



Diseño de un modelo geoespacial de amenazas por deslizamientos en el municipio de Tona, Santander como aporte a la gestión territorial y prevención de desastres

Proyecto de investigación

DANNA MELISSA LOPEZ CRUZ
1.005.346.611
EDGAR FABIAN MORENO SANABRIA
1.003.203.767

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERIA EN TOPOGRAFIA
BUCARAMANGA 17/09/2025**



Diseño de un modelo geoespacial de amenazas por deslizamientos en el municipio de Tona, Santander como aporte a la gestión territorial y prevención de desastres

Proyecto de investigación

DANNA MELISSA LOPEZ CRUZ
1.005.346.611
EDGAR FABIAN MORENO SANABRIA
1.003.203.767

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Topógrafo

DIRECTOR
CLARA INES TORRES VÁSQUEZ

Grupo de investigación – GRIMAT

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERIA EN TOPOGRAFIA
BUCARAMANGA 17/09/2025

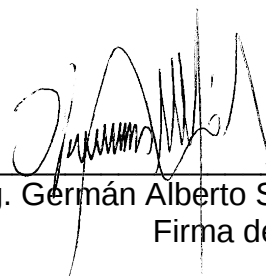
Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por
Las Unidades Tecnológicas de Santander para optar al título
de Ingeniero Topógrafo

Según acta #25 del Comité de Proyectos de Grado
Del 26-09-2025

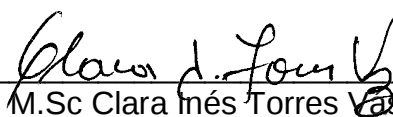
Docente evaluador: Ing. Germán Alberto Suárez Arias

Docente directora: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



Ing. Germán Alberto Suárez Arias
Firma del Evaluador

Scanned by CamScanner



M.Sc Clara Inés Torres Vásquez
Firma del Director

DEDICATORIA

A ti, mi querida madre, por ser mi fuerza silenciosa y constante, por cada madrugada compartida, cada comida hecha con amor, por tu incansable esfuerzo en el hogar, por acompañarme en cada paso de este camino, incluso cuando el cansancio te vencía. Este logro es tan tuyo como mío, porque sin ti no habría sido posible; gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Y a mi fiel compañero de cuatro patas, que con su amor incondicional me dio compañía, consuelo y alegría en los días difíciles; tu presencia fue un bálsamo para el alma en cada jornada. Este proyecto es para ustedes, con todo mi amor y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a las Unidades Tecnológicas de Santander, institución que nos brindó no solo los conocimientos técnicos y académicos necesarios para nuestra formación profesional, sino también un espacio de crecimiento personal. Gracias por abrirnos las puertas a nuevas oportunidades y por ser parte fundamental en la realización de este proyecto de grado.

De manera muy especial, extendemos nuestro agradecimiento a la profesora y directora del trabajo de grado, CLARA INÉS TORRES VÁSQUEZ, por su valiosa orientación durante este proceso. Su paciencia, dedicación, experiencia y la manera en que enseña con amor y compromiso, han sido fuente de inspiración para continuar con esfuerzo y pasión este camino profesional. Gracias por guiarnos con sabiduría y por creer en nuestro potencial.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. JUSTIFICACIÓN	15
1.3. OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	16
2. MARCO REFERENCIAL	21
2.1. MARCO TEÓRICO.....	21
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	21
ANÁLISIS MULTICRITERIO Y MÉTODO AHP	21
AMENAZA Y SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS	21
GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN COLOMBIA	21
CONTEXTO LOCAL Y ANTECEDENTES DE DESLIZAMIENTOS EN TONA	22
2.2. MARCO LEGAL	22
LEY 1523 DE 2012 – POR LA CUAL SE ADOPTA LA POLÍTICA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (PNGRD)	22
LEY 99 DE 1993 – POR LA CUAL SE CREA EL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE	22
DECRETO 1807 DE 2014 – LINEAMIENTOS PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS NATURALES EN POT.....	23
LEY 388 DE 1997 – POR LA CUAL SE MODIFICA LA LEY 9 DE 1989 Y SE DICTAN NORMAS SOBRE ORDENAMIENTO TERRITORIAL	23
GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 45 (ICONTEC) – GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS	23
LEY 1715 DE 2014 – PROMOCIÓN DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y GESTIÓN AMBIENTAL DEL RIESGO CLIMÁTICO.....	23
2.3. MARCO CONCEPTUAL	23
AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS	23
SUSCEPTIBILIDAD	24
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	24
GESTIÓN DEL RIESGO	24
ORDENAMIENTO TERRITORIAL.....	24

