Guarín.  
Mayo 2020.

**Utilización de los SIG para la generación de mapa de amenaza por deslizamientos, análisis de estabilidad del talud crítico y alternativas para mitigar la amenaza, caso de estudio tramo vial Dosquebradas- Santa Rosa**

Tesista:

Alexander Vélez Guarín

Tutor Académico:

Ing Juan David Cano López

Coordinador UDCI Sede Pereira:

Ing Octavio Andrés Aguirre Jaramillo

Pereira, Risaralda  
Mayo 2020

**CERTIFICACIÓN DEL ALUMNO PARA PRESENTAR  
INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO**

Yo, **ALEXANDER VÉLEZ GUARÍN** identificado con cédula de ciudadanía **1116270684** en calidad de estudiante del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Antonio Nariño y bajo gravedad de juramento, con la entrega del informe final de investigación cuyo título es **Utilización de los SIG para la generación de mapa de amenaza por deslizamientos, análisis de estabilidad del talud crítico y alternativas para mitigar la amenaza, caso de estudio tramo vial Dosquebradas- Santa Rosa**

**CERTIFICO QUE:**

- He cumplido con todos los objetivos propuestos en el anteproyecto de grado que reposa en el archivo de la UDCI Sede Pereira.
- He dado cumplimiento a todos los requisitos exigidos por la UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO para la presentación de informes finales de trabajo de grado.
- El presente documento ha sido avalado en su totalidad por el Tutor científico **JUAN DAVID CANO LOPEZ**, el cual elabora el acta de presentación respectiva para ser revisada desde el enfoque metodológico por la **UDCI Sede Pereira** y evaluada por los jurados asignados al Trabajo de Grado en el programa de Ingeniería Civil.
- Que el informe presentado es de creación y origen propio, respetando las normas correspondientes a la referenciación bibliográfica, que se realizó con honestidad académica y ajustados a las leyes pertinentes de propiedad intelectual.

Dado en Pereira, a los diecisiete (17) días del mes de Abril de 2020.



**Alexander Vélez Guarín**

**c.c.1.116.270.684**

Estudiante Universidad Antonio Nariño

**AVAL DEL TUTOR CIENTÍFICO PARA PRESENTAR  
INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO**

Yo, **Juan David Cano López** identificado con cédula de ciudadanía **1.088.313.910**, en calidad de Tutor científico del trabajo de grado titulado *Utilización de los SIG para la generación de mapa de amenaza por deslizamientos, análisis de estabilidad del talud crítico y alternativas para mitigar la amenaza, caso de estudio tramo vial Dosquebradas- Santa Rosa* desarrollado por el(los) estudiante (s) **Alexander Vélez Guarín** bajo gravedad de juramento hago constar que:

- He leído y analizado el informe final de Trabajo de Grado que presento anexo a la presente certificación.
- El documento entregado ha dado cumplimiento a todos los requisitos exigidos por la UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO para la presentación de informes finales de trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Civiles.
- Se ha dado cumplimiento al alcance y los objetivos trazados en el acta de aprobación de Anteproyecto que reposa en los archivos de la UDCI Sede Pereira.
- Con mi firma abajo consignada, he avalado el documento final y sus anexos para ser revisado metodológicamente por parte de la UDCI Sede Pereira y de los jurados asignados para tal fin por el Comité de Trabajo de Grado.

Dado en Pereira, a los 22 días del mes de ABRIL de 2020.



---

**Juan David Cano López**  
**C.C.**  
Director Científico Trabajo de grado  
Universidad Antonio Nariño – Sede Pereira

*A un hermano que la Tierra me arrancó vilmente  
mientras culminaba estos estudios para disfrutarlos  
con él, jamás lo podré olvidar mi gran hermano  
Oswaldo; mi primer maestro en ésta área.*

## Tabla de Contenidos

<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	7
<i>ABSTRACT</i> .....	8
<i>Capítulo 1 ESTADO DEL ARTE</i> .....	9
<i>Capítulo 2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</i> .....	20
<i>Capítulo 3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</i> .....	23
<i>Capítulo 4 MARCO TEÓRICO</i> .....	24
Clasificación de los movimientos en masa.....	28
Evaluación de la Amenaza .....	30
Alternativas de mitigación.....	36
Marco Legal.....	39
<i>Capítulo 5 OBJETIVO GENERAL</i> .....	41
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> .....	41
<i>Capítulo 6 JUSTIFICACIÓN</i> .....	42
<i>Capítulo 7 METODOLOGÍA</i> .....	43
Fase de planeación .....	43
Fase de exploración.....	44
Fase de ejecución .....	44
Fase evaluativa.....	45
Cronograma .....	47
<i>Capítulo 8 RESULTADOS OBTENIDOS</i> .....	48
Modelos Geológico-Geomorfológico e Hidrometeorológico en base a información primaria y secundaria de la zona de estudio.....	48
Evaluación y procesamiento con los SIG.....	62
Análisis de estabilidad del talud crítico y alternativas de solución .....	70
<i>Capítulo 9</i> 75	
<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i> .....	75
Modelos Geológico-Geomorfológico e Hidrometeorológico .....	75
Mapa de Amenaza por deslizamientos.....	76
Estabilidad del talud crítico y alternativas de solución.....	80
Análisis de Alternativas.....	83
<i>Capítulo 10 CONCLUSIONES Y LOGROS</i> .....	85
<i>Bibliografía</i> .....	87

## Lista de tablas

Tabla 1	Cuenca De Motozintla, Chiapas, Sur De México .....	9
Tabla 2	Aplicación A La Depresión De Tirajana (Gran Canaria) España .....	11
Tabla 3	SIG En La Zonificación De Amenaza Por Desastres Naturales .....	13
Tabla 4	Amenazas Por Deslizamientos De La Ciudad De Trujillo Venezuela .....	15
Tabla 5	SIG En La Ciudad De Villavicencio En El Sector Cerro De Buenavista.....	16
Tabla 6	SIG en la cuenca del río campoalegre. Manizales .....	17
Tabla 7	MMA (Eje Cafetero) Años 2001-2018.....	21
Tabla 8	Relación de las variables a utilizar .....	46
Tabla 9	Cronograma de actividades.....	47
Tabla 10	Pluviómetro registros mensuales desde el año 2008 – 2018 .....	57
Tabla 11	Precipitación acumulada para diferentes tiempos y periodos de retorno .....	58
Tabla 12	Intensidades- Tiempo de duración .....	61
Tabla 13	Clasificación de las pendientes del terreno.....	63
Tabla 14	Clasificación formaciones superficiales .....	64
Tabla 15	Clasificación litológica de la zona de estudio .....	65
Tabla 16	Clasificación usos del suelo .....	67
Tabla 17	Clasificación por saturación mensual .....	68
Tabla 18	Tabla por Saturación por acumulación.....	69
Tabla 19	Clasificación factores de disparo .....	70
Tabla 20	Clasificación por saturación.....	71
Tabla 21	Clasificación 1 Escenario .....	61
Tabla 22	Clasificación 2 Escenario .....	64
Tabla 23	Clasificación 3 Escenario .....	66
Tabla 24	Clasificación 4 Escenario .....	68
Tabla 25	Clasificación condiciones normales .....	80
Tabla 26	Clasificación condiciones extremas .....	80
Tabla 27	Matriz de Alternativas .....	83
Tabla 28	Resumen Escenarios de Amenaza.....	85

## Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 MMA (Risaralda-Caldas-Quindío) entre los años 2001-2018 .....	21
Ilustración 2 Partes de un deslizamiento .....	27
Ilustración 3 Procedimiento para zonificación de la amenaza .....	34
Ilustración 4 Alternativa N°1 .....	37
Ilustración 5 Alternativa N°1 .....	37
Ilustración 6 Alternativa N°2 planta gramínea perenne .....	38
Ilustración 7 Alternativa N°3 Vegetación arbórea en berma .....	39
Ilustración 8 Localización general .....	48
Ilustración 9 Localización puntual .....	49
Ilustración 10 Diagrama de QAPF .....	51
Ilustración 11 Localización pluviómetro .....	56
Ilustración 12 Curva IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) de la zona de estudio .....	60
Ilustración 13 Modelo de elevación digital del terreno .....	62
Ilustración 14 Modelo de elevación digital del terreno .....	63
Ilustración 15 Temático de pendientes del terreno .....	64
Ilustración 16 Modelo de formaciones geológicas .....	66
Ilustración 17 Temático de usos de suelo .....	67
Ilustración 18 Escenario N°1 de Amenaza .....	62
Ilustración 19 Escenario N°1 de Amenaza .....	62
Ilustración 20 Escenario N°1 de Amenaza .....	63
Ilustración 21 Escenario N°2 de Amenaza .....	64
Ilustración 22 Escenario N°2 de Amenaza .....	65
Ilustración 23 Escenario N°2 de Amenaza .....	65
Ilustración 24 Escenario N°3 de Amenaza .....	66
Ilustración 25 Escenario N°3 de Amenaza .....	67
Ilustración 26 Escenario N°3 de Amenaza .....	67
Ilustración 27 Escenario N°4 de Amenaza .....	69
Ilustración 28 Escenario N°4 de Amenaza .....	69
Ilustración 29 Escenario N°4 de Amenaza .....	70
Ilustración 30 Localización en planta talud de estudio .....	71
Ilustración 31 Localización perspectiva talud de estudio .....	71
Ilustración 32 Modelación Talud condiciones normales .....	73
Ilustración 33 Modelación Talud condiciones extremas .....	74
Ilustración 34 Porcentaje datos factor de saturación .....	76
Ilustración 35 Amenaza escenario N°3 .....	78
Ilustración 36 Amenaza Escenario N°4 .....	79
Ilustración 37 Línea de falla escenario de condiciones normales .....	81
Ilustración 38 Línea de falla escenario de condiciones extremas .....	82
Ilustración 39 Modelamiento Alternativa N°3 .....	84

## INTRODUCCIÓN

El corredor vial entre Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal se encuentra ubicado en la cordillera central, por su ubicación espacial cuenta con una geomorfología muy accidentada, donde la mayor parte de la calzada del corredor está construida a media ladera, el trazado actual del corredor conserva muchos de sus tramos de un trazado preexistente de carretables, igualmente por su ubicación en una zona tropical las precipitaciones son elevadas y de intensidades considerables generando un ambiente propicio para los movimientos en masa,

Por lo tanto, la presente investigación busca ubicar estos lugares de amenaza alta mediante la utilización de los SIG., realizando una evaluación multicriterio de los distintos factores que intervienen en los movimientos en masa, creando modelos geológicos-Geomorfológicos e Hidrometeorológico, para posteriormente ser ponderados y obtener el producto final del mapa de amenaza por deslizamientos.

Con la identificación de estos lugares de amenaza de la zona, se selecciona el talud crítico, para evaluar su estabilidad puntal mediante el modelamiento en el software Slide. Dado que presenta un factor de seguridad menor a 1 se selecciona una alternativa de mitigación amigable al medio ambiente y se vuelve nuevamente para evaluar su estabilidad y corroborar su óptimo funcionamiento.

## **ABSTRACT**

In the present investigation, the GIS geographic information systems will be used to obtain landslide threat maps, through the creation of geological, geomorphological and hydrometeorological models created using databases of collected information, to subsequently evaluate them with the multi-criteria evaluation method. EMC and obtain the final product of landslide hazard maps.

There is also the point stability analysis of a slope, using the Slide software, which is modeled for an earthquake scenario and can find its possible fault line, then we proceed to evaluate a series of environmentally friendly alternatives and their modeling to observe the effect on slope stability.

## Capítulo 1

### ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se realiza análisis sobre las investigaciones a nivel internacional y nacional sobre el tema de estudio “Mapa de amenaza por deslizamientos”. Se realiza cuadro de referencia haciendo relevancia en los aspectos más importantes de cada proyecto y las similitudes que existen con el tema de estudio.

A continuación, se muestran las investigaciones a nivel internacional.

#### PROCESOS DE MOVIMIENTO MASIVO EN LA CUENCA DE MOTOZINTLA, CHIAPAS, SUR DE MÉXICO

Elaborado por (Sánchez, y otros, 2012)

*Tabla 1*

*Cuenca De Motozintla, Chiapas, Sur De México*

<b>Tema</b>	<b>Descripción</b>
<b>Objetivo</b>	Obtener las áreas propensas a los procesos de movimientos masivo (MMP) en la Cuenca de MOTOZINTLA en el sureste de México
<b>Localización</b>	Motozintla de Mendoza se encuentra en la parte sureste del estado de Chiapas. La cuenca de Motozintla tiene un área aproximada de 298 km <sup>2</sup> solo 1.42 km <sup>2</sup> han sido utilizados para infraestructura urbana. Motozintla se conecta al este y al norte con el pueblo de Frontera Comalapa (carretera 211) y las ciudades de Comitán, San Cristóbal y Tuxtla Gutiérrez (carretera 190). Al sur, se conecta con las ciudades de Arriaga, Tonalá, Pijijiapan, Mapastepec y Huixtla (carretera federal 200)
<b>Características de la zona</b>	El área está dominada por rocas pérmicas a terciarias extremadamente afectadas por fallas, meteorización y erosión intensa. Motozintla ha sido seriamente perturbada por dos fenómenos hidrometeorológicos en 1998 y 2005, los anteriores eventos han ocasionado precipitaciones poco comunes en la zona lo que ha generado miles procesos de movimientos masivos (MMP). y generando cuantiosos daños, solamente en el estado de Chiapas, 2.200 viviendas fueron destruidas y al menos 40.000 personas fueron encontradas sin hogar.
<b>Técnicas aplicadas</b>	La información geológica y geográfica del área fue recolectada y sintetizada en una base de datos. Para producir modelos digitales de elevación

utilizaron la escala de mapas topográficos de 1994 (1: 50,000) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1994). Con estos modelos, prepararon varios mapas temáticos (elevación, pendiente, escala de grises y drenaje). La fotointerpretación del área se realizó con seis conjuntos de fotografías aéreas de INEGI (1: 75,000; 1: 37,500), ortofotos e imágenes pancromáticas. La información compilada incluyó contactos litológicos principales, fallas, fracturas, patrones de drenaje y procesos de movimiento de masas. Toda esta información se procesó con diversos programas comerciales como ILWIS 3.3, ArcView, y ArcGIS 9.0.

## **Resultados**

Los MMP identificado en este trabajo ha sido provocado por la actividad tectónica y la lluvia. Las condiciones locales del sustrato como: intemperismo que excede el umbral de fricción, topografía abrupta, fallas intensas y fracturas, intersecciones de juntas, estratificación de alta pendiente, rocas con diferentes propiedades y coeficientes de fricción fueron factores importantes para promover los MMP por gravedad. Estos mecanismos causan la falla mecánica de las rocas que afectan a todo tipo de litología de diferentes maneras. Además, los eventos hidrometeorológicos que arrojan grandes cantidades de lluvia en el área y las acciones humanas (construcción de carreteras, deforestación intensa y actividades agrícolas) han aumentado la frecuencia de los movimientos masivos que representan serias amenazas para los habitantes

---

Fuente (Sánchez, y otros, 2012)

Existen grandes semejanzas de fondo con el proyecto desarrollado, ya que ambos tienen sus enfoques de análisis particulares de sus variables con base de datos en un software SIG. Igualmente se contó para el modelamiento con la geología de la zona ofrecida al público por el GEOPORTAL y la topografía de la zona facilitada por la concesión del corredor.

Hay varios aspectos adicionales al presente trabajo que se abordaron en el proyecto como son:

- Análisis en tiempo variable, ya que se modelará para diferentes periodos de tiempo, ubicando el tiempo del año más crítico.

- Se obtendrá una pluviosidad coherente de la zona ya que se cuenta con un pluviómetro de la Red Hidroclimatológica de Risaralda llamado ACUASEO.
- Se hará igualmente un análisis con un sismo de diseño de la zona.

ELABORACIÓN DE MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTO MEDIANTE SIG, TELEDETECCIÓN Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO. APLICACIÓN A LA DEPRESIÓN DE TIRAJANA (GRAN CANARIA) ESPAÑA

Elaborado por (Hervás, Barredo, & Lomoschitz, 2002)

*Tabla 2*

*Aplicación A La Depresión De Tirajana (Gran Canaria) España*

<b>Tema</b>	<b>Descripción</b>
<b>Objetivo</b>	elaboración de un mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera genéricos (sin diferenciar los tipos) de la depresión de Tirajana, en el centro de la isla de Gran Canaria España.
<b>Localización</b>	Tirajana es el municipio más extenso de la Isla de Gran Canaria. Este vasto territorio ocupa una posición meridional en el conjunto de las tierras de esta isla, extendiéndose desde la línea de costa, al sur, hasta el Macizo Central de Gran Canaria, al norte, en el límite del municipio de Tejeda. Al este encontramos Amurga y el Barranco de Tirajana, como límite con el municipio de Santa Lucía, y al oeste el Barranco de Ayacata, Soria o Arguineguín, que sirve de línea divisoria con el municipio de Mogán. (CabildoGranCanaria, 2019)
<b>Características de la zona</b>	La zona cartografiada tiene 48 km <sup>2</sup> de extensión, un fondo de morfología irregular y una profundidad de 900 m, estando bordeada por escarpes y cantiles que alcanzan 350 m de altura. Dicha depresión se ha originado por la erosión fluvial y el deslizamiento de grandes masas de roca provenientes de series volcánicas subhorizontales. Compuestas principalmente por brechas, ignimbritas y coladas de lava de composición variada, fueron depositadas a partir del Mioceno durante los 3 ciclos magmáticos de la isla (Lomoschitz y Corominas, 1997). Estos autores distinguen en la zona 28 grandes deslizamientos. Los movimientos principales fueron deslizamientos en roca y de derrubios, y los modos de desplazamiento fueron en un 89% traslacionales, mientras que el 11% restantes fueron rotacionales y flujos. Los cuerpos principales de deslizamiento tienen de 1,2 a 3,5 km de largo y volúmenes comprendidos entre los 0.18 y 1.55 km <sup>3</sup> ] (Lomoschitz et al., 2002).

<b>Técnicas aplicadas</b>	<p>El método empleado para la cartografía de la susceptibilidad de una determinada región (o zona) a los deslizamientos ha requerido en primer lugar la creación de una base de datos a partir de la elección y cartografía de los factores del terreno condicionantes de la inestabilidad. Para ello se han utilizado técnicas tradicionales, como la foto interpretación y el reconocimiento directo de campo, junto con técnicas de tratamiento digital de imágenes de satélite, de interpretación de imágenes de satélite tridimensionales (Hervás y Rosin, 2001) y de imágenes de sombreado del relieve obtenidas a partir de modelos de elevación del terreno (MDT) de alta resolución. Asimismo se han digitalizado e incorporado al análisis algunos mapas ya existentes, como el de Quintana y Lomoschitz (2000). Estos factores, una vez homogeneizados en cuanto a su contenido, escala, proyección cartográfica y formato digital, se han integrado en un SIG. Se ha subdividido cada factor en clases, a las que se han asignado pesos en función de su influencia relativa en la inestabilidad. Posteriormente se ha determinado analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas (Saaty, 1980, 1994; Eastman et al., 1995).</p>
<b>Resultados</b>	<p>El mapa de susceptibilidad resultante muestra los valores mayores en algunos cantiles y en canchales que cubren parcialmente grandes escarpes de deslizamientos antiguos. Existe también una alta susceptibilidad en las acumulaciones de derrubios existentes en algunas laderas de barrancos con cuerpos de deslizamiento recientes. Ambos movimientos corresponden fundamentalmente a desprendimientos. La susceptibilidad de los deslizamientos superficiales, localmente cubiertos por cultivos de regadío en terrazas, resulta ser moderada. Por otra parte, dada la carencia de datos en profundidad, no se ha podido evaluar la susceptibilidad de posibles grandes deslizamientos profundos. Se estima, sin embargo, que ésta es muy baja.</p>

---

Fuente (Hervás, Barredo, & Lomoschitz, 2002)

Este proyecto posee las bases de fondo con el proyecto desarrollado, ya que realiza el análisis de sus variables mediante una base de datos procesada por Software SIG y adicionalmente realizan el análisis multicriterio asignándole valores de peso a cada una de sus variables como se piensa modelar el proyecto en curso.

A diferencia del proyecto expuesto el proyecto desarrollado, realizó un análisis más preciso de la pluviosidad de la zona ya que el expuesto no contaba con suficientes datos

hidrológicos de la zona, Adicionalmente se modeló la amenaza con el sismo de diseño de la zona.

## EL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR DESASTRES NATURALES (Rivera, 2013)

*Tabla 3*  
*SIG En La Zonificación De Amenaza Por Desastres Naturales*

<b>Tema</b>	<b>Descripción</b>
<b>Objetivo</b>	Elaborar un mapa de amenazas a los deslizamientos e inundaciones en las cuencas de los ríos Chiriquí Viejo y La Villa
<b>Localización</b>	En este proyecto se localiza en las cuencas de los ríos Chiriquí Viejo, provincia de Chiriquí y La Villa en la península de Azuero. República de Panamá.
<b>Características de la zona</b>	El crecimiento poblacional desproporcionado en zonas de alto riesgo, así como el mal uso del suelo, han contribuido al aumento de la vulnerabilidad de la población ante situaciones de desastres. Por otra parte, existe poca o ninguna información de registros sistemáticos y homogéneos que son necesarios para el análisis de la gestión del riesgo sobre la ocurrencia de eventos amenazantes como son las inundaciones y los deslizamientos de tierra en la república de Panamá.
<b>Técnicas aplicadas</b>	Para la elaboración del mapa de amenazas se utilizaron los programas ILWIS y ARCGIS. Ambos programas son sistemas de información geográfica con capacidad para el procesamiento de imágenes, que permite introducir, manejar, analizar y presentar datos geográficos; a partir de estos datos se puede generar información sobre patrones espaciales y temporales y de los procesos sobre la superficie terrestre. El mapa de amenazas a los deslizamientos fue elaborado utilizando como datos bases: modelo de elevación digital del terreno (DEM), generado a partir de las curvas de nivel de las áreas seleccionadas; mapas de drenajes. mapas geológicos y geomorfológicos A partir de estos datos se generaron los siguientes mapas: Mapa de pendientes; Mapa de concavidad y convexidad; Mapa de distancias hasta la red de drenajes

---

Se procedió a la asignación de peso a cada uno de estos mapas, en los cuales los valores más altos corresponden a la mayor influencia que éstos puedan ejercer en el mecanismo de disparo del deslizamiento y la inundación. Estos pesos fueron multiplicados y sumados para obtener el Mapa de Amenaza a los Deslizamientos e inundaciones. Finalmente, este mapa fue reclasificado asignándole los valores cualitativos de Amenaza Alta (3), Amenaza Moderada (2) y Amenaza Baja (1).

**Resultados**

Producto de la evaluación y modelación ejecutadas obtuvimos como resultado la definición de los distintos tipos de movimientos de masas en las cuencas analizadas.

Se determinó que los dos tipos fundamentales de movimientos existentes en las cuencas son:

deslizamientos de tierras rotacionales-traslacionales (slump);

deslizamientos de tierras rotacionales-flujo de lodo (derrumbes).

Con la modelación y la ayuda de la observación de campo se estableció la zonificación del área de estudio; basándose en la clasificación de las amenazas debido a la inestabilidad de los taludes y las inundaciones. Esta inestabilidad se define como el levantamiento de áreas con una probabilidad de ocurrencia de deslizamientos e inundaciones en un período específico de tiempo (Varnes, 1984 en GISSIZ 2001).

El mapa de amenazas a los deslizamientos que se obtuvo en el estudio muestra las siguientes categorías:

amenaza alta, referida a las áreas potenciales con alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos por presentar pendientes elevadas, alta convexidad, rocas y suelos alterados.

amenaza media o moderada, referida a las zonas que pueden verse potencialmente afectadas, en caso de alterarse las condiciones actuales de las pendientes por un mal manejo del suelo.

amenaza baja, referida a las áreas que no presentan ningún peligro.

---

Fuente (Rivera, 2013)

Existen similitudes de fondo al proyecto en la forma de procesar los datos, ya que en el proyecto desarrollado se procede igualmente con un Software SIG para el análisis de los datos y en la forma de evaluación de la amenaza utilizando el análisis multicriterio, asignándole diferentes valores de peso a las distintas variables.

En el proyecto desarrollado se tuvo más análisis a la variable hidrológica de la pluviosidad en un determinado periodo de tiempo.

APROXIMACIÓN AL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS DE LA CIUDAD DE TRUJILLO VENEZUELA. (Roa, 2005)

*Tabla 4*  
*Amenazas Por Deslizamientos De La Ciudad De Trujillo Venezuela*

<b>Tema</b>	<b>Descripción</b>
<b>Objetivo</b>	la elaboración de los mapas de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos para el Área Metropolitana de la Ciudad de Trujillo, a través de la manipulación de mapas y otros datos espaciales en un SIG, ilustrando con esto la conveniencia de esta herramienta para el análisis consistente y expedito de los procesos de deslizamientos y su posible anticipación. Específicamente se elaboró: un mapa de susceptibilidad a deslizamientos y tres mapas de amenazas por deslizamientos, estos últimos según la variación estacional de las lluvias.
<b>Localización</b>	se localiza en la parte media de la Cuenca del Río Castán, afluente del Río Motatán y ambos pertenecientes al sistema hidrológico de la cuenca del Lago de Maracaibo. Venezuela
<b>Técnicas aplicadas</b>	La evaluación de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos ejecutada en este análisis, se realizó bajo los procedimientos requeridos a toda Evaluación MultiCriterio (EMC) y señalados por Saaty (1990). Esta basada en el Método de Jerarquías Analíticas MJA
<b>Resultados</b>	La Evaluación MultiCriterio (EMC), es una metodología recomendable para este tipo de análisis debido a que permite al usuario la manipulación de distintas coberturas cartográficas relativas al problema planteado y finalmente la obtención de un resultado satisfactorio en corto tiempo.

Fuente (Roa, 2005)

Existen las bases de fondo en la forma de manejar y evaluar los datos ya que al igual que en el anterior proyecto se utilizó el EMC (Evaluación Multi Criterio) basada en el MJA (Método de Jerarquías Analíticas)

En el proyecto desarrollado se tuvo más al detalle los temas de pluviosidad y adicionalmente a estos se tuvo en cuenta un episodio de sismo de diseño de la zona.

En las siguientes tablas se hace referencia a las investigaciones realizadas a nivel Nacional.

**ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS EN MASA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SIG EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO EN EL SECTOR CERRO DE BUENAVISTA.**  
(Guataquira, 2018)

*Tabla 5*

*SIG En La Ciudad De Villavicencio En El Sector Cerro De Buenavista.*

<b>Tema</b>	<b>Descripción</b>
<b>Objetivo</b>	Generar el mapa de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el sector cerro de Buenavista en el municipio de Villavicencio, Meta, utilizando los Sistemas de Información Geográfica por medio de imágenes satelitales.
<b>Localización</b>	Villavicencio es una ciudad que se encuentra ubicada en el punto donde inicia el sistema de montañas de la Cordillera Oriental y converge con una zona parcialmente plana, por lo que tiene sectores, hacia el norte de la ciudad, que presentan movimientos en masa desarrollados sobre laderas inestables que han ido aumentando debido a la geología estructural particular de la cordillera, lo que genera una situación de riesgo para la comunidad. El sector Cerro de Buenavista está localizado en lo que corresponde al límite de la Cordillera Oriental con los Llanos Orientales
<b>Características de la zona</b>	El sector Cerro de Buenavista está localizado en lo que corresponde al límite de la Cordillera Oriental con los Llanos Orientales, esto hace que se presenten continuos movimientos de masa, generados por las condiciones geológicas y geomorfológicas de la zona combinadas con la erosión del suelo producidas por las lluvias y taludes inestables, que con el paso del tiempo han ido aumentando, generando pérdida de la tierra para los pobladores y poniendo en riesgo la vida de la comunidad.
<b>Técnicas aplicadas</b>	Para el cálculo de la susceptibilidad por movimientos en masa en el sector cerro de Buenavista se emplearon variables cualitativas y cuantitativas del terreno; dentro de las variables cualitativas se encuentra: Geomorfología, Registro de movimientos en masa, cobertura vegetal, geología y suelo, y dentro de las variables cuantitativas se encuentra: Pendiente, Rugosidad, Curvatura y el factor de la cuenca, que se determinaron a partir del modelo digital de elevación. Para el análisis de las variables se aplica un análisis multicriterio que involucra la información obtenida del terreno, con los datos proporcionados por el DEM. Se aplica una jerarquización de variables dado que, en el momento de presentarse un movimiento de masa, no todas las variables tienen el mismo grado de incidencia. mayúsculas y puntuación.

**Resultados**

Como resultado del análisis en la herramienta SIG, se obtienen mapas que arrojan la susceptibilidad por geomorfología, geología y uso de suelo, y mediante la suma de estos resultados se presenta el mapa de susceptibilidad de la montaña en el sector Cerro de Buenavista en donde se puede identificar las áreas más propensas a presentarse movimientos en masa, que se clasifican en tres niveles de susceptibilidad: Alta, media y baja. Estos mapas sirven como insumo para los estudios de gestión del riesgo en el sector Cerro de Buenavista, ya que es muy poca la información que se tiene sobre el tema. En efecto, los resultados contenidos en los mapas permiten a la comunidad tomar consciencia sobre los deslizamientos que pueden generarse en esa zona, para así tomar las precauciones necesarias.

---

Fuente (Guataquira, 2018)

Existen dos bases fundamentales en ambos proyectos, como son el manejo de los datos con un sistema de información geográfica SIG y una evaluación multicriterio asignándole diferentes valores a cada variable.

El proyecto expuesto basa gran parte de su análisis en la topografía y la geología de la zona y la parte hidrológica la analiza desde el punto de vista de la posibilidad de escorrentía y lugares propensos a saturarse. En el proyecto desarrollado se tuvo un énfasis especial en la pluviosidad y la variación de la misma en el año, también se le dio un valor al sismo de la zona.

SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RÍO CAMPOALEGRE. MANIZALES (Gómez, Osorio, & Salazar, 2013)

*Tabla 6*  
*SIG en la cuenca del río campoalegre. Manizales*

Tema	Descripción
<b>Objetivo</b>	Desarrollar un Sistema de Información Geográfica que permita evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa para la prevención del riesgo en la cuenca del río Campoalegre.

<b>Localización</b>	la cuenca del río Campoalegre se encuentra entre los departamentos de Risaralda y caldas. Tiene una extensión de 42.956.76 Ha (429.56 km <sup>2</sup> ), de la cual el 75% (322,17 km <sup>2</sup> ) corresponde a Risaralda y el 25% (107,39 km <sup>2</sup> ) restante corresponde a Caldas. El río Campoalegre nace en el Nevado Santa Isabel a 4.600 m.s.n.m. y desemboca en el río Cauca en el límite de los municipios de Chinchiná y Palestina a 870 m.s.n.m., luego de recorrer 72 km en dirección Suroriente Noroccidente
<b>Características de la zona</b>	En la cuenca Campoalegre los detonantes a tener en cuenta para la generación de movimientos en masa son el uso del suelo, precipitación, pendientes, zonas de influencia de fallas y geología, que juegan un rol importante en su desarrollo y magnitud; por lo tanto, la susceptibilidad describirá donde se podría generar un movimiento en masa, teniendo en cuenta la inestabilidad que presentan las diferentes variables.
<b>Técnicas aplicadas</b>	Se propone un método indirecto de evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos dentro de un SIG, que integra factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, algunos de ellos extraídos a partir del análisis de imágenes de satélite multiespectrales y multitemporales, y técnicas de evaluación multicriterio, basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas pesos de factores y clases. El método permite evaluar cuantitativamente la consistencia en la asignación de pesos, con lo que se reduce la subjetividad inherente a ésta, que es típica de los métodos de indexación. Dicho método se considera especialmente útil para la evaluación de la susceptibilidad a escalas intermedias (1:25.000 y 1:50.000) en zonas donde apenas existen datos geotécnicos e hidrogeológicos, y en las que además no es factible realizar muestreos estadísticos adecuados (Hervas, 2002)
<b>Resultados</b>	Se determinaron las zonas potencialmente inestables para prevenir el riesgo a movimientos en masa de la población en el área de influencia de la cuenca Campoalegre y así determinar las zonas con susceptibilidad. Los mapas generados y el resultado de las diferentes operaciones Raster serán almacenados en una geodatabase para un almacenamiento óptimo de la información.

---

Fuente (Gómez, Osorio, & Salazar, 2013)

Existe una gran similitud con el proyecto desarrollado en la base fundamental del manejo de la información ya que ambos proyectos obtienen los resultados por medio de un Software SIG y la evaluación multicriterio que se tiene en cuenta para la misma, obteniendo diferentes jerarquías y pesos a las diferentes variables.

El proyecto expuesto fundamenta gran parte de su análisis en la técnica de base de datos por medio del procesamiento de imágenes satelitales y fotointerpretación. El proyecto

desarrollado tuvo un análisis más puntual de la hidroclimatología de la zona y tuvo en cuenta el evento de un sismo de la zona.

## Capítulo 2

### DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Según (Calvachi, 2019) el Eje Cafetero, es la zona más propensa a deslizamientos junto a Santander, Norte de Santander y la Orinoquia, se identificó que la zona que abarca los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío es una de las que presenta las mayores probabilidades de que ocurran movimientos en masa como deslizamientos, caídas de roca, flujos o avalanchas.

Lo anterior se debe fundamentalmente a sus características geomorfológicas, actividad sísmica, climatología, usos del suelo entre otros factores que pueden ser decisivos en la incidencia de los movimientos en masa.

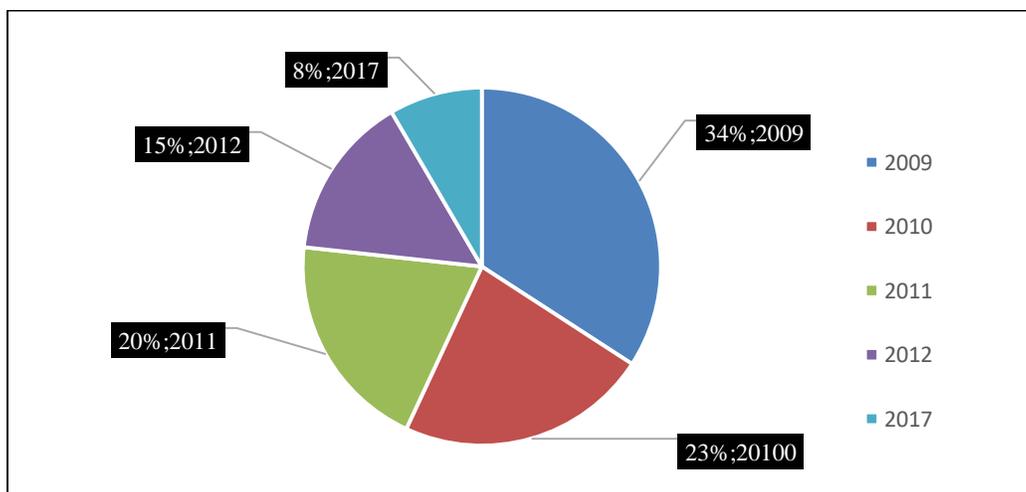
Las altas precipitaciones es uno de los factores más detonantes de los movimientos de masa según (Aristizábal, 2011) A pesar de que La Niña del 2009 fue de corta duración tuvo un fuerte impacto en los patrones de la convección y vientos tropicales del norte de Sur América, la precipitación en Colombia presentó excesos entre el 40% y 70%, durante el primer trimestre del 2009.

En los años 2009,2010 y 2011 Colombia se vio fuertemente afectada por elevadas precipitaciones pocos comunes debido al fenómeno de la niña. Dicho fenómeno provocó igualmente los años con mayores movimientos en masa registrados en el país y el Eje cafetero no fue ajeno al mismo, en la siguiente tabla tomada del SIMMA (Sistema de información de movimientos en masa) del servicio Geológico Colombiano se registran la cantidad de movimientos en masa en los departamentos de Risaralda, Quindío y Caldas de los años antes mencionados 2001 al 2018.

*Tabla 7*  
*MMA (Eje Cafetero) Años 2001-2018*

AÑO	Nº MMA
2009	69
2010	46
2011	40
2012	30
2017	17
2018	16
2013	15
2008	14
2007	4
2005	2
2003	2
2016	1
2006	1
2001	1

Fuente Elaboración propia



*Ilustración 1 MMA (Risarcald-Caldas-Quindío) entre los años 2001-2018*

Fuente (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

Como se observa en la gráfica, el año 2009 fue el año con mayor número de movimientos en masa, que coincide con el tiempo del impacto del fenómeno de la niña. Las políticas en Colombia son aún más débiles en temas de prevención a los movimientos en masa y prefieren reparar que prevenir caso contrario la capital del departamento de Caldas Manizales se encuentra entre las ciudades con mayor número de obras de estabilidad por m<sup>2</sup>. “Ninguna población del país puede darse el lujo de decir que cuenta con cerca de 970 obras de estabilidad. De hecho, hace poco Manizales terminó un proyecto de 5 millones de dólares destinado a hacer investigación en gestión del riesgo, el cual fue financiado por el mismo municipio, Findeter y la Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas)”. (Paz, 2017)

La Geomorfología del Eje Cafetero se caracteriza por ser muy accidentada y con unas pendientes muy pronunciadas, esto combinado con unas altas precipitaciones, Deforestación, cambios en los usos del suelo (impermeabilización), la convierten en una zona de una amenaza alta ante movimientos en masa y donde se hace extremadamente necesario ubicar estas zonas cruzando las diferentes variables como son la Geomorfología, Geología, Hidrología y el Sismo de la zona, generando con ello unos mapas temáticos que permitan la fácil visualización para su pronto tratamiento.

### Capítulo 3

#### FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

(El Tiempo, 2019) Después de que el miércoles pasado cayó un deslizamiento en la vía Pereira -Dosquebradas - Santa Rosa de Cabal (Risaralda), que obligó el cierre de esa carretera por parte del concesionario Autopistas del Café y la habilitación de la antigua vía al sector de Boquerón para el paso de los vehículos hacia Santa Rosa de Cabal, esta madrugada otro derrumbe bloqueó esa vía. Fecha 07 de junio 2019, 09:04 a.m. Debido al cierre de la vía antigua a Boquerón, cientos de pasajeros, muchos provenientes, además de Santa Rosa de Cabal, de Chinchiná y Manizales quedaron atrapados a lado y lado del derrumbe.

El corredor vial es de suma importancia para la comunicación del departamento en donde surge la necesidad de prevenir escenarios lamentables que puedan ocasionar primeramente pérdidas humanas, materiales e interferencia económico en donde surge la pregunta ¿Cuál es la zona con mayor amenaza a los movimientos en masa y el talud crítico en el tramo vial entre el Municipio de Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal?, Para dar respuesta a la interrogante, se hace necesario la construcción de modelos geológico-geomorfológico e hidrológico, en base a información recolectada de la zona de estudio, Imágenes Satelitales e información pública del Gobierno Nacional, para posteriormente ser evaluada con el SIG.

## **Capítulo 4**

### **MARCO TEÓRICO**

De acuerdo al (Servicio Geológico Colombiano;, 2017) Colombia presenta una complejidad geológica debido a la interacción de tres placas tectónicas principales: suramericana, Nazca y Caribe. La interacción de estas placas hace que el territorio colombiano esté caracterizado por la presencia de cadenas montañosas jóvenes, que favorecen la ocurrencia de sismos, erupciones volcánicas y movimientos en masa, estos últimos potenciados por lluvias intensas, pendientes fuertes, materiales fracturados y meteorizados y en muchas ocasiones por el uso inadecuado del territorio.