2.4. MARCO AMBIENTAL	24
PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO AMBIENTAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TONA.....	24
PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT) DEL MUNICIPIO DE TONA	25
PLAN DE DESARROLLO DEPARTAMENTAL DE SANTANDER 2020–2023 “SIEMPRE SANTANDER”	25
2.5. MARCO HISTORICO	26
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u>	<u>27</u>
3.1. FASE 1: RECOPIACIÓN Y DIAGNOSTICO.....	27
3.2. FASE 2: INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	27
3.3. FASE 3: MODELAMIENTO Y RESULTADOS	28
<u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....</u>	<u>29</u>
4.1. FACTORES CONDICIONANTES Y DETONANTES	30
4.2. EVENTOS SÍSMICOS EN TONA Y ÁREA INFLUENCIA	31
4.3. EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA EN TONA	35
INFORME IDEAM-CDMB SOBRE INESTABILIDAD EN LA VÍA BUCARAMANGA–TONA	35
TEMPORADA DE LLUVIAS 2024.....	36
BASE DE DATOS DESINVENTAR	36
4.4. ANALISIS DE INFORMACION	43
<u>5 RESULTADOS.....</u>	<u>63</u>
5.1 ANALISIS E INTERPRETACION DE LA GEOINFORMACION	63
5.2 ANALISIS DE LA INFORMACION OBTENIDA EN CAMPO	67
5.3 SECTOR BERLÍN - VEREDA UCATÁ	74
5.4 SECTOR BERLÍN - VEREDA CUESTA BOBA Y SALADITO.....	80
5.5 INTEGRACIÓN DE RESULTADOS.....	89
<u>6 CONCLUSIONES.....</u>	<u>93</u>
<u>7 RECOMENDACIONES</u>	<u>94</u>
<u>8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>95</u>
<u>9 ANEXOS.....</u>	<u>97</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de las fases	28
Figura 2 Mapa de localización de la zona de estudio	29
Figura 3 Ubicación del Epicentro de un Evento Sísmico	30
Figura 4 Principales Ciudades Afectadas por el Sismo	32
Figura 5 Colombia entre los nidos sísmicos más activos del mundo	33
Figura 6 Noticia de alerta Santander.....	36
Figura 7 Noticia Radio Nacional de Colombia	36
Figura 8 Noticia de Caracol Radio.....	37
Figura 9 PUNTOS GEOREFERENCIADOS DE RECORRIDO EN CAMPO	53
Figura 10 SECTOR PICACHO.....	54
Figura 11 SECTOR VEREDA UCATÁ	55
Figura 13 SECTOR RIO JORDAN.....	56
Figura 14 SECTOR ESTACION METEOROLÓGICA DE BERLÍN	58
Figura 15 TRAZADO FINAL CON PUNTOS GEOREFERENCIADOS EN CAMPO	59
Figura 17 Cobertura Vegetal	60
Figura 16 Río Jordán.....	60
Figura 19 Dron Phantom 4.....	60
Figura 18 Equipo control de Dron	60
Figura 22 Toma de punto de Mojón existente.....	61
Figura 23 Cuadrilla Topográfica	61
Figura 24 Toma de mojón georreferenciado.....	62
Figura 25 Represa Río Jordán	62
Figura 26 Sector relieve montañoso	62
Figura 27 Calidad del procesamiento	68
Figura 28 Modelo Digital de Superficie (MDS)	69
Figura 29 Posición de Imágenes	70
Figura 30. Nivel de solape entre imágenes	71
Figura 31 Matriz de correlación entre parámetros internos de la cámara e Imagen con puntos de unión automática	72
Figura 32 Ortoimagen tomada en Vereda Guarumales.....	73
Figura 33 Reporte calidad del procesamiento	74
Figura 34 Posiciones e imágenes.....	75
Figura 35 mapa de solapamiento de imágenes	76
Figura 36 Ortoimagen y Modelo Digital de Superficie	77
Figura 37 Matriz de correlación	78
Figura 38 resultado vuelo tomado en Vereda Ucatá.....	79
Figura 39 Calidad de los vuelos	81
Figura 40 Resultados del proceso.....	82
Figura 41 Ortomosaico	83
Figura 42 Modelo Digital de Superficie (DSM)	83
Figura 43 Detalles de Calibración.....	84
Figura 44 Posiciones Iniciales de las Imágenes durante el vuelo.....	85
Figura 45 Número de imágenes superpuestas por píxel.....	86

Figura 46 Cobertura y Calidad de la Superposición de Imágenes	87
Figura 47 resultado vuelo tomado en Veredas Cuesta Boba y Saladito	88
Figura 48 ZONA DE ESTUDIO SOBREPUESTAS DEM DRON	90
Figura 49. Tipos de Investigación	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Factores Condicionantes de Deslizamientos en Tona, Santander	38
Tabla 2 Factores Detonantes de Deslizamientos en Tona, Santander	40
Tabla 3 Zonas críticas por remoción en masa en veredas de Tona, Santander.....	63
Tabla 4.....	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto aplica técnicas de análisis geoespacial y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar y delimitar zonas con amenaza por deslizamientos en el municipio de Tona, Santander. Se parte del análisis de variables como el relieve, uso del suelo, geología, pendientes y factores antrópicos, con el fin de establecer los principales determinantes de la susceptibilidad a movimientos en masa.

A partir del procesamiento de datos geoespaciales y trabajo de campo, se genera cartografía temática que clasifica el territorio según distintos niveles de amenaza. Esta información constituye una herramienta clave para la gestión del riesgo, facilitando la toma de decisiones en planificación territorial y ordenamiento del suelo.

Con base en los resultados del modelado, se proponen estrategias de prevención y mitigación, como la reforestación de zonas críticas, restricciones en el uso del suelo, estabilización de taludes y medidas de manejo sostenible del territorio. Estas acciones buscan reducir la exposición de la población a deslizamientos y fortalecer la resiliencia local frente a eventos naturales.

El estudio integra información técnica y científica con un enfoque práctico, orientado a apoyar a las autoridades locales en la toma de decisiones informadas, promoviendo un desarrollo territorial más seguro y sostenible.

PALABRAS CLAVE.

Susceptibilidad, Modelado geoespacial, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Cartografía temática y Gestión del riesgo.

INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son una de las amenazas naturales más recurrentes y devastadoras en zonas montañosas y de alta pluviosidad, como muchas regiones del territorio colombiano. Este fenómeno, influenciado por factores como la pendiente, la geología, el uso del suelo y las lluvias intensas, ha generado importantes afectaciones en la infraestructura, los ecosistemas y la vida humana (Desastres, 2020). En municipios como Tona, Santander, esta problemática se ha agravado por procesos de deforestación y uso inadecuado del suelo, aumentando la vulnerabilidad de las comunidades locales (SEMANA, 2022).

A pesar de los esfuerzos institucionales y académicos en materia de gestión del riesgo, persiste la necesidad de desarrollar herramientas que permitan identificar, analizar y mitigar las zonas de amenaza de manera más precisa y oportuna. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han demostrado ser una tecnología clave para la recopilación, análisis y modelado de datos geoespaciales relacionados con la susceptibilidad a deslizamientos (J., 2023). Estos sistemas permiten integrar múltiples variables —como pendientes, tipos de suelo, cobertura vegetal y precipitaciones— para generar modelos espaciales y mapas de amenaza, facilitando la toma de decisiones en materia de planificación territorial y prevención de desastres.

El presente trabajo representa un aporte importante a la comunidad académica y técnica, al proponer el diseño de un modelo geoespacial de amenazas por deslizamientos en el municipio de Tona, Santander, integrando información geográfica disponible, análisis de campo y procesamiento digital mediante herramientas SIG en la plataforma QGIS. Si bien existen estudios previos en otras regiones del país, este proyecto se enfoca en un área específica que carece de

análisis actualizados y cartografía detallada, lo cual limita la capacidad de las autoridades locales para gestionar el riesgo de manera efectiva.

El método empleado es de tipo computacional, basado en la recopilación, sistematización y análisis de datos espaciales mediante QGIS, lo que permitirá modelar zonas vulnerables y proponer estrategias de mitigación. Esta metodología será descrita con mayor detalle en la Sección 3 del presente documento. Los resultados esperados contribuirán a fortalecer la gestión del riesgo en Tona, facilitarán procesos de planificación del territorio y permitirán establecer lineamientos técnicos para futuras investigaciones o proyectos en la región.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los deslizamientos de tierra representan una de las amenazas naturales más devastadoras, afectando tanto a comunidades rurales como urbanas en todo el mundo. Factores como la topografía, la geología, el uso del suelo y las condiciones climáticas influyen directamente en la susceptibilidad de un terreno a estos fenómenos. En regiones montañosas y zonas con alta pluviosidad, como Colombia y otros países de América Latina, los deslizamientos generan pérdidas humanas, daños a la infraestructura y afectan la economía local. (SISTEMA NACIONAL DE GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES, 2020)

A pesar de los esfuerzos en monitoreo y prevención, la falta de estudios detallados y de herramientas precisas para la identificación de áreas vulnerables sigue siendo un desafío. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han emergido como una tecnología clave para el análisis y modelado del riesgo por deslizamientos; la integración de datos geoespaciales permite:

Identificar zonas de alto riesgo, considerando variables como la pendiente, el tipo de suelo, la cobertura vegetal y la cantidad de precipitaciones.

Generar mapas de susceptibilidad, que sirven como base para la toma de decisiones en planificación territorial y mitigación del riesgo.

Implementar sistemas de alerta temprana, combinando datos meteorológicos y sensores geotécnicos para reducir el impacto de los deslizamientos en comunidades vulnerables. (J., 2023)

El presente estudio busca aplicar técnicas de modelado con SIG para evaluar la amenaza por deslizamientos en un área determinada, contribuyendo a la prevención de desastres y a la planificación territorial basada en datos científicos.

¿Cómo puede el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) contribuir a la identificación, modelado geoespacial y prevención del riesgo por deslizamientos en municipios como Tona, Santander?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los deslizamientos de tierra representan una amenaza significativa en muchas regiones del país, afectando vidas, infraestructuras y el desarrollo económico, porque la falta de herramientas precisas para identificar zonas de riesgo impide la toma de decisiones efectivas en la planificación territorial y la prevención de desastres. A través de esta propuesta, se busca aprovechar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para modelar y analizar la amenaza por deslizamientos, permitiendo generar mapas de riesgo y estrategias de mitigación basadas en datos científicos. (J., 2023)

Para fortalecer la gestión del riesgo y minimizar el impacto de estos eventos en comunidades vulnerables al integrar SIG en este análisis, se podrá mejorar la prevención y optimizar el uso del suelo, evitando construcciones en áreas inestables.

La aplicación de SIG permitirá generar información confiable para autoridades locales, ingenieros y urbanistas, facilitando la toma de decisiones y la implementación de medidas de prevención; además, contribuirá a la reducción de pérdidas humanas y materiales.