Con respecto a lo anterior se tiene que en la región de los Andes Suramericanos, los países que los conforman tienen características similares en cuanto a geomorfología y precipitaciones en sus territorios y debido a estas características pocos favorables según (Geociencias para las comunidades Andinas, 2007) algunos de los peores desastres asociados a movimientos en masa en el mundo han ocurrido en la región Andina: los flujos de detritos de Vargas, Venezuela, ocurridos en 1999, con alrededor de 15.000 víctimas, El lahar de Armero, Colombia, ocurrido en 1992, con más de 23.000 víctimas y la avalancha de roca y hielo/flujo de detritos de 1970 en el Nevado Huascarán, Perú que se llevó 18.000 vidas.

Los movimientos en masa se consideran parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la Tierra. Su génesis obedece a la combinación de una gran diversidad de procesos tanto de origen geológico como hidrometeorológico, químico y mecánico. (Servicio Geológico Colombiano;, 2017).

(Duque Escobar, 2003) Son los movimientos de la roca y del material no consolidados, en respuesta a la atracción de la gravedad. El agua, el hielo y el viento son agentes geológicos de erosión. Aunque los medios de transporte son variados; entre los principales figuran los ríos.

Con base en las definiciones anteriores se puede concluir que los movimientos en masa hacen parte del ciclo natural geológico de la tierra ya que mientras las fuerzas internas que moldean la corteza de la tierra sigan dinámicas, seguirán elevándose montañas y el mismo planeta con su gravedad las hará regresar de nuevo a su posición original. Lo que se debe controlar es que su regreso no genere pérdidas humanas y los menores materiales posibles.

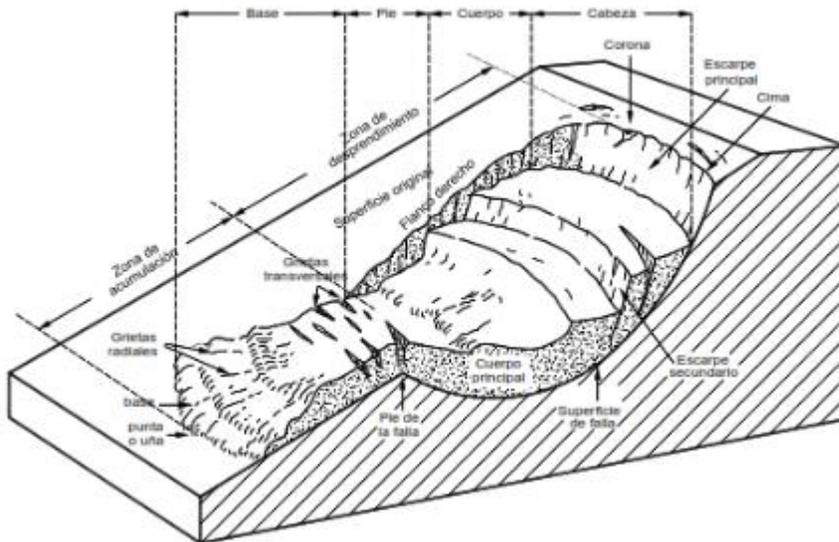
Según (Suarez, 2008) las partes de un deslizamiento son:

- **Cabeza.** Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.
- **Cima.** El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Corona.** El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
- **Escarpe principal.** Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La

continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.

- **Escarpe secundario.** Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.
- **Superficie de falla.** Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla
- **Pie de la superficie de falla.** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- **Base.** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- **Punta o ña.** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- **Cuerpo principal del deslizamiento.** El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.
- **Superficie original del terreno.** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- **Costado o flanco.** Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

En la siguiente figura se especifican las partes antes expuestas.



*Ilustración 2 Partes de un deslizamiento*

Fuente: (Suarez, 2008) Libro de Deslizamientos Análisis Geotécnico pag4 Figura 1.5

Según (Duque Escobar, Manual de Geología para Ingenieros, 2003) El movimiento de masas ocurre cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo. Esto puede ocurrir al aumentar el esfuerzo cortante (sismos, variaciones morfológicas desfavorables, etc.) o al disminuir la resistencia al corte del suelo (saturación, meteorización, etc.). Los parámetros que influyen en los procesos de inestabilidad son:

- El tipo de material (clase de rocas, capa alterada y tipo de cobertura).
- Pendiente (gradiente, forma y longitud de las laderas).
- Condiciones hidrológicas (infiltración, permeabilidad, profundidad del agua subterránea y cantidad de agua).
- Procesos morfológicos (erosión fluvial e hídrica y movimientos masales).
- Parámetros externos (como la distribución de la pluviosidad, es decir, relación intensidad-período, la sismicidad y el vulcanismo).

### **Clasificación de los movimientos en masa**

Según (Geociencias para las comunidades Andinas, 2007) Las clasificaciones de movimientos en masas y la nomenclatura de (Varnes, 1978) y Hutchinson (1968, 1988) son, hoy en día, los sistemas más ampliamente aceptados en el mundo de habla inglesa e hispana. (Varnes, 1978) emplea como criterio principal en la clasificación, el tipo de movimiento y, en segundo lugar, el tipo de material. Así, divide los movimientos en masa en cinco tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Además, divide los materiales en dos clases: rocas y suelos, éstos últimos subdivididos en detritos y tierra.

En cuanto a la definición de movimiento en masa Según (Duque Escobar, 2003) tenemos que una primera aproximación, puede ser la de discriminar los flujos rápidos y los deslizamientos, es decir los fenómenos de transporte de masas y de desplazamiento de masas.

El **transporte** de masas se da en avalanchas, flujos, fenómenos de escurrimiento y deyección de materiales. Los **desplazamientos** de masas, se dan en fenómenos de reptación, desprendimientos, deslizamientos, subsidencias (cavernas de erosión y disolución) y propagación lateral de materiales.

Cabe resaltar algo de la historia que nos recuerda lo destructiva y letal que puede ser la naturaleza si no nos adaptamos a ella. El volcán Nevado del Ruiz provocó una de las más grandes tragedias que ha sufrido Colombia en su historia reciente: su erupción generó un **lahar** que sepultó más de 23.000 personas, arrasó 4.200 viviendas, destruyó 20 puentes y acabó con todas las vías de Armero (Tolima). (Tovar, 2015)

Un **Lahar** según la (Universidad de Costa Rica, 2015) Son fluidos compuestos de sedimentos volcánicos con una gran cantidad de agua. Un lahar puede estar conformado de diferentes granulometrías y tipos de rocas. Estos flujos se pueden provocar por saturación de agua en los macizos volcánicos, provocando el arrastre de material ya sea por intensas lluvias o deshielo, por lo que igualmente pueden ocurrir lahares, aunque el volcán no esté en erupción. Un lahar hace referencia a una avalancha de productos volcánicos que, al ser un flujo, en la mayoría de ocasiones busca los cauces de los ríos para seguir su trayectoria. Los lahares pueden ser fríos o calientes dependiendo tanto de las condiciones volcánicas como del material que arrastre.

Uno de los lahares más grandes se dio el día 13 de noviembre de 1985 en el volcán Nevado Ruiz en Colombia, fluyendo aproximadamente 80km. (Universidad de Costa Rica, 2015).

Una segunda forma de clasificar los movimientos en masa es por su velocidad, según (Duque Escobar, Manual de Geología para Ingenieros, 2003) Se consideran **movimientos rápidos** los deslizamientos de tierra, flujos de lodo, flujos de tierra y desarrollo de taludes. Se consideran **movimientos lentos** el resbalamiento, la soliflucción y los glaciares de roca.

La **reptación o reptamiento** (flujo lento) se reconoce por la ondulación del terreno, el desplazamiento de líneas de acueducto, la inclinación de postes y árboles. La velocidad se excita en épocas de invierno, aunque en los más profundos ésta es más uniforme. Hay

reptación de suelos en zonas interfluviales (material no consolidado y húmedo), reptación de rocas en capas inclinadas hacia valles y reptación del talud (fragmentos de roca acumulados en cantiles).

Los **flujos rápidos** pueden ser flujos de tierra (baja velocidad), flujos de lodo (velocidad moderada) y avalanchas de detritos (alta velocidad). Un flujo de tierra puede transformarse en un flujo de lodo si hay aportes de agua; los flujos de lodo son más rápidos, pero no portan volúmenes significativos de piedra y los sólidos están dominados por finos. Las avalanchas son ya enormes y permiten diferenciar bien un canal o cuello que conecta una zona de alimentación y otra de descarga. También hay flujos de detritos que son rápidos a causa de las altas pendientes, con contenidos de agua y aportes de materiales gruesos, pero que no compiten con las avalanchas

## **Evaluación de la Amenaza**

### **Amenaza**

Tomado (Servicio Geológico Colombiano, 2017) Evento físico o condición peligrosa de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, capaz de causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también danos y perdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. La caracterización y descripción de la amenaza por movimientos en masa debe incluir su ubicación, clasificación, geometría, magnitud o intensidad, y se evalúa en términos de frecuencia de ocurrencia.

### **Zonificación de la Amenaza**

Según (CVC, 2001) Un mapa ideal de amenaza por inestabilidad de laderas debería suministrar información sobre la probabilidad espacial y temporal de ocurrencia, el tipo, la magnitud, la velocidad, la distancia de viaje y el límite de avance retrogresivo de los movimientos en masa. No obstante, este ideal rara vez se logra, en parte por la gran dificultad que entraña establecer cuantitativamente la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa en grandes áreas y por el costo y tiempo que se requeriría para obtener la información para un análisis de estabilidad detallado de todas las laderas. Sin embargo, se han logrado buenas aproximaciones en áreas relativamente pequeñas a escalas mayores 1:5000. Para estudios a escalas medias o regionales, es necesario acudir a métodos cualitativos o semi cuantitativo.

### **Escenarios de Amenaza**

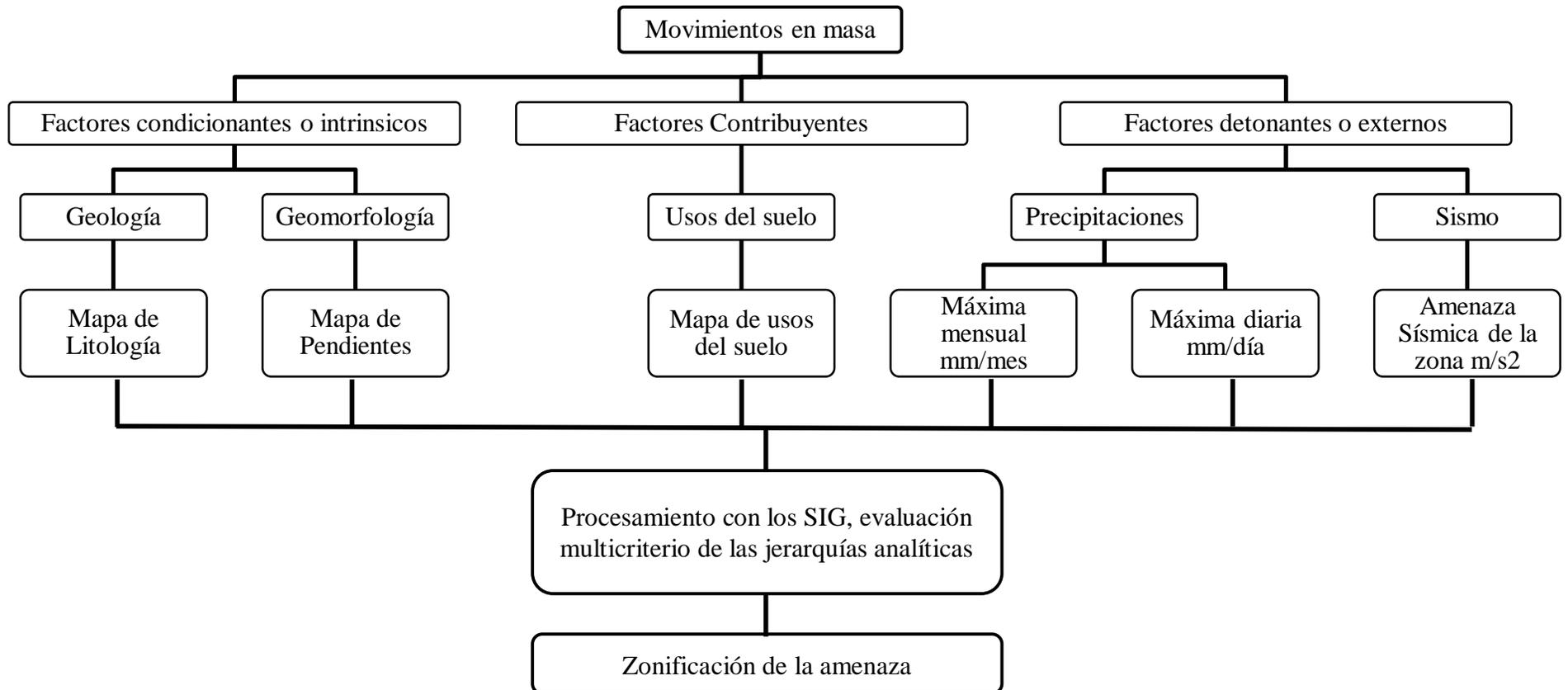
De acuerdo a (Servicio Geológico Colombiano, 2017) En un análisis de amenaza por movimientos en masa se debe usar toda la información disponible para definir las zonas donde ocurren o pueden ocurrir procesos de un tipo particular y con una magnitud y frecuencia de ocurrencia dada. Esto implica que es necesario determinar todas las posibles combinaciones de las características geoambientales (tipos de procesos, condicionantes y detonantes) que pueden incidir en la probabilidad espacial, probabilidad de magnitud y probabilidad temporal. Cada una de estas combinaciones determinará un escenario específico de amenaza, el cual debe ser valorado de acuerdo con el propósito del análisis y con criterios enfocados a la gestión integral del riesgo.

## **Evaluación**

Existen diversos métodos de evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos a través de SIG. (Soeters & Van Westen, 1996), (Aleotti & Chowdhury, 1999) entre otros autores, proporcionan una amplia visión de los más utilizados, entre los que se incluyen principalmente los estadísticos, determinísticos, de indexación y de evaluación directa de la susceptibilidad. La aplicabilidad de cada método a una zona determinada depende sobre todo de las características y extensión de dicha zona, del tipo y extensión de los deslizamientos existentes, de los datos geotécnicos e hidrogeológicos disponibles y de la escala de trabajo. (Hervas, 2001)

El análisis de la amenaza por movimientos en masa comprende tres fases principales: definir un modelo geológico - geotécnico, plantear escenarios de amenaza y zonificar la amenaza (Servicio Geológico Colombiano, 2016), cuando se habla de definir el modelo geológico-geotécnico y los escenarios de amenaza, se refiere que para la evaluación de la amenaza se tienen en cuenta dos grandes factores principales los cuales son factores condicionantes o intrínsecos y factores detonantes o externos, dichos factores se subdividen en distintas variables que luego son evaluadas y ponderadas por el método de evaluación multicriterio a las que asignan pesos en función de su influencia relativa en la inestabilidad. Posteriormente, se determina analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas (Saaty, 1980) citado por (Hervas De Diego, 2001). Este utiliza una estructura jerarquizada de criterios como en nuestro caso los factores condicionantes y factores detonantes, los cuales son clasificados y ponderados dependiendo de su

importancia o relevancia en la zona de estudio. En la ilustración 3 se muestran los procedimientos realizar para el producto final.



*Ilustración 3 Procedimiento para zonificación de la amenaza*

Fuente: Elaboración propia

### **Factores Condicionantes o Intrínsecos**

(Duque Escobar, Manual de geología para ingenieros, 2014) Las causas intrínsecas suelen ser naturales y se relacionan con las aguas subterráneas, con los materiales, con la tectónica, con la topografía abrupta, en las causas intrínsecas hay que tener en cuenta los siguientes factores inherentes a los materiales:

- Factores relacionados con la composición y fábrica textural de la roca
- Factores relacionados con el estado de alteración de los materiales o de degradación mecánica.
- Factores relacionados con la actitud estructural, es decir, con la disposición de los materiales los cuales pueden estar orientados, favorable o desfavorablemente.

A continuación, se procede a realizar el procesamiento de cada una de las variables condicionantes y su respectiva clasificación.

### **Factores Detonantes o externos**

Son aquellos factores que desencadenan movimientos en masa, dichos factores no tienen un periodo de ocurrencia fijo y su análisis se basa en estadísticas de la zona, un factor detonante es un estímulo externo tal como una lluvia intensa, un sismo, erupciones volcánicas, tormentas, etc., cuya respuesta casi inmediata es un movimiento en masa producto del rápido cambio en el estado de esfuerzos o disminución de la resistencia del material que conforma la ladera o talud. (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

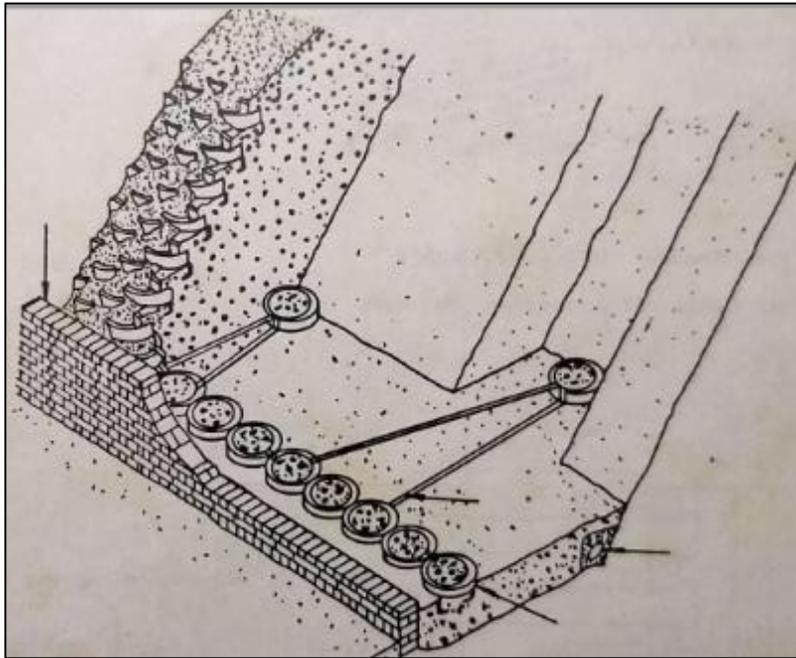
### **Factores contribuyentes**

Son aquellas que afectan de alguna manera las propiedades intrínsecas del sistema o que agravan el factor detonante del evento. Por ejemplo la remoción del soporte (natural o artificial), el sobre empinamiento (por acción hídrica), las sobrecargas (construcciones, saturación, deposiciones). De acuerdo a (Duque Escobar, 2014). Para la zona de estudio vamos a evaluar esta variable como uso del suelo.

### **Alternativas de mitigación**

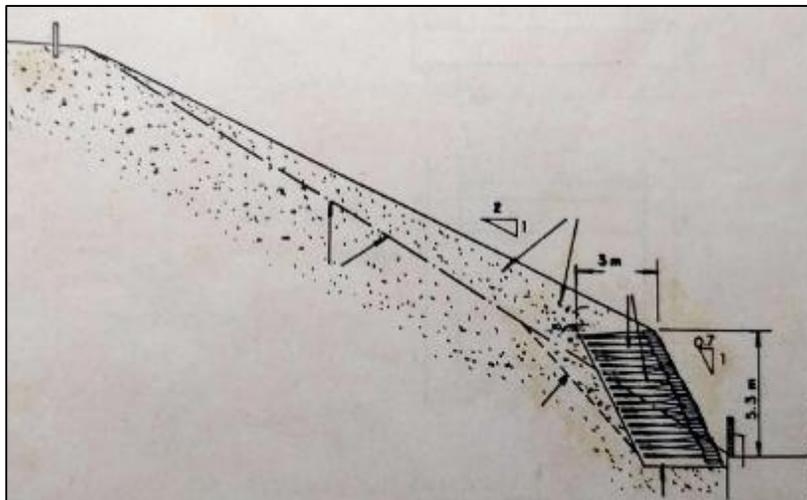
#### **Muros de contención con llantas usadas**

Los muros en llantas usadas es una opción muy viable y amigable con el medio ambiente, ya que se le quita una carga contaminante a los depósitos y a la atmosfera, debido que hay algunas naciones que incineran estos residuos y este humo producido por el caucho quemado es un gran contribuyente del efecto invernadero, además que son muy económicos, presentan una gran resistencia y tiene una forma de construcción muy simple, en las siguientes figuras se muestra el esquema de construcción tomado de (Suarez Díaz, 1991).



*Ilustración 4 Alternativa N°1*

Fuente (Suarez Díaz, 1991)

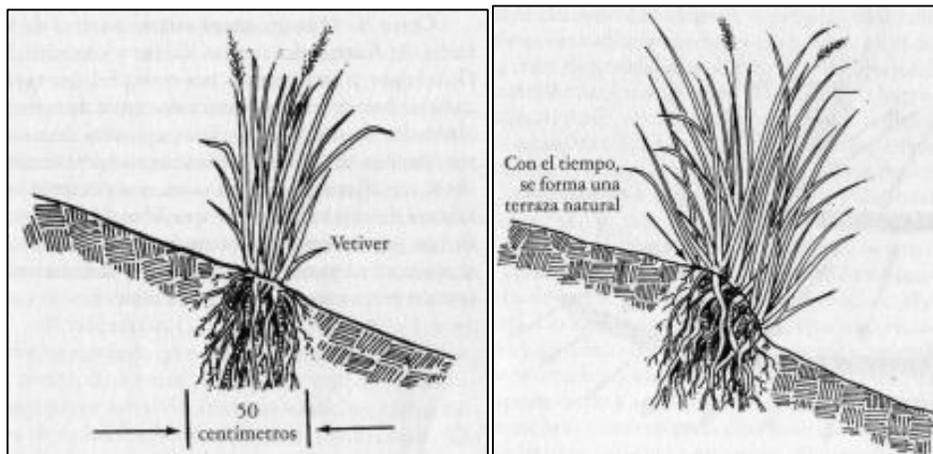


*Ilustración 5 Alternativa N°1*

Fuente (Suarez Díaz, 1991)

## Plantación vegetal en barrera

Tomado (Universidad de Cordoba, 2014) Un método muy efectivo es el uso de barreras vegetales perpendiculares a la línea de máxima pendiente. Para ello se deben utilizar especies perennes, capaces de adaptarse a las condiciones del talud, en la siguiente figura se muestra un esquema del tipo de planta.



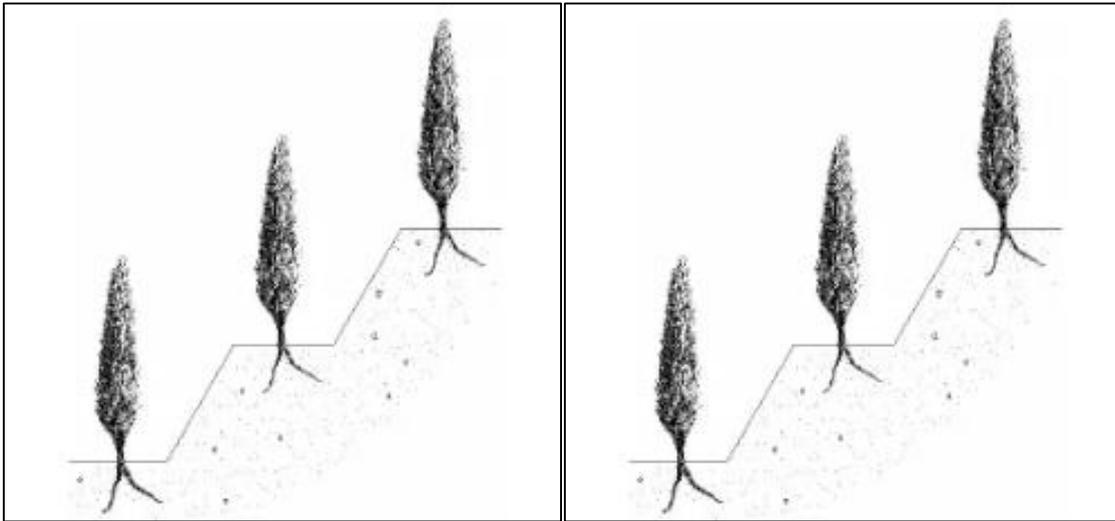
*Ilustración 6 Alternativa N°2 planta gramínea perenne*

Fuente (Suarez Díaz, 1991)

Esta planta es una gramínea perenne y unas raíces finas y compactas que pueden llegar a los 3 m de profundidad creando una masa radical muy ramificada y esponjosa, y es capaz de soportar sequías relativamente prolongadas, Se suele plantar en los taludes en hileras separadas siguiendo las curvas de nivel de la pendiente.

### Siembra de vegetación arbórea con bermas

Tomado (Quezada, 2015) Este método tiene como finalidad, la de abatir la pendiente del talud con las bermas y vegetación arbórea colocada a una profundidad específica, anclándose al talud, en la siguiente figura se muestra un esquema del procedimiento.



*Ilustración 7 Alternativa N°3 Vegetación arbórea en berma*

Fuente (Quezada, 2015)

### Marco Legal

De acuerdo a la Ley 1523 de 2012, la Gestión del riesgo de desastres es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. (Miniambiente, 2019)

El riesgo corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

### **Resolución -0459 del 30 de mayo de 2019**

Tiene como objetivo Definir los lineamientos de la política integral de gestión del riesgo en la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD, como parte esencial e integral de la gestión administrativa en pro del cumplimiento de su misión, el alcance de metas, el fortalecimiento del Control Interno, el mejoramiento de la actividad administrativa, el cumplimiento de los lineamientos y el logro de los objetivos estratégicos, en aras de la transparencia y la probidad en las actuaciones, con fundamento en el ordenamiento jurídico aplicable

Colombia ha ido fortaleciendo sus leyes en temas de desastres debido a los últimos sucesos tan trágicos que han cobrado miles de víctimas, como la tragedia de Mocoa en 2017 entre otras antes mencionados. Aún falta aseverar las políticas en pro de su prevención, mitigación y no de reacción

## **Capítulo 5**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la zona con mayor amenaza a los movimientos en masa y posterior evaluación de estabilidad del talud crítico, en el tramo vial entre los municipios de Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Crear los modelos Geológico-Geomorfológico e Hidrometeorológico con base a información primaria y secundaria recolectada de la zona de estudio.
- Evaluar con los SIG la base de datos construida e identificar la zona con mayor amenaza de movimientos en masa.
- Evaluar la estabilidad del talud crítico y proponer alternativas de solución

## Capítulo 6

### JUSTIFICACIÓN

El tramo vial entre Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal es de vital importancia ya que es un corredor que da solución a una problemática de movilidad, debido a que antes de que este corredor entrara en funcionamiento, la comunicación entre el municipio antes mencionado y los demás municipios de Risaralda con Santa Rosa de Cabal era por la vía a Boquerón que era una calzada de dos carriles con sentidos contrarios. Con la construcción del Puente Helicoidal y demás obras de infraestructura se logró una disminución en los tiempos medios de viaje con el municipio de Santa Rosa de Cabal.

La infraestructura del corredor vial es muy sensible a los movimientos en masa, ya que la vía en gran parte está construida a media ladera, lo que genera tener grandes taludes en sus laterales y la posibilidad de un movimiento en masa por la alteración del terreno natural con la construcción del corredor y demás obras adyacentes al talud. Si le sumamos a esto eventos de precipitaciones fuertes y prolongados, tendremos una amenaza grande de pérdidas de vidas humana, daños a la infraestructura y la comunicación ágil entre los municipios.

Dado que los movimientos en masa hacen parte de los procesos denudativos de la tierra y no se pueden detener, se hace indispensable conocer la ubicación de dichos lugares que generan una amenaza latente para su pronta intervención y mitigación a lo que la investigación quiere dar su aporte con mapas de amenaza que ayuden a visualizar más claramente dichos lugares, con la suficiente precisión para que sean tenidos en cuenta en evaluaciones futuras del tramo de estudio.

## **Capítulo 7**

### **METODOLOGÍA**

La investigación realizada es de tipo cuantitativo, ya que se hace indispensable al momento de zonificar la amenaza en el área de estudio el manipular bases de datos numéricas, donde se encuentran este tipo de datos en formatos numéricos, como los registros del pluviómetro, los rangos de pendientes; También se ha tenido en cuenta en la investigación datos de tipo cualitativo como el uso del suelo, estos se han transformado en datos cuantitativos por medio de una escala de jerarquización, para poder posteriormente ser evaluados en el software.

Para el fundamento metodológico la investigación siguió las siguientes fases ordenadas que son:

Fase de planeación

Fase de exploración

Fase de ejecución

Fase evaluativa.

#### **Fase de planeación**

Esta fase correspondió a la recolección y procesamiento de información existente sobre la zona de estudio, donde se realiza una consulta minuciosa de la información existente, comenzando por la información de los tipos de suelo de acceso público suministrada por (Servicio Geológico Colombiano;, 2017), la información de la pluviosidad de la zona igualmente de acceso público facilitada por la red Hidroclimatológica de Risaralda, es de vital importancia igualmente conocer los datos históricos de los movimientos en masa que

ha sufrido la zona de estudio ya que estos proporcionan una información estadística valiosa donde se logran dar indicios de las zonas que han sufrido dichos eventos y las características puntuales de las mismas, los anteriores datos estadísticos fueron manejados por el Servicio Geológico Colombiano que igualmente son de acceso público, es beneficioso contar con una cartografía actualizada y detallada para lograr una precisión elevada en los datos arrojados finalmente por el software en forma de polígonos, dicha información es facilitada por la concesión vial encargada del corredor.

### **Fase de exploración**

Con la necesidad de que los datos arrojados por el software sean veraces, se realizó un acercamiento físico al tramo de estudio, donde se logran identificar características puntuales como son estructuras existentes de contención, estructuras en general, agricultura, presencia de animales de crianza masiva como bovinos ya que estos producen un fenómeno muy delicado y detonante de movimientos en masa que recibe el nombre de Pastoreo (Duque Escobar, Manual de Geología para Ingenieros, 2003), se deben identificar igualmente también la posible existencia de descargas puntuales de aguas residuales o cualquier tipo de efluente ya que estos causan un decrecimiento del factor de seguridad del talud.

### **Fase de ejecución**

En esta fase se procede agrupar y ordenar toda la información antes recolectada de las distintas variables mencionadas incluyendo la hallada en la visita de campo a la zona de estudio, construyendo con ellas una base de datos la cual es ingresada al software SIG para su posterior evaluación.

**Fase evaluativa**

Corresponde a la fase final del proyecto, en la cual se analizaron y evaluaron los datos arrojados por el software, confrontando dichos datos con la realidad de la zona de estudio, estos primeros valores hallados fueron representados en forma gráfica de un mapa de colores lo cual da facilidad para su interpretación visual. Después de hallar la zona más proclive de movimientos en masa se procede a evaluar dicho talud en forma puntual por medio del software Slide, el cual proporciona información valiosa del talud como es su posible línea de falla y su factor de seguridad, para posteriormente dar unas posibles alternativas de solución económicas y fundamentalmente amigables con el medio ambiente. En la siguiente tabla se relacionan las variables fundamentales a tener en cuenta para su posterior desarrollo.

Tabla 8  
Relación de las variables a utilizar

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	OPERACIONALIZACIÓN	CATEGORIZACIÓN O DIMENSIONES	DEFINICIÓN	INDICADOR	NIVEL DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	INDICE	VALOR
PRECIPITACIONES	CUANTITATIVA-CONTINUAS	<b>Precipitación:</b> Cantidad de agua meteórica caída sobre la superficie terrestre en una unidad de tiempo	Intensidad	Volumen de agua que cae sobre una superficie en forma de gotas en una unidad de tiempo previamente	Depende la zona de estudio	NOMINAL	mm/hr	Periodo de retorno de tormenta de	Intensidad de diseño
SUELO	CUANTITATIVA-CONTINUAS	<b>Estrato:</b> Capa de suelo de un espesor dado con características mecánicas similares en todo su espesor. <b>Estratificación:</b> Serie de estratos de suelos con propiedades mecánicas distintas en cada una. <b>Meteorización:</b> Descomposición de los minerales del suelo producto de agentes externos físicos y/o químicos	Resistencia al esfuerzo cortante cohesión	Propiedades mecánica de los suelos dependiendo su meteorización y su estructura interna	Ensayo de corte directo	NOMINAL	Kg/cm <sup>2</sup> ---	Friccionantes Cohesivos	Arenas Arcillas
GEOMORFOLOGÍA	CUANTITATIVA-CONTINUAS	<b>Geomorfología:</b> Características físicas del terreno correspondiente a elevaciones y delimitaciones en planta	Pendiente	Razon de la diferencias de alturas en una longitud dada	Diferencia de altura entre dos puntos	NOMINAL	%	Altas Moderadas Leves	Mapa de pendientes de la zona
USO DEL SUELO	CUALITATIVA-POLITÓMICA	<b>Agricultura:</b> Zonas caracterizadas por cultivos masivos de distintas plantas con fines económicos. <b>Ganadería:</b> Zona destinada a la crianza masiva de bovinos. <b>Terreno virgen:</b> Zonas de densa vegetación que no ha sido victima del ser humano. <b>Zonas duras:</b> Zonas que han sido intervenidas por el ser humano cambiando el uso del suelo e impermeabilizandolo.	Área-Grado de afectación	Zonas que han sido intervenidas modificando su estado natural.	Depende de la zona y el grado de afectación	NOMINAL-PROPOSICIÓN	Grave Moderada Leve	Área de afectación	Área, uso de suelo y grado de afectación

Fuente Elaboración propia

## Cronograma

Tabla 9

Cronograma de actividades

Cronograma de actividades																																
	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril			
ACTIVIDAD	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elección y definición tema problema	■	■	■	■																												
Estado del arte y marcos de referencia					■	■	■	■																								
Metodología, Objetivos y justificación									■	■	■	■																				
Recolección información													■	■	■	■																
Validación información recolectada																	■	■	■	■												
Análisis de las variables en el software																					■	■	■	■								
Análisis de los resultados																									■	■	■	■				
Planteamiento de Alternativas																													■	■	■	■
Desarrollo texto final																																

Fuente elaboración propia

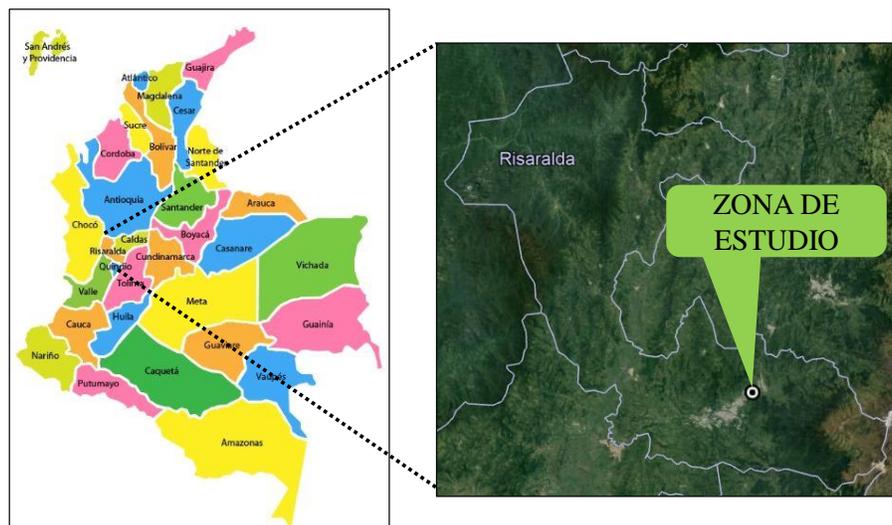
## Capítulo 8

### RESULTADOS OBTENIDOS

#### Modelos Geológico-Geomorfológico e Hidrometeorológico en base a información primaria y secundaria de la zona de estudio.

#### Localización

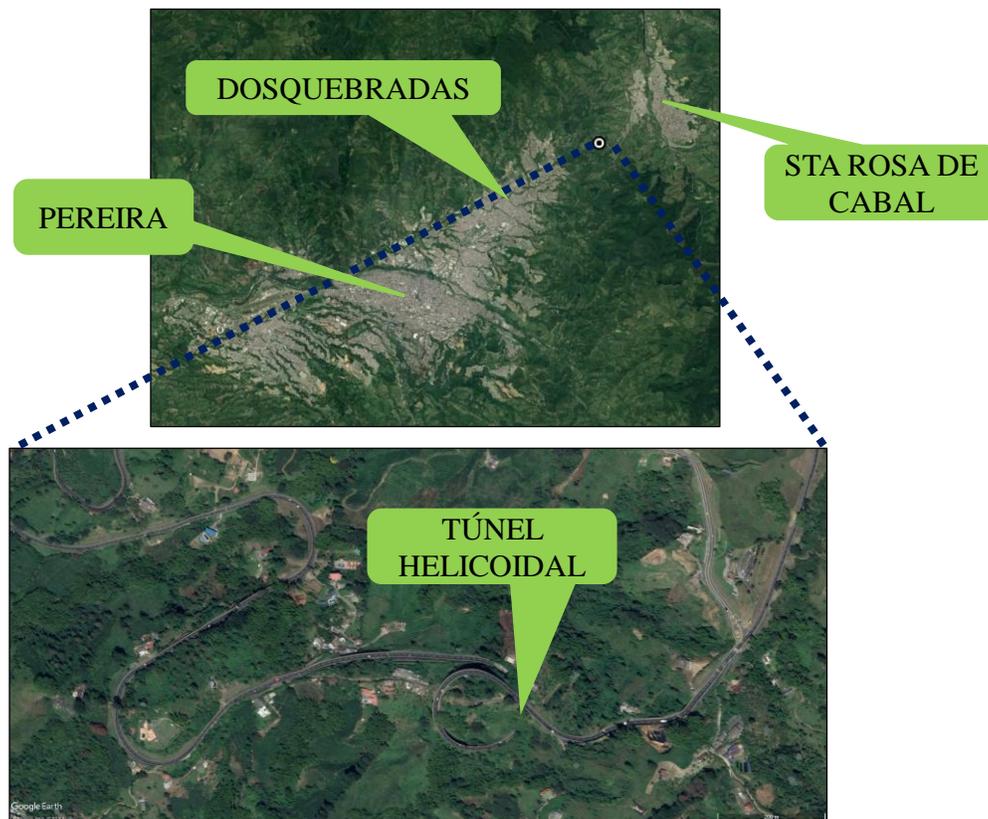
La zona de estudio se encuentra localizada en forma general en Colombia en el departamento de Risaralda que se encuentra ubicado en el centro occidente de la región andina, siendo enmarcado entre las cordilleras Occidental y Central y cruzándolo el río Cauca, con sus límites por el Norte con los departamentos de Antioquia y Caldas, por el Este con Caldas y Tolima, por el Sur con los departamentos de Quindío y Valle del Cauca y por el Oeste con el departamento de Chocó. (Departamento de Risaralda, 2017). En la ilustración 8 se muestra la localización general.



*Ilustración 8 Localización general*

Fuente: Google Earth y Elaboración propia

En forma puntual, la zona de estudio está ubicada entre los municipios de Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal, en el tramo vial que comunica ambos municipios en sentido Dosquebradas- Santa Rosa de Cabal, en la ilustración 9 se muestra la localización puntual de la zona de estudio.



*Ilustración 9 Localización puntual*

Fuente: Google Earth y Elaboración propia

### **Geología**

Para el estudio se utilizó la geología suministrada por el Servicio Geológico Colombiano SGC, que corresponde a la geología superficial del territorio a una escala

1:100.000 del año 2015. En el **Anexo A** se puede observar el mapa geológico de la zona de estudio.

En la zona de estudio, se pueden identificar cuatro tipos de características geológicas correspondientes a tres formaciones geológicas y una falla.

En cuanto a las formaciones geológicas tenemos.

### **Gabros bandeados isotrópicos y Dioritas**

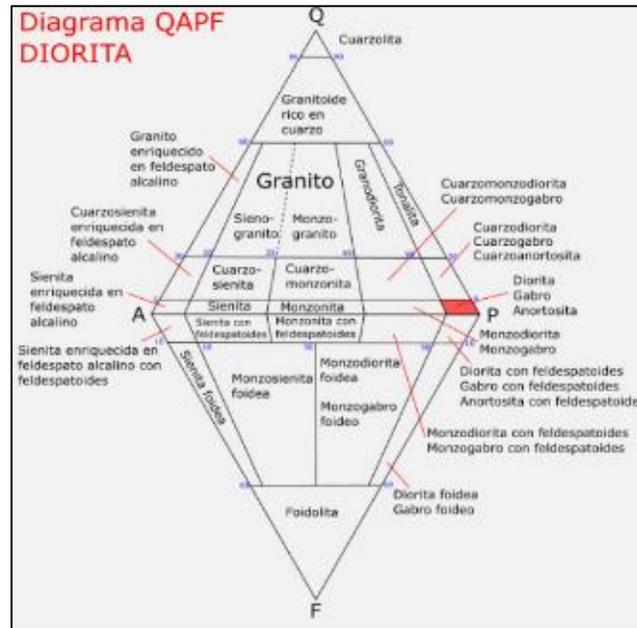
El **gabro** es una roca ígnea intrusiva de composición máfica, es decir que tiene entre el 45% al 52% de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), está compuesto principalmente de plagioclasas ricas en calcio, piroxenos, anfíboles y olivino dispuestos en una textura fanerítica de grano fino a grueso. Tomado (Enciclopedia Cubana, 2020)

Cuando se habla de que tiene una textura Fanerítica, se refiere a las características y formación de sus cristales dichas características las adquiere cuando en las profundidades el magma se enfría lentamente, dando lugar a que crezcan los cristales de gran tamaño y sean distinguibles a simple vista.

Bandeado quiere expresar que la roca está dispuesta en franjas o capas.

La **Diorita** es una roca ígnea intrusiva que se origina de la cristalización de un fundido (magma) de composición intermedia (52% al 63% de  $\text{SiO}_2$ ), que preferencialmente tiene textura fanerítica y está compuesta principalmente de plagioclasas y hornblendas, con muy poco cuarzo. Tomado (Geología web, 2018), tiene una gran similitud con el Gabro ya que la única diferencia notable es su contenido de sílice  $\text{SiO}_2$ , como lo podemos ver en el siguiente diagrama de QAPF o de Streckeisen, que clasifica las rocas ígneas dependiendo la

cantidad de minerales de (Cuarzo,Feldespatos,Plagioclasa y Feldespatoides), que son los mismos minerales que aparecen en el nombre con sus siglas en ingles.



*Ilustración 10 Diagrama de QAPF*

Fuente: (Geología web, 2018)

Como observamos en el diagrama anterior, el Gabro y la Diorita se ubican en el mismo

lugar, con características muy similares entre ambos.

Este tipo de rocas ígneas tienen características mecánicas muy buenas, debido a los mismos procesos tan fuertes que ha pasado y el enfriamiento lento da lugar a grandes cristales, lo que la hace una roca muy fuerte y con poca incidencia en los movimientos en masa, como lo veremos en la tabla de clasificación de las formaciones superficiales.

### **Esquistos anfibólicos, cuarzosericíticos, cloríticos y talcosos, y cuarcitas.**

Es una roca metamórfica que según (Duque Escobar, 2003) Puede provenir de rocas sedimentarias o ígneas como el basalto; posee metamorfismo de mayor grado que pizarras y filitas; según el material sea laminado o fibroso, variará su comportamiento; pueden ser

micaesquistos biotítico o moscovítico -los más importantes- y esquistos cuarzoso y calcáreo. Los más importantes, asociados a rocas ígneas ferromagnesianas, son los esquistos talcosos, clorítico, de hornblenda y anfibolita. Los esquistos por regla general tienen una fábrica mineral entrelazada y anisotrópica, con textura cristalina.

Como se ha expresado anteriormente, se trata de una roca metamórfica, con un metamorfismo de grado medio. Cabe recordar que el metamorfismo depende del grado de alteración que ha tenido la roca base, bien sea ígnea, sedimentaria o una misma metamórfica, el grado de alteración depende fundamentalmente de la exposición a presiones, temperaturas o agentes químicos que puedan generar un cambio en la estructura mineralógica, el complemento del nombre como anfibólicos, cuarzosericíticos, cloríticos, talcosos, cuarcitas depende de los minerales predominantes de la roca base. Esta roca al ser alterada se ve notablemente reducida sus propiedades mecánicas y estas propiedades van estrechamente ligado con el grado de metamorfismo o alteración, que en este caso es de grado medio.

### **Flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica**

En una actividad volcánica de forma explosiva el magma enfriado se fragmenta y se expulsa y reparte en forma de material suelto. Los diferentes fragmentos, sueltos o compactados, son llamados piroclastos. Tomado (Geología web, 2018)

Este tipo de formación geológica se da con la acumulación y sedimentación de dichos materiales expulsados en el episodio volcánico, dando lugar a rocas volcánicas, el termino

andesítica se refiere a la composición mineralógica predominante de minerales ferromagnesianos como piroxeno, biotita y hornblenda.

Este tipo de formación geológica no tiene unas propiedades mecánicas tan favorables, debido a que sus minerales se han enfriado rápidamente, lo cual no da tiempo a la formación de cristales de gran tamaño lo cual reduce su resistencia.

En el Anexo A se presenta el mapa de las formaciones geológicas.

### **Cobertura del suelo**

Las características o usos del suelo han sido tomados mediante las salidas de campo y fotointerpretación de imágenes satelitales.

Según (Duque Escobar, 2017) La cobertura vegetal, juega un papel excepcionalmente importante en el control de erosión hídrica, principalmente en las zonas tropicales húmedas. En el trópico el follaje denso brindado por los árboles, los arbustos y las plantas herbáceas, forman un manto natural que abriga y protege el suelo de la acción de la erosión hídrica acelerada. La deforestación y muchas prácticas incontroladas relacionadas con el uso y manejo del suelo, dan lugar por lo general a procesos más severos de movimientos en masa. La cobertura vegetal influye en la estabilidad de los depósitos de suelos y macizos rocosos mediante efectos que se pueden clasificar como hidrológicos y mecánicos. Los hidrológicos comprenden efectos sobre la capacidad de infiltración, la humedad y la evapotranspiración. Entre los mecánicos están el incremento de la resistencia que le proporcionan las raíces al suelo, la protección frente a la erosión o la sobrecarga que los árboles pueden generar sobre las laderas. Tomado (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

La plantación de cultivos en masa sin tratamiento del suelo, la deforestación, el sobrepastoreo, son factores desencadenantes de movimientos en masa, ya que en el momento de la precipitación, el agua meteórica golpea directamente el suelo con demasiada energía potencial, lo cual genera erosión, cuando se cuenta con buena cobertura dicha agua meteórica choca con la cobertura vegetal, la cual amortigua el impacto y la intercepta, disminuyendo los caudales de escorrentía superficial, los cuales generan erosión, al quedar expuesto el suelo se satura con mucha rapidez lo cual incrementa la presión de poros reduciendo las propiedades mecánicas del suelo y desencadenando movimientos masa. La combinación del mal uso del suelo y eventos prolongados de precipitación son decisivos a la hora de fenómenos de remoción en masa.

En el **Anexo B** se presenta el mapa de usos de suelo.

### **Cartografía base**

Es el factor intrínseco del terreno más importante para los fenómenos de remoción en masa, ya que estos fenómenos se presentan con mayor frecuencia en laderas con pendientes pronunciadas, debido a los efectos incrementados de la gravedad por el ángulo de inclinación del talud

Para este insumo fundamental, la concesión del corredor facilitó con fines expresamente ACADÉMICOS la cartografía base detallada del corredor vial que comunica a Dosquebradas con Santa Rosa de Cabal, esto incrementa la precisión de las salidas a la hora de construir el modelo digital del terreno (MDT) que según (Servicio Geológico Colombiano;, 2017) representa la forma del terreno una vez removidos todos los elementos

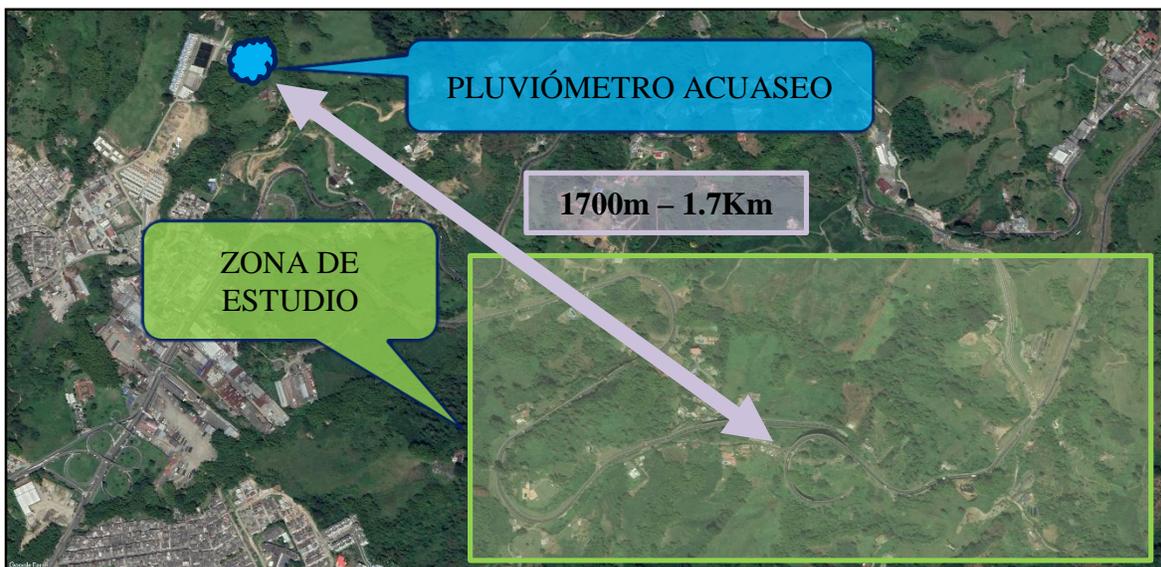
ajenos a este, como la vegetación, edificaciones y demás elementos que no forman parte del terreno. En el Anexo C se presenta el Modelo digital del terreno.

### **Precipitación**

Altas intensidades de lluvia frecuentemente detonan movimientos superficiales y flujos de detritos debido a que la disipación de las presiones de poros positivas es muy rápida, especialmente en materiales permeables. Lluvias de baja a moderada intensidad, que se presentan por días o semanas, pueden detonar flujos de detritos y deslizamientos profundos, siendo entonces importante la lluvia antecedente al reducir la succión del suelo e incrementar las presiones de poros positivas, especialmente en suelos de baja permeabilidad. Tomado (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

Las precipitaciones es el factor detonante más decisivo a la hora de promover fenómenos de remoción en masa, ya que este predispone el suelo y detona el movimiento; como lo explica anteriormente el servicio geológico, un tipo de movimientos en masa superficial se presenta en un episodio corto pero de gran intensidad de lluvia, especialmente en suelos friccionantes de alta permeabilidad, en tanto existen un tipo de movimiento en masa más destructivo y de más energía liberada y es el que sucede en periodos de precipitaciones no tan intensas pero si muy prolongadas en el tiempo en termino de días o semanas que predisponen los suelos cohesivos saturándolos, disminuyendo su capacidad de succión, aumentando su presión de poros y generando movimientos en masa profundos y de gran destrucción.

Teniendo en cuenta la incidencia de las precipitaciones en los fenómenos de remoción en masa y con el fin de realizar modelamientos coherentes y aterrizados se ha utilizado los datos del pluviómetro de la red Hidroclimatológica de Risaralda llamado “ACUASEO”, su localización se muestra en la ilustración 11..



*Ilustración 11 Localización pluviómetro*

Fuente: Google Earth, (Red Hidroclimatológica de Risaralda, 2020) y Elaboración propia

Gracias a que este pluviómetro se encuentra tan cercano a la zona de estudio a una distancia media al centro geométrico de **1.700m – 1.7Km**, nos ofrece datos muy aproximados de la precipitación real de la zona. Teniendo en cuenta lo anterior, se han tomado los datos del pluviómetro correspondientes a sus registros mensuales de cada año desde el año 2008 al 2018, en la tabla n° 10 se muestra la organización de los datos del pluviómetro.

Tabla 10

*Pluviómetro registros mensuales desde el año 2008 – 2018*

<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Máximo</b>
2008	164,20	321,00	259,80	280,60	373,40	351,80	426,00	381,60	171,40	377,20	539,20	517,60	539,20
2009	235,60	292,56	340,60	296,00	362,20	304,40	94,20	124,20	140,60	441,40	280,60	252,80	441,40
2010	38,80	114,60	156,20	81,20	343,00	308,40	313,60	237,80	235,60	68,20	134,40	400,60	400,60
2011	164,80	332,80	314,20	467,20	172,60	204,40	84,60	175,80	49,60	356,60	1056,00	390,33	1056,00
2012	150,85	265,24	267,70	281,25	59,20	171,00	88,80	189,00	110,20	500,60	115,80	219,00	500,60
2013	50,40	368,20	433,40	224,20	323,40	136,00	100,40	318,80	233,20	245,80	47,40	133,20	433,40
2014	146,20	234,80	223,60	233,20	203,20	144,00	95,40	56,60	156,40	319,80	221,40	197,00	319,80
2015	129,20	239,60	422,80	434,00	395,60	215,20	320,40	184,80	170,40	183,40	248,20	234,88	434,00
2016	151,60	132,80	83,60	389,20	379,40	241,60	182,60	329,80	222,60	545,40	611,20	56,00	611,20
2017	119,35	23,00	373,20	185,40	64,80	269,00	105,80	139,80	140,80	337,60	9,00	217,20	373,20
2018	119,35	199,68	307,32	293,20	273,28	201,16	160,92	205,96	184,68	326,40	227,44	167,66	326,40
<b>MAX</b>	<b>235,60</b>	<b>368,20</b>	<b>433,40</b>	<b>467,20</b>	<b>395,60</b>	<b>351,80</b>	<b>426,00</b>	<b>381,60</b>	<b>235,60</b>	<b>545,40</b>	<b>1056,00</b>	<b>517,60</b>	<b>1056,00</b>

Fuente: Elaboración propia tomada de (Red Hidroclimatológica de Risaralda, 2020)

Con base en los anteriores datos obtenidos se procedió a obtener los datos hidrológicos de la zona, como las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de lluvia y periodo de retorno, como se muestra en la siguiente tabla.

*Tabla 11*

*Precipitación acumulada para diferentes tiempos y periodos de retorno*

<b>Tiempo de Duración</b>	<b>Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración</b>						
	<b>2 años</b>	<b>5 años</b>	<b>10 años</b>	<b>25 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>	<b>500 años</b>
24 hr	520,21	725,70	861,76	1033,66	1161,20	1287,78	1580,31
18 hr	473,39	660,39	784,20	826,93	1056,69	1171,88	1438,08
12 hr	416,17	580,56	689,41	826,93	928,96	1030,23	1264,25
8 hr	353,74	493,48	586,00	702,89	789,61	875,69	1074,61
6 hr	317,33	442,68	525,67	630,54	708,33	785,55	963,99
5 hr	296,52	413,65	491,20	589,19	661,88	734,04	900,78
4 hr	270,51	377,36	448,11	537,51	603,82	669,65	821,76
3 hr	239,29	333,82	396,41	475,49	534,15	592,38	726,94
2 hr	202,88	283,02	336,09	403,13	452,87	502,24	616,32
1 hr	156,06	217,71	258,53	310,10	348,36	386,34	474,09

Fuente Elaboración propia

Aprovechando los datos obtenidos también se obtuvo la ecuación característica de la intensidad de la zona que es la siguiente.

$$I = \frac{1976.9845 * (T^{0.194875})}{t^{0.61885}}$$

Fuente (Ecuación de Aparicio, 1997)

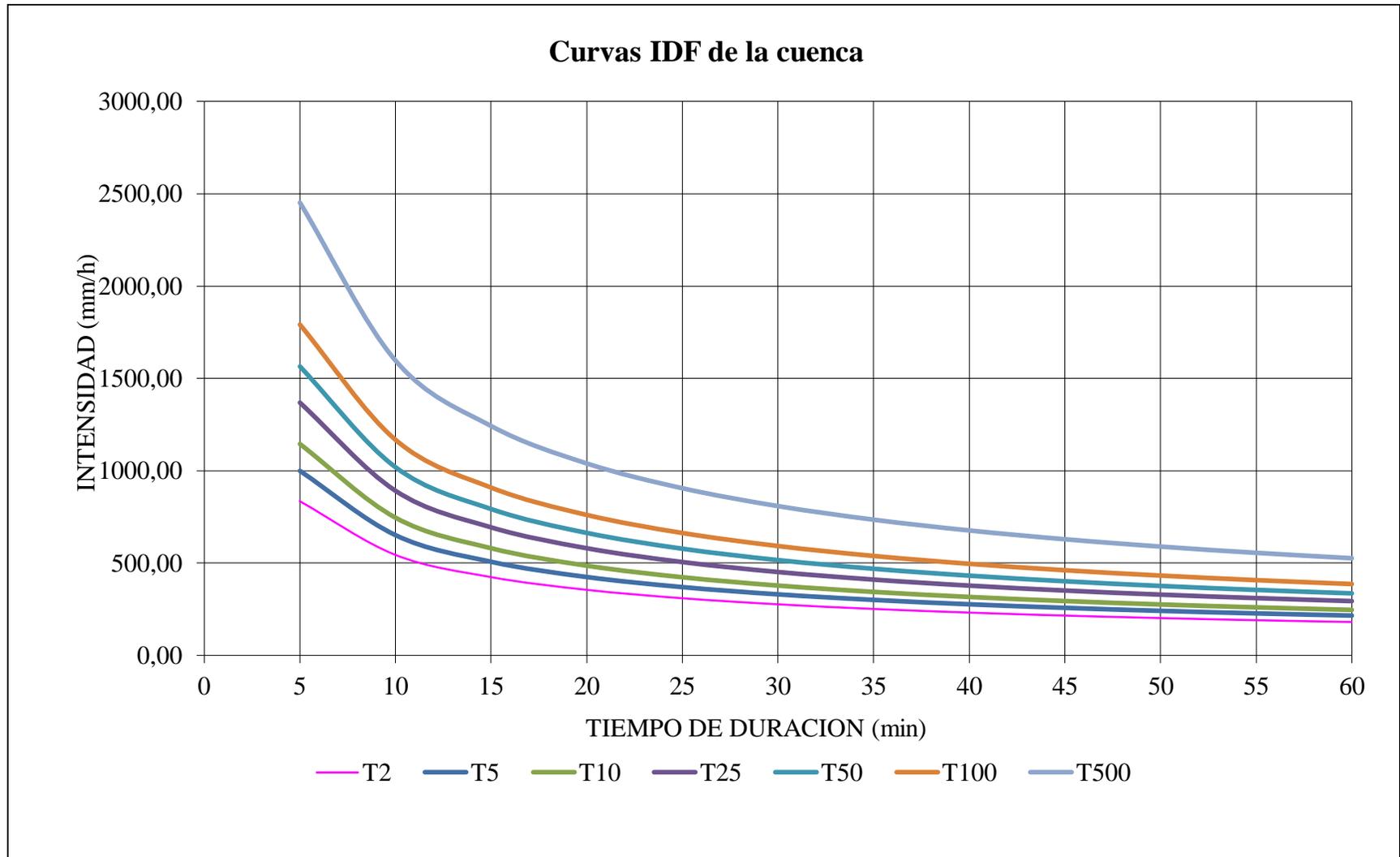
Donde

T Es el periodo de retorno (años)

t Duración de la precipitación (min)

I Intensidad de la lluvia (mm/hr)

Aplicando la ecuación anterior procedemos hallar la curva IDF (Intensidad Duración y Frecuencia) y tabla de intensidad y duración característica de la zona



*Ilustración 12* Curva IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

*Intensidades- Tiempo de duración*

Frecuencia		Duración en minutos										
Años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<b>2</b>	835,81	544,27	423,49	354,43	308,71	275,77	250,68	230,80	214,57	201,03	189,52	179,58
<b>5</b>	999,21	650,68	506,28	423,72	369,06	329,69	299,69	275,92	256,52	240,33	226,57	214,69
<b>10</b>	1143,73	744,78	579,50	485,00	422,44	377,37	343,03	315,82	293,62	275,09	259,33	245,74
<b>25</b>	1367,32	890,39	692,80	579,81	505,03	451,14	410,09	377,57	351,03	328,87	310,03	293,78
<b>50</b>	1565,07	1019,16	792,99	663,67	578,07	516,39	469,40	432,17	401,79	376,43	354,87	336,27
<b>100</b>	1791,42	1166,56	907,68	759,65	661,67	591,07	537,29	494,68	459,90	430,87	406,19	384,90
<b>500</b>	2451,37	1596,31	1242,06	1039,50	905,43	808,82	735,23	676,91	629,33	589,60	555,83	526,70

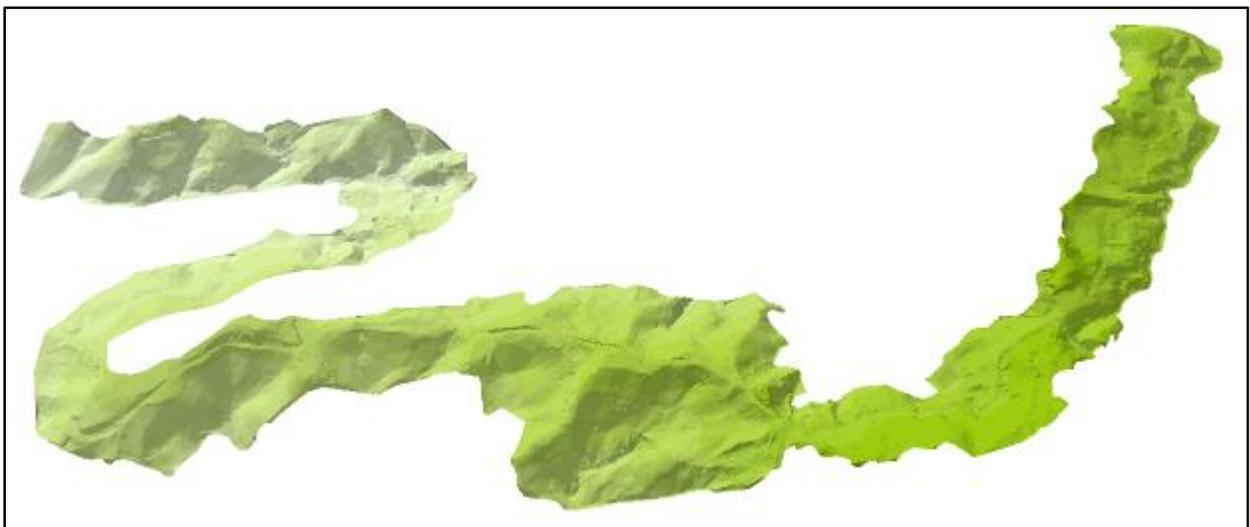
Fuente Elaboración propia

Con los datos obtenidos anteriormente, podemos realizar el modelo de la amenaza para diferente tipos y episodios de precipitación. En el Anexo D se presentan los reportes obtenidos de los años 2008 - 2018 de la estación pluviométrica (ACUASEO) de la red Hidroclimatológica de Risaralda.

## **Evaluación y procesamiento con los SIG**

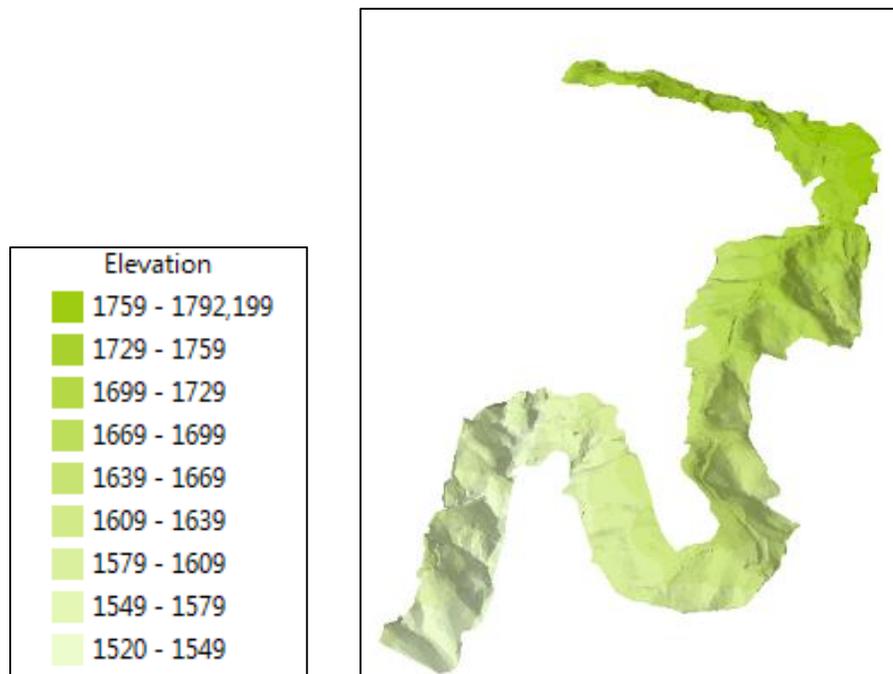
### **Modelo Geomorfológico**

Con base en la información cartográfica y utilizando el software ArcGIS se construye el Modelo de Elevación del Terreno MDT, en la ilustración 13 se muestra el resultado obtenido.



*Ilustración 13 Modelo de elevación digital del terreno*

Fuente: Elaboración propia



*Ilustración 14* Modelo de elevación digital del terreno

Fuente: Elaboración propia

Luego de tener el MDT, se creó el modelo de pendientes del terreno, para ello se ha tomado la clasificación sugerida de (Mora & Vahrson, 1991), en la tabla 13 se muestran los rangos utilizados.

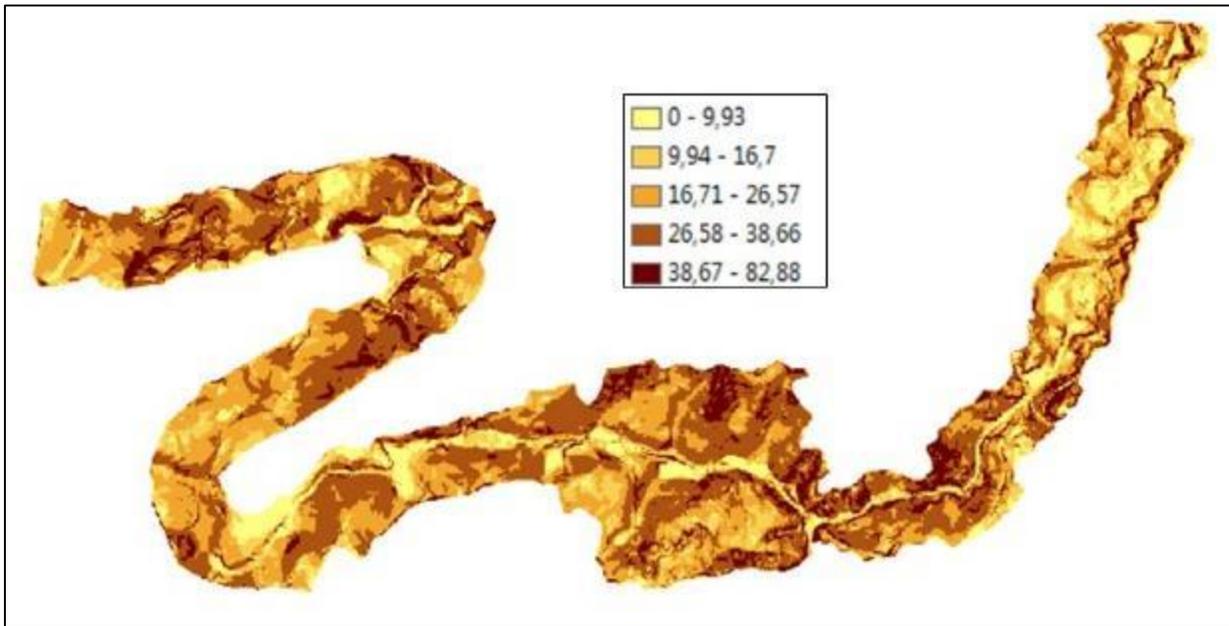
*Tabla 13*

*Clasificación de las pendientes del terreno*

Rangos en Grados	Cualificación	Valor
0 -9.93	baja	1
9.94 - 16.70	moderada	2
16.71 - 26.57	media	3
26.58 - 38.66	alta	4
> 38.66	muy alta	5

Fuente (Mora & Vahrson, 1991)

Con base en el MDT, se procede a general el temático de pendientes del terreno con la respectiva clasificación anterior, en el Anexo E se presenta el mapa de pendientes del terreno.



*Ilustración 15* Temático de pendientes del terreno

Fuente: Elaboración propia

### **Modelo Geológico**

Para la clasificación geológica se ha utilizado el método de (Mora & Vahrson, 1991), en la tabla 14 se muestra la clasificación.

*Tabla 14* Clasificación formaciones superficiales

<b>Litología</b>	<b>Cualificación</b>	<b>Valor</b>
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo Calizas duras permeables Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático	bajo	1

Basaltos , andesitas, ignimbritas		
Características físicas mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas, sin relleno		
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas, Rocas intrusivas, calizas duras	moderado	2
Características físico mecánicas: resistencia al corte media a elevada,...		
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas,... niveles freáticos relativamente altos	medio	3
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas,...	alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados	muy alto	5

Fuente (Mora & Vahrson, 1991)

Con base en lo anterior y la información recopilada se ha clasificado las formaciones superficiales de la zona de estudio, en la tabla 15 se muestra la clasificación utilizada.

*Tabla 15*

*Clasificación litológica de la zona de estudio*

<b>Litología</b>	<b>Cualificación</b>	<b>Valor</b>
Gabros bandeados isotrópicos y Dioritas	Bajo	1
Esquistos anfibólicos, cuarzosericíticos, cloríticos y talcosos, y cuarcitas.	medio	3
Flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica	alto	4

Fuente Elaboración propia

En la ilustración 16 se muestra el temático de la geología de la zona de estudio, en el **Anexo A** se encuentra el mapa geológico de la zona.



*Ilustración 16* Modelo de formaciones geológicas

Fuente: Elaboración propia

### **Factores contribuyentes**

#### **Usos del suelo**

Para la clasificación de los usos el suelo se hizo mediante fotointerpretación satelital y salidas de campo, en la tabla 16 se muestra la clasificación utilizada para el modelo de la zona.

Tabla 16

## Clasificación usos del suelo

CLASIFICACIÓN USOS DEL SUELO	
Bosque	1
Vía	1
Vegetación alta	2
Vegetación bajo	3
Pastizales	4
Sin vegetación	5
Zona antrópica	5

Fuente Elaboración propia

En la ilustración 17 se muestra el temático clasificado de usos del suelo, en el **Anexo B** se presenta el mapa de los usos del suelo.

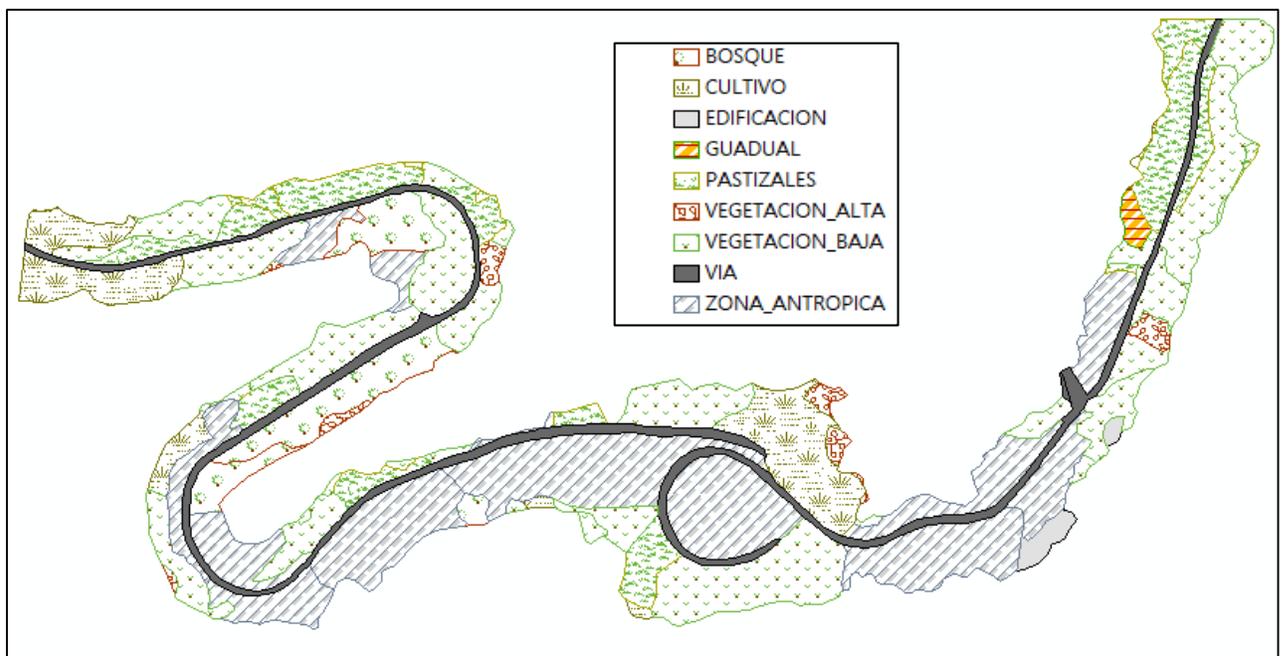


Ilustración 17 Temático de usos de suelo

Fuente: Elaboración propia

## Factores Detonantes o externos

### Precipitaciones

Las precipitaciones pueden afectar a las laderas en dos formas para ser detonantes, una es por deslizamientos superficiales que ocurren en periodos de lluvias cortos pero de altas intensidades, que los llamaremos factor por disparo y los deslizamientos profundos que según (Servicio Geológico Colombiano;, 2017) ocurren debido a un incremento en la presión de poros del suelo debido a la saturación generada por el ascenso del nivel freático, estos procesos están asociados a largos periodos de lluvia, a este tipo de factor lo llamaremos por **saturación**.

### Factor de Saturación

Para clasificar este factor se utilizó la clasificación de (Mora & Vahrson, 1991), que consiste en utilizar los datos anuales de precipitaciones mensuales de la zona, y a cada mes asignarle un valor de 0 a 2 dependiendo la precipitación, como se muestra en la tabla 17.

*Tabla 17*

*Clasificación por saturación mensual*

<b>Precipitación media mensual (mm/mes)</b>	<b>Valor asignado</b>
< 125	0
125 - 250	1
> 250	2

Fuente (Mora & Vahrson, 1991)

Luego se suman los valores obtenidos de cada mes en el año y se clasifican con la tabla 18.

Tabla 18

*Tabla por Saturación por acumulación*

<b>Valor acumulado de índices de precipitación</b>	<b>Cualificación</b>	<b>Valor</b>
0 - 4	muy bajo	1
5 - 9	bajo	2
10 - 14	medio	3
15 - 19	alto	4
20 - 24	muy alto	5

Fuente (Mora & Vahrson, 1991)

Con base en la información anterior procedemos a clasificar cada uno de los años del 2008 al 2018 de los cuales se contó con información gracias al pluviómetro de ACUASEO, mostrado en la Tabla 10.

En la Tabla 19 se muestra la clasificación.

### **Factor de Disparo**

Altas intensidades de lluvia frecuentemente detonan movimientos superficiales y flujos de detritos debido a que la disipación de las presiones de poros positivas es muy rápida, especialmente en materiales permeables. (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

En la tabla 19 se muestra la clasificación del factor de disparo sugerida por (Mora & Vahrson, 1991) para el factor de disparo en un tiempo de 24 horas.

Tabla 19

*Clasificación factores de disparo*

<b>Precipitation maxima mm/die</b>	<b>Cualificación</b>	<b>Valor</b>
< 100	muy bajo	1
101 - 200	bajo	2
201 - 300	medio	3
301 - 400	alto	4
> 400	muy alto	5

Fuente (Mora & Vahrson, 1991)

El (Servicio Geológico Colombiano;, 2017) sugiere utilizar un periodo de retorno de 25 años el cual será tomado de la Tabla 11, el cual tiene un valor de **1033.66mm** el cual se ubica en valor 5 muy alto.

Tabla 20

## Clasificación por saturación

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma	Clasificación
2008	164,2	321,0	259,8	280,6	373,4	351,8	426,0	381,6	171,4	377,2	539,2	517,6		
	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>22,0</b>	<b>5</b>						
2009	235,6	292,6	340,6	296,0	362,2	304,4	94,2	124,2	140,6	441,4	280,6	252,8		
	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>18,0</b>	<b>4</b>
2010	38,8	114,6	156,2	81,2	343,0	308,4	313,6	237,8	235,6	68,2	134,4	400,6		
	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>12,0</b>	<b>3</b>
2011	164,8	332,8	314,2	467,2	172,6	204,4	84,6	175,8	49,6	356,6	1056,0	390,3		
	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>16,0</b>	<b>4</b>
2012	150,9	265,2	267,7	281,3	59,2	171,0	88,8	189,0	110,2	500,6	115,8	219,0		
	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>12,0</b>	<b>3</b>
2013	50,4	368,2	433,4	224,2	323,4	136,0	100,4	318,8	233,2	245,8	47,4	133,2		
	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>13,0</b>	<b>3</b>
2014	146,2	234,8	223,6	233,2	203,2	144,0	95,4	56,6	156,4	319,8	221,4	197,0		
	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>11,0</b>	<b>3</b>
2015	129,2	239,6	422,8	434,0	395,6	215,2	320,4	184,8	170,4	183,4	248,2	234,9		
	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>16,0</b>	<b>4</b>
2016	151,6	132,8	83,6	389,2	379,4	241,6	182,6	329,8	222,6	545,4	611,2	56,0		
	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>0,0</b>	<b>15,0</b>	<b>4</b>
2017	119,4	23,0	373,2	185,4	64,8	269,0	105,8	139,8	140,8	337,6	9,0	217,2		
	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>10,0</b>	<b>3</b>
2018	119,4	199,7	307,3	293,2	273,3	201,2	160,9	206,0	184,7	326,4	227,4	167,7		
	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>15,0</b>	<b>4</b>

Fuente Elaboración propia

En base a la información anterior, se evaluó con el software SIG, ponderando cada uno de los factores influyentes al movimiento en masa y obteniendo un temático de la amenaza correspondiente, se realizó esta evaluación para cuatro escenarios posibles de amenaza, es de resaltar que las zonas de amenaza alta no implican precisamente que se va producir un deslizamiento en el área, pero si señala las zonas más sensibles a los mismos, dado que para poder evaluar la estabilidad puntual del talud y su verdadero factor de seguridad se hace necesario conocer particularmente las características geomecánicas de los estratos del suelo del talud, para poder cuantificar con precisión su posible línea de falla.