En Tona, Santander, los deslizamientos de tierra se han convertido en un problema constante, sobre todo cuando llegan las temporadas de lluvias fuertes. Al estar en una zona montañosa, los suelos son inestables y, en muchos casos, terminan cediendo, afectando carreteras, cultivos e incluso poniendo en riesgo las casas de muchas familias. La deforestación y el mal manejo de las pendientes han empeorado la situación, haciendo que cada vez más personas se vean afectadas. Por eso, es clave tomar medidas como reforestar, reforzar los terrenos y planificar mejor el uso del suelo para reducir estos riesgos y proteger a la comunidad.

1.3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo geoespacial de amenazas por deslizamientos en el municipio de Tona, Santander mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), recopilación, procesamiento y modelado de datos geoespaciales, para la identificación de zonas vulnerables y de riesgo permitiendo la gestión del riesgo y proporcionando herramientas para la toma de decisiones en planificación territorial y prevención de desastres.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar las condiciones del relieve y de uso del suelo en el municipio de Tona, Santander, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) e información existente para la determinación de los factores que influyen en la susceptibilidad a deslizamientos.
2. Identificar zonas de amenaza por deslizamientos en el municipio de Tona, Santander, mediante información recolectada, análisis SIG e información de campo, generando cartografía al respecto.
3. Proponer estrategias de mitigación y prevención fundamentadas en los resultados del modelado SIG, con el objetivo de fortalecer la toma de decisiones en la planificación territorial y la gestión del riesgo en la zona de estudio.

1.4. ESTADO DEL ARTE

TITULO	AUTOR	BIBLIOGRAFIA	RELACIÓN
Aplicación de SIG y modelos geoespaciales para la evaluación del riesgo de deslizamientos en zonas de montaña de Ecuador	Esteban González, Ricardo Castro, Alejandro Martínez	González, E., Castro, R., & Martínez, A. (2017). <i>Aplicación de SIG y modelos geoespaciales para la evaluación del riesgo de deslizamientos en zonas de montaña de Ecuador. Revista de Estudios</i>	Este artículo presenta el uso de SIG y modelos geoespaciales para evaluar el riesgo de deslizamientos en las zonas montañosas de Ecuador. Los modelos analizan factores como la pendiente, el tipo de suelo y la precipitación para

		<i>Ambientales</i> , 22(3), 179-192.	predecir la ocurrencia de deslizamientos y ayudar en la planificación y prevención en áreas vulnerables.
Uso de modelos geoespaciales y SIG para la evaluación de deslizamientos en áreas rurales de Nepal	Rajesh Kumar, Anil Kumar Thapa, Nirmal Rai	Kumar, R., Thapa, A. K., & Rai, N. (2019). Uso de modelos geoespaciales y SIG para la evaluación de deslizamientos en áreas rurales de Nepal. <i>Revista de Investigación Geográfica y Ambiental</i> , 17(1), 45-58.	En este estudio, se emplean modelos geoespaciales y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar el riesgo de deslizamientos en Nepal. El modelo integra diferentes variables geofísicas y geográficas para predecir áreas con mayor probabilidad de deslizamientos.
"Uso de la teledetección y GIS para la zonificación de peligros por deslizamientos en el sur de Chile"	Valeria González, Javier Fuentes	González, V., & Fuentes, J. (2017). <i>Uso de la teledetección y GIS para la zonificación de peligros por deslizamientos en el sur de Chile</i> . <i>Revista de Ciencias Ambientales</i> , 42(4), 110-121.	Este artículo demuestra cómo la teledetección y el GIS pueden aplicarse para crear mapas de zonificación de peligros por deslizamientos, un enfoque técnico muy importante para el monitoreo y prevención de desastres en zonas montañosas y rurales.
Análisis de deslizamientos en áreas de alta montaña utilizando modelos geoespaciales: Un caso de estudio en los Alpes suizos	Bruno Müller, Ingrid S. Rossi, Luciana Bertani	Müller, B., Rossi, I. S., & Bertani, L. (2018). <i>Análisis de deslizamientos en áreas de alta montaña utilizando modelos geoespaciales: Un caso de estudio en los Alpes suizos</i> . <i>Journal of</i>	Este artículo describe cómo se utilizan modelos geoespaciales, particularmente en SIG, para realizar un análisis de riesgo de deslizamientos en los Alpes suizos. El enfoque permite la integración de

		<i>Environmental Geology</i> , 29(3), 213-224.	múltiples variables geofísicas, facilitando la identificación de áreas críticas y la toma de decisiones en la gestión de riesgos.
Aplicación de modelos geoespaciales en la zonificación de peligros por deslizamientos en las montañas de los Alpes italianos	Andrea Bianchi, Matteo Rossi, Luigi C.	Bianchi, A., Rossi, M., & C., L. (2013). Aplicación de modelos geoespaciales en la zonificación de peligros por deslizamientos en las montañas de los Alpes italianos. <i>Revista Internacional de Geografía y Ciencias Ambientales</i> , 22(3), 132-143.	En este estudio realizado en los Alpes italianos, se aplican modelos geoespaciales para la zonificación de riesgos de deslizamientos, utilizando SIG y teledetección. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado para comprender la dinámica de los deslizamientos en zonas montañosas y se ha replicado en estudios de otras partes del mundo.
Modelos geoespaciales para la identificación de áreas de riesgo por deslizamientos en la región de los Andes Centrales, Colombia"	Jorge R. Rodríguez, Luis F. Vargas, Carolina González	Rodríguez, J. R., Vargas, L. F., & González, C. (2016). <i>Modelos geoespaciales para la identificación de áreas de riesgo por deslizamientos en la región de los Andes Centrales, Colombia. Revista de Geomática</i> , 15(2), 85-98.	Este artículo se centra en el uso de modelos geoespaciales, principalmente mediante el uso de GIS, para identificar zonas de alto riesgo por deslizamientos en la región de los Andes Centrales en Colombia. Se analizan factores como la pendiente, la litología y la precipitación para generar un modelo geoespacial que permita identificar y

			mapear zonas de amenaza.
Identificación de áreas susceptibles a deslizamientos en el municipio de Tona, Santander, utilizando modelos geoespaciales	Carolina Pérez, Luis Ramírez, Juan Carlos Martínez	Pérez, C., Ramírez, L., & Martínez, J. C. (2019). <i>Identificación de áreas susceptibles a deslizamientos en el municipio de Tona, Santander, utilizando modelos geoespaciales. Revista de Geografía y Ordenamiento Territorial</i> , 22(1), 56-71.	Este estudio aplica modelos geoespaciales en el municipio de Tona (Santander) para identificar áreas de riesgo por deslizamientos. Se utiliza SIG para analizar la topografía, la litología y las precipitaciones, creando mapas de susceptibilidad que ayudarán en la gestión del riesgo en esta zona montañosa de Colombia.
Estudio de susceptibilidad a deslizamientos en el municipio de Tona y zonas aledañas utilizando herramientas geoespaciales	Andrés González, Fernanda Díaz, Miguel Ángel Pérez	González, A., Díaz, F., & Pérez, M. A. (2017). <i>Estudio de susceptibilidad a deslizamientos en el municipio de Tona y zonas aledañas utilizando herramientas geoespaciales. Revista Colombiana de Geografía</i> , 28(2), 112-126.	Este trabajo se enfoca en la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos en Tona y sus alrededores mediante SIG. Se integran datos de pendientes, tipo de suelo y condiciones climáticas, generando un mapa detallado que permite identificar áreas con alto potencial de deslizamientos en el municipio.
Zonificación del peligro de deslizamientos en la cuenca del río Tona utilizando modelos geoespaciales y SIG	Óscar López, Juan Carlos Aguirre, Claudia Varela	López, Ó., Aguirre, J. C., & Varela, C. (2020). Zonificación del peligro de deslizamientos en la cuenca del río Tona utilizando modelos geoespaciales y	Este artículo utiliza SIG para realizar la zonificación del peligro de deslizamientos en la cuenca del río Tona, ubicada en Santander. Se

		SIG. Revista de Ingeniería Geotécnica y Ambiental, 19(4), 185-199.	integran datos topográficos, de precipitación y geológicos, con el fin de crear un mapa detallado que pueda servir para la prevención de desastres en la zona.
Evaluación de riesgos de deslizamientos en la región del Chocó utilizando modelos geoespaciales y SIG	José Luis Torres, Mariana Rodríguez, Carlos Díaz	Torres, J. L., Rodríguez, M., & Díaz, C. (2018). Evaluación de riesgos de deslizamientos en la región del Chocó utilizando modelos geoespaciales y SIG. Revista de Geomática y Ciencias Ambientales, 26(1), 50-62.	Este estudio se centra en la región del Chocó, una zona de alta pluviosidad y relieve complejo, para evaluar el riesgo de deslizamientos. Utilizando SIG y modelos geoespaciales, los autores integran datos de precipitación, pendiente, tipo de suelo y uso del suelo para generar mapas de susceptibilidad a deslizamientos, con el objetivo de mejorar la planificación y gestión de riesgos en esta región tropical del país.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas tecnológicas que permiten el análisis, visualización e interpretación de datos espaciales. Su aplicación en estudios ambientales ha revolucionado la forma en que se modelan fenómenos naturales, como los deslizamientos, al integrar variables físicas y antrópicas del territorio. (Burrough, 1998)

Análisis multicriterio y método AHP

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), desarrollado por Thomas Saaty (1980), es una metodología de decisión multicriterio que ha demostrado ser eficaz para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos. Esta técnica permite comparar y jerarquizar variables a través de matrices de comparación por pares, facilitando la cuantificación de criterios cualitativos mediante juicios expertos. Combinado con SIG, el AHP ha sido utilizado con éxito en distintos contextos geográficos, generando mapas de amenaza validados con registros históricos. (OSORIO GÓMEZ & OREJUELA CABRERA, 2008)

Amenaza y susceptibilidad a deslizamientos

La amenaza por deslizamientos se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un evento en un área determinada y en un periodo específico, dada su condición física y ambiental. A su vez, la susceptibilidad representa el grado de predisposición del terreno a ser afectado, en función de factores como la pendiente, el tipo de suelo, la cobertura vegetal y las precipitaciones; el análisis de susceptibilidad es un insumo esencial para la reducción del riesgo y la planificación del uso del suelo.