#### **Escenario N°1 (Factores condicionantes)**

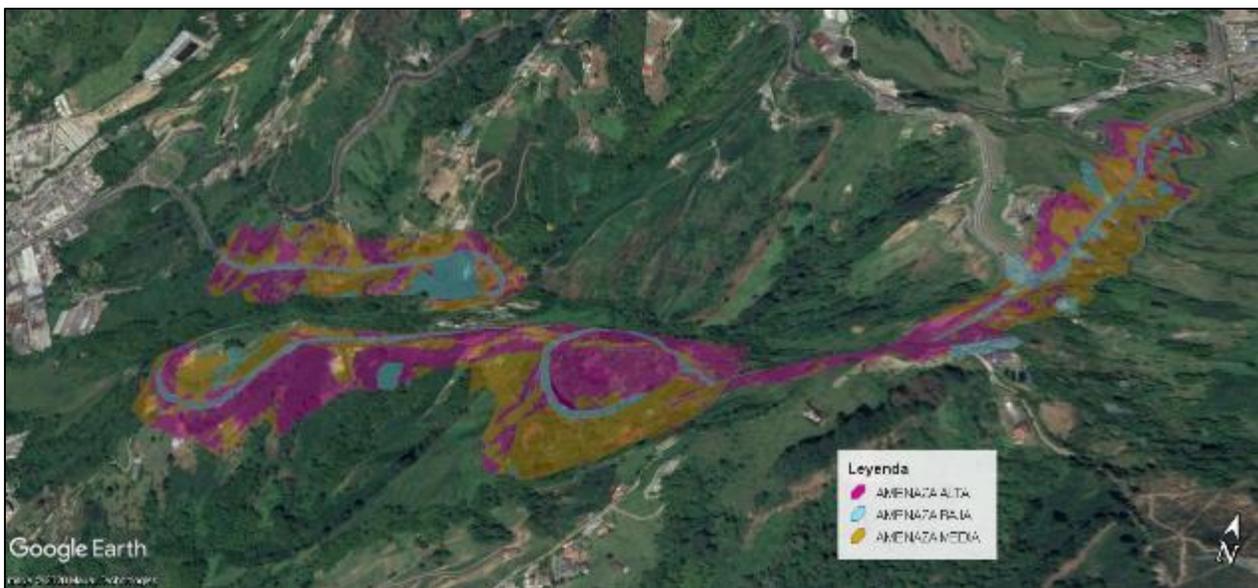
Para evaluar este escenario solo se tuvo en cuenta los factores condicionantes del terreno. Clasificados como se muestra en la tabla 21.

*Tabla 21 Clasificación 1 Escenario*

<b>ESCENARIO DE AMENAZA</b>	
<b>Factor</b>	<b>% Influencia</b>
Pendiente	40%
Geología	30%
usos del suelo	30%

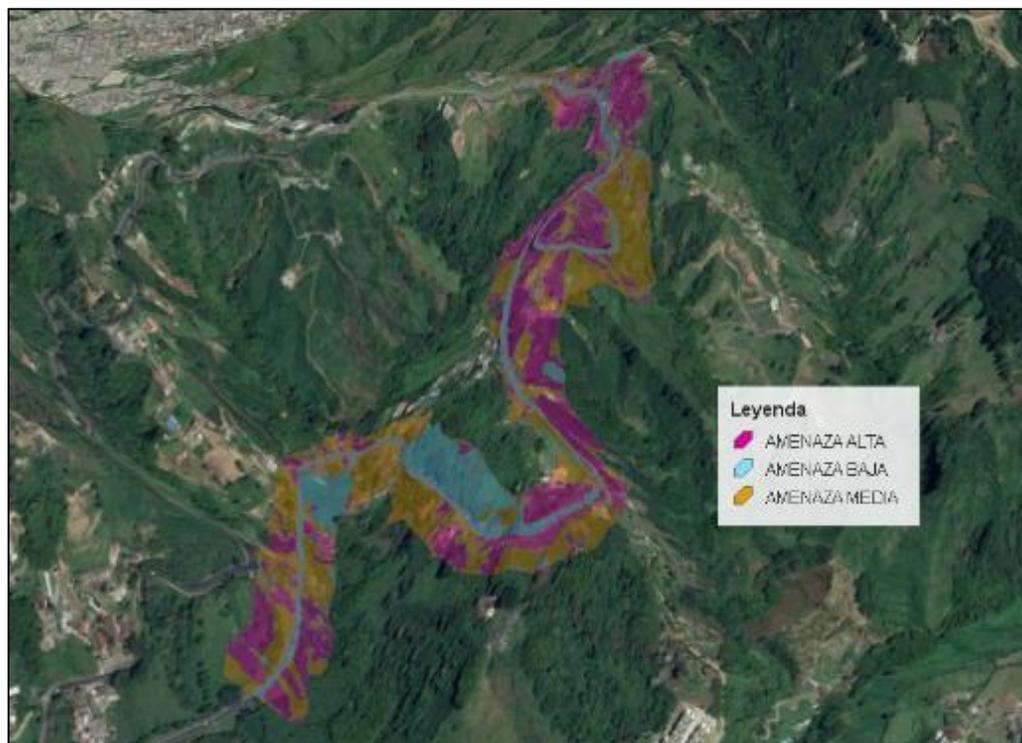
Fuente Elaboración propia

Se evalúa en el software dichos factores con los pesos asignados y los resultados obtenidos son exportados a formato KMZ compatible con Google Earth para generar unos temáticos con relieve e imagen satelital, lo cual facilita la interpretación de los resultados, en las ilustraciones 18-19 se muestran dos perspectivas con el temático de amenaza resultante.



*Ilustración 18 Escenario N°1 de Amenaza*

Fuente: Google Earth y Elaboración propia



*Ilustración 19 Escenario N°1 de Amenaza*

Fuente: Google Earth y Elaboración propia

Como se puede observar en las imágenes, los lugares de mayor amenaza son aquellos con las pendientes más pronunciadas, ya que este parámetro es el que más afecta el factor de seguridad del talud, también se puede observar que los usos inadecuados del suelo como sobre pastoreos, cultivos mal tratados, actividad antrópica con descargas de efluentes a las laderas empeoran la amenaza ya latente por la geomorfología tan accidentada propia de la zona, en la siguiente tabla se hace un balance general de las zonas de amenaza y el porcentaje de la misma del terreno.

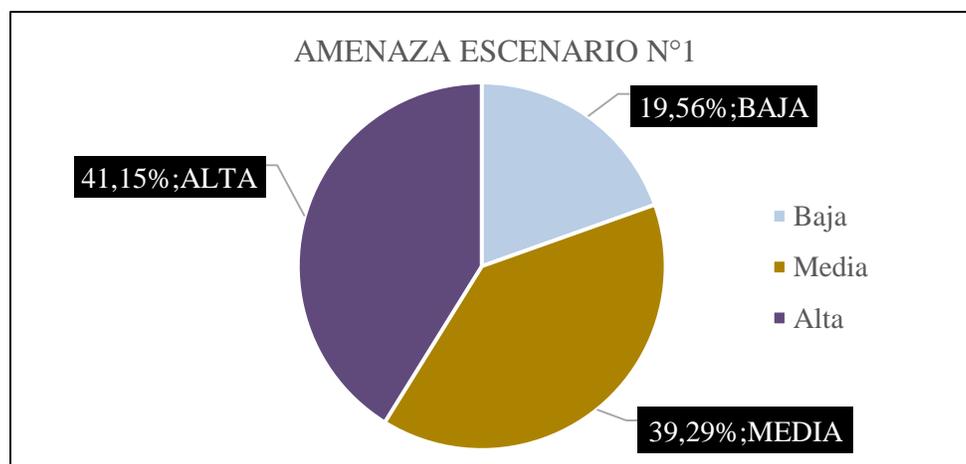


Ilustración 20 Escenario N°1 de Amenaza

Fuente Elaboración propia

Como observamos en la ilustración 20, más del 80% del total de la zona se encuentra entre amenaza Media a Alta, esto obedece principalmente a las condiciones geomorfológicas propias de la zona, a sus grandes laderas y pronunciadas pendientes y si a esto se le añade un mal uso del suelo con la actividad antrópica como descargas de efluentes e impermeabilización del terreno, obtenemos condiciones idóneas para fenómenos de remoción en masa, aunque cabe resaltar que algunas de estas zonas de amenaza alta, no generan un verdadero riesgo para las personas ni la infraestructuras, pero

el análisis de este no está entre los alcances del presente proyecto. En el Anexo F se presenta el mapa de amenaza del escenario N°1

### **Escenario N°2 (Factores condicionantes + Saturación en grado 3)**

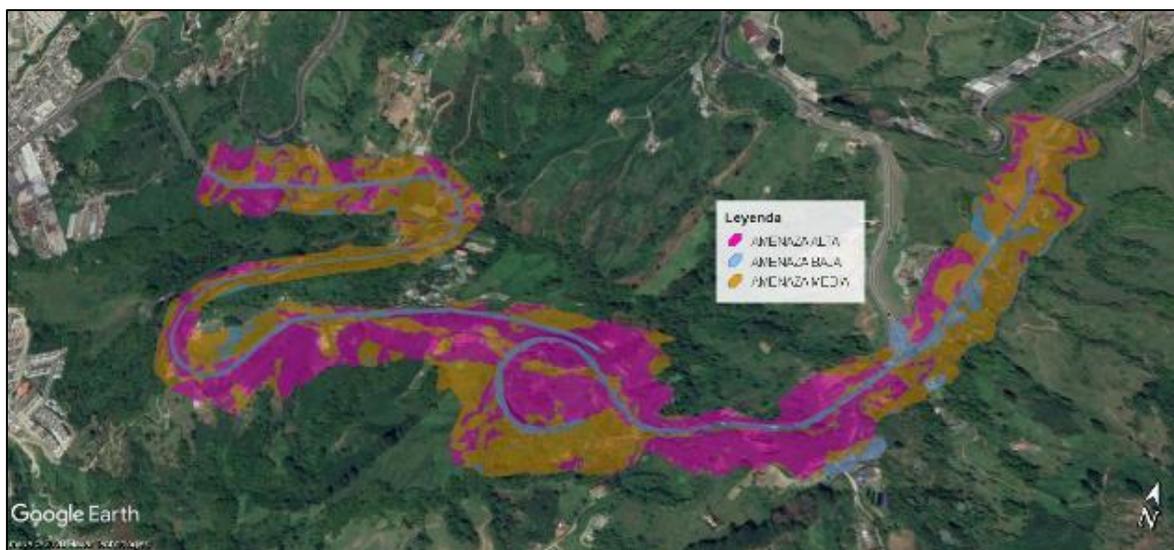
En este escenario evaluaremos la zona bajo un factor detonante de saturación en grado 3 (medio), que corresponde a la obtenida para los años 2010, 2012, 2013, 2014 y 2017, bajo las siguientes jerarquizaciones.

*Tabla 22 Clasificación 2 Escenario*

<b>ESCENARIO DE AMENAZA</b>	
<b>Factor</b>	<b>% Influencia</b>
Pendiente	35%
Geología	20%
usos del suelo	25%
Saturación	20%

Fuente Elaboración propia

Con la jerarquización anterior procedemos a evaluar en el SIG y al igual que en el escenario anterior, se ambienta con el mapa satelital de la zona.



*Ilustración 21 Escenario N°2 de Amenaza*

Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth

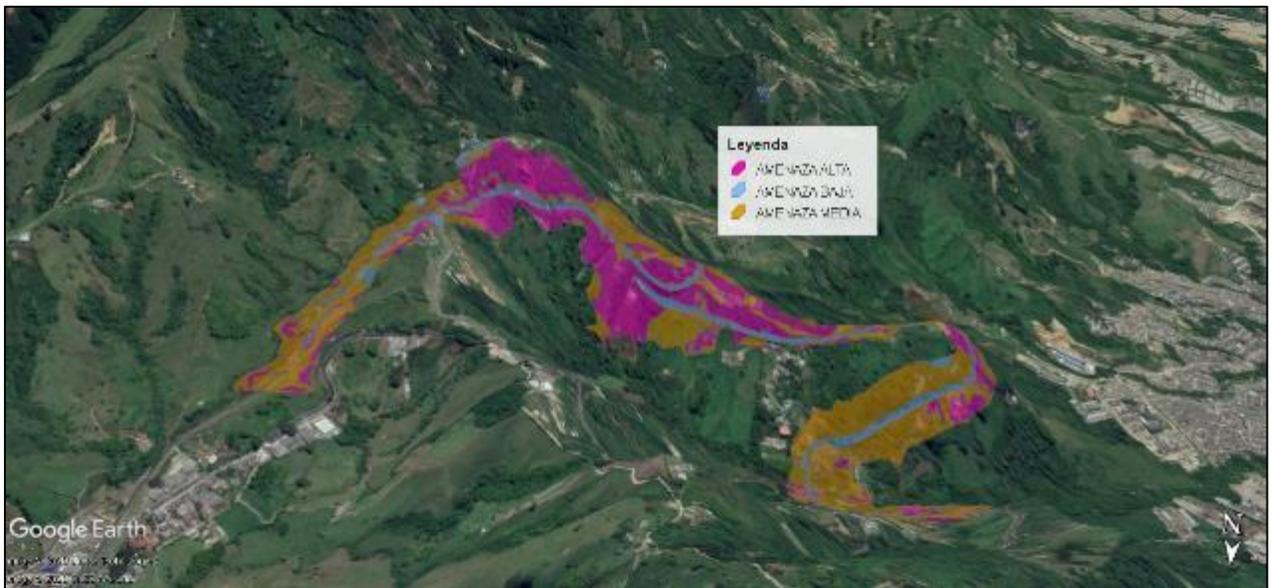


Ilustración 22 Escenario N°2 de Amenaza

Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth

Con la información anterior, procedemos a calcular los porcentajes de áreas de amenaza como se muestran en la ilustración 23.

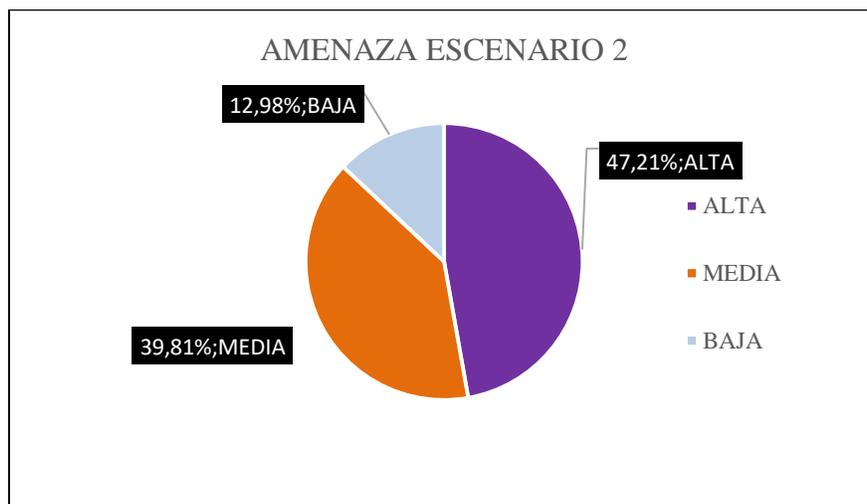


Ilustración 23 Escenario N°2 de Amenaza

Fuente Elaboración propia

Como podemos observar, la amenaza se va incrementado con la influencia de un factor detonante, agudizando los problemas existentes. En el **Anexo G** se presenta el mapa de amenaza del escenario n°2

### **Escenario N°3 (Factores condicionantes + Saturación en grado 4)**

En este escenario evaluaremos la zona bajo un factor detonante de saturación en grado 4 (Alto), que corresponde a la obtenida para los años 2009, 11, 15, 16 y 2018, bajo las siguientes jerarquizaciones.

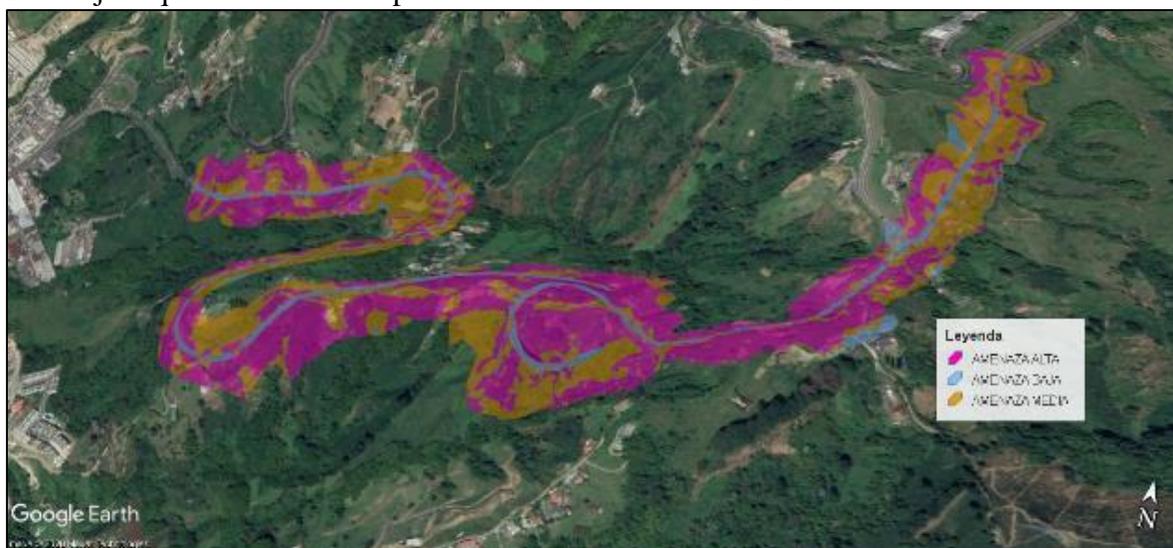
*Tabla 23*

#### *Clasificación 3 Escenario*

<b>ESCENARIO DE AMENAZA</b>	
<b>Factor</b>	<b>% Influencia</b>
Pendiente	35%
Geología	20%
usos del suelo	25%
Saturación	20%

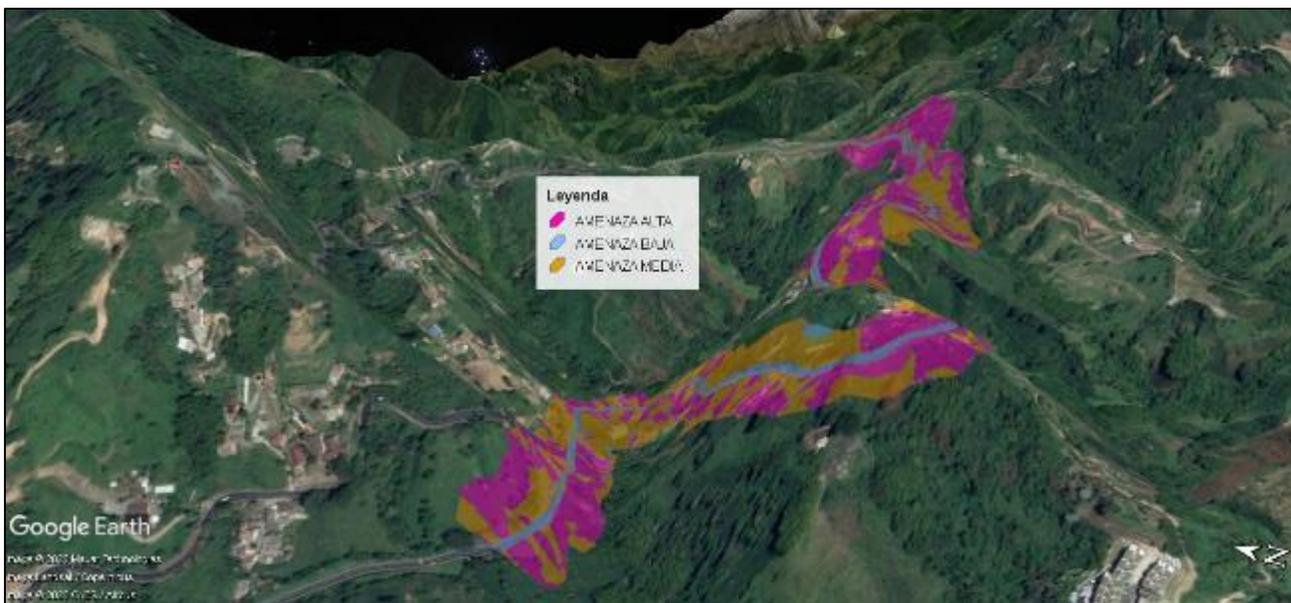
Fuente Elaboración propia

Con la jerarquización anterior procedemos a evaluar en el SIG.



*Ilustración 24 Escenario N°3 de Amenaza*

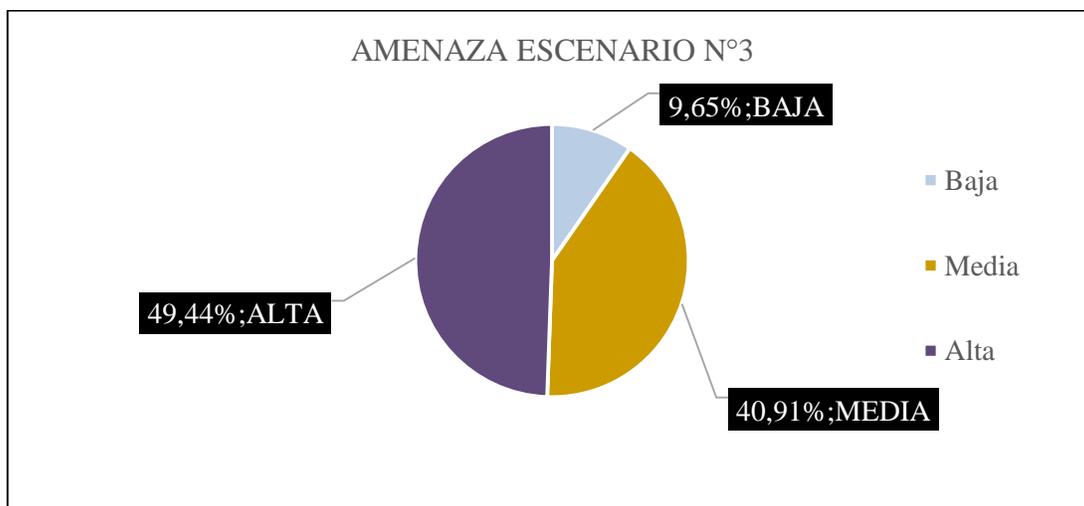
Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth



*Ilustración 25 Escenario N°3 de Amenaza*

Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth

Con la información anterior, se procede a cuantificar las áreas amenazadas.



*Ilustración 26 Escenario N°3 de Amenaza*

Fuente Elaboración propia

Como se observa, las áreas amenazadas y sus clasificaciones van en aumento, dado que el factor detonante aumenta y las influye por igual y por ende incrementa su grado de

amenaza, especialmente en las zonas de usos de suelo inadecuados. En el Anexo H se presenta el mapa de amenaza del escenario n°3

#### **Escenario N°4 (Factores condicionantes + Saturación en grado 3+ Disparo-Lluvia torrencial 5)**

Se evalúa este escenario crítico con unas lluvias de saturación de suelo de grado 3 (Media) y un factor de disparo grado 5 (Muy alto) que corresponde a una lluvia de periodo de retorno de 25 años. Para la evaluación en el SIG utilizaremos la siguiente jerarquización.

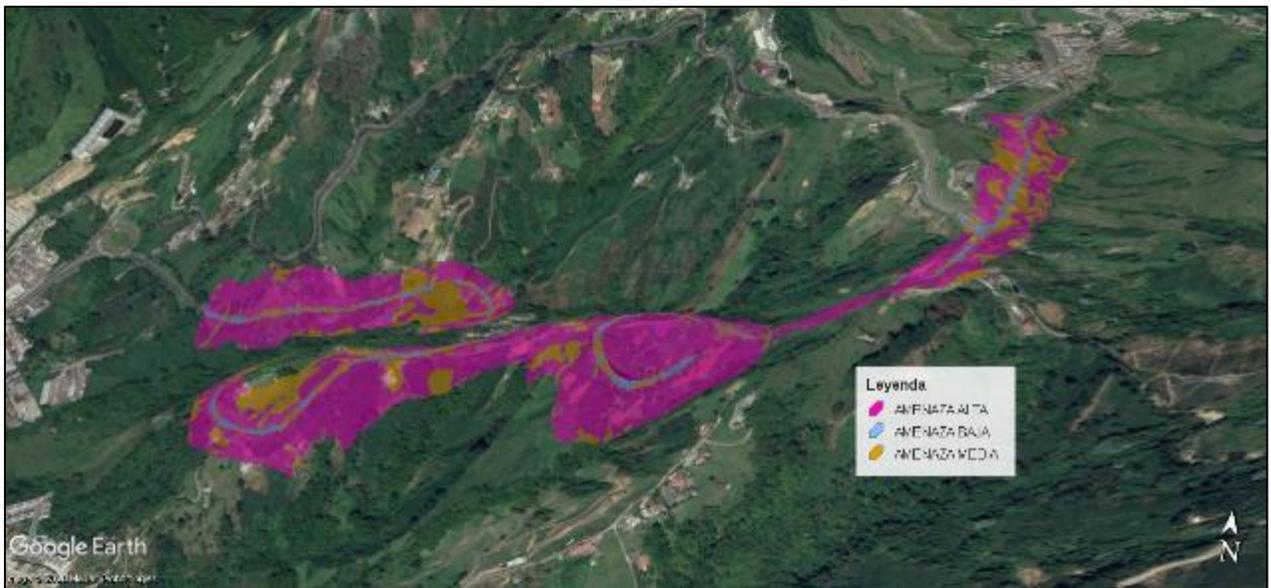
*Tabla 24*

*Clasificación 4 Escenario*

<b>ESCENARIO DE AMENAZA</b>	
<b>Factor</b>	<b>% Influencia</b>
Pendiente	30%
Geología	15%
usos del suelo	20%
Saturación	15%
Disparo-Lluvia	20%

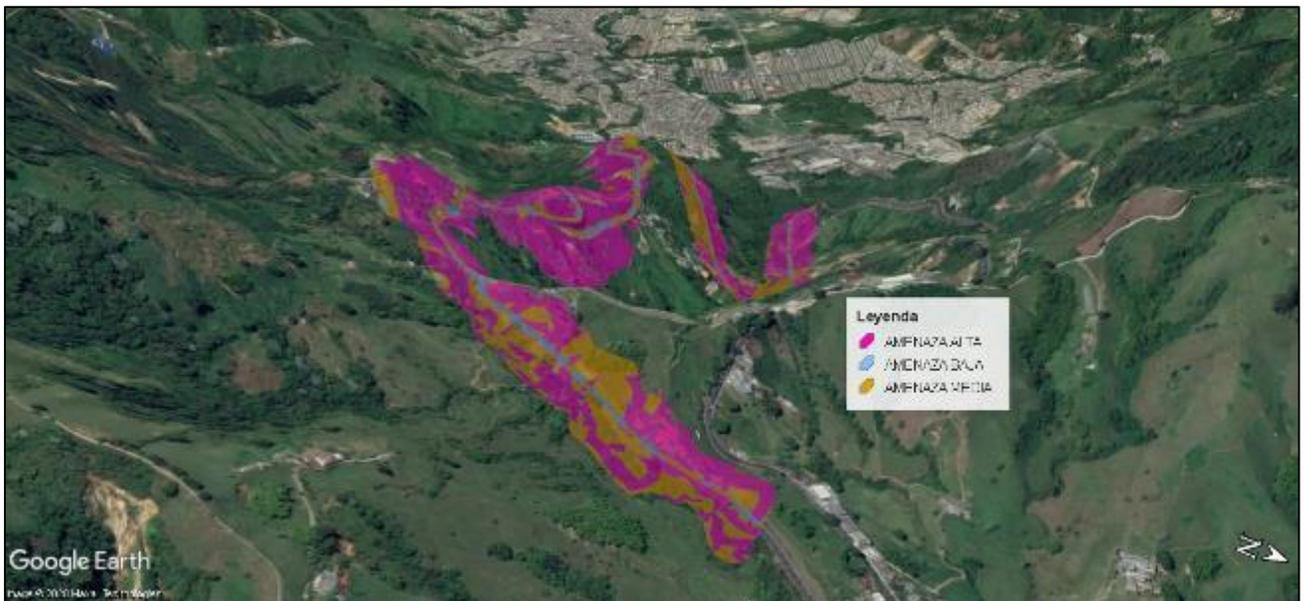
Fuente Elaboración propia

Con la jerarquización anterior procedemos a evaluar en el SIG



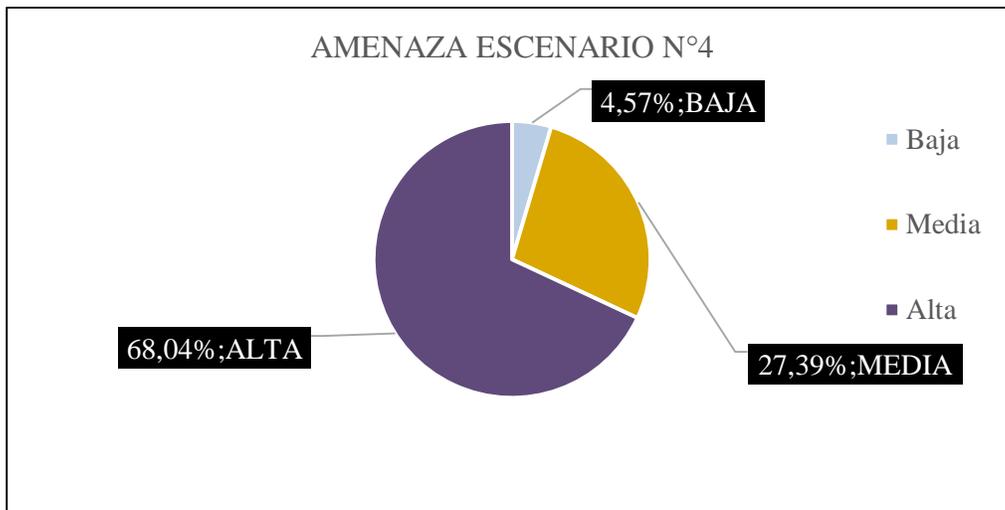
*Ilustración 27 Escenario N°4 de Amenaza*

Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth



*Ilustración 28 Escenario N°4 de Amenaza*

Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth



*Ilustración 29 Escenario N°4 de Amenaza*

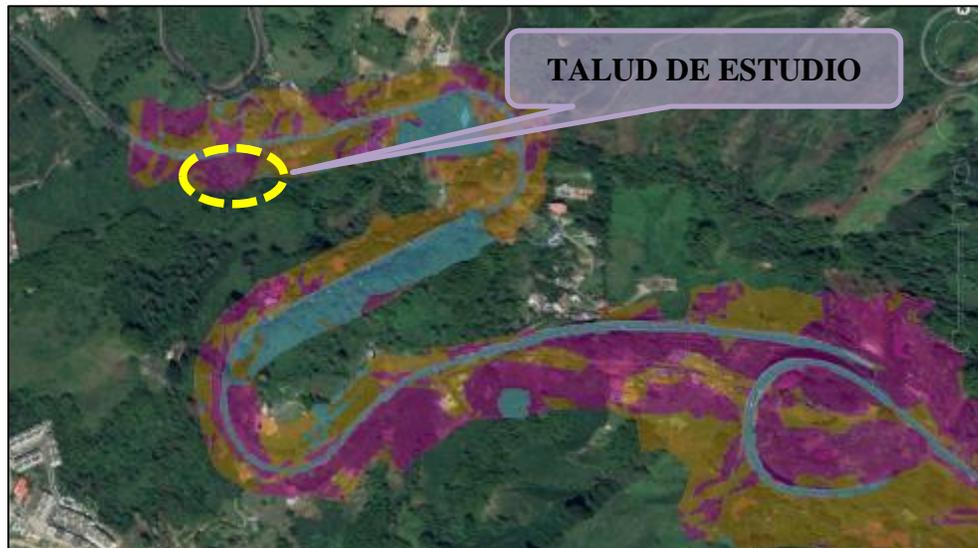
Fuente Elaboración propia

Es un escenario crítico, donde se observa la gran amenaza que existe por fenómenos de movimientos en masa, sin duda alguna los factores intrínsecos del terreno condicionan ya la zona, pero son estos factores detonantes o de disparo que genera los episodios más violentos y destructivos. En el Anexo I se presenta el mapa de amenaza del escenario n°4

### **Análisis de estabilidad del talud crítico y alternativas de solución**

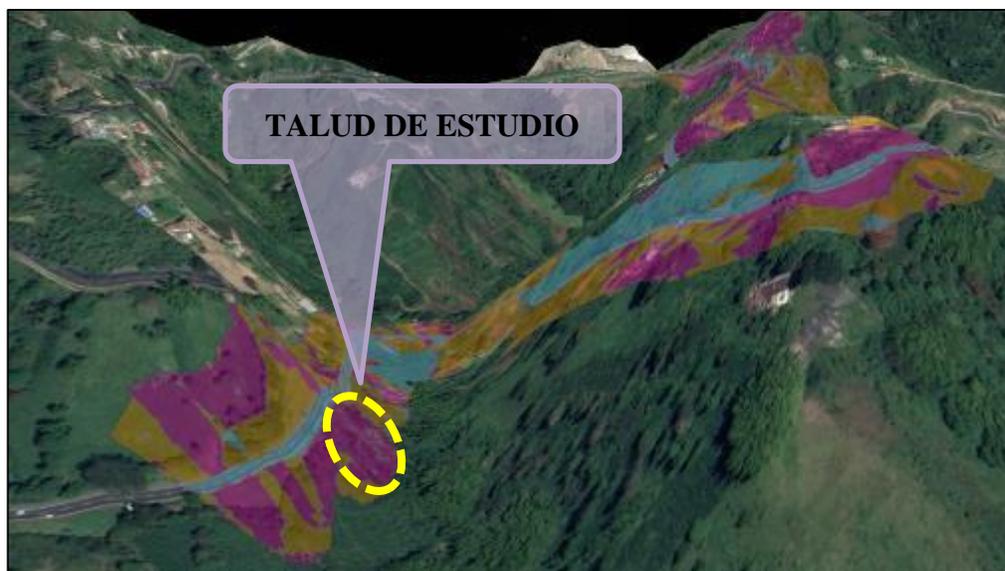
Con base a los anteriores resultados, se puede deducir que existen algunas zonas las cuales tienen una amenaza intrínseca a los movimientos en masa, las cuales se ven empeoradas con los factores detonantes, estas áreas tienen características en común que son zonas de altas pendientes y usos de suelo inadecuados, con base a esto se seleccionó el siguiente talud de estudio, para analizar su estabilidad, donde se aclara que la metodología utilizada para el análisis de su estabilidad es aplicable a cualquier otro talud de la zona con

amenaza alta, este talud tiene las características antes mencionada, una pendiente pronunciada y un uso del suelo antrópico.



*Ilustración 30 Localización en planta talud de estudio*

Fuente Elaboración propia basada en Google Earth



*Ilustración 31 Localización perspectiva talud de estudio*

Fuente Elaboración propia basada en Google Earth

Para la modelación del talud, se utilizó programa de cálculo basado en el método de equilibrio límite el cual establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura o de falla. De esta forma, se interpretó que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplaza respecto la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno.

Se procederá a modelar el talud para dos escenarios posibles

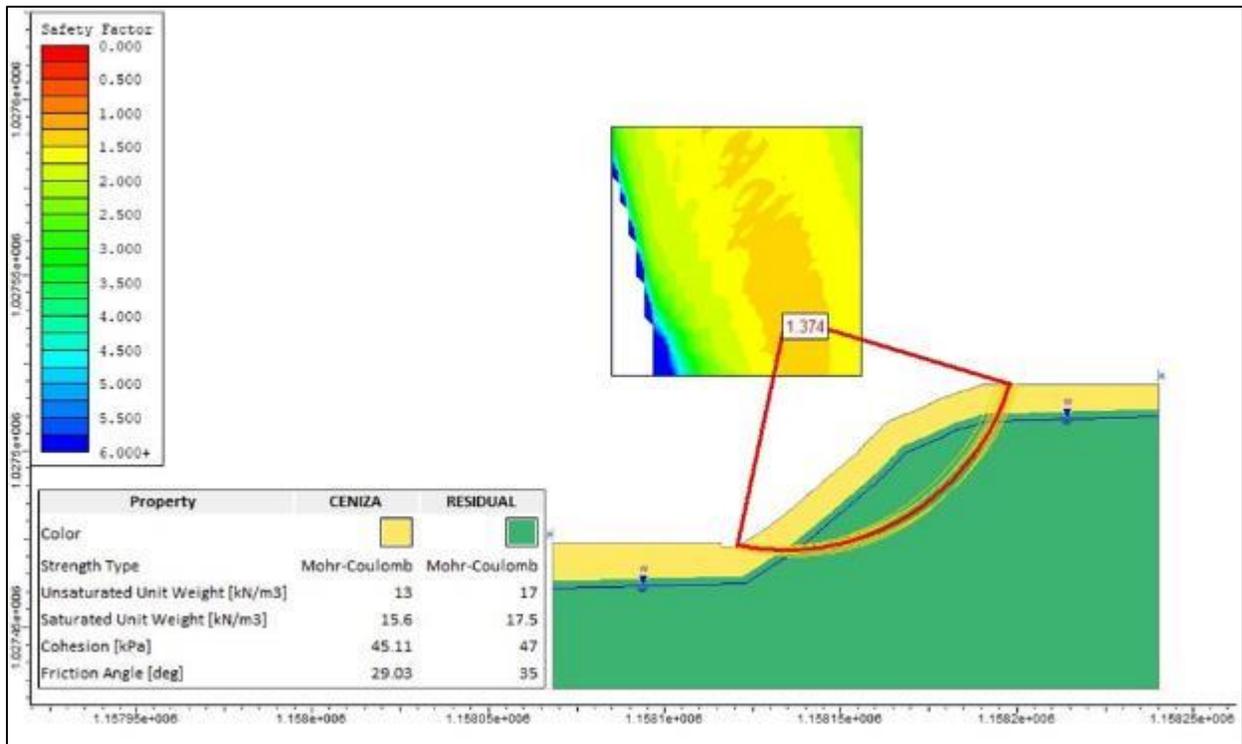
- Condiciones normales
- Condiciones extremas con sismo

Debido a la contingencia presentada de salud pública pandemia COVID-19, no fue posible realizar pruebas de campo del talud seleccionado, para obtener las propiedades mecánicas del suelo de la zona. Como alternativa, se decidió continuar con el análisis del talud seleccionado utilizando los valores promedios obtenidos de (Aristizábal Arias & Mendoza Alfonso, 2017) de la Revista Espacios, que no son precisos, pero sí muy aproximados dado la heterogeneidad del suelo que siempre en los casos ideales es realizar los respectivos sondeos a las profundidades establecidas.

Se procedió entonces a realizar el análisis del talud para los dos escenarios.

### **Condiciones normales**

En la siguiente imagen se muestran los resultados obtenidos para la evaluación del talud bajo condiciones normales, filtrando a las 10 superficies de falla más probables.



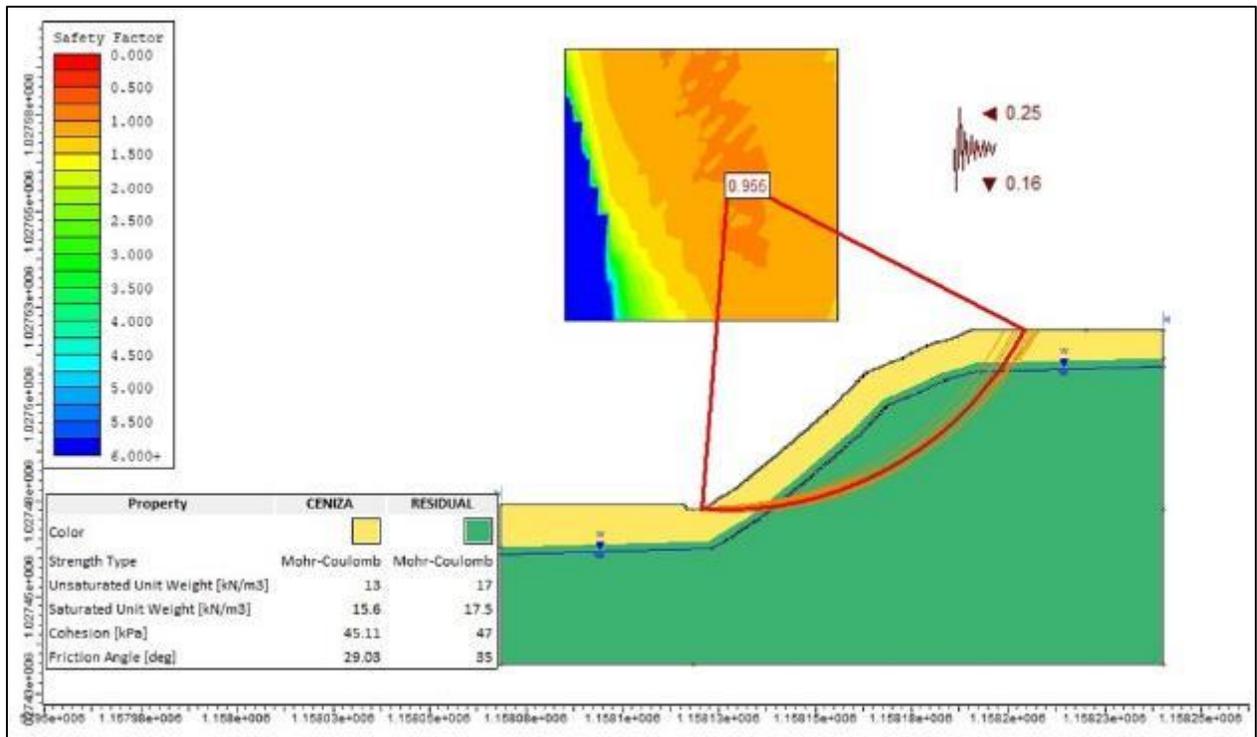
*Ilustración 32 Modelación Talud condiciones normales*

Fuente Elaboración propia

Para este escenario el factor mínimo de seguridad calculado es **1.374**

### Condiciones extremas

Para este escenario se modeló con una carga sísmica horizontal de 0.25g y una carga sísmica vertical correspondiente a 2/3 de la carga horizontal que sería 0.16g, que son los valores dados de aceleración sísmica de la zona según la NSR-10. En la ilustración 33 se muestra el modelamiento bajo condición extrema.