Gestión del riesgo de desastres en Colombia

En Colombia, la Ley 1523 de 2012 establece el marco normativo para la gestión del riesgo de desastres, definiéndola como un proceso social integral que involucra el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres. Esta

política requiere la articulación entre los niveles nacional, departamental y municipal, promoviendo la incorporación del riesgo en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial; Sin embargo, en municipios rurales como Tona, persisten desafíos relacionados con la capacidad técnica y la implementación de medidas efectivas. (SISTEMA NACIONAL DE GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES, 2020)

Contexto local y antecedentes de deslizamientos en Tona

El municipio de Tona, ubicado en el departamento de Santander, ha registrado múltiples eventos de deslizamientos en los últimos años, provocados principalmente por fuertes lluvias y condiciones geológicas inestables. Casos como el alud de 2011 que afectó una escuela en la vereda Vegas del Quemado, y las avalanchas de 2022 que dejaron comunidades incomunicadas, evidencian la alta vulnerabilidad del territorio; estos eventos destacan la necesidad de implementar herramientas geoespaciales para anticipar escenarios de riesgo y apoyar la gestión territorial. (PMGRD-TONA)

2.2. MARCO LEGAL

El presente proyecto se enmarca dentro de la normatividad colombiana vigente relacionada con la gestión del riesgo de desastres, el ordenamiento territorial, el uso de herramientas geoespaciales y la protección del medio ambiente. A continuación, se exponen las principales leyes, decretos y normas técnicas aplicables al desarrollo del estudio:

Ley 1523 de 2012 – Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD)

Esta ley establece el marco normativo para la gestión del riesgo de desastres en Colombia, entendida como un proceso social integral. Define tres procesos esenciales: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres. Obliga a los entes territoriales a incorporar la gestión del riesgo en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial.

Ley 99 de 1993 – Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente

Esta ley organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y otorga competencias a las autoridades ambientales sobre el uso del suelo, protección de recursos naturales y prevención de riesgos derivados de fenómenos naturales. Es fundamental para respaldar las acciones de conservación como la reforestación en zonas críticas por deslizamientos.

Decreto 1807 de 2014 – Lineamientos para la zonificación de amenazas naturales en POT

Reglamenta cómo debe incorporarse la gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), especificando criterios técnicos para la zonificación de amenazas por deslizamientos, inundaciones y avenidas torrenciales. Define metodologías obligatorias según el tipo de amenaza y zona urbana o rural.

Ley 388 de 1997 – Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989 y se dictan normas sobre ordenamiento territorial

Establece la obligatoriedad de tener en cuenta los riesgos naturales en la planificación del territorio y en la definición de usos del suelo. Fomenta la prevención y mitigación del riesgo como instrumentos de control del desarrollo urbano y rural.

Guía Técnica Colombiana GTC 45 (ICONTEC) – Guía para la identificación de peligros y evaluación de riesgos

Aunque originalmente dirigida al ámbito laboral, esta guía ha sido adaptada por varias entidades para estructurar procesos de identificación y valoración de riesgos físicos, incluidos los naturales, y puede ser empleada como marco metodológico complementario.

Ley 1715 de 2014 – Promoción del uso de energías renovables y gestión ambiental del riesgo climático

Promueve medidas para la adaptación y mitigación del cambio climático, las cuales están vinculadas a la reducción de desastres por fenómenos como los deslizamientos, especialmente en áreas sensibles por deforestación y cambio en el uso del suelo.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

El presente proyecto se fundamenta en la aplicación de diversas nociones técnicas y territoriales que permiten entender la dinámica de los deslizamientos y su relación con el uso del suelo, el relieve y la planificación del territorio. A continuación, se desarrollan los conceptos más relevantes:

Amenaza por deslizamientos

Hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de remoción en masa en un lugar específico, dentro de un periodo de tiempo determinado. Esta amenaza depende de factores como pendiente del terreno, tipo de suelo, cobertura vegetal, geología, uso del suelo y régimen de lluvias. En el municipio de Tona, la

amenaza es significativa por su topografía montañosa y el uso agrícola intensivo en laderas.

Susceptibilidad

Es el grado de predisposición de un terreno a experimentar un deslizamiento, independientemente de si hay o no un detonante inmediato. En este estudio, la susceptibilidad se analiza mediante un modelo multicriterio que pondera variables geofísicas y antrópicas.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG permiten recopilar, procesar, analizar y visualizar datos espaciales y geográficos. En este proyecto, se utilizan para integrar información temática (pendientes, geología, uso del suelo, precipitación, etc.) y generar mapas de amenaza que respalden la toma de decisiones.

Gestión del riesgo

Es el proceso mediante el cual se identifican, evalúan y mitigan los riesgos que amenazan a una comunidad. En Colombia, está regulada por la Ley 1523 de 2012 y comprende tres componentes: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres. Este estudio aporta al componente de conocimiento, generando insumos técnicos clave.

Ordenamiento territorial

Es la herramienta de planificación que busca organizar el uso del territorio de acuerdo con sus características físicas, ambientales y sociales. La incorporación de análisis de amenazas como este modelo geoespacial es fundamental para tomar decisiones más informadas y sostenibles, especialmente en zonas rurales vulnerables.

2.4. MARCO AMBIENTAL

Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Microcuenca del Río Tona

El municipio de Tona (Santander) está ubicado dentro de la microcuenca del río Tona, una unidad ambiental estratégica reconocida por su importancia hídrica, ecológica y social. Con una extensión cercana a los **193,8 km²**, esta microcuenca provee recursos hídricos vitales para el área metropolitana de Bucaramanga y comunidades rurales aguas abajo, además de albergar ecosistemas de bosque andino, subandino y zonas de subpáramo (CDMB, 2005)

El Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental (POMA) elaborado por la CDMB resalta la alta vulnerabilidad de esta microcuenca frente a fenómenos de remoción en masa, resultado de una combinación de pendientes pronunciadas, suelos inestables, lluvias intensas y transformaciones en la cobertura vegetal. Estos procesos afectan directamente zonas productivas, corredores ecológicos y asentamientos rurales dispersos.

El POMA propone acciones para armonizar el uso del suelo con la capacidad de carga de los ecosistemas, como:

- Restauración y conservación de coberturas naturales.
- Regulación del uso agropecuario en laderas con riesgo.
- Zonificación ambiental del territorio.
- Fortalecimiento de la prevención de desastres mediante monitoreo y control.

Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Tona

El POT municipal, en coherencia con la Ley 388 de 1997, establece lineamientos para el uso racional del suelo, considerando criterios de amenaza, vulnerabilidad y fragilidad ambiental. En sus componentes estructurales, reconoce zonas de riesgo por deslizamientos, especialmente en veredas con antecedentes de eventos extremos, y promueve medidas como la restricción del uso del suelo en áreas inestables, así como la reforestación en zonas de recarga hídrica. La incorporación de estudios técnicos como este proyecto fortalece la base científica del ordenamiento territorial local.

Plan de Desarrollo Departamental de Santander 2020–2023 “Siempre Santander”

Este plan reconoce el impacto del cambio climático y los desastres asociados a fenómenos naturales en la sostenibilidad territorial. Dentro de su eje ambiental se prioriza la gestión del riesgo de desastres y el uso de tecnologías como SIG para monitoreo y planificación, con enfoque en municipios rurales vulnerables. Además, promueve la consolidación de herramientas técnicas para la identificación de amenazas y la formulación de estrategias de mitigación y adaptación al riesgo, alineándose con los objetivos de este estudio.

2.5. MARCO HISTORICO

El municipio de Tona, ubicado en el departamento de Santander, ha sido históricamente afectado por fenómenos de remoción en masa, como deslizamientos y derrumbes, debido a su compleja configuración geológica, pendientes pronunciadas, uso intensivo del suelo agrícola y una alta pluviosidad asociada a eventos climáticos extremos.

Uno de los eventos más recordados ocurrió el 13 de diciembre de 2011, cuando un deslizamiento sepultó una escuela rural en la vereda Vegas del Quemado, dejando cinco personas heridas, entre ellas dos menores de edad. Este evento sucedió días después de otro alud ocurrido el 7 de diciembre del mismo año, que afectó un bus cerca de la cabecera municipal, causando seis muertes y varios heridos (TIEMPO, 2011)

En años recientes, las lluvias intensas asociadas a fenómenos climáticos como La Niña han incrementado la frecuencia y severidad de los deslizamientos. Durante el 2022, se declaró calamidad pública en Tona tras una serie de derrumbes y avalanchas que aislaron varias veredas y causaron pérdida de cultivos, viviendas y vías (SEMANA, 2022)

Estos antecedentes reflejan la necesidad de implementar herramientas técnicas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y metodologías de análisis multicriterio para el estudio de amenazas, las cuales han sido aplicadas en otras regiones de Colombia con resultados efectivos. Esta evolución metodológica en el país ha sido respaldada por instituciones como el Servicio Geológico Colombiano y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), quienes promueven la incorporación de insumos técnicos en la planeación territorial.

La sistematización de estos eventos y su análisis espacial permiten no solo comprender la recurrencia histórica del fenómeno, sino también formular estrategias preventivas para mitigar futuras afectaciones en la zona rural y urbana del municipio.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se clasifica como exploratoria, descriptiva y correlacional, ya que busca caracterizar y analizar los factores que inciden en la ocurrencia de deslizamientos en el municipio de Tona, identificar patrones espaciales, y establecer relaciones entre variables ambientales, topográficas y antrópicas.

El enfoque es mixto (cuantitativo y cualitativo). Se emplea el enfoque cuantitativo para el tratamiento estadístico y espacial de las variables geográficas mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), y el cualitativo para el análisis interpretativo de factores contextuales y el juicio experto en la ponderación de criterios.

El método de investigación es observacional, inductivo y analítico, ya que se parte de la observación de fenómenos en el territorio, se recogen datos empíricos y se integran mediante análisis multicriterio.

A continuación, se detallan las fases metodológicas:

3.1. Fase 1: Recopilación y diagnóstico

Identificación de variables clave: Se definen las variables que influyen en los deslizamientos: pendiente, uso del suelo, cobertura vegetal, geología, precipitación y tipo de suelo.

Obtención de información confiable: Se recopila información geoespacial y climatológica a través de fuentes oficiales como IGAC, IDEAM, SGC y CDMB.

Diagnóstico espacial preliminar: Mediante SIG, se analizan patrones y relaciones espaciales para establecer áreas potenciales de amenaza.

3.2. Fase 2: Interpretación y análisis de datos

Estructuración jerárquica del problema: Se establece una jerarquía entre criterios, priorizando según su influencia sobre la ocurrencia de deslizamientos.

Matriz de comparación por pares: Se aplica la técnica de Saaty para asignar pesos relativos a los criterios mediante juicio experto.

Evaluación de consistencia: Se calcula el índice de consistencia (IC) para garantizar validez matemática en el modelo.