*Ilustración 33 Modelación Talud condiciones extremas*

Fuente Elaboración propia

Para este escenario el factor mínimo de seguridad calculado es **0.95**

## Capítulo 9

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### Modelos Geológico-Geomorfológico e Hidrometeorológico

##### Modelo Geológico

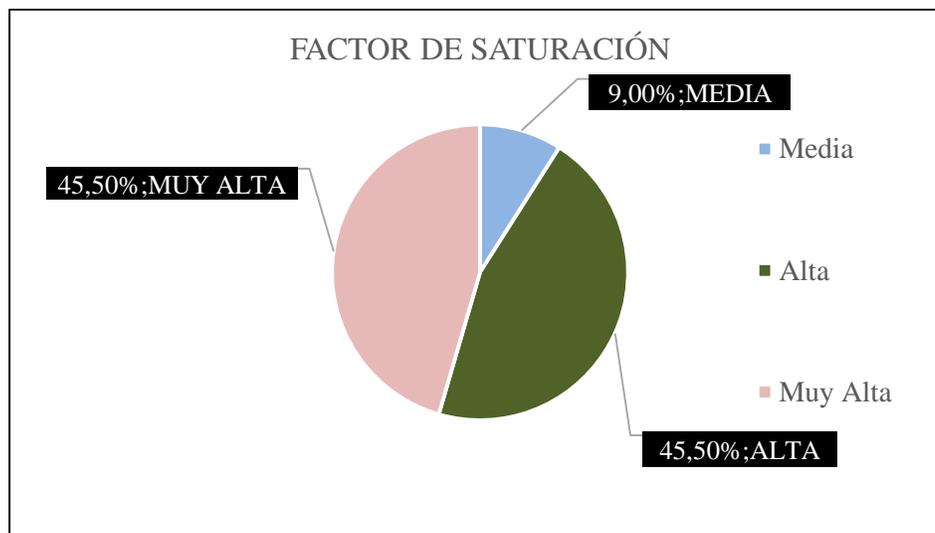
Con la construcción del modelo se observa que él **93.02%** de la zona de trabajo descansa sobre una formación geológica de una Roca Metamórfica (Esquistos) muy alterada y un **4.82%** sobre suelos de material Piroclástico condicionando la zona ya que estas formaciones no son muy competentes mecánicamente.

##### Modelo Geomorfológico

##### Modelo Hidrometeorológico

Con la variedad de registros del pluviómetro se han podido generar diferentes escenarios de amenaza con distintos factores hidrológicos como de lluvia torrencial y grados de saturación del suelo, se observa en la Tabla 19, de la evaluación de los datos del pluviómetro para el factor de saturación, que de los 11 años evaluados todos se encuentran en grado de saturación de medio a muy alto, teniendo el 45.5% en grado medio (5 Años) al igual que el grado Alto y con el 9% en grado muy alto (1 Año).

En la ilustración 34 se muestra los datos anteriores.



*Ilustración 34* Porcentaje datos factor de saturación

Fuente Elaboración propia

El factor detonante de lluvia torrencial para un periodo de 25 años se obtuvo un valor de **1033.66mm** el cual se ubica en valor 5 muy alto, donde la combinación de ambos factores detonantes hidrológicos genera un ambiente idóneo para los movimientos en masa.

### **Mapa de Amenaza por deslizamientos**

Se procesó toda la información correspondiente de la zona en el SIG, y se ha tenido como resultado el mapa de la amenaza para cada uno de los escenarios propuestos.

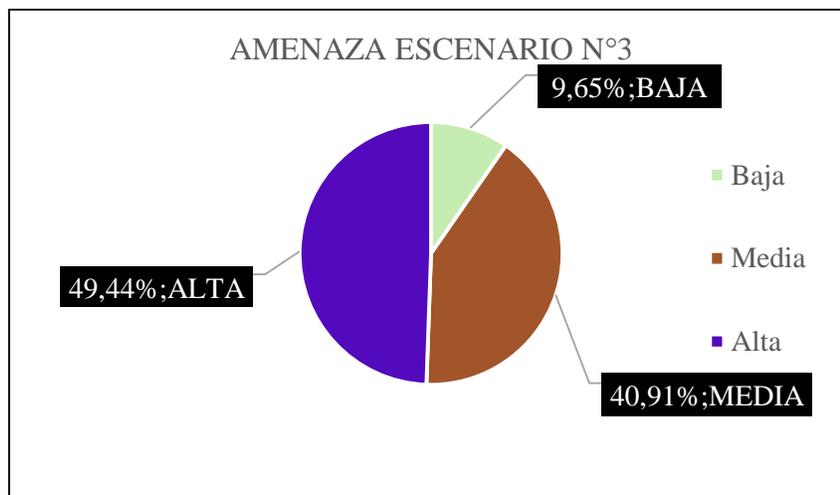
Como se observa en el primer escenario, en el mapa de amenaza de la figura 13 y 14, la zona posee una sensibilidad a los movimientos en masa intrínseca, no natural, dado que mucha de estas zonas condicionadas se debe al factor antrópico, a la alteración de las condiciones naturales por el ser humano. Se puede observar que estas zonas de amenaza Alta, son zonas con condiciones geomorfológicas muy accidentadas, pendientes pronunciadas. El análisis individual de cada uno de estos factores condicionantes nos da las

herramientas para poder entender dichos valores tan elevados de amenaza alta (**41.15%**)

bajo solo la influencia de los factores intrínsecos.

Al añadir al proceso de evaluación de la amenaza, factores desencadenantes o detonantes, como las precipitaciones o los sismo, observamos el dramático aumento de las zonas de amenaza alta y media y la desaparición paulatina dependiendo el grado del factor detonante, de las zonas de amenaza baja. Dado que la zona se encuentra en una zona geográfica de clima tropical, posee precipitaciones muy fuertes, además que son lluvias de grandes intensidades, también posee periodos de precipitaciones moderadas pero extendidas en el tiempo, que va saturando los estratos del suelo y ocasionando deslizamientos profundos muy devastadores.

Realizando un análisis al Escenario 3 donde evaluamos la zona bajo los factores condicionantes y un factor de saturación de grado 4 (Alto), podemos observar cómo crece rápidamente estas zonas de amenaza alta, llegando a casi la mitad de la zona de estudio con un 49.44%, dado que este factor de saturación afecta homogéneamente a toda la zona y va agravando zona con coberturas más sensibles como zonas de vegetación baja e igualmente disminuyen las zonas que antes eran consideradas en zona de amenaza baja, para pasar a un grado de amenaza media.

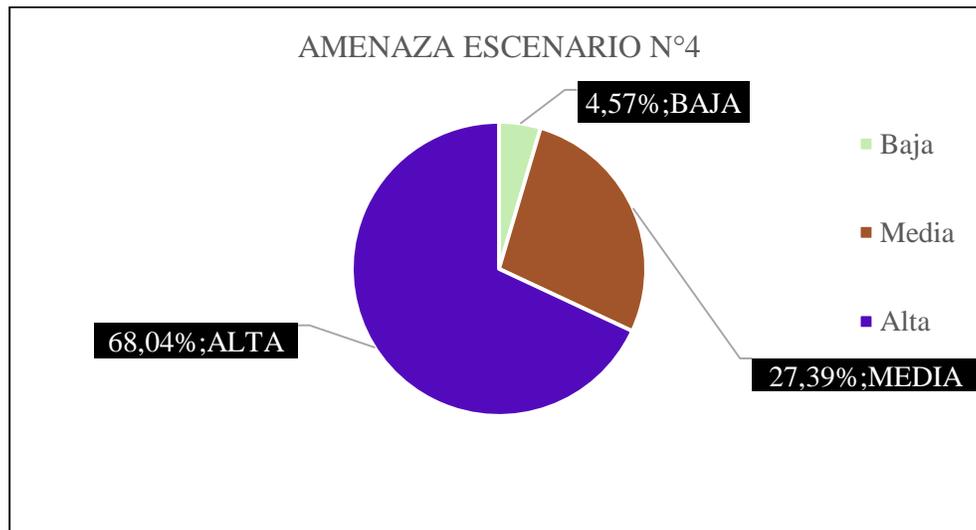


*Ilustración 35 Amenaza escenario N°3*

Fuente Elaboración propia

Evaluando el escenario 4, que es el más crítico evaluado en la zona, en donde se encuentren el factor de saturación en grado 3 (Medio) y el de disparo grado 5 (Muy alto), correspondiente a la precipitación con un periodo de retorno de 25 Años, que es el sugerido por él (Servicio Geológico Colombiano;, 2017), no se evalúa la zona bajo un grado de saturación 5 que sería el más crítico, debido a que en estos modelos influye mucho la probabilidad, y es muy poco probable que se presente una lluvia torrencial de tal magnitud, con antecedentes de lluvias de moderadas a altas, y también dado que puede llegar a ser algo confuso los datos, dado que es tan alta la amenaza, que no se presentarían zonas de amenaza baja, sin embargo, bajo el análisis hecho con los factores antes mencionados, tenemos el 68.04% del área de estudio en zona de Amenaza Alta, notándose el gran efecto que puede llegar a tener una precipitación de tan alta intensidad, con un terreno condicionado bajo una saturación, las zonas de amenaza baja se reducen al 4.57% siendo

prácticamente nulo, es de tener en cuenta que estamos evaluando un escenario hipotético muy grave, pero probable.



*Ilustración 36 Amenaza Escenario N°4*

Fuente Elaboración propia

Cabe aclarar que estas condiciones de amenaza alta que presenta la zona de estudio en todos sus escenarios no se ven influenciados por el corredor vial, ya que por el contrario, con la construcción de este corredor vial, se han hecho una serie de obras de estabilidad a lo largo del corredor, como Muros, pantallas ancladas, terraceo, tratamiento con vegetación entre otros, dicho corredor fue construido por un antiguo trazado de carretable, que la concesión intentar conservar al máximo y con las menos alteraciones posibles, por ello donde no se era posible continuar con el trazado existente, se construyeron puente y obras de gran envergadura como el Puente Helicoidal que fue en el año 2010 premio nacional de ingeniería.

### Estabilidad del talud crítico y alternativas de solución

Para la evaluación del talud, se tuvo en cuenta los criterios establecidos en la Resolución 227 de 2006, de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAAE, que clasifica los factores de seguridad dependiendo del escenario, como en las siguientes tablas.

*Tabla 25 Clasificación condiciones normales*

<b>NIVEL DE AMENAZA</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>
Amenaza baja	>1.9
Amenaza media	1.2 – 1.9
Amenaza alta	<1.2

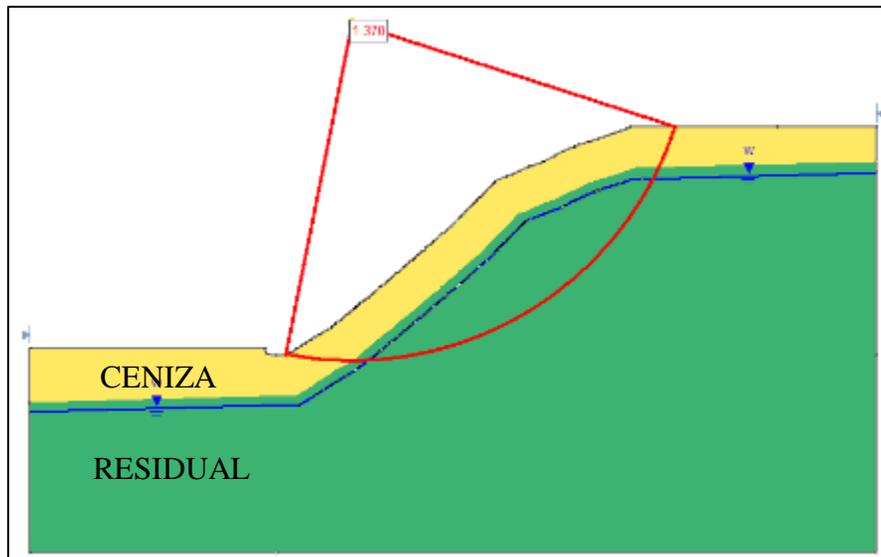
Fuente (Secretaría de Gobierno Resolución 227, 2006)

*Tabla 26 Clasificación condiciones extremas*

<b>NIVEL DE AMENAZA</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>
Amenaza baja	>1.3
Amenaza media	1.0 – 1.3
Amenaza alta	<1.0

Fuente (Secretaría de Gobierno Resolución 227, 2006)

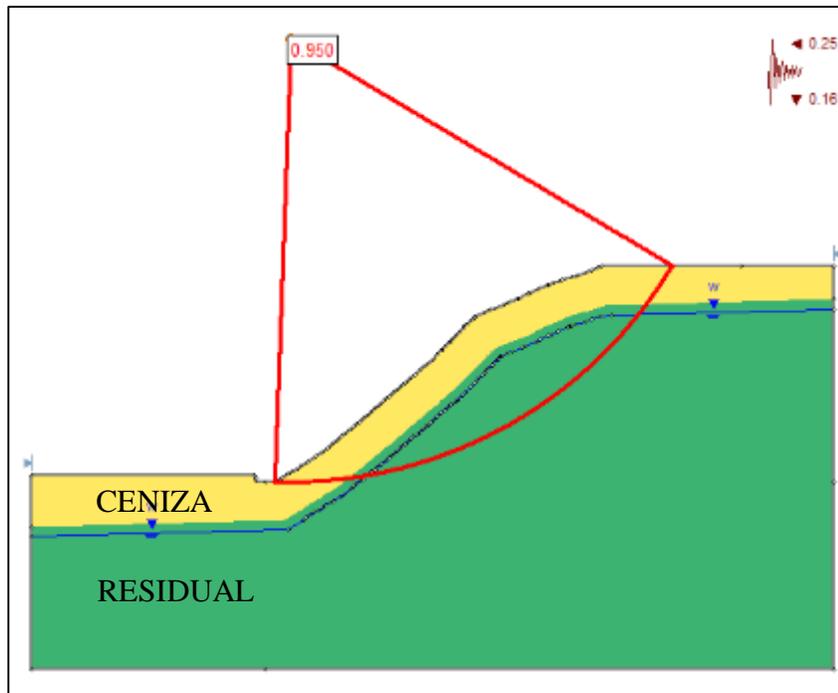
Donde se tiene que, para el primer escenario, donde sólo se tiene en cuenta las condiciones normales del talud, el factor de seguridad fue **1.374**, que lo ubica en el grado de amenaza media según la clasificación de la tabla 28 de las condiciones normales, en la ilustración 37 se muestra la superficie de falla crítica calculada y su respectivo factor de seguridad



*Ilustración 37* Línea de falla escenario de condiciones normales

Fuente Elaboración propia

Para el caso de la condición extrema bajo sismo, se tiene la falla del talud, donde las fuerzas resistentes del talud son vencidas por las fuerzas actuantes y el factor de seguridad es menor que 1, con un valor de **0.95**, que lo ubica en un grado alto de amenaza según la tabla 29 de clasificación para casos extremos, en la siguiente figura se muestra la superficie de falla crítica calculada y su factor de seguridad.



*Ilustración 38 Línea de falla escenario de condiciones extremas*

Fuente Elaboración propia

En este caso tenemos la falla del talud y la generación de un posible deslizamiento, sobre la superficie de falla supuesta. El conocimiento de esta superficie de falla es fundamental a la hora de intervenir el talud ya que dependiendo de la ubicación de esta línea se utiliza un método u el otro, existen diversos métodos para aumentar el factor de seguridad de un talud, entre los cuales tenemos perfilación del talud, muros de contención, anclajes entre otros, para este talud se darán soluciones de bioingeniería amigables al medio ambiente, menos invasivas y mucho más agradables estéticamente hablando, ya que este tipo de tecnologías son a las que debe apuntar la ingeniería, con el fin de adecuarse más al entorno natural, con la menor utilización posible de energía y la menor modificación del medio

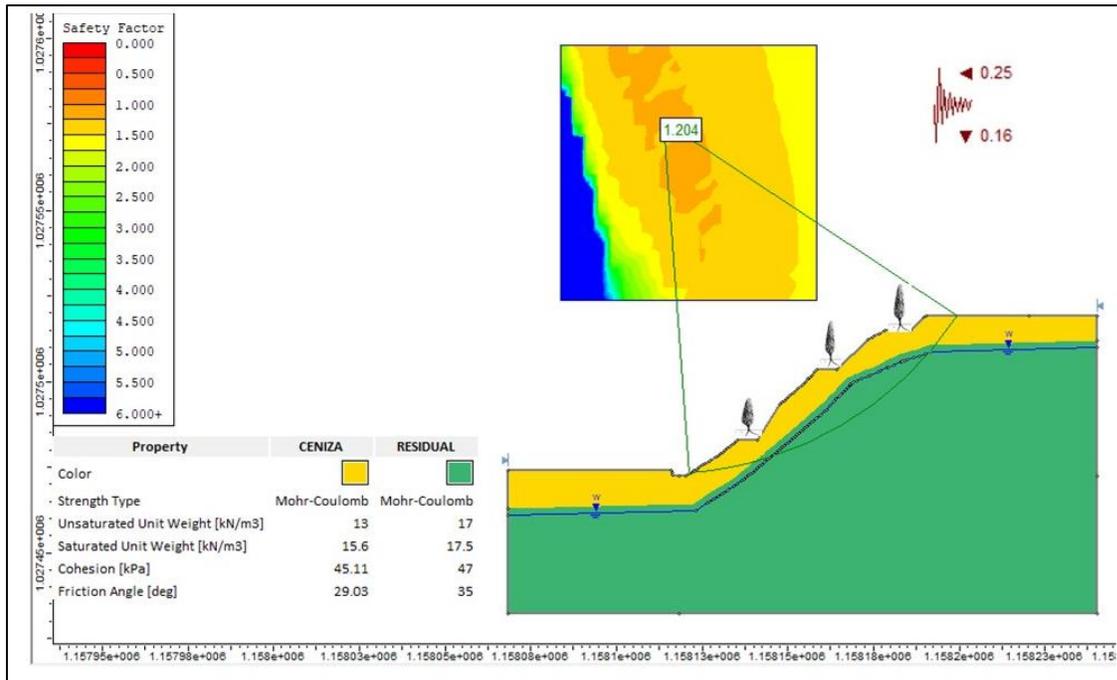
## Análisis de Alternativas

Tabla 27 Matriz de Alternativas

Nº	ASPECTO DESCRIPCIÓN GENERAL	PESO ESPECÍFICO (%)	ALTERNATIVA 1: MURO EN LLANTAS USADAS			ALTERNATIVA 2: PLANTACIÓN VEGETAL			ALTERNATIVA 3: SIEMBRA ARBÓREA		
			DESCRIP. ESPECIFICA	INDICE COMPARATIVO	CALIFICA CIÓN	DESCRIP. ESPECIFICA	INDICE COMPARATIVO	CALIFICA CIÓN	DESCRIP. ESPECIFICA	INDICE COMPARATIVO	CALIFIC ACIÓN
1	COSTO DE LAS OBRAS	30%	EL TRANSPORTE DE LAS LLANTAS Y SU INSTALACIÓN NECESITAN UNA CANTIDAD CONSIDERABLE DE RECURSOS.	30	9,0	SE UTILIZA UNA CANTIDAD BAJA DE RECURSO.	90	27,0	SE UTILIZA UNA CANTIDAD MODERADA DE RECURSOS EN EL MOVIMIENTO DE TIERRA.	80	24,0
2	COMPLEJIDAD DE CONSTRUCCIÓN	25%	SE DEBE LLENAR CADA UNA DE LAS LLANTAS LO QUE TOMA UN TIEMPO ELEVADO Y DE TÉCNICA APLICADA.	20	5,0	LA PLANTACIÓN ES SUPERFICIAL Y UE LOS PATRONES DEL TERRENOSI	90	22,5	SE HACE UN TERRACEO PEQUEÑO PARA PODER GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DE LA ESPÉCIE ARBÓREA SEMBRADA	85	21,3
3	MEJORAMIENTO DE ESTABILIDAD	20%	GARANTIZA LA ESTABILIDAD PERMANENTE DEL TALUD	95	19,0	MEJORA LA ESTABILIDAD PERO NO GARANTIZA UNA ESTABILIDAD TOTAL.	50	10,0	GARANTIZA LA ESTABILIDAD PERMANENTE DEL TALUD	95	19,0
4	ALTERACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	15%	SE MODIFICA EL ENTORNO NATURAL AL LLEVAR OBJETOS EXTRAÑOS AL MEDIO	60	9,0	LA ALTERACIÓN DEL MEDIO ES MÍNIMA	90	13,5	SE MODIFICA LEVEMENTE EL PAISAJE DEBIDO AL TERRACEO	85	12,8
5	MANTENIMINETO	10%	SE DEBE ESTAR HACIENDO MANTENIMINETO A LAS LLANTAS Y A SU SUPERFICIE	65	6,5	REQUIERE UN MANTENIMINETO MÍNIMO	90	9,0	REQUIERE UN MANTENIMINETO MÍNIMO	90	9,0
			<b>CALIFICACION TOTAL</b>		<b>48,5</b>	<b>CALIFICACION TOTAL</b>		<b>82,0</b>	<b>CALIFICACION TOTAL</b>		<b>86,1</b>

Fuente Elaboración propia basada en la matriz de Leopold

Se tiene la Alternativa N°3 del terracedo con siembra de árboles como ganadora, donde se evaluó la estabilidad del talud con la utilización de ésta alternativa arrojando los siguientes resultados.



*Ilustración 39 Modelamiento Alternativa N°3*

Se observa que, bajo condiciones extremas de sismo, la alternativa cumple con la función de mejorar la estabilidad e impedir la falla del talud, obtenido un factor de seguridad de **1.20** lo cual garantiza su estabilidad para las variables en cuestión.

## Capítulo 10

### CONCLUSIONES Y LOGROS

Se ha creado los modelos Geológico-Geomorfológico e Hidrometeorológico de la zona, se han jerarquizado los datos obtenidos y se ha tenido como producto final los mapas de Geología, Pendientes, Usos del Suelo, y el modelo digital del terreno MDT, incluidos en los Anexos.

Se ha utilizado la evaluación multicriterio con el SIG en los modelos creados; con la diversidad de registros del pluviómetro se ha podido crear cuatro escenarios de amenaza distinta, para diferentes grados de saturación y la acción de un detonante torrencial de 25 años, en la siguiente tabla 28 se muestra un resumen de la evaluación de los escenarios.

*Tabla 28 Resumen Escenarios de Amenaza*

ESCENARIO	FACTOR	INFLUENCIA	EVALUACIÓN	PRODUCTO	CATEGORÍA	PORCENTAJE
ESCENARIO N°1	PENDIENTE	40%		MAPA	ALTA	41,15%
FACTORES	GEOLOGÍA	30%	EMC	DE	MEDIA	19,56%
CONDICIONANTE	USOS DEL SUELO	30%		AMENA	BAJA	39,29%
ESCENARIO N°2	PENDIENTE	35%		MAPA	ALTA	47,21%
FACTORES	GEOLOGÍA	20%	EMC	DE	MEDIA	39,81%
CONDICIONANTE	USOS DEL SUELO	25%		AMENA	BAJA	12,98%
S+SATURACIÓN 3	SATURACIÓN	20%				
ESCENARIO N°3	PENDIENTE	35%		MAPA	ALTA	49,44%
FACTORES	GEOLOGÍA	20%	EMC	DE	MEDIA	40,91%
CONDICIONANTE	USOS DEL SUELO	25%		AMENA	BAJA	9,65%
S+SATURACIÓN 4	SATURACIÓN	20%				
ESCENARIO N°4	PENDIENTE	30%		MAPA	ALTA	68,04%
FACTORES	GEOLOGÍA	15%		DE	MEDIA	27,39%
CONDICIONANTE	USOS DEL SUELO	20%	EMC	AMENA	BAJA	4,57%
S+SATURACIÓN	SATURACIÓN	15%				
3+DETONANTE 5	TORRENCIAL	20%				

Fuente Elaboración propia

Con las zonas de amenaza definidas, se ha identificado un talud de amenaza alta y se ha evaluado su estabilidad en el software Slide, donde se ha comprobado su inestabilidad y su posible falla ante un escenario de sismo, arrojando un FS de **0.95**.

Se construyó una matriz de alternativas, arrojando por ganadora la Alternativa N°3 de siembra de especies arbóreas en bermas.

Se ha modelado en el software la intervención de la Alternativa en el Talud, arrojando un FS. de **1.20**, donde se garantiza la estabilidad del talud bajo condiciones extremas de sismo.

Mediante la utilización de los SIG se han generado cuatro mapas de amenaza por deslizamientos de tierra, donde se ha seleccionado un talud de amenaza alta en el Escenario N°1 que es el más favorable para la zona, donde su amenaza está sólo determinada como se ve en la tabla 28 por los factores condicionantes, se ha evaluado su estabilidad para distintos escenarios, entre el que está el extremo de sismo, arrojando la posible falla y se ha logrado mitigar ésta amenaza con una alternativa amigable al medio ambiente con su comprobación en el modelo.

Luego de tener el mapa de Amenaza de la zona, es mucho más cómodo realizar el mapa de Riesgo que sería un aporte muy interesante para proyectos futuros.

La metodología aplicada en éste proyecto se puede utilizar para extensiones de áreas mucho más grandes y a escalas distintas.

## Bibliografía

- Aleotti, & Chowdhury. (1999). *Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives*.
- Aristizábal Arias, J., & Mendoza Alfonso, N. (2017). Obtención de propiedades mecánicas a partir de la relación Vp/Vs para depósitos superficiales de ceniza.
- Aristizábal, G. (2011). *Aspectos de la circulación atmosférica de gran escala sobre el Noroccidente de sudamerica asociada al ciclo ENOS 2009-2010 y sus consecuencias en el régimen de precipitación en Colombia*. Bogotá: Sistema de información ambiental de Colombia SIAC.
- CabildoGranCanaria. (7 de Septiembre de 2019). *San Bartolomé de Tirajana*. Obtenido de CabildoGranCanaria: <https://cabildo.grancanaria.com/de/san-bartolome-de-tirajana>
- Calvachi, A. (2019). *Estimación de la Probabilidad de Ocurrencia de Movimientos en Masa en Colombia a Partir de Relaciones Magnitud-Frecuencia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- CVC. (2001). *Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa*. Cali.
- Departamento de Risaralda. (2017). *Fondo para la financiamiento del sector agropecuario*. Obtenido de <http://www.colombiamania.com/departamentos/risaralda.html>
- Duque Escobar, G. (2003). *Manual de Geología para Ingenieros*. Manizales: Universidad Nacional.
- Duque Escobar, G. (2014). *Manual de geología para ingenieros*. Manizales: Universidad Nacional.
- Duque Escobar, G. (2017). *Biblioteca digital Universidad Nacional*. Obtenido de Geotécnia para el tropico andino.
- Ecuación de Aparicio. (1997).
- El Tiempo. (Junio de 2019). Derrumbes bloquean paso entre Pereira y Santa Rosa de Cabal.
- Enciclopedia Cubana. (2020). Obtenido de [https://www.ecured.cu/Roca\\_Gabro](https://www.ecured.cu/Roca_Gabro)
- Geociencias para las comunidades Andinas. (2007). *Moviminetos en Masa en la Región Andina*. Canada.
- Geologíaweb. (05 de Enero de 2018). Obtenido de <https://geologiaweb.com/rocas-igneas/diorita/>
- Gómez, N., Osorio, Y., & Salazar, J. (2013). *SIG Para determinar la susceptibilidad a los movimientos en masa en la Cuenca del Río Campoalegre*. Manizales. Manizales: Universidad de Manizales.
- Guataquira, M. (2018). *Análisis de movimientos en masa mediante la aplicación de SIG en la ciudad de Villavicencio en el sector cerro de Buenavista*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás.
- Hervas De Diego. (2001). *V Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables*. Madrid.
- Hervas, D. (2001). *Evaluación de la suceptibilidad de deslizaminetos mediante el uso conjunto de SIG, Teledetección y metodos de evaluación multicriterio*. Madrid: V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas inestables.
- Hervás, J., Barredo, J., & Lomoschitz, A. (2002). *Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamiento mediante SIG, Teledetección y Métodos de evaluación*

- multicriterio. Aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria)*. Gran Canaria-España: Instituto geológico y minero de España.
- Miniambiente. (11 de Octubre de 2019). *Ministerio del medio ambiente de Colombia*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-del-riesgo-de-desastres>
- Mora, S., & Vahrson, W.-G. (1991). *Método para clasificar la amenaza por deslizamientos en áreas tropicales con alta sismicidad*. Costa Rica.
- Paz, A. (2017). ¿Cómo Manizales se salvó de una tragedia peor que la de Mocoa? *Semana sostenible*, 1-2.
- Quezada, L. (2015). *Estabilización de taludes con metodos de bioingeniería*. DF México: Sociedad Mexicana de ingeniería Geotécnica.
- Red Hidroclimatológica de Risaralda. (2020). *Red Hidroclimatológica de Risaralda*. Obtenido de <http://www.redhidro.org/home/>.
- Rivera, L. (2013). *El uso de los sistemas de información geográfica en la zonificación de amenaza por desastres naturales*. Azurerro-Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.
- Roa, J. (2005). *Aproximación al mapa de susceptibilidad y amenaza por deslizamientos en la ciudad de Trujillo Venezuela*. Trujillo Venezuela: Universidad de los Andes .
- Saaty, L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*.
- Sánchez, J., Macías, J., Zamorano, J., Sucedo, R., Torres, J., & Novelo, D. (2012). *Procesos de movimientos masivo en la cuenca de Motozintla, Chiapas, sur de México*. Obtenido de SciELO: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0016-71692012000200006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0016-71692012000200006&script=sci_arttext)
- Secretaría de Gobierno Resolución 227. (2006). Bogotá.
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guia metodológica para estudios de amenza y vulnerabilidad de moviminetos en masa*. Bogotá.
- Servicio Geológico Colombiano;. (2017). *Las Amenazas por Movimientos en Masa de Colombia*. Bogotá.
- Soeters, & Van Westen. (1996). *Slope instability Recognition, analysis and zonation*.
- Suarez Díaz, J. (1991). *Diseño de Cimientos*. Santander.
- Suarez, J. (2008). *Deslizaminetos: Análisis Geotecnico*. Bucaramanga: Universidad de Santander.
- Tovar, D. (2015). Las erupciones del nevado del ruíz antes de sepultar Armero. *El Tiempo*.
- Universidad de Cordoba. (2014). *Manual de estabilización Biotécnica en taludes*. Cordoba.
- Universidad de Costa Rica. (24 de Novimebre de 2015). *RSN UCR-ICE*. Obtenido de <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/vulcanologia/5204-que-es-un-lahar>
- Varnes. (1978). *Landslide Types and Processes* . washington: National Academy Press.

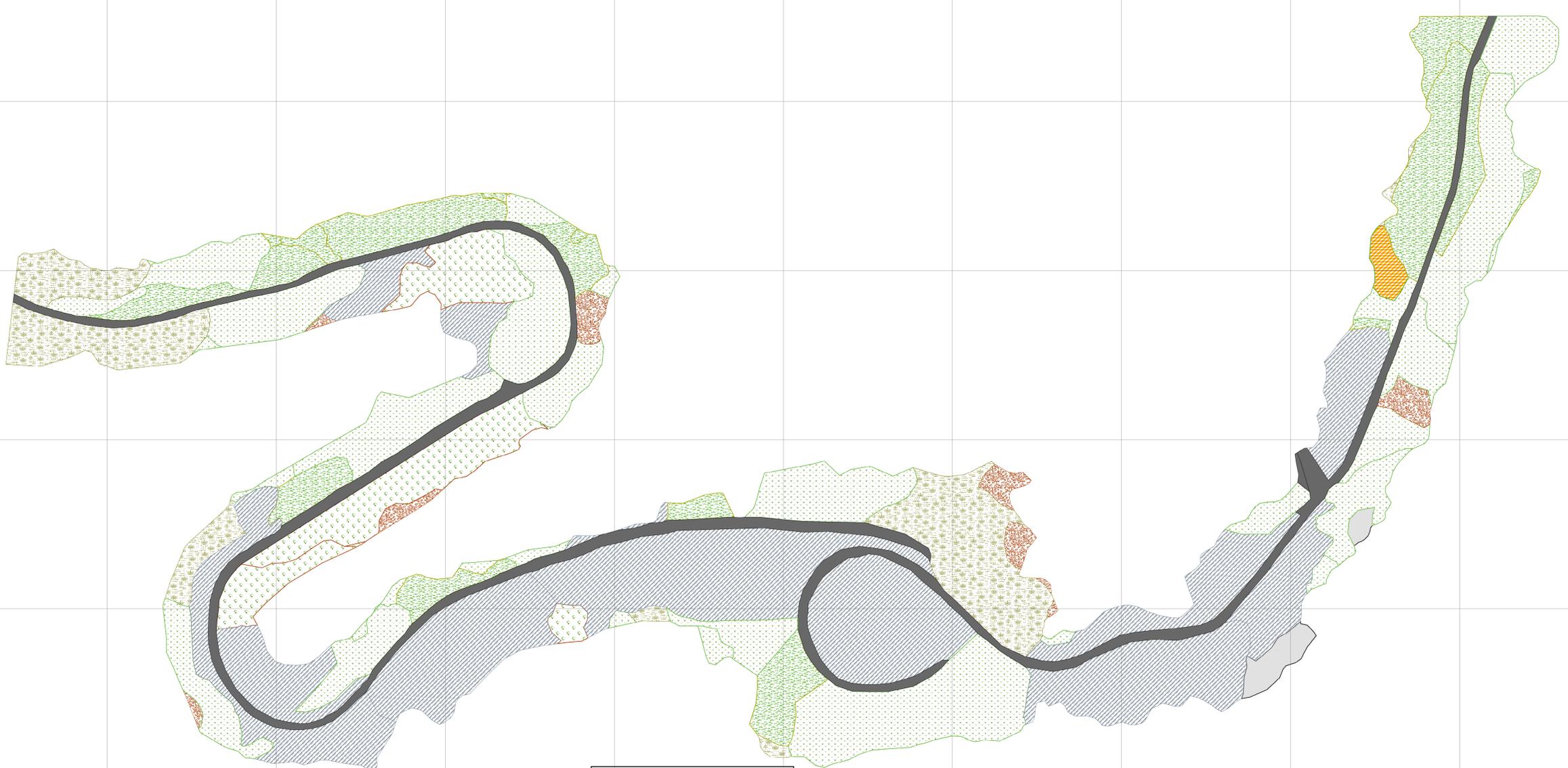


1158200 1158400 1158600 1158800 1159000 1159200 1159400 1159600 1159800 1160000 1160200



1029400  
1029200  
1029000  
1028800  
1028600  
1028400  
1028200

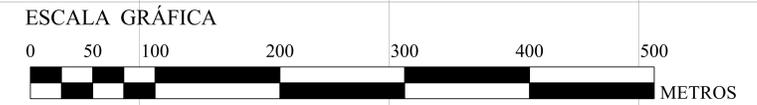
1029400  
1029200  
1029000  
1028800  
1028600  
1028400  
1028200



- CONVENCIONES**
-  BOSQUE
  -  CULTIVO
  -  EDIFICACION
  -  GUADUAL
  -  PASTIZALES
  -  VEGETACION\_ALTA
  -  VEGETACION\_BAJA
  -  VIA
  -  ZONA\_ANTROPICA

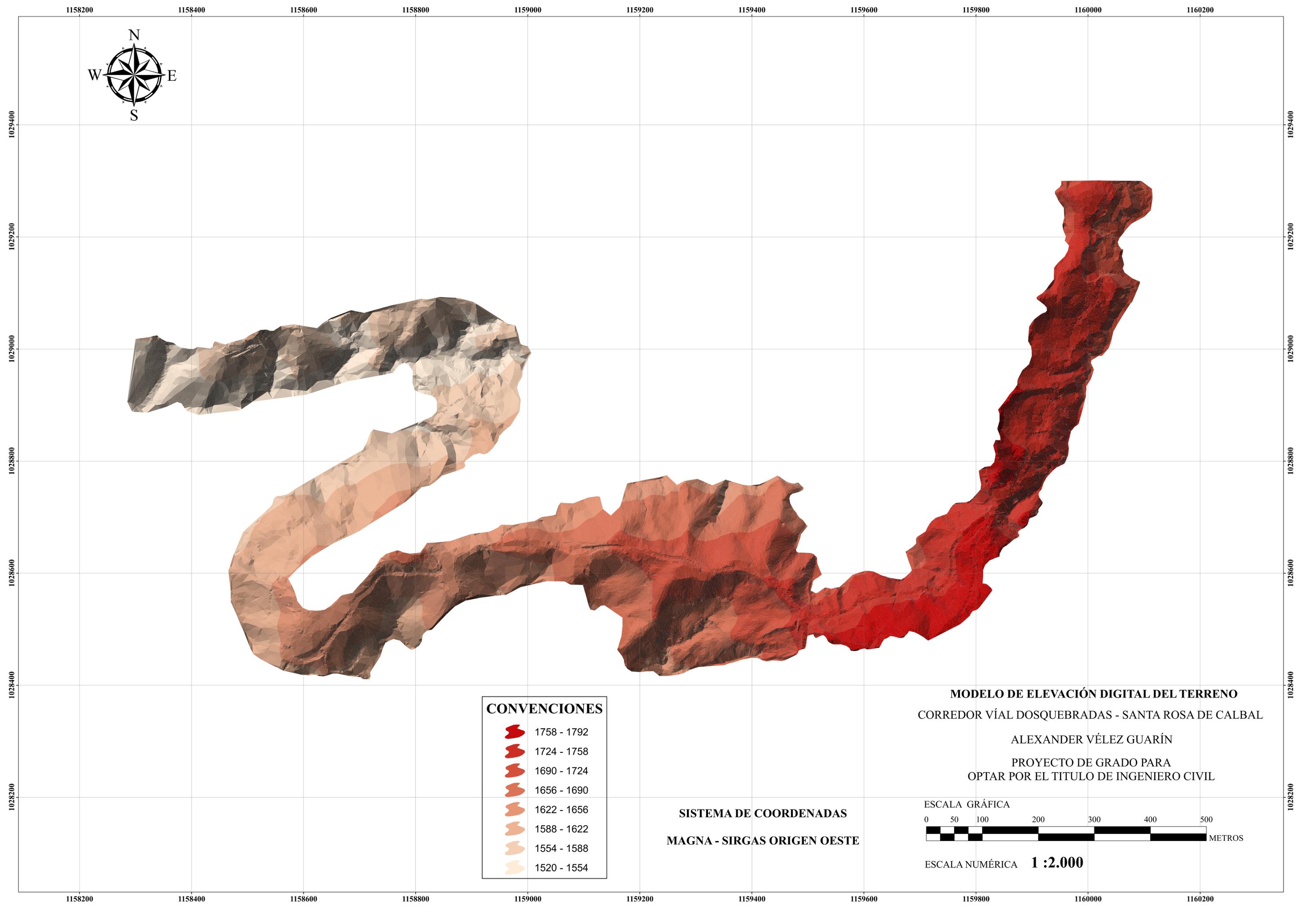
**SISTEMA DE COORDENADAS**  
**MAGNA - SIRGAS ORIGEN OESTE**

**MAPA DE USOS DEL SUELO**  
**CORREDOR VÍAL DOSQUEBRADAS - SANTA ROSA DE CALBAL**  
**ALEXANDER VÉLEZ GUARÍN**  
**PROYECTO DE GRADO PARA**  
**OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**



ESCALA NUMÉRICA **1 : 2.000**

1158200 1158400 1158600 1158800 1159000 1159200 1159400 1159600 1159800 1160000 1160200

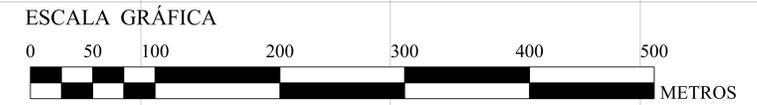


**CONVENCIONES**

	1758 - 1792
	1724 - 1758
	1690 - 1724
	1656 - 1690
	1622 - 1656
	1588 - 1622
	1554 - 1588
	1520 - 1554

**SISTEMA DE COORDENADAS**  
**MAGNA - SIRGAS ORIGEN OESTE**

**MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DEL TERRENO**  
**CORREDOR VÍAL DOSQUEBRADAS - SANTA ROSA DE CALBAL**  
 ALEXANDER VÉLEZ GUARÍN  
 PROYECTO DE GRADO PARA  
 OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

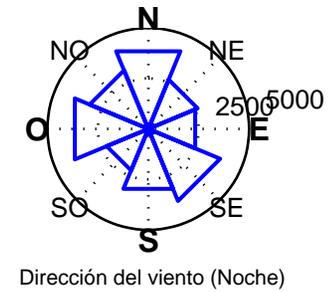
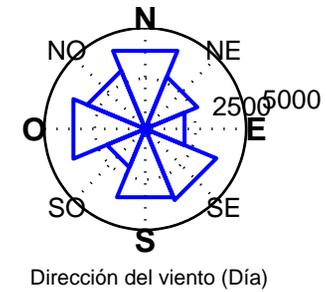
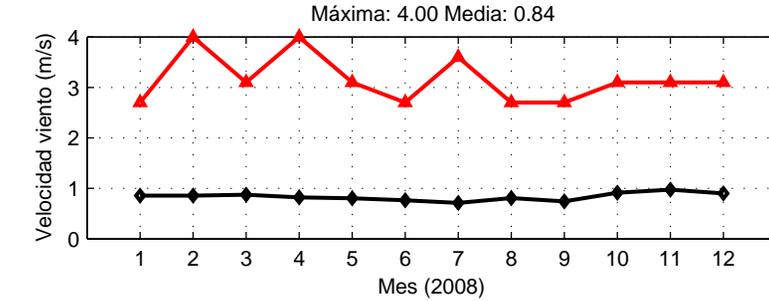
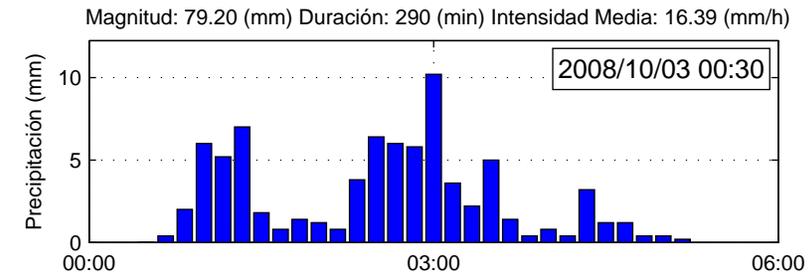
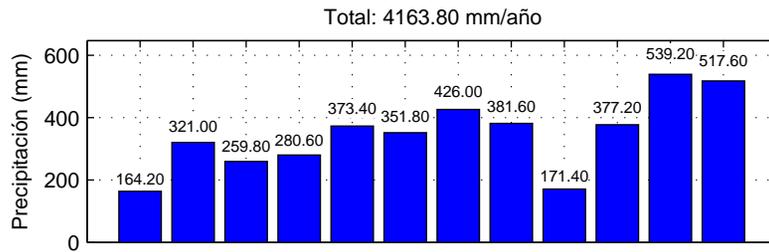
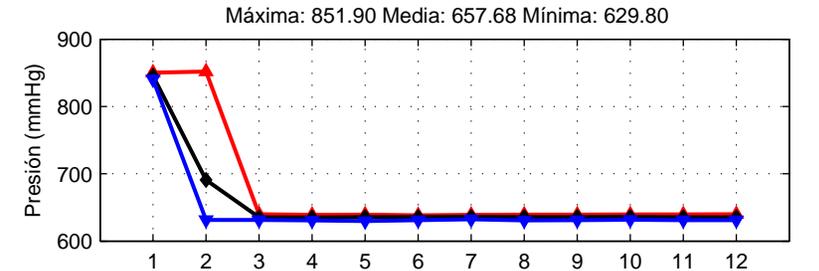
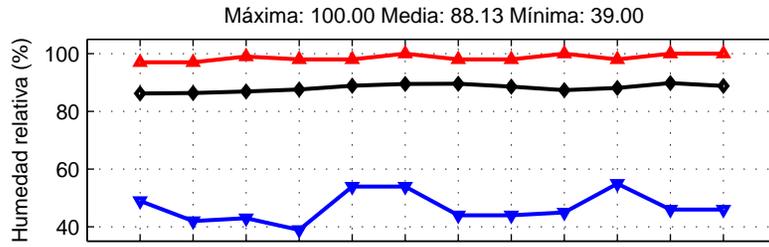
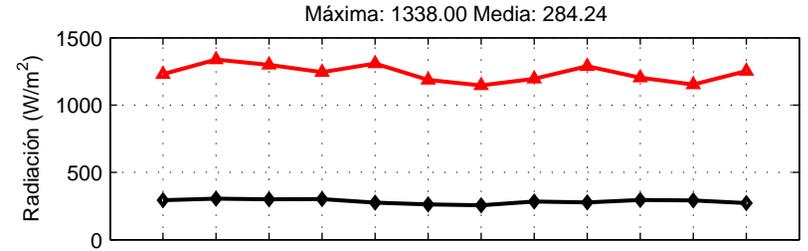
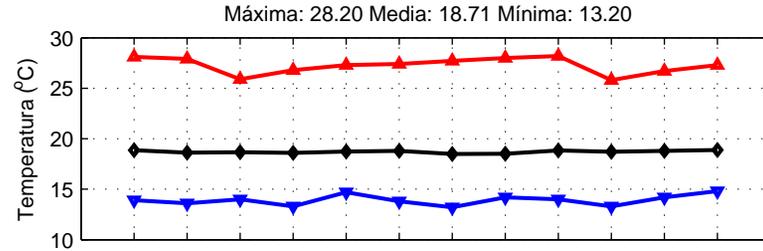


ESCALA NUMÉRICA **1 : 2.000**



**Estación: Acuseo**  
**Fecha: 2008**  
**Registros: 12 de 12**

Reporte climatológico anual  
 Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: <http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica>



**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2008**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
Enero	28.10	18.85	13.90	2.70	0.86	845.76	86.22	164.20	53.26	1229.00	293.76
Febrero	27.90	18.63	13.60	4.00	0.86	690.99	86.34	321.00	68.33	1338.00	304.72
Marzo	25.90	18.65	14.00	3.10	0.88	635.46	86.89	259.80	72.70	1298.00	300.11
Abril	26.80	18.59	13.30	4.00	0.82	634.93	87.60	280.60	70.54	1245.00	301.13
Mayo	27.30	18.72	14.70	3.10	0.80	635.66	88.88	373.40	65.58	1308.00	275.69
Junio	27.40	18.79	13.80	2.70	0.77	635.54	89.48	351.80	61.33	1187.00	261.74
Julio	27.70	18.50	13.20	3.60	0.71	636.06	89.59	426.00	61.08	1146.00	254.89
Agosto	28.00	18.51	14.20	2.70	0.81	635.69	88.54	381.60	69.13	1196.00	283.75
Septiembre	28.20	18.83	14.00	2.70	0.74	635.62	87.35	171.40	65.70	1289.00	277.48
Octubre	25.80	18.70	13.30	3.10	0.91	635.93	88.11	377.20	70.63	1203.00	295.60
Noviembre	26.70	18.81	14.20	3.10	0.98	635.35	89.77	539.20	66.27	1153.00	290.94
Diciembre	27.30	18.89	14.80	3.10	0.90	635.16	88.82	517.60	64.41	1253.00	271.09
TOTAL								4163.80	788.96		
PROM	27.26	18.71	13.92	3.16	0.84	657.68	88.13			1237.08	284.24

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2008**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				CLL	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
Enero	3	14	4	27	22	6	11	9	48	164.20	30.00	4.03	200.00	17.20	20.64	58.80
Febrero	8	9	15	35	26	6	18	17	67	321.00	51.83	7.45	380.00	42.80	18.93	68.40
Marzo	6	14	26	53	32	10	26	29	99	259.80	56.00	7.53	210.00	43.80	20.22	67.20
Abril	7	14	13	54	28	9	38	13	88	280.60	50.50	7.01	300.00	57.80	18.27	93.60
Mayo	3	23	22	72	40	22	26	32	120	373.40	96.83	13.02	350.00	28.80	11.40	38.40
Junio	7	16	17	53	21	14	39	19	93	351.80	59.33	8.24	260.00	49.80	20.88	76.80
Julio	12	17	38	59	43	18	46	18	126	426.00	74.00	9.95	240.00	43.00	28.67	82.80
Agosto	8	16	31	54	37	16	38	18	109	381.60	69.83	9.39	230.00	58.40	25.03	79.20
Septiembre	2	15	17	47	14	18	39	10	81	171.40	39.00	5.42	340.00	38.00	11.40	44.40
Octubre	6	17	18	51	30	14	33	15	92	377.20	64.50	8.67	290.00	79.20	15.84	61.20
Noviembre	10	27	25	60	46	20	32	24	122	539.20	109.50	15.21	260.00	43.60	20.55	82.80
Diciembre	15	10	28	64	55	17	21	24	117	517.60	74.17	9.97	260.00	51.20	20.40	61.20
MAX	15	27	38	72	55	22	46	32	126	539.20	109.50	15.21	380.00	79.20	28.67	93.60
TOTAL	87	192	254	629	394	170	367	228	1162	4163.80	775.50	269.27				

Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

F	Fuerte	7.6 (mm/h) $\leq$ intensidad
M	Moderada	2.5 (mm/h) < intensidad $\leq$ 7.6 (mm/h)
L	Ligera	1.0 (mm/h) < intensidad $\leq$ 2.5 (mm/h)
LL	Llovizna	1.0 (mm/h) $\geq$ intensidad

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

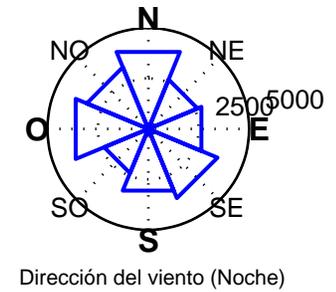
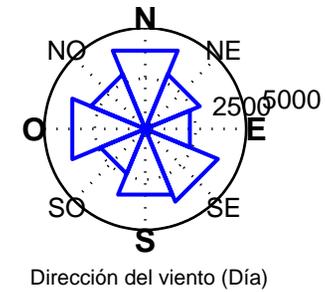
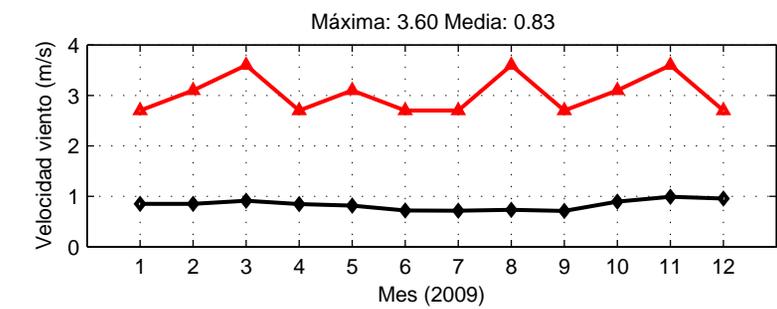
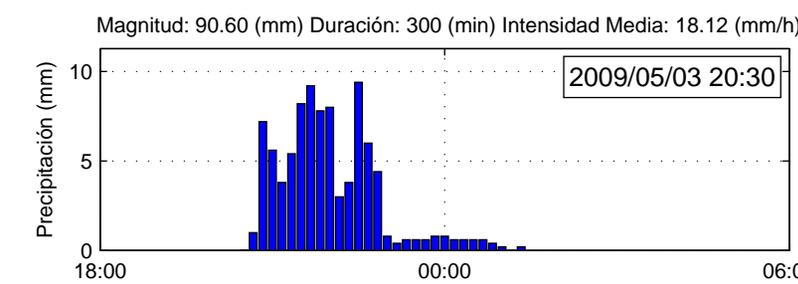
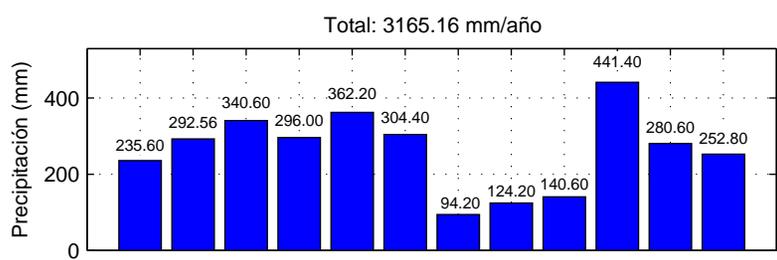
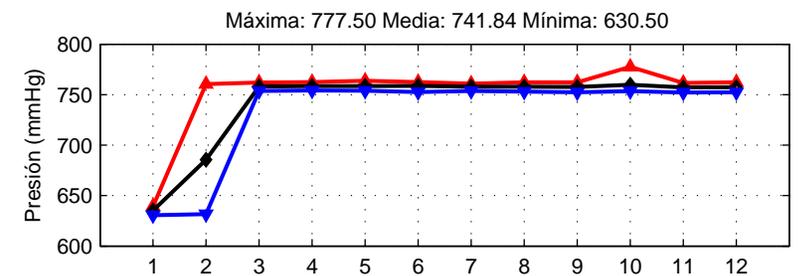
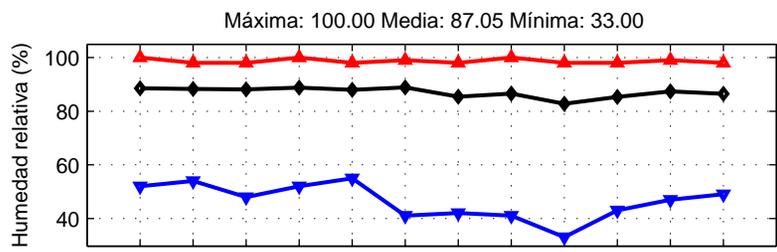
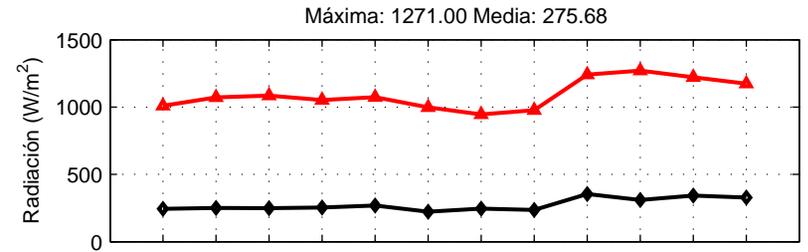
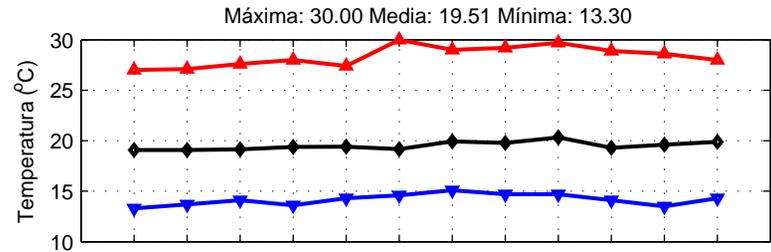
CLL	Cantidad de Lluvias
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades



**Estación: Acuseo**  
**Fecha: 2009**  
**Registros: 12 de 12**

Reporte climatológico anual  
 Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: <http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica>



**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2009**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
Enero	27.00	19.07	13.30	2.70	0.85	635.12	88.51	235.60	57.67	1010.00	243.30
Febrero	27.10	19.07	13.70	3.10	0.85	685.44	88.29	292.56	53.84	1072.00	250.92
Marzo	27.60	19.15	14.10	3.60	0.91	758.01	88.12	340.60	58.17	1085.00	248.47
Abril	28.00	19.39	13.60	2.70	0.85	758.53	88.75	296.00	57.80	1052.00	254.42
Mayo	27.40	19.41	14.30	3.10	0.82	758.59	87.99	362.20	63.80	1074.00	269.35
Junio	30.00	19.16	14.60	2.70	0.72	758.71	88.90	304.40	51.86	998.00	223.40
Julio	29.00	19.94	15.10	2.70	0.72	757.87	85.40	94.20	58.80	946.00	246.07
Agosto	29.20	19.77	14.70	3.60	0.73	757.84	86.54	124.20	57.52	977.00	236.57
Septiembre	29.70	20.33	14.70	2.70	0.71	757.54	82.81	140.60	83.91	1242.00	354.62
Octubre	28.90	19.31	14.10	3.10	0.89	759.76	85.35	441.40	74.22	1271.00	310.15
Noviembre	28.60	19.61	13.50	3.60	0.99	757.25	87.39	280.60	76.36	1221.00	342.83
Diciembre	28.00	19.89	14.30	2.70	0.96	757.43	86.50	252.80	75.60	1174.00	328.01
TOTAL								3165.16	769.55		
PROM	28.38	19.51	14.17	3.03	0.83	741.84	87.05			1093.50	275.68

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2009**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				CLL	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
Enero	4	9	20	48	28	9	24	19	81	235.60	46.83	6.29	350.00	82.40	26.02	74.40
Febrero	10	11	19	37	26	13	29	9	77	292.56	42.67	6.35	180.00	36.33	19.81	65.52
Marzo	12	14	17	37	28	9	26	17	80	340.60	54.00	7.26	260.00	39.40	20.40	94.80
Abril	9	12	15	42	21	11	33	12	78	296.00	52.00	7.22	200.00	40.60	20.30	60.00
Mayo	9	14	12	38	19	11	27	15	73	362.20	54.33	7.30	340.00	86.60	25.31	76.80
Junio	7	14	17	46	20	11	34	19	84	304.40	59.00	8.19	270.00	40.60	14.07	39.60
Julio	2	9	4	26	8	8	17	7	41	94.20	19.83	2.67	280.00	21.00	8.85	28.80
Agosto	1	13	13	52	27	9	33	10	79	124.20	39.00	5.24	490.00	28.00	7.71	20.40
Septiembre	5	3	9	16	11	2	11	8	33	140.60	17.33	2.41	170.00	36.80	18.40	81.60
Octubre	11	10	8	33	14	10	22	15	62	441.40	52.67	7.08	290.00	63.60	31.80	98.40
Noviembre	7	18	12	42	24	6	26	23	79	280.60	44.67	6.20	150.00	36.40	22.20	62.40
Diciembre	10	10	10	38	27	9	21	10	68	252.80	38.00	5.11	270.00	31.60	27.09	91.20
MAX	12	18	20	52	28	13	34	23	84	441.40	59.00	8.19	490.00	86.60	31.80	98.40
TOTAL	87	137	156	455	253	108	303	164	835	3165.16	520.33	180.67				

Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

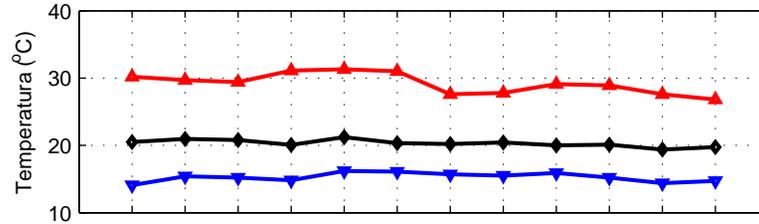
F	Fuerte	$7.6 \text{ (mm/h)} \leq \text{intensidad}$
M	Moderada	$2.5 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 7.6 \text{ (mm/h)}$
L	Ligera	$1.0 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 2.5 \text{ (mm/h)}$
LL	Llovizna	$1.0 \text{ (mm/h)} \geq \text{intensidad}$

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

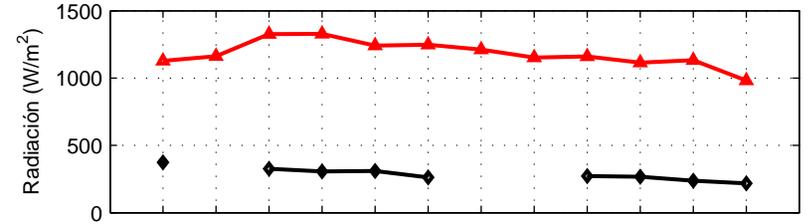
CLL	Cantidad de Lluvias
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades

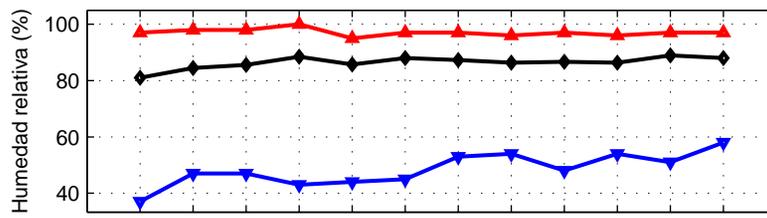
Máxima: 31.30 Media: 20.32 Mínima: 14.10



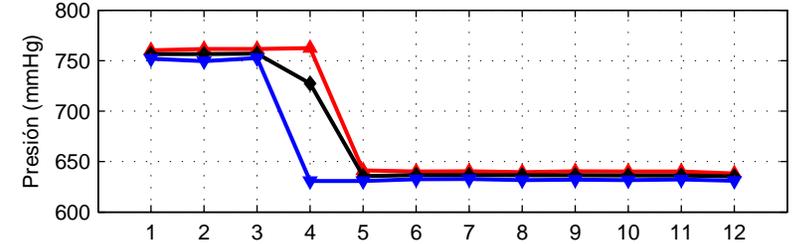
Máxima: 1328.00 Media: 285.56



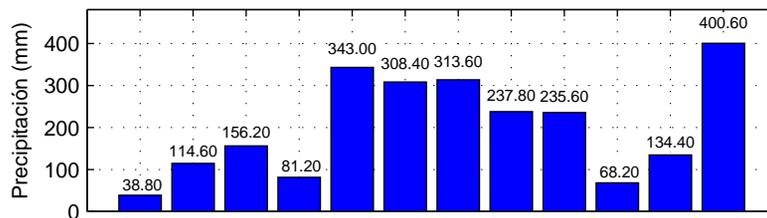
Máxima: 100.00 Media: 86.39 Mínima: 37.00



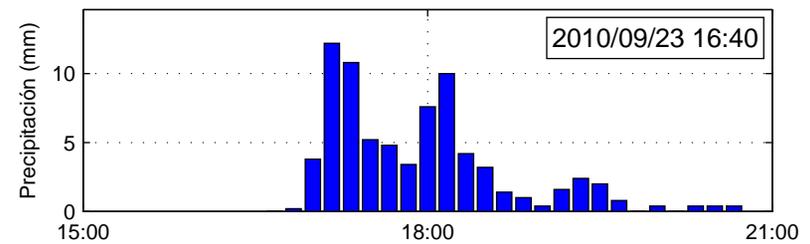
Máxima: 762.50 Media: 673.92 Mínima: 630.80



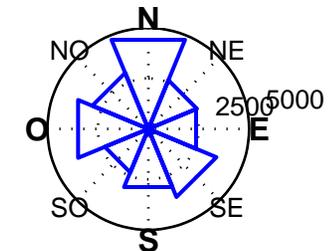
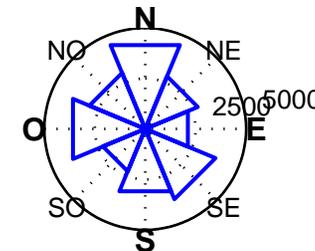
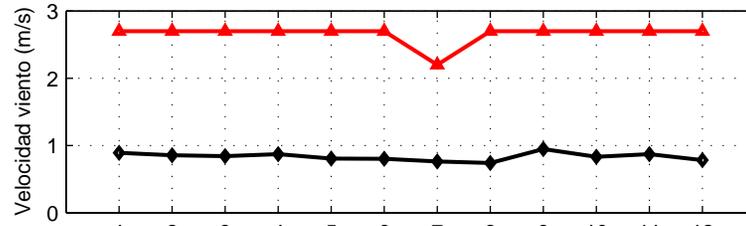
Total: 2432.40 mm/año



Magnitud: 76.60 (mm) Duración: 250 (min) Intensidad Media: 18.38 (mm/h)



Máxima: 2.70 Media: 0.83



Mes (2010)



**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2010**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
Enero	30.20	20.49	14.10	2.70	0.89	756.53	81.04	38.80	90.21	1128.00	374.51
Febrero	29.70	20.97	15.40	2.70	0.86	756.43	84.49	114.60	58.23	1162.00	
Marzo	29.40	20.79	15.20	2.70	0.84	756.97	85.60	156.20	77.85	1327.00	325.84
Abril	31.10	20.08	14.80	2.70	0.87	727.29	88.44	81.20	70.05	1328.00	305.75
Mayo	31.30	21.23	16.20	2.70	0.81	635.57	85.69	343.00	78.07	1242.00	309.24
Junio	31.00	20.34	16.10	2.70	0.80	636.78	87.98	308.40	62.60	1248.00	261.64
Julio	27.60	20.22	15.70	2.20	0.76	636.79	87.25	313.60	62.14	1212.00	
Agosto	27.80	20.42	15.50	2.70	0.74	636.37	86.32	237.80	62.52	1153.00	
Septiembre	29.10	20.02	15.90	2.70	0.95	636.51	86.65	235.60	64.45	1161.00	271.27
Octubre	28.90	20.09	15.20	2.70	0.83	636.29	86.35	68.20	65.29	1115.00	267.34
Noviembre	27.60	19.38	14.40	2.70	0.87	636.22	88.96	134.40	53.75	1133.00	237.40
Diciembre	26.80	19.76	14.70	2.70	0.78	635.35	87.96	400.60	48.51	982.00	217.00
TOTAL								2432.40	793.67		
PROM	29.21	20.32	15.27	2.66	0.83	673.92	86.39			1182.58	285.56

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2010**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				CLL	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
Enero	2	1	2	9	5	5	2	2	14	38.80	4.50	0.60	70.00	17.60	16.56	64.80
Febrero	2	9	6	18	10	6	10	9	35	114.60	21.33	3.17	150.00	39.80	26.53	112.80
Marzo	3	8	9	37	17	13	16	11	57	156.20	27.17	3.65	210.00	55.60	15.20	52.80
Abril	1	5	13	21	15	10	9	6	40	81.20	25.00	3.47	190.00	16.40	8.20	56.40
Mayo	11	10	21	47	30	16	29	14	89	343.00	57.67	7.75	210.00	41.40	24.75	75.60
Junio	7	20	25	65	30	22	43	21	117	308.40	70.50	9.79	390.00	24.20	18.00	54.00
Julio	6	14	26	65	27	18	44	22	111	313.60	70.00	9.41	290.00	43.20	14.40	56.40
Agosto	5	8	22	46	15	14	34	18	81	237.80	52.50	7.06	380.00	36.80	27.60	92.40
Septiembre	2	14	24	48	22	14	32	18	88	235.60	54.33	7.55	250.00	76.60	17.68	73.20
Octubre	2	1	2	50	15	8	15	16	55	68.20	27.00	3.63	480.00	19.80	10.80	34.80
Noviembre	2	2	6	213	50	51	65	55	223	134.40	89.50	12.43	1440.00	26.20	13.20	32.40
Diciembre	7	12	17	53	30	14	26	18	89	400.60	70.17	9.43	430.00	72.00	15.00	78.00
MAX	11	20	26	213	50	51	65	55	223	400.60	89.50	12.43	1440.00	76.60	27.60	112.80
TOTAL	50	104	173	672	266	191	325	210	999	2432.40	569.67	197.80				

Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

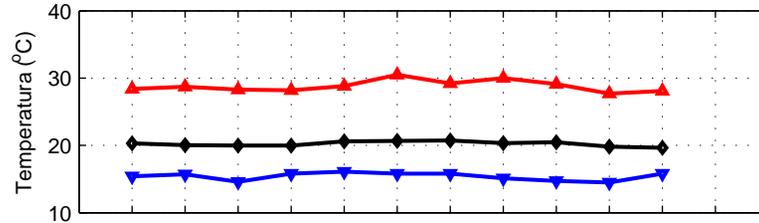
F	Fuerte	$7.6 \text{ (mm/h)} \leq \text{intensidad}$
M	Moderada	$2.5 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 7.6 \text{ (mm/h)}$
L	Ligera	$1.0 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 2.5 \text{ (mm/h)}$
LL	Llovizna	$1.0 \text{ (mm/h)} \geq \text{intensidad}$

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

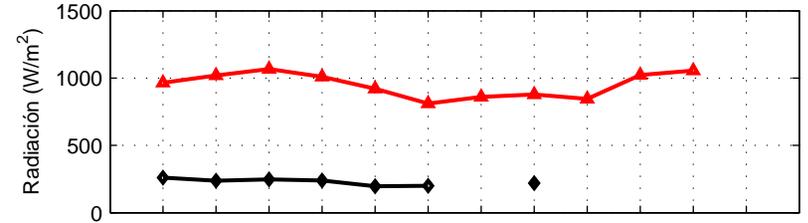
CLL	Cantidad de Lluvias
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades

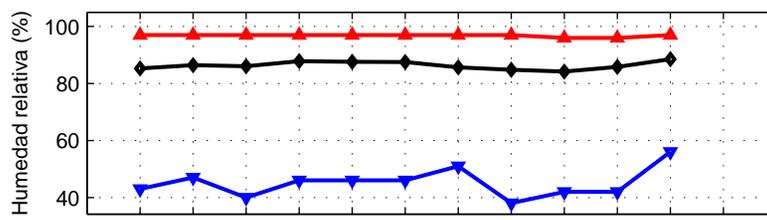
Máxima: 30.50 Media: 20.23 Mínima: 14.50



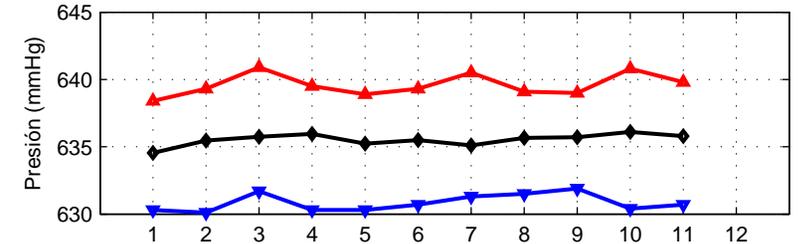
Máxima: 1067.00 Media: 228.43



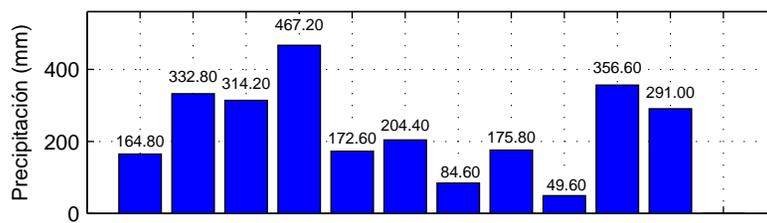
Máxima: 97.00 Media: 86.32 Mínima: 38.00



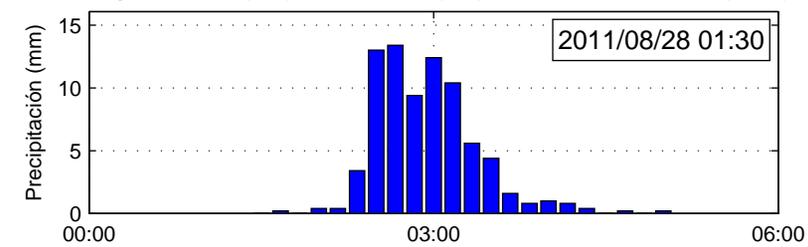
Máxima: 640.90 Media: 635.53 Mínima: 630.10



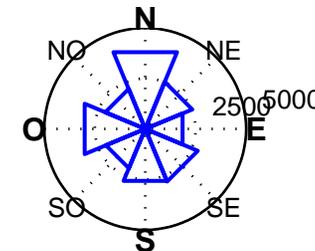
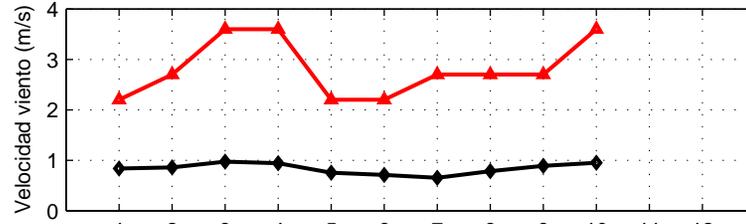
Total: 2613.60 mm/año



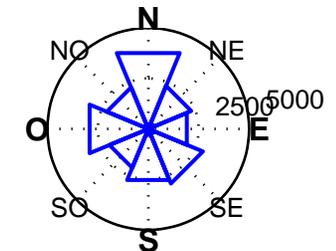
Magnitud: 78.00 (mm) Duración: 220 (min) Intensidad Media: 21.27 (mm/h)



Máxima: 3.60 Media: 0.84



Dirección del viento (Día)



Dirección del viento (Noche)



**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2011**  
**Registros: 11 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
Enero	28.40	20.30	15.40	2.20	0.84	634.55	85.30	164.80	62.84	966.00	259.61
Febrero	28.70	20.04	15.70	2.70	0.86	635.46	86.41	332.80	44.15	1019.00	237.51
Marzo	28.30	19.96	14.60	3.60	0.98	635.73	86.03	314.20	61.43	1067.00	247.59
Abril	28.20	19.98	15.80	3.60	0.94	635.96	87.81	467.20	57.50	1009.00	238.57
Mayo	28.80	20.60	16.10	2.20	0.76	635.23	87.59	172.60	49.41	921.00	196.23
Junio	30.50	20.65	15.80	2.20	0.71	635.49	87.54	204.40	48.00	811.00	199.69
Julio	29.20	20.72	15.80	2.70	0.65	635.11	85.62	84.60	47.37	860.00	
Agosto	30.00	20.34	15.10	2.70	0.79	635.66	84.76	175.80	55.91	878.00	219.79
Septiembre	29.10	20.46	14.70	2.70	0.89	635.71	84.14	49.60	25.94	845.00	
Octubre	27.70	19.81	14.50	3.60	0.95	636.10	85.78	356.60	53.52	1023.00	
Noviembre	28.10	19.65	15.80			635.78	88.55	291.00	21.25	1056.00	
Diciembre											
TOTAL								2613.60	527.32		
PROM	28.82	20.23	15.39	2.82	0.84	635.53	86.32			950.45	228.43

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2011**  
**Registros: 11 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				CLL	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
Enero	4	13	11	31	23	8	18	10	59	164.80	33.17	4.46	260.00	37.40	11.22	33.60
Febrero	10	10	14	37	27	12	16	15	71	332.80	52.00	7.74	250.00	56.40	17.63	62.40
Marzo	5	18	18	55	24	12	28	32	96	314.20	67.33	9.05	330.00	33.80	13.80	54.00
Abril	11	17	28	62	42	14	31	30	118	467.20	88.17	12.25	290.00	44.00	18.87	68.40
Mayo	6	10	14	62	15	18	43	14	92	172.60	41.83	5.62	150.00	17.60	13.20	37.20
Junio	3	13	20	54	25	17	27	21	90	204.40	48.17	6.69	370.00	54.00	8.53	49.20
Julio	2	5	12	27	17	8	17	4	46	84.60	26.33	3.54	280.00	18.20	9.93	45.60
Agosto	5	10	9	47	12	18	29	11	71	175.80	27.33	3.67	220.00	78.00	20.35	80.40
Septiembre	2	4	6	15	6	6	12	3	27	49.60	10.50	1.46	120.00	11.00	6.90	18.00
Octubre	6	24	19	49	40	13	29	15	98	356.60	71.33	9.59	340.00	38.00	15.80	45.60
Noviembre	7	17	11	44	25	6	25	22	79	291.00	51.17	7.11	260.00	46.60	23.30	73.20
Diciembre																
MAX	11	24	28	62	42	18	43	32	118	467.20	88.17	12.25	370.00	78.00	23.30	80.40
TOTAL	61	141	162	483	256	132	275	177	847	2613.60	517.33	179.63				

Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

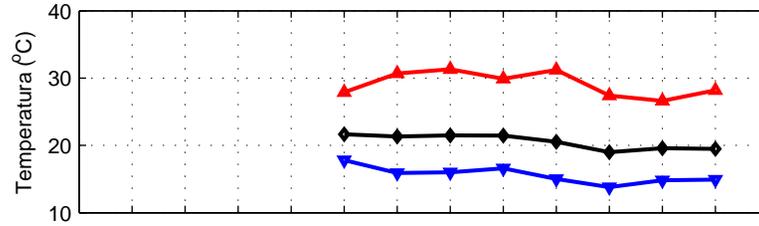
F	Fuerte	$7.6 \text{ (mm/h)} \leq \text{intensidad}$
M	Moderada	$2.5 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 7.6 \text{ (mm/h)}$
L	Ligera	$1.0 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 2.5 \text{ (mm/h)}$
LL	Llovizna	$1.0 \text{ (mm/h)} \geq \text{intensidad}$

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

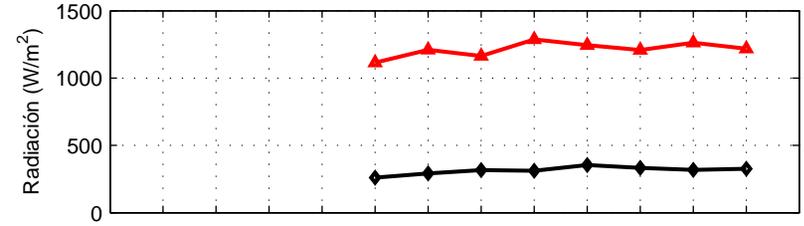
CLL	Cantidad de Lluvias
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades

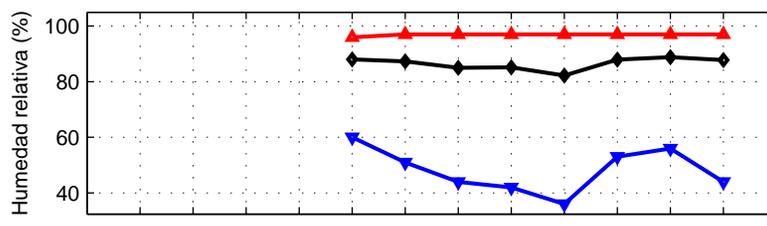
Máxima: 31.30 Media: 20.56 Mínima: 13.80



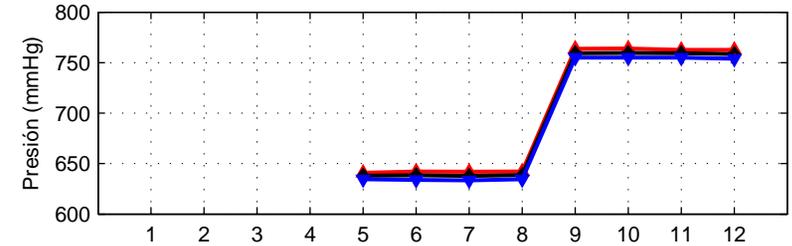
Máxima: 1288.00 Media: 313.41



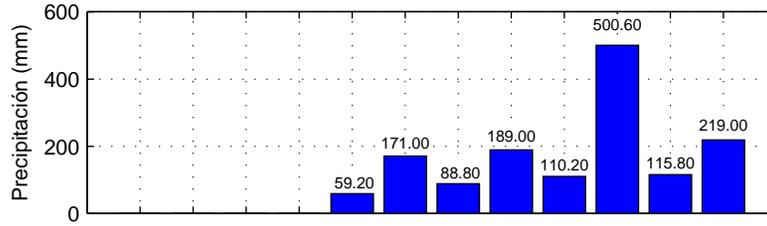
Máxima: 97.00 Media: 86.53 Mínima: 36.00



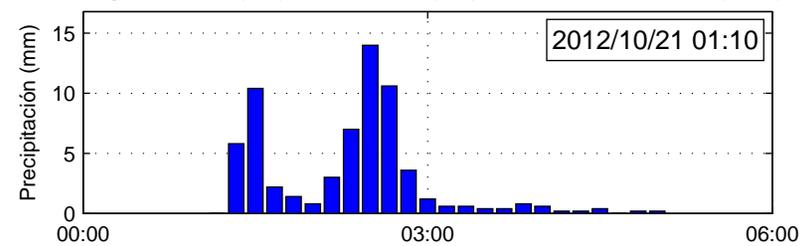
Máxima: 763.90 Media: 698.70 Mínima: 633.30



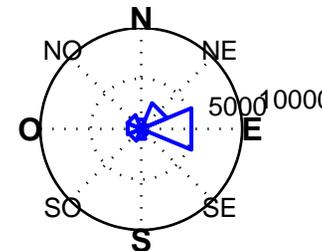
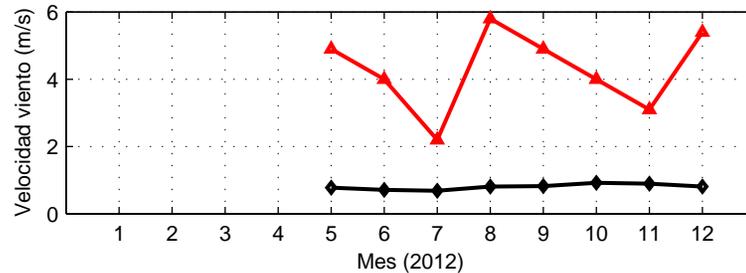
Total: 1453.60 mm/año



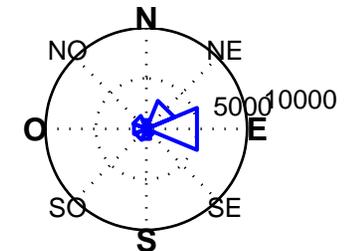
Magnitud: 64.60 (mm) Duración: 240 (min) Intensidad Media: 16.15 (mm/h)



Máxima: 5.80 Media: 0.81



Dirección del viento (Día)



Dirección del viento (Noche)



**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2012**  
**Registros: 8 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
Enero											
Febrero											
Marzo											
Abril											
Mayo	27.90	21.63	17.80	4.90	0.78	637.99	88.06	59.20	21.58	1115.00	260.53
Junio	30.70	21.32	15.90	4.00	0.71	638.52	87.27	171.00	71.88	1210.00	290.84
Julio	31.30	21.47	16.00	2.20	0.68	637.85	84.99	88.80	80.63	1164.00	315.76
Agosto	29.90	21.45	16.60	5.80	0.81	638.59	85.19	189.00	80.60	1288.00	310.99
Septiembre	31.20	20.54	15.00	4.90	0.82	759.28	82.18	110.20	103.19	1245.00	353.40
Octubre	27.40	18.99	13.80	4.00	0.92	759.52	87.95	500.60	76.65	1208.00	333.07
Noviembre	26.60	19.58	14.80	3.10	0.90	759.38	88.80	115.80	40.91	1262.00	317.36
Diciembre	28.20	19.47	14.90	5.40	0.81	758.50	87.77	219.00	74.40	1219.00	325.33
TOTAL								1453.60	549.84		
PROM	29.15	20.56	15.60	4.29	0.81	698.70	86.53			1213.88	313.41

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2012**  
**Registros: 8 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				CLL	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
Enero																
Febrero																
Marzo																
Abril																
Mayo	2	4	1	7	3	2	7	1	14	59.20	7.50	1.01	140.00	25.80	19.44	56.40
Junio	5	6	12	45	13	12	33	10	68	171.00	27.17	3.77	150.00	44.20	20.10	94.80
Julio	3	7	7	27	9	11	17	6	44	88.80	20.00	2.69	130.00	19.80	16.97	48.00
Agosto	7	8	22	31	26	9	21	12	68	189.00	35.67	4.79	260.00	39.40	14.78	44.40
Septiembre	4	4	6	14	4	6	16	1	28	110.20	15.00	2.08	160.00	18.20	21.84	57.60
Octubre	11	15	17	51	32	14	29	18	94	500.60	68.67	9.23	400.00	64.60	22.97	84.00
Noviembre	3	8	10	35	21	6	14	15	56	115.80	30.50	4.24	170.00	20.20	11.02	36.00
Diciembre	6	12	9	40	24	14	15	13	67	219.00	39.33	5.29	330.00	36.20	17.40	90.00
MAX	11	15	22	51	32	14	33	18	94	500.60	68.67	9.23	400.00	64.60	22.97	94.80
TOTAL	41	64	84	250	132	74	152	76	439	1453.60	243.83	84.66				

Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

F	Fuerte	7.6 (mm/h) $\leq$ intensidad
M	Moderada	2.5 (mm/h) < intensidad $\leq$ 7.6 (mm/h)
L	Ligera	1.0 (mm/h) < intensidad $\leq$ 2.5 (mm/h)
LL	Llovizna	1.0 (mm/h) $\geq$ intensidad

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

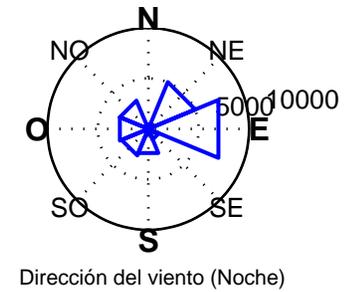
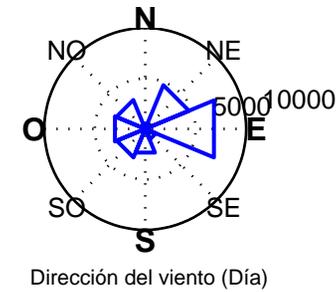
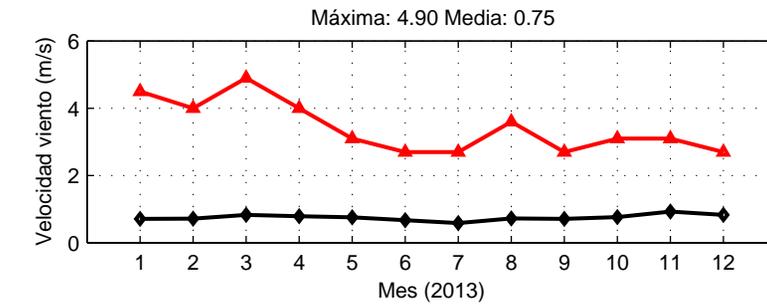
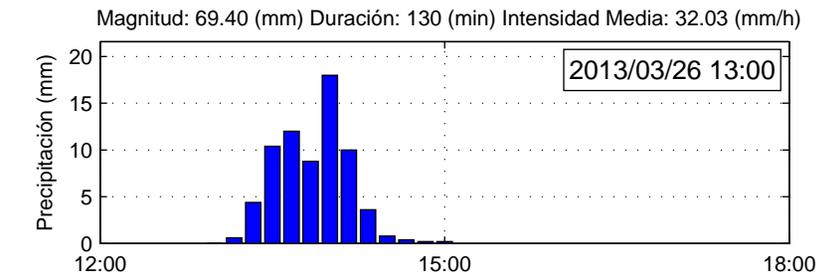
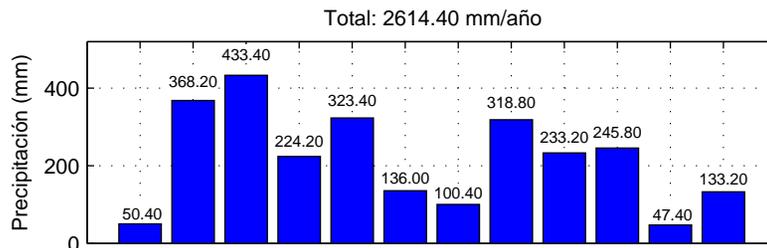
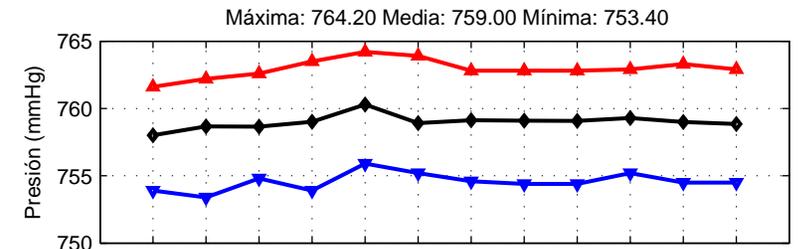
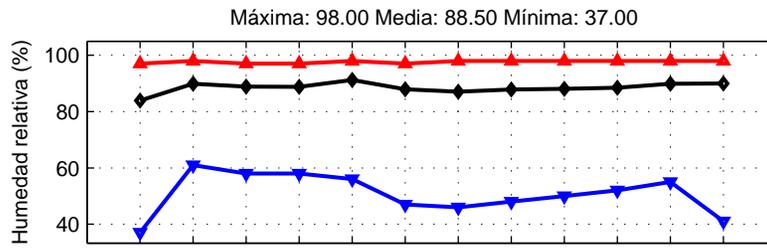
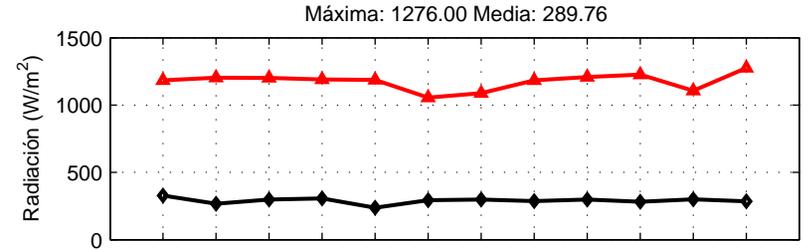
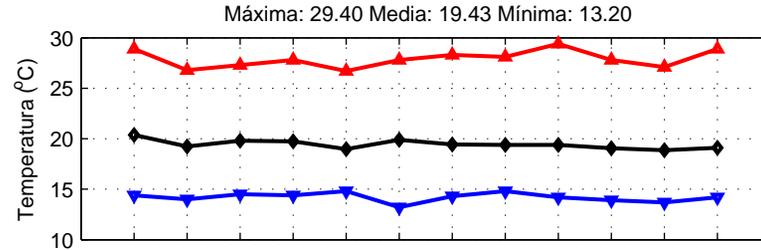
CLL	Cantidad de Lluvias
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades



**Estación: Acuseo**  
**Fecha: 2013**  
**Registros: 12 de 12**

Reporte climatológico anual  
 Red Hidroclimática del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: <http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica>



**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2013**  
**Registros: 12 de 12**

Reporte climatológico anual  
 Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
Enero	28.90	20.37	14.40	4.50	0.71	758.01	83.93	50.40	78.04	1183.00	327.78
Febrero	26.80	19.23	14.00	4.00	0.72	758.67	89.91	368.20	53.60	1204.00	266.85
Marzo	27.30	19.80	14.50	4.90	0.83	758.65	88.85	433.40	69.11	1202.00	297.62
Abril	27.80	19.74	14.40	4.00	0.80	759.01	88.80	224.20	68.16	1190.00	305.87
Mayo	26.70	18.98	14.80	3.10	0.76	760.29	91.25	323.40	54.02	1187.00	237.09
Junio	27.80	19.88	13.20	2.70	0.67	758.91	87.94	136.00	65.30	1056.00	292.99
Julio	28.30	19.42	14.30	2.70	0.59	759.13	87.09	100.40	55.35	1089.00	297.40
Agosto	28.10	19.39	14.80	3.60	0.73	759.10	87.87	318.80	67.09	1184.00	286.97
Septiembre	29.40	19.38	14.20	2.70	0.72	759.08	88.05	233.20	67.20	1209.00	298.49
Octubre	27.80	19.05	13.90	3.10	0.77	759.29	88.46	245.80	64.60	1227.00	281.89
Noviembre	27.10	18.86	13.70	3.10	0.93	758.99	89.86	47.40	65.07	1106.00	299.17
Diciembre	28.90	19.10	14.20	2.70	0.83	758.85	89.96	133.20	62.79	1276.00	285.06
TOTAL								2614.40	770.33		
PROM	27.91	19.43	14.20	3.43	0.75	759.00	88.50			1176.08	289.76

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2013**  
**Registros: 12 de 12**

Reporte climatológico anual  
 Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ing Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contáctenos: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				CLL	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
Enero	2	3	4	17	7	5	9	5	26	50.40	11.33	1.52	110.00	15.40	7.70	32.40
Febrero	10	17	14	54	37	19	24	15	95	368.20	66.00	9.82	410.00	42.40	22.80	86.40
Marzo	8	15	12	45	32	10	28	9	80	433.40	55.17	7.41	370.00	69.40	29.74	108.00
Abril	4	18	15	37	24	4	27	19	74	224.20	43.17	6.00	230.00	32.00	15.71	61.20
Mayo	7	19	26	78	46	17	37	30	130	323.40	70.83	9.52	220.00	34.40	17.49	50.40
Junio	4	11	10	28	28	5	16	4	53	136.00	31.00	4.31	270.00	13.60	15.60	36.00
Julio	5	4	3	24	10	7	12	7	36	100.40	14.50	1.95	110.00	34.60	17.30	60.00
Agosto	9	10	15	32	18	17	19	12	66	318.80	39.67	5.33	200.00	44.80	33.60	106.80
Septiembre	9	11	17	42	23	13	24	18	79	233.20	45.83	6.37	260.00	29.80	15.60	67.20
Octubre	5	15	15	42	23	11	28	14	77	245.80	48.50	6.52	240.00	29.20	14.40	32.40
Noviembre	0	4	1	24	7	7	6	9	29	47.40	15.17	2.11	210.00	18.00	6.13	22.80
Diciembre	1	8	7	13	11	4	9	5	29	133.20	27.50	3.70	280.00	27.20	9.60	51.60
MAX	10	19	26	78	46	19	37	30	130	433.40	70.83	9.82	410.00	69.40	33.60	108.00
TOTAL	64	135	139	436	266	119	239	147	774	2614.40	468.67	162.73				

Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

F	Fuerte	7.6 (mm/h) $\leq$ intensidad
M	Moderada	2.5 (mm/h) < intensidad $\leq$ 7.6 (mm/h)
L	Ligera	1.0 (mm/h) < intensidad $\leq$ 2.5 (mm/h)
LL	Llovizna	1.0 (mm/h) $\geq$ intensidad

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

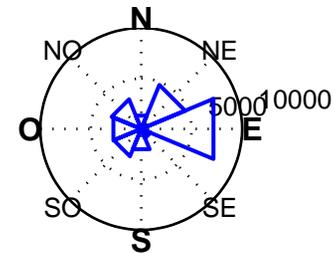
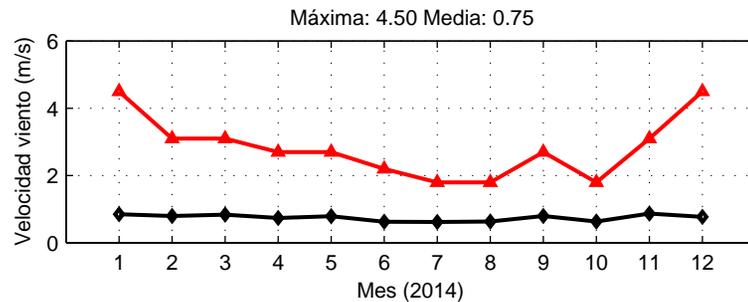
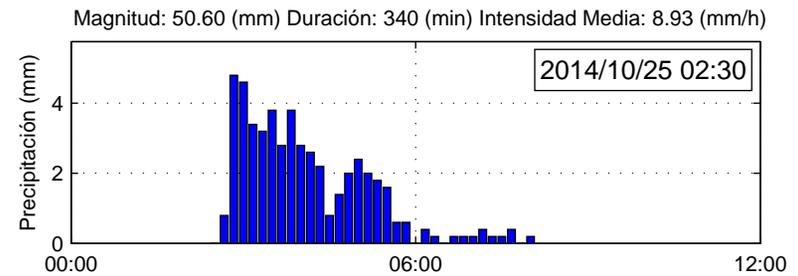
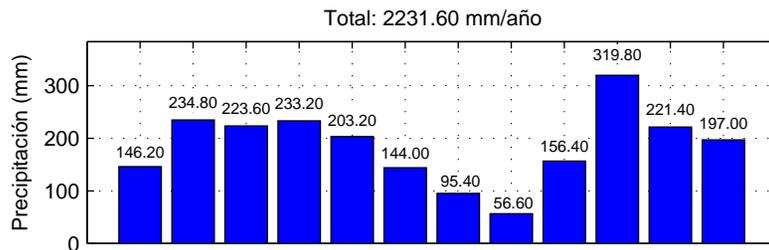
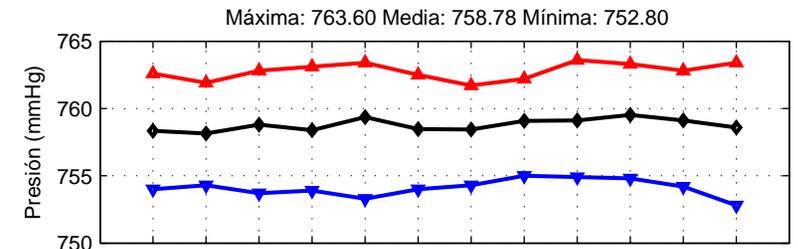
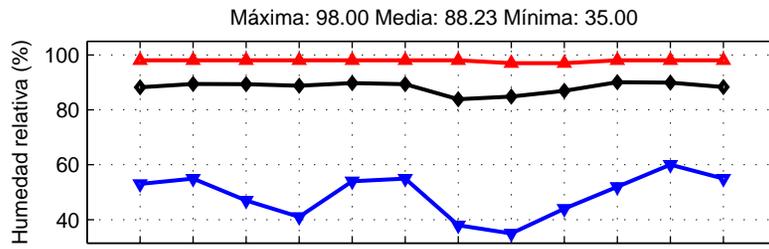
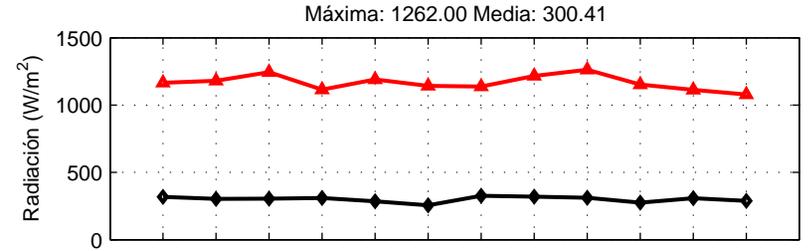
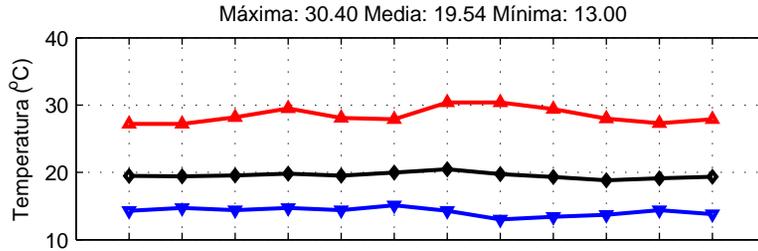
CLL	Cantidad de Lluvias
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades

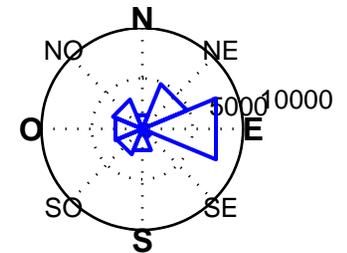


**Estación: Acuseo**  
**Fecha: 2014**  
**Registros: 12 de 12**

Reporte climatológico anual  
 Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: <http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica> – [redh.info@gmail.com](mailto:redh.info@gmail.com)



Dirección del viento (Día)



Dirección del viento (Noche)



**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2014**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
Enero	27.20	19.49	14.30	4.50	0.85	758.33	88.19	146.20	72.89	1166.00	317.90
Febrero	27.20	19.40	14.70	3.10	0.80	758.14	89.43	234.80	61.02	1181.00	303.75
Marzo	28.20	19.53	14.40	3.10	0.84	758.81	89.31	223.60	68.99	1244.00	304.40
Abril	29.50	19.79	14.70	2.70	0.74	758.39	88.78	233.20	68.92	1114.00	309.71
Mayo	28.10	19.53	14.40	2.70	0.79	759.36	89.76	203.20	64.58	1191.00	284.67
Junio	27.90	19.99	15.10	2.20	0.63	758.47	89.34	144.00	58.52	1143.00	256.15
Julio	30.40	20.47	14.30	1.80	0.62	758.44	83.85	95.40	80.92	1137.00	325.95
Agosto	30.40	19.74	13.00	1.80	0.63	759.08	84.87	56.60	76.35	1216.00	318.82
Septiembre	29.40	19.30	13.40	2.70	0.80	759.11	86.96	156.40	69.82	1262.00	311.62
Octubre	28.00	18.81	13.70	1.80	0.63	759.53	90.03	319.80	60.64	1153.00	275.70
Noviembre	27.30	19.12	14.40	3.10	0.87	759.11	89.94	221.40	30.73	1113.00	308.06
Diciembre	27.90	19.34	13.80	4.50	0.77	758.59	88.27	197.00	65.22	1078.00	288.18
TOTAL								2231.60	778.60		
PROM	28.46	19.54	14.18	2.83	0.75	758.78	88.23			1166.50	300.41

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: Acuaseo**  
**Fecha: 2014**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Victor Manuel Bermúdez Marín. Operador REDH  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				No. E	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
Enero	4	8	9	19	14	1	17	7	40	146.20	25.17	3.38	360.00	29.60	18.34	79.20
Febrero	9	9	18	36	24	9	23	16	72	234.80	34.00	5.06	250.00	46.00	18.60	58.80
Marzo	4	11	17	49	24	15	23	17	81	223.60	47.50	6.38	280.00	31.40	23.55	97.20
Abril	8	10	13	45	24	13	26	13	76	233.20	48.83	6.78	300.00	19.40	19.40	92.40
Mayo	4	15	16	60	27	14	31	23	95	203.20	53.33	7.17	230.00	33.80	12.60	57.60
Junio	3	11	12	43	22	17	23	7	69	144.00	33.33	4.63	210.00	23.00	11.50	45.60
Julio	3	5	5	19	12	6	7	7	32	95.40	14.00	1.88	120.00	34.60	17.30	57.60
Agosto	1	3	16	33	20	6	22	5	53	56.60	19.33	2.60	120.00	12.60	12.60	45.60
Septiembre	4	8	13	44	24	17	20	8	69	156.40	34.50	4.79	170.00	30.00	10.00	43.20
Octubre	8	13	19	54	26	14	33	20	94	319.80	62.33	8.38	410.00	50.60	14.74	87.60
Noviembre	4	16	14	44	34	11	19	13	78	221.40	45.50	6.32	220.00	24.80	12.40	49.20
Diciembre	6	10	8	32	19	6	15	14	56	197.00	31.50	4.23	140.00	22.20	18.86	63.60
MAX	9	16	19	60	34	17	33	23	95	319.80	62.33	8.38	410.00	50.60	23.55	97.20
TOTAL	58	119	160	478	270	129	259	150	815	2231.60	449.33	156.02				

Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

F	Fuerte	7.6 (mm/h) $\leq$ intensidad
M	Moderada	2.5 (mm/h) < intensidad $\leq$ 7.6 (mm/h)
L	Ligera	1.0 (mm/h) < intensidad $\leq$ 2.5 (mm/h)
LL	Llovizna	1.0 (mm/h) $\geq$ intensidad

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

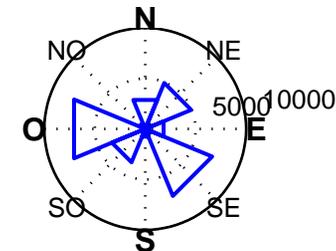
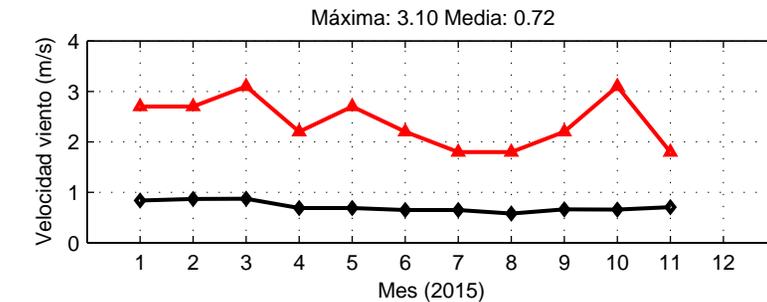
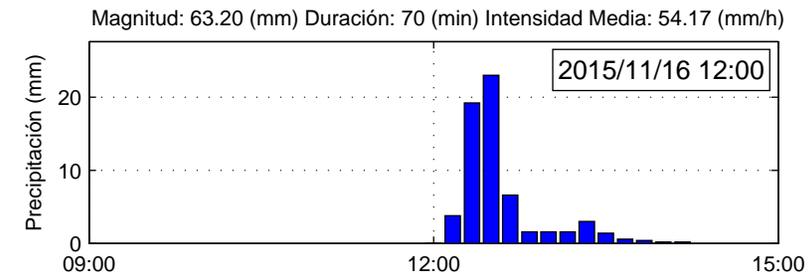
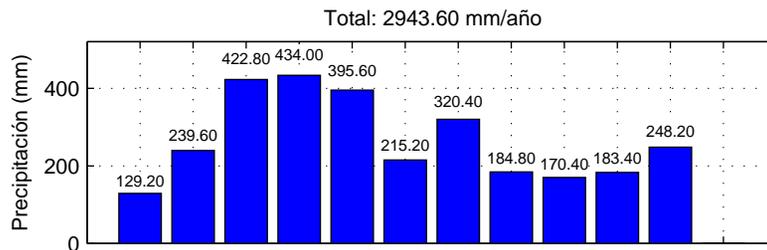
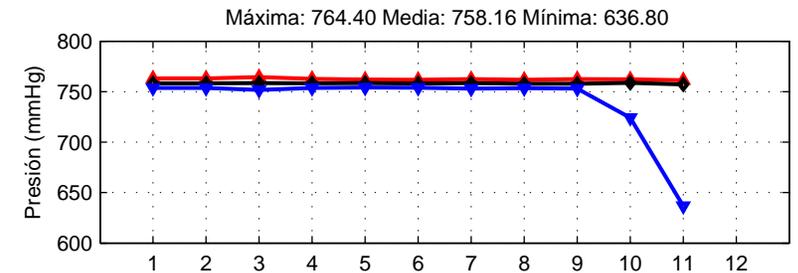
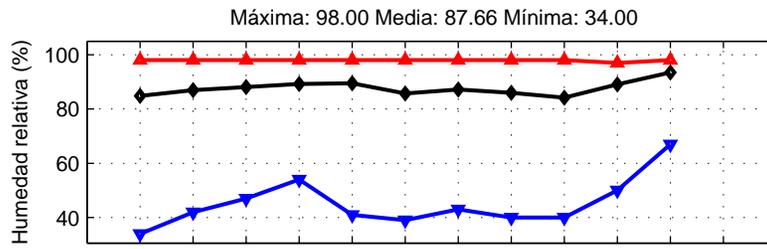
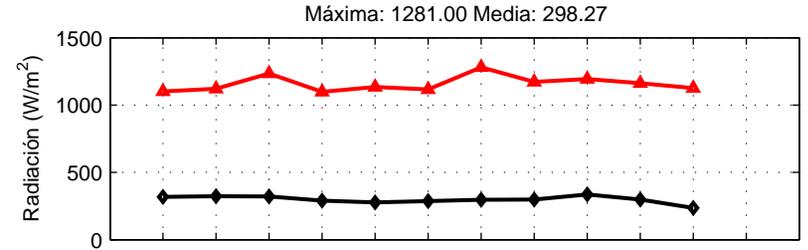
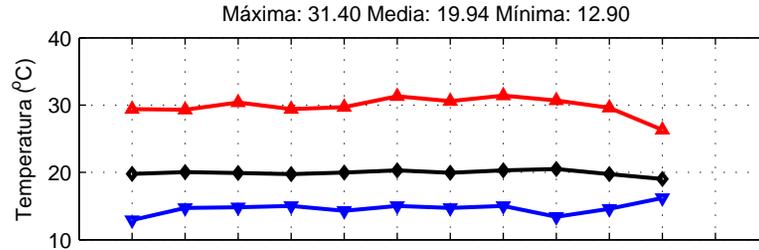
No. E	Número de Eventos
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades

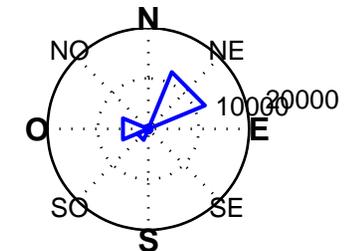


**Estación: Acuseo**  
**Fecha: 2015**  
**Registros: 11 de 12**

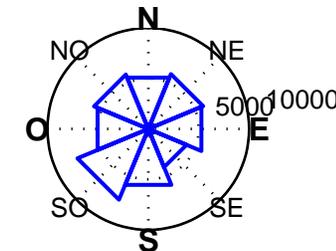
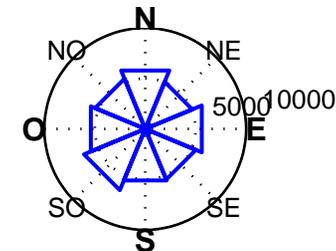
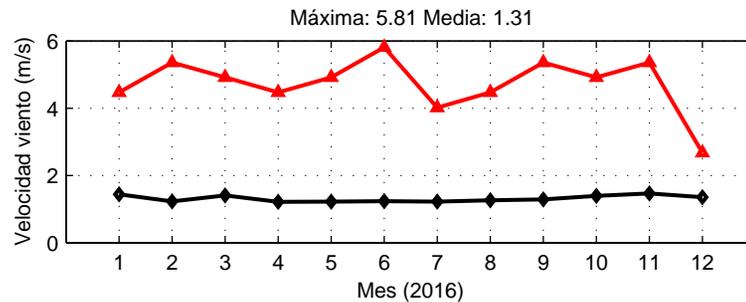
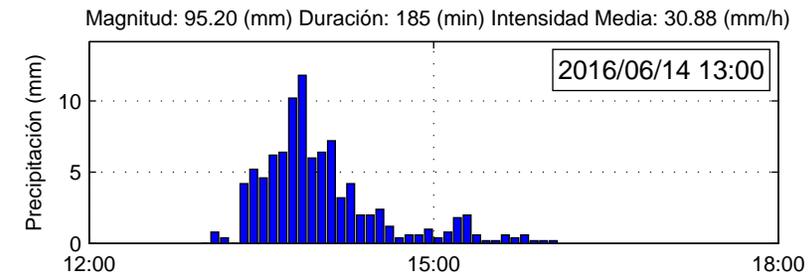
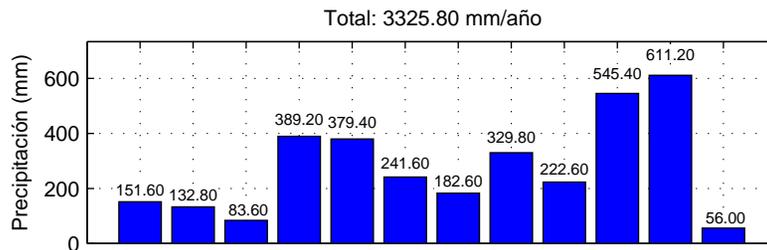
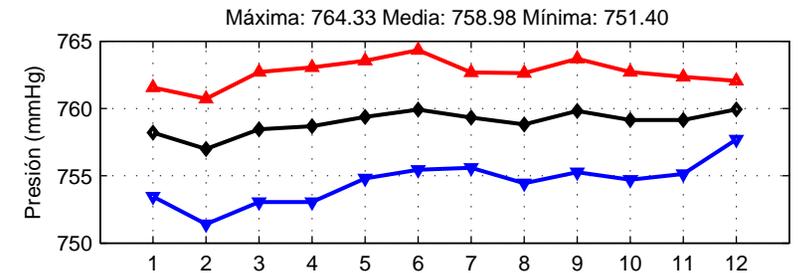
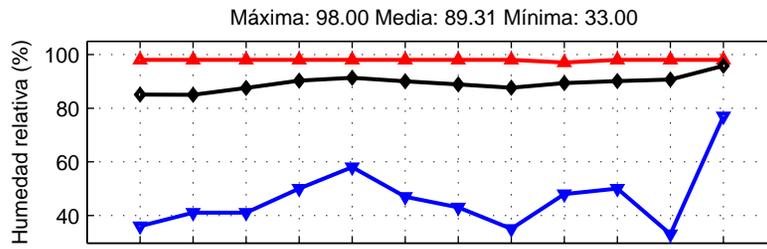
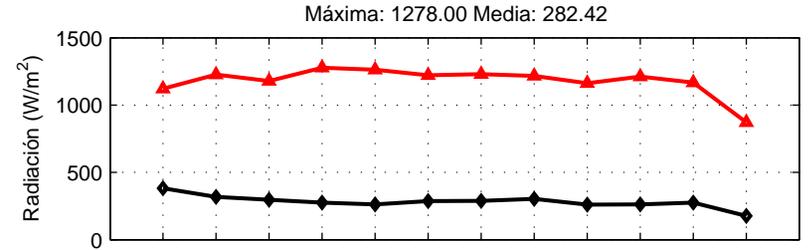
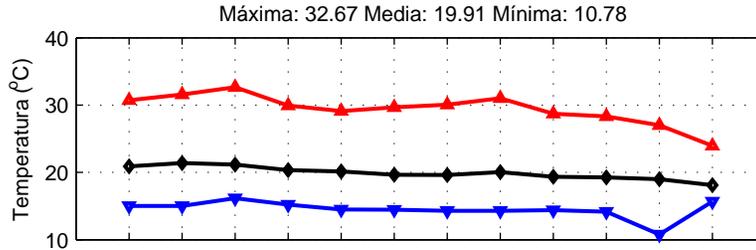
Reporte climatológico anual  
 Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Ing.Física July Andrea Taborda Rios  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: <http://www.redhidro.org> – [redh.info@gmail.com](mailto:redh.info@gmail.com)



Dirección del viento (Día)



Dirección del viento (Noche)



Observaciones: No se reporta la totalidad de datos debido a falencias en el sistema de transmisión.

**Estación: ECT-Acuaseo**  
**Fecha: 2016**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Ing.Física July Andrea Taborda Rios  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
Enero	30.72	20.89	15.00	4.47	1.44	758.20	85.08	151.60	77.33	1121.00	382.38
Febrero	31.56	21.37	15.00	5.36	1.24	756.99	85.02	132.80	68.06	1227.00	318.47
Marzo	32.67	21.16	16.17	4.92	1.41	758.45	87.52	83.60	63.42	1179.00	296.78
Abril	29.94	20.33	15.22	4.47	1.22	758.68	90.26	389.20	56.61	1278.00	274.88
Mayo	29.11	20.13	14.50	4.92	1.23	759.38	91.36	379.40	54.09	1262.00	262.39
Junio	29.67	19.65	14.44	5.81	1.24	759.92	90.03	241.60	61.78	1222.00	286.54
Julio	30.06	19.61	14.28	4.02	1.23	759.32	88.89	182.60	53.98	1230.00	287.73
Agosto	31.00	20.05	14.28	4.47	1.26	758.81	87.65	329.80	67.90	1216.00	303.71
Septiembre	28.72	19.34	14.39	5.36	1.29	759.81	89.38	222.60	55.09	1162.00	261.18
Octubre	28.33	19.24	14.17	4.92	1.40	759.14	90.09	545.40	55.35	1211.00	261.88
Noviembre	27.00	19.00	10.78	5.36	1.47	759.15	90.69	611.20	53.83	1167.00	275.89
Diciembre	23.94	18.10	15.67	2.68	1.36	759.92	95.77	56.00	2.66	872.00	177.25
TOTAL								3325.80	670.10		
PROM	29.39	19.91	14.49	4.73	1.31	758.98	89.31			1178.92	282.42

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: ECT-Acuaseo**  
**Fecha: 2016**  
**Registros: 12 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Ing.Física July Andrea Tabora Rios  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				No. E	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
Enero	6	5	33	1	15	7	10	13	45	151.60	21.83	2.93	305.00	28.60	11.35	52.80
Febrero	3	1	19	1	8	6	5	5	24	132.80	9.75	1.40	250.00	70.20	27.17	134.40
Marzo	3	4	23	2	7	5	12	8	32	83.60	10.50	1.41	100.00	24.60	18.45	60.00
Abril	10	10	70	8	27	26	26	21	100		47.83	6.64	265.00	70.80	18.08	98.40
Mayo	15	10	49	3	23	2	32	20	77	379.40	34.00	4.57	365.00	58.00	26.23	110.40
Junio	3	13	71	0	21	12	31	23	87	241.60	25.58	3.55	185.00	95.20	30.06	141.60
Julio	4	14	55	4	16	23	33	5	77	182.60	24.42	3.28	215.00	45.60	12.44	81.60
Agosto	9	7	56	2	21	12	25	16	74		25.42	3.42	150.00	68.60	31.66	156.00
Septiembre	4	3	138	2	42	41	32	32	147	222.60	29.67	4.12	545.00	70.40	15.94	69.60
Octubre	10	15	90	4	34	15	37	33	119	545.40	62.33	8.38	390.00	83.60	20.34	105.60
Noviembre	16	17	74	6	33	20	26	34	113	611.20	66.83	9.28	440.00	87.20	25.84	108.00
Diciembre	2	0	7	0	4	1	3	1	9	56.00	5.67	0.76	145.00	30.60	12.24	52.80
MAX	16	17	138	8	42	41	37	34	147	611.20	66.83	9.28	545.00	95.20	31.66	156.00
TOTAL	85	99	685	33	251	170	272	211	904	2606.80	363.83	126.33				

Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

F	Fuerte	$7.6 \text{ (mm/h)} \leq \text{intensidad}$
M	Moderada	$2.5 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 7.6 \text{ (mm/h)}$
L	Ligera	$1.0 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 2.5 \text{ (mm/h)}$
LL	Llovizna	$1.0 \text{ (mm/h)} \geq \text{intensidad}$

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

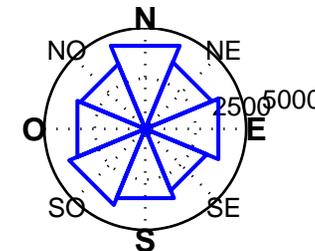
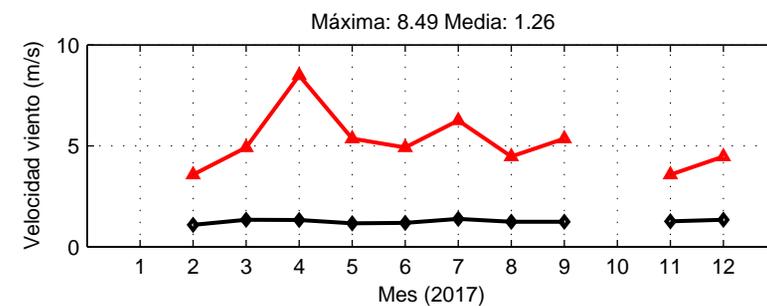
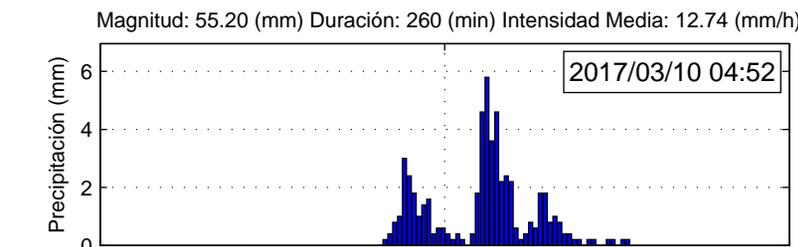
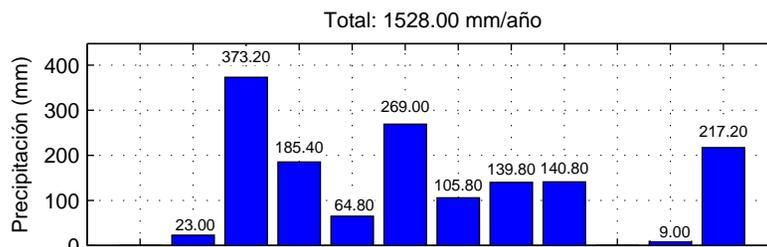
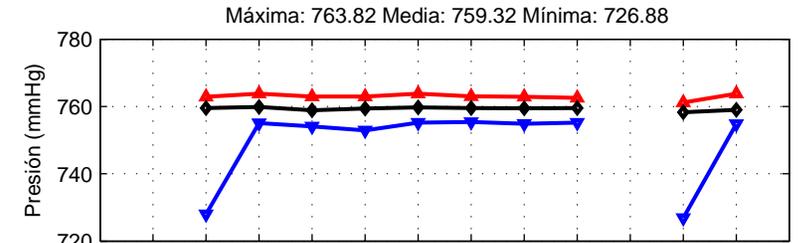
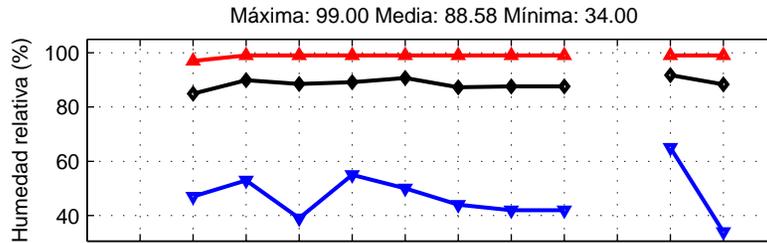
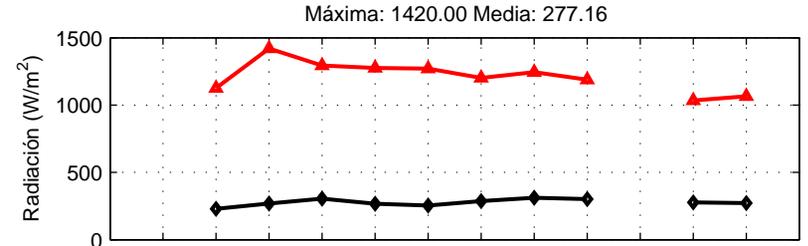
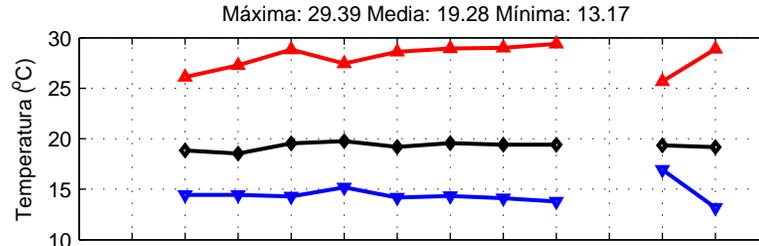
No. E	Número de Eventos
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades

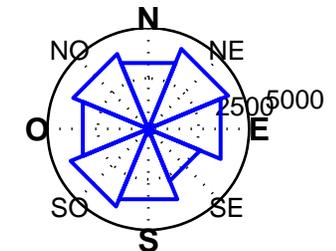


**Estación: ECT-Acuaseo**  
**Fecha: 2017**  
**Registros: 10 de 12**

Reporte climatológico anual  
 Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Jorge Andrés Correa. Operador REDH  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: <http://www.redhidro.org> – [redh.info@gmail.com](mailto:redh.info@gmail.com)



Dirección del viento (Día)



Dirección del viento (Noche)

Observaciones : No se reporta la totalidad de datos debido a falencias en el sistema de transmisión.

**Estación: ECT-Acuaseo**  
**Fecha: 2017**  
**Registros: 10 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Ing.Física July Andrea Tabora Rios  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
Enero											
Febrero	26.11	18.85	14.44	3.58	1.09	759.53	84.89	23.00	8.50	1127.00	228.88
Marzo	27.28	18.53	14.44	4.92	1.34	759.87	89.91	373.20	56.97	1420.00	267.82
Abril	28.83	19.54	14.28	8.49	1.33	758.84	88.53	185.40	45.59	1294.00	304.82
Mayo	27.44	19.76	15.17	5.36	1.16	759.38	89.12	64.80	31.72	1276.00	266.55
Junio	28.61	19.19	14.17	4.92	1.19	759.75	90.71	269.00	53.07	1271.00	254.36
Julio	28.94	19.55	14.33	6.26	1.39	759.55	87.31	105.80	58.31	1202.00	287.04
Agosto	29.00	19.42	14.11	4.47	1.24	759.45	87.60	139.80	68.95	1245.00	312.12
Septiembre	29.39	19.41	13.78	5.36	1.24	759.51	87.57	140.80	48.31	1188.00	301.18
Octubre											
Noviembre	25.67	19.35	16.94	3.58	1.26	758.30	91.80	9.00	3.58	1034.00	276.81
Diciembre	28.89	19.18	13.17	4.47	1.35	759.01	88.32	217.20	56.34	1065.00	272.03
TOTAL								1528.00	431.34		
PROM	28.02	19.28	14.48	5.14	1.26	759.32	88.58			1212.20	277.16

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: ECT-Acuaseo**  
**Fecha: 2017**  
**Registros: 10 de 12**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Ing.Física July Andrea Tabora Rios  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Mes	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				No. E	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
Enero																
Febrero	1	2	5	0	1	3	1	3	8	23.00	2.50	0.37	80.00	15.60	18.72	57.60
Marzo	11	20	73	9	35	21	39	18	113	373.20	56.92	7.65	635.00	55.20	12.50	69.60
Abril	6	9	32	2	12	13	17	7	49	185.40	23.83	3.31	165.00	49.20	28.11	108.00
Mayo	1	8	20	0	8	3	13	5	29	64.80	11.42	1.53	105.00	11.20	7.65	33.60
Junio	9	19	74	5	38	14	32	23	107	269.00	38.33	5.32	235.00	37.20	20.19	74.40
Julio	5	9	28	1	8	5	23	7	43	105.80	12.00	1.61	130.00	25.40	22.25	86.40
Agosto	4	8	28	2	16	8	8	10	42		15.50	2.08	215.00	54.00	30.86	88.80
Septiembre	6	3	35	2	18	4	18	6	46	140.80	15.92	2.21	140.00	35.40	19.20	108.00
Octubre																
Noviembre	0	2	6	0	1	0	5	2	8	9.00	2.00	0.28	65.00	5.40	4.63	19.20
Diciembre	9	12	59	0	27	13	14	26	80	217.20	32.67	4.39	295.00	34.20	15.20	69.60
MAX	11	20	74	9	38	21	39	26	113	373.20	56.92	7.65	635.00	55.20	30.86	108.00
TOTAL	52	92	360	21	164	84	170	107	525	1388.20	211.08	73.29				

Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

F	Fuerte	$7.6 \text{ (mm/h)} \leq \text{intensidad}$
M	Moderada	$2.5 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 7.6 \text{ (mm/h)}$
L	Ligera	$1.0 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 2.5 \text{ (mm/h)}$
LL	Llovizna	$1.0 \text{ (mm/h)} \geq \text{intensidad}$

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

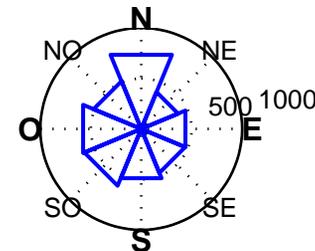
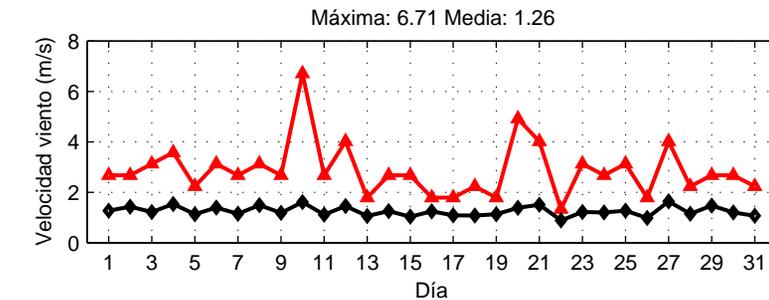
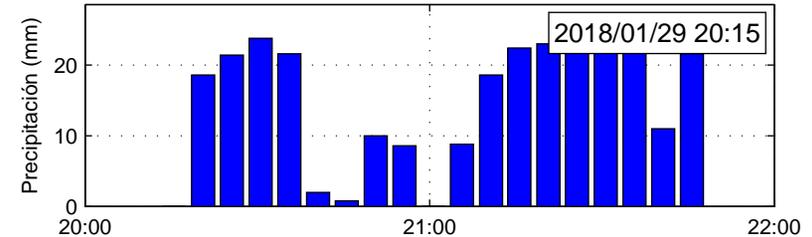
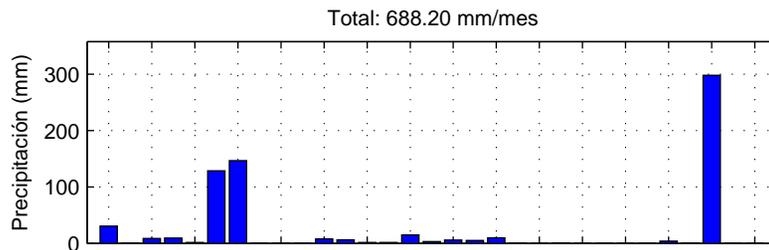
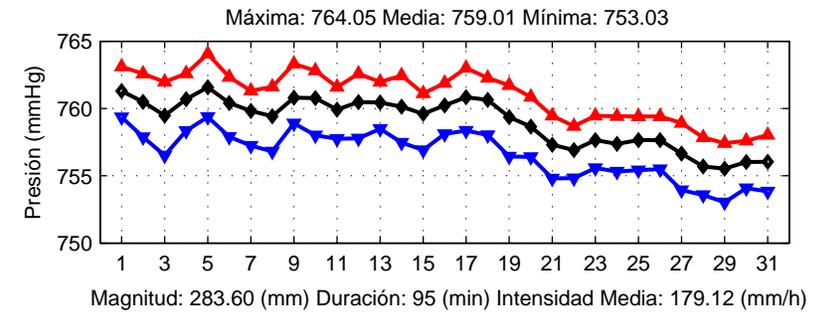
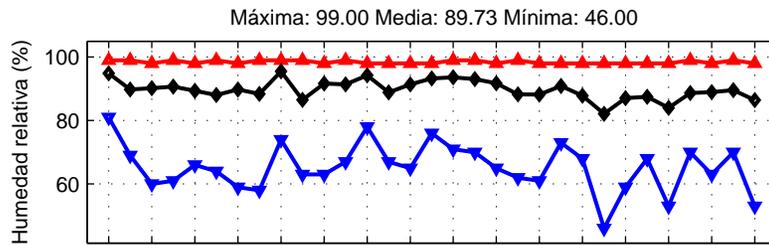
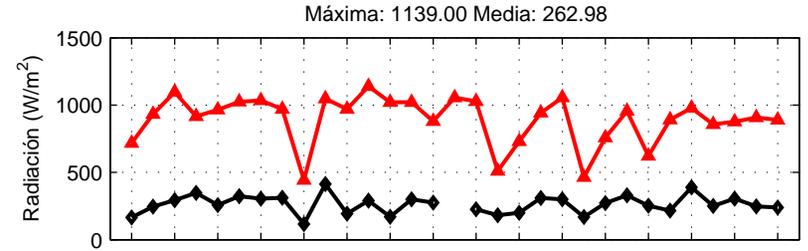
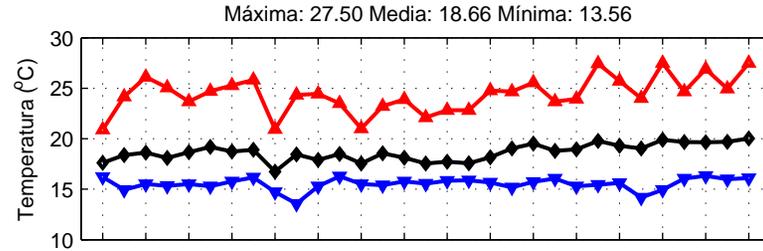
No. E	Número de Eventos
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades

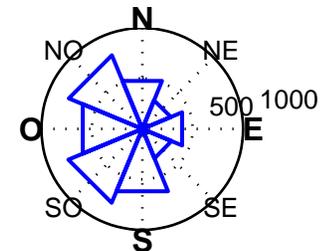


**Estación: ECT-Acuaseo**  
**Fecha: Enero de 2018**  
**Registros: 31 de 31**

Reporte climatológico mensual  
 Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Adm. Ambiental Jorge Andrés Correa. Operador REDH  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: <http://www.redhidro.org> – [redh.info@gmail.com](mailto:redh.info@gmail.com)



Dirección del viento (Día)



Dirección del viento (Noche)

**Estación: ECT-Acuaseo**  
**Fecha: Enero de 2018**  
**Registros: 31 de 31**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Ing.Física July Andrea Taborda Rios  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Día	Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	
	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Media	Media	Total	Total	Máx	Media
1	20.89	17.61	16.22	2.68	1.27	761.30	94.83	30.80	0.99	717.00	165.15
2	24.17	18.37	14.94	2.68	1.43	760.49	89.79	0.20	1.68	932.00	244.85
3	26.11	18.61	15.50	3.13	1.22	759.47	90.21	9.00	1.75	1097.00	293.15
4	25.06	18.10	15.33	3.58	1.54	760.68	90.71	9.60	2.13	916.00	347.64
5	23.67	18.66	15.50	2.24	1.14	761.58	89.36	1.60	1.80	965.00	256.71
6	24.72	19.19	15.28	3.13	1.40	760.40	88.04	128.60	2.24	1025.00	323.16
7	25.28	18.72	15.78	2.68	1.15	759.81	89.76	146.60	1.85	1035.00	304.57
8	25.83	18.90	16.17	3.13	1.49	759.43	88.41	0.00	2.16	970.00	311.18
9	20.94	16.73	14.72	2.68	1.19	760.79	95.53	0.00	0.71	443.00	116.17
10	24.33	18.45	13.56	6.71	1.62	760.77	86.48	0.00	3.05	1048.00	413.45
11	24.44	17.89	15.28	2.68	1.12	759.91	91.66	8.00	1.32	970.00	192.45
12	23.50	18.49	16.28	4.02	1.46	760.47	91.38	6.60	1.85	1139.00	289.76
13	21.00	17.56	15.50	1.79	1.06	760.45	94.27	1.80	1.09	1021.00	170.01
14	23.22	18.55	15.39	2.68	1.26	760.14	88.87	1.60	1.98	1021.00	299.43
15	23.89	18.13	15.78	2.68	1.04	759.59	91.37	15.20	1.68	879.00	275.78
16	22.11	17.56	15.56	1.79	1.25	760.23	93.27	3.40	1.12	1055.00	
17	22.83	17.73	15.83	1.79	1.09	760.83	93.59	6.00	1.19	1027.00	225.92
18	22.83	17.58	15.89	2.24	1.09	760.63	93.03	5.40	1.14	510.00	180.73
19	24.78	18.16	15.67	1.79	1.14	759.35	91.76	10.00	1.40	731.00	200.26
20	24.67	19.05	15.17	4.92	1.39	758.66	88.23	0.20	2.21	942.00	309.78
21	25.56	19.51	15.72	4.02	1.51	757.31	88.15	0.00	2.11	1055.00	300.42
22	23.67	18.79	16.06	1.34	0.89	756.91	90.91	1.00	1.12	464.00	168.82
23	23.94	18.95	15.28	3.13	1.22	757.65	87.80	0.00	1.88	758.00	272.07
24	27.44	19.78	15.44	2.68	1.21	757.37	82.11	0.00	2.34	956.00	329.34
25	25.72	19.30	15.61	3.13	1.28	757.65	87.06	0.00	1.83	622.00	251.82
26	24.00	19.04	14.17	1.79	0.98	757.65	87.45	0.00	1.50	891.00	216.61
27	27.50	19.89	14.94	4.02	1.64	756.65	83.97	4.20	2.85	979.00	388.57
28	24.67	19.68	16.06	2.24	1.15	755.69	88.65	0.20	1.75	856.00	250.46
29	26.89	19.66	16.33	2.68	1.48	755.53	88.92	298.20	2.08	877.00	304.71
30	24.94	19.69	16.00	2.68	1.20	756.03	89.59	0.00	1.68	907.00	247.63
31	27.50	20.02	16.11	2.24	1.07	756.04	86.46	0.00	1.62	889.00	238.80
TOTAL								688.20	54.10		
PROM	24.39	18.66	15.52	2.87	1.26	759.01	89.73			893.45	262.98

Cuadro 1: Resumen de análisis climatológico

**Estación: ECT-Acuaseo**  
**Fecha: Enero de 2018**  
**Registros: 31 de 31**

Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda  
 Revisó: Ing.Física July Andrea Taborda Rios  
 Aprobó: Ph.D. Juan Mauricio Castaño Rojas. Director REDH.  
 Contacto: [www.utp.edu.co/hidroclimatologica](http://www.utp.edu.co/hidroclimatologica)

Día	Lluvias por intensidad				Lluvias por jornada				No. E	PT (mm)	DP		DM (min)	MM (mm)	IMM (mm/h)	IM5 (mm/h)
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N			(h)	(%)				
1	0	3	1	2	2	2	2	0	6	30.80	5.50	22.92	265.00	16.20	3.60	16.80
2	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0.20	0.08	0.35	10.00	0.20	0.80	2.40
3	1	0	2	0	0	0	2	1	3	9.00	0.92	3.82	55.00	8.40	8.40	48.00
4	0	2	3	0	3	0	2	0	5	9.60	2.08	8.68	105.00	6.40	3.49	19.20
5	0	1	2	0	0	0	2	1	3	1.60	0.42	1.74	20.00	0.80	1.92	4.80
6	1	1	4	0	2	2	0	2	6	128.60	1.92	7.99	75.00	125.80	94.35	264.00
7	1	2	1	1	2	1	2	0	5	146.60	1.83	7.64	45.00	138.40	166.08	295.20
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	1	0	1	0	0	0	1	1	2	8.00	0.58	2.43	35.00	7.80	11.70	43.20
12	0	2	2	0	2	1	1	0	4	6.60	1.17	4.86	50.00	4.00	4.36	19.20
13	0	0	3	1	0	1	3	0	4	1.80	0.67	2.78	15.00	0.60	1.80	4.80
14	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1.60	0.42	1.74	40.00	1.60	2.13	7.20
15	0	2	4	0	3	0	3	0	6	15.20	2.83	11.81	65.00	7.40	6.34	28.80
16	1	0	2	0	1	1	1	0	3		0.50	2.08	15.00	3.00	9.00	28.80
17	0	0	7	0	4	0	3	0	7	6.00	2.08	8.68	90.00	2.00	1.26	4.80
18	0	1	2	0	2	0	1	0	3	5.40	1.67	6.94	60.00	2.60	2.40	7.20
19	0	2	0	0	0	1	1	0	2	10.00	1.50	6.25	50.00	5.40	5.89	14.40
20	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0.20	0.08	0.35	10.00	0.20	0.80	2.40
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1.00	0.25	1.04	20.00	1.00	2.40	4.80
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	1	0	1	0	0	0	1	1	2	4.20	0.50	2.08	30.00	4.00	6.86	16.80
28	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0.20	0.08	0.35	10.00	0.20	0.80	2.40
29	2	1	1	0	0	0	2	2	4	298.20	3.00	12.50	95.00	283.60	170.16	285.60
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	2	3	7	2	4	2	3	2	7	298.20	5.50	22.92	265.00	283.60	170.16	295.20
TOTAL	8	18	40	4	23	11	27	9	70	684.80	28.08	3.77				

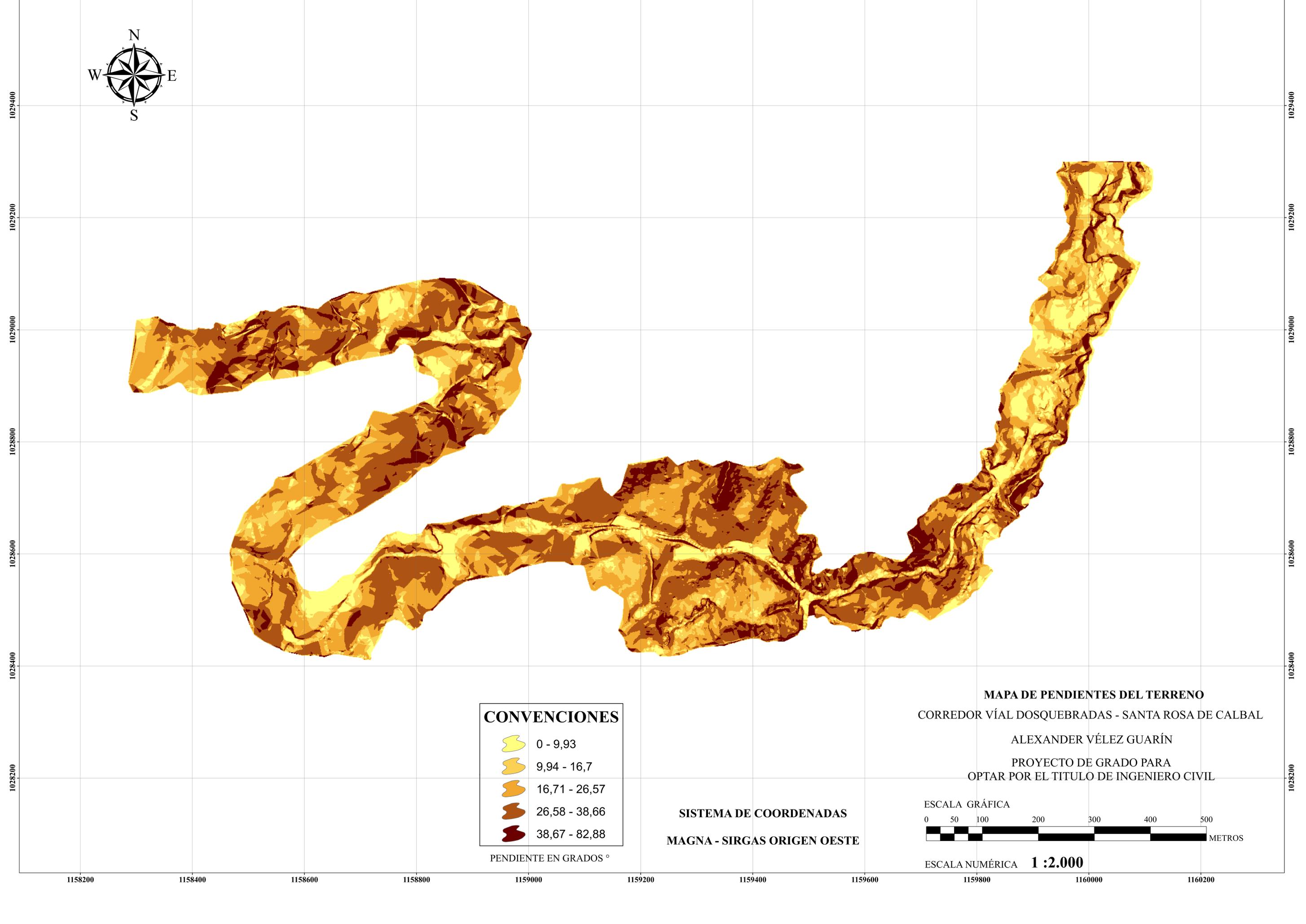
Cuadro 1: Análisis mensual de lluvias

F	Fuerte	$7.6 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad}$
M	Moderada	$2.5 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 7.6 \text{ (mm/h)}$
L	Ligera	$1.0 \text{ (mm/h)} < \text{intensidad} \leq 2.5 \text{ (mm/h)}$
LL	Llovizna	$1.0 \text{ (mm/h)} \geq \text{intensidad}$

Md	Madrugada	00:00 - 05:59
Mñ	Mañana	06:00 - 11:59
T	Tarde	12:00 - 17:59
N	Noche	18:00 - 23:59

No. E	Número de Eventos
PT	Precipitación total (mm)
DP	Duración precipitación diaria
DM	Duración máxima lluvia aislada (min)
MM	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)
IMM	Intensidad media máxima (mm/h)
IM5	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)

Cuadro 2: Convenciones y Unidades

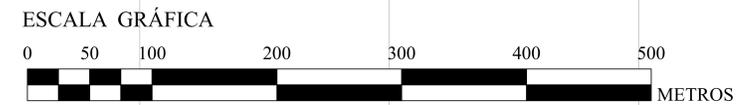


CONVENCIONES	
	0 - 9,93
	9,94 - 16,7
	16,71 - 26,57
	26,58 - 38,66
	38,67 - 82,88

PENDIENTE EN GRADOS °

**SISTEMA DE COORDENADAS**  
**MAGNA - SIRGAS ORIGEN OESTE**

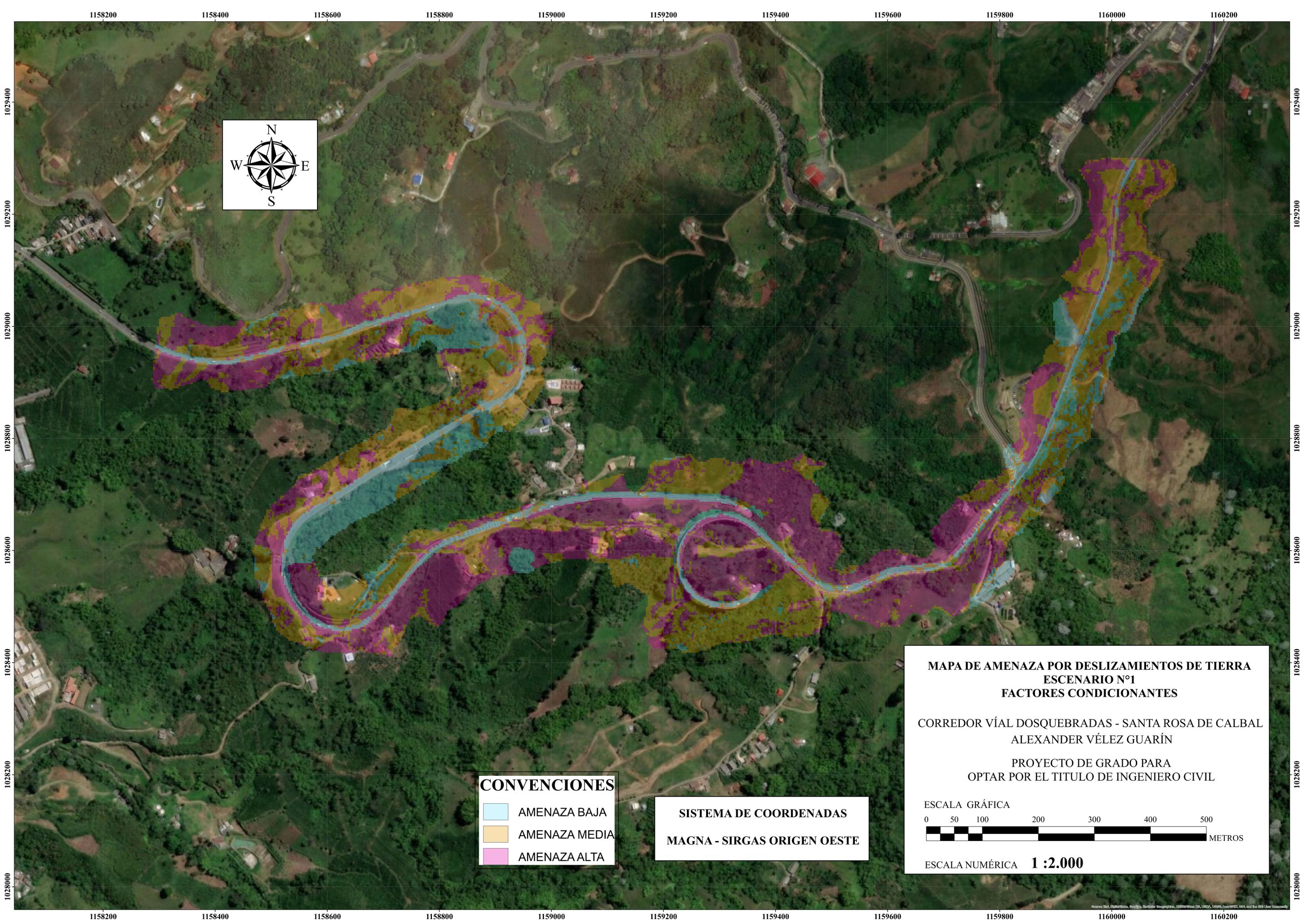
**MAPA DE PENDIENTES DEL TERRENO**  
CORREDOR VÍAL DOSQUEBRADAS - SANTA ROSA DE CALBAL  
ALEXANDER VÉLEZ GUARÍN  
PROYECTO DE GRADO PARA  
OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL



ESCALA NUMÉRICA **1 :2.000**

1158200 1158400 1158600 1158800 1159000 1159200 1159400 1159600 1159800 1160000 1160200

1028200 1028400 1028600 1028800 1029000 1029200 1029400



CONVENCIONES	
	AMENAZA BAJA
	AMENAZA MEDIA
	AMENAZA ALTA

**SISTEMA DE COORDENADAS**  
MAGNA - SIRGAS ORIGEN OESTE

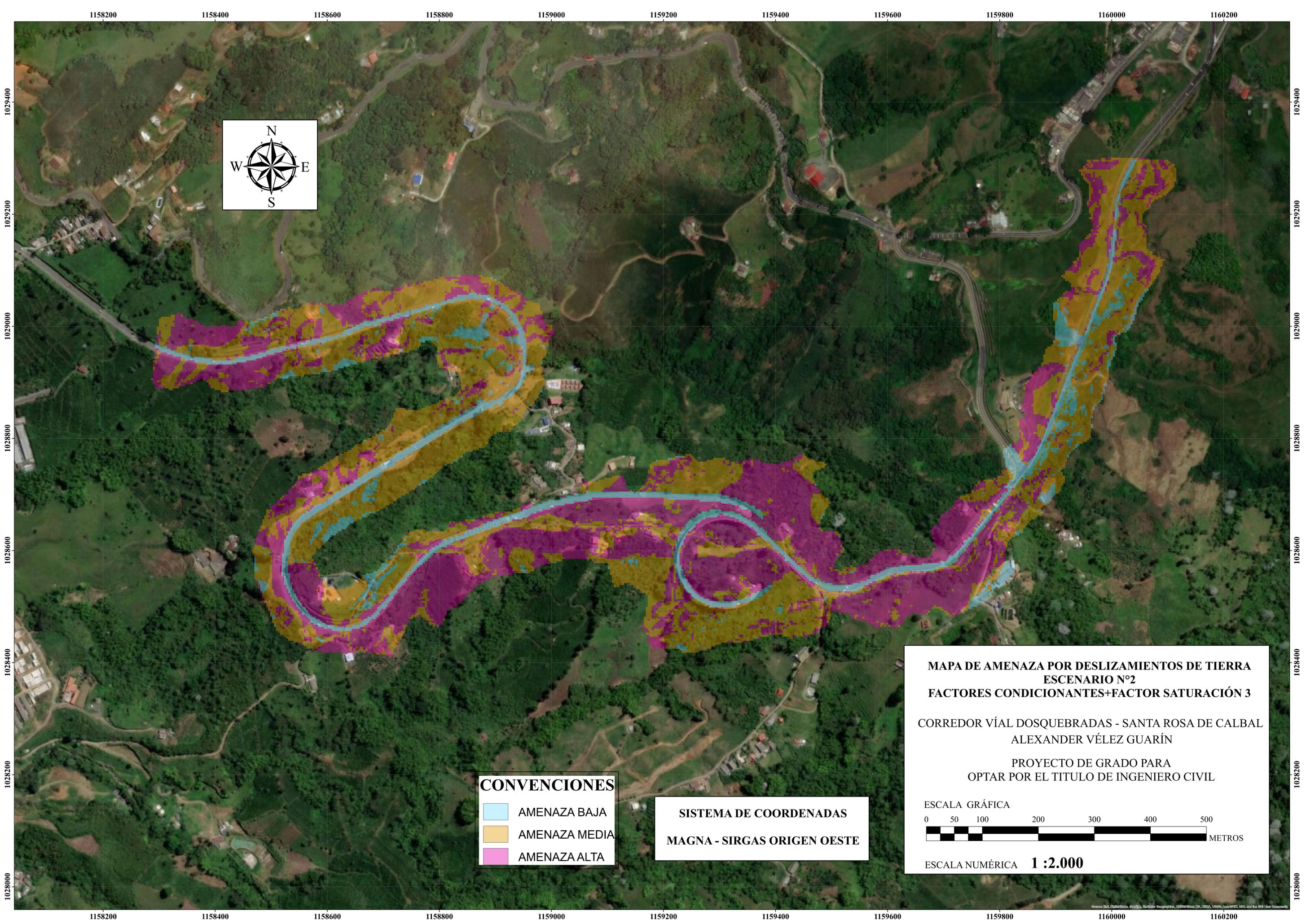
**MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DE TIERRA**  
**ESCENARIO N°1**  
**FACTORES CONDICIONANTES**

CORREDOR VÍAL DOSQUEBRADAS - SANTA ROSA DE CALBAL  
ALEXANDER VÉLEZ GUARÍN

PROYECTO DE GRADO PARA  
OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ESCALA GRÁFICA  
0 50 100 200 300 400 500 METROS

ESCALA NUMÉRICA **1 : 2.000**



CONVENCIONES	
	AMENAZA BAJA
	AMENAZA MEDIA
	AMENAZA ALTA

**SISTEMA DE COORDENADAS**  
MAGNA - SIRGAS ORIGEN OESTE

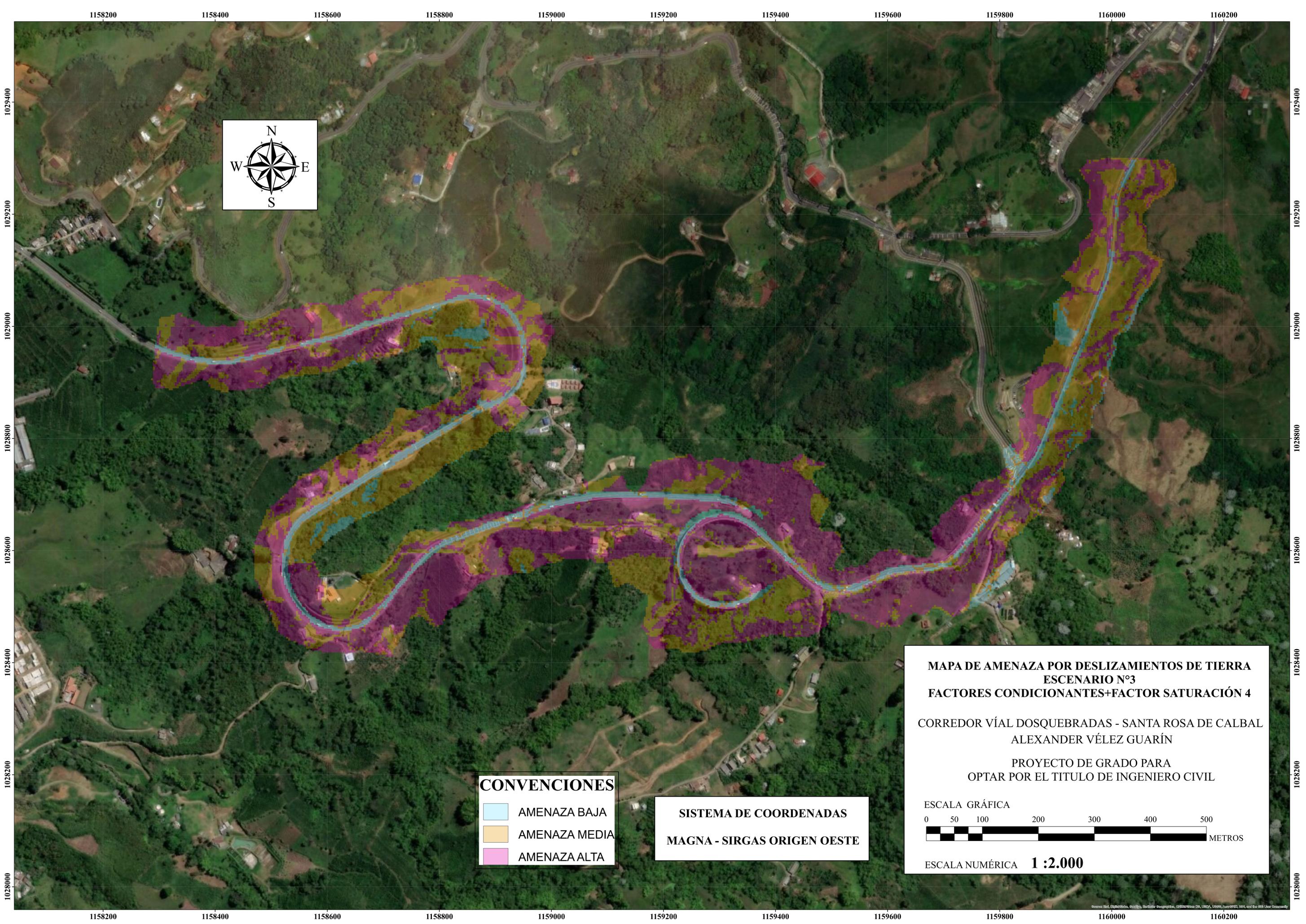
**MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DE TIERRA**  
**ESCENARIO N°2**  
**FACTORES CONDICIONANTES+FACTOR SATURACIÓN 3**

CORREDOR VÍAL DOSQUEBRADAS - SANTA ROSA DE CALBAL  
ALEXANDER VÉLEZ GUARÍN

PROYECTO DE GRADO PARA  
OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ESCALA GRÁFICA  
0 50 100 200 300 400 500 METROS

ESCALA NUMÉRICA **1 : 2.000**



**CONVENCIONES**

	AMENAZA BAJA
	AMENAZA MEDIA
	AMENAZA ALTA

**SISTEMA DE COORDENADAS**  
MAGNA - SIRGAS ORIGEN OESTE

**MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DE TIERRA**  
**ESCENARIO N°3**  
**FACTORES CONDICIONANTES+FACTOR SATURACIÓN 4**

CORREDOR VÍAL DOSQUEBRADAS - SANTA ROSA DE CALBAL  
ALEXANDER VÉLEZ GUARÍN

PROYECTO DE GRADO PARA  
OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ESCALA GRÁFICA  
0 50 100 200 300 400 500 METROS

ESCALA NUMÉRICA **1 :2.000**