3.3. Fase 3: Modelamiento y resultados

Integración de capas y modelado SIG: Se superponen las capas temáticas ponderadas para generar un modelo geoespacial de amenaza.

Elaboración del mapa de amenazas: Se clasifica el territorio en zonas de alta, media y baja susceptibilidad a deslizamientos.

Recomendaciones técnicas: A partir del análisis, se formulan medidas orientadas a la gestión del riesgo, como la reforestación, control del uso del suelo y zonificación de riesgo para la planificación territorial.

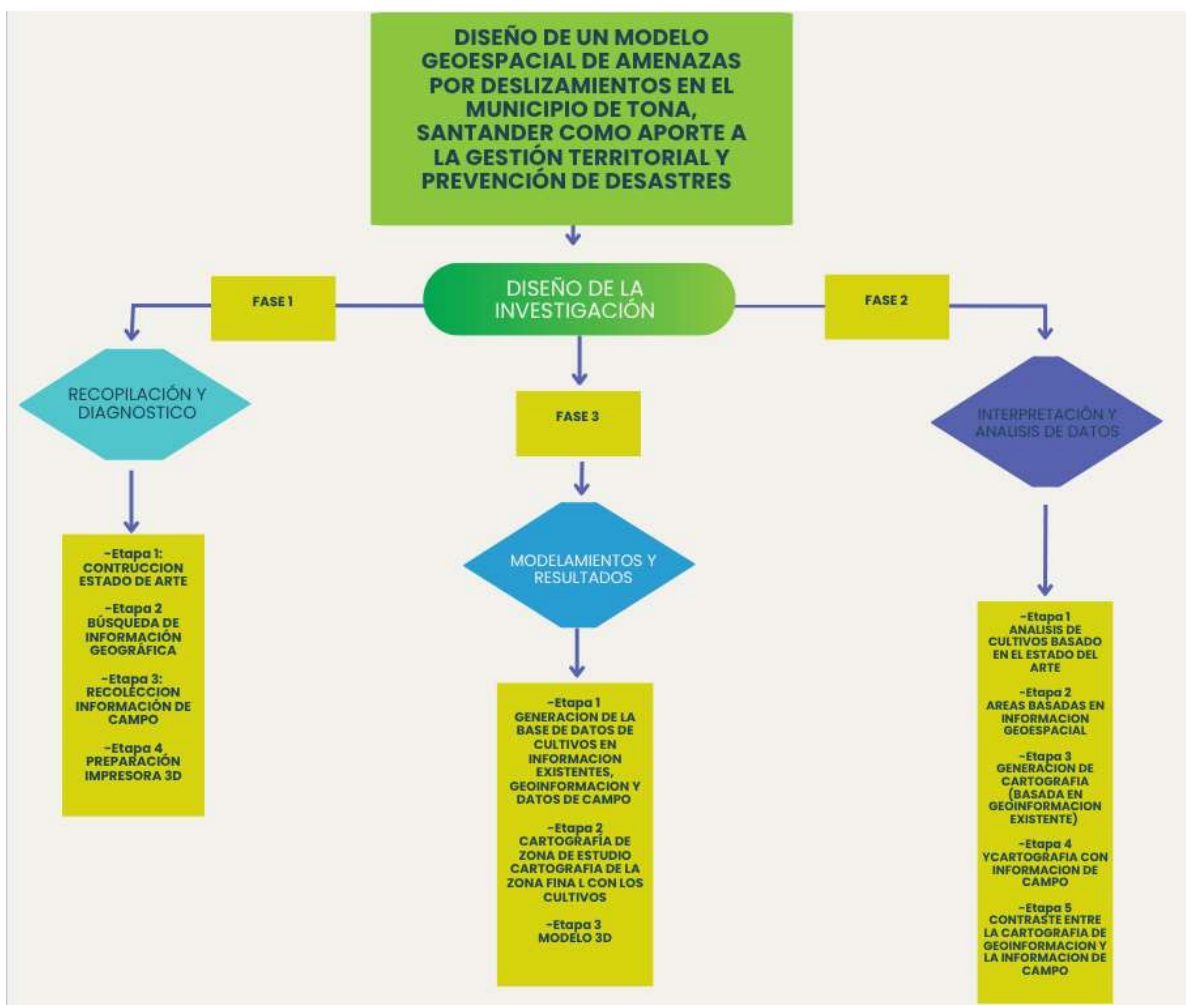


Figura 1 Diagrama de flujo de las fases

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

La zona de estudio se localiza en el municipio de Tona, departamento de Santander, Colombia, e incluye las veredas Cuesta Boba, Tembladal, Pitones, Pirgua, Guarumales, Ucatá, Saladito, Parra y Juan Rodríguez. Este territorio se encuentra a una altitud que varía entre los 2.200 y 3.200 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas promedio que oscilan entre los 8 °C y 18 °C, dependiendo de la altitud y época del año. El relieve es predominantemente montañoso, con pendientes pronunciadas y zonas de topografía abrupta, lo que incrementa la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, especialmente deslizamientos. La cobertura del suelo está compuesta por áreas de bosque andino, cultivos de pequeña escala y zonas de pastizales, las cuales, combinadas con factores climáticos, geológicos y antrópicos, influyen en la estabilidad del terreno. Estas condiciones hacen necesario el diseño de un modelo geoespacial que permita identificar zonas de amenaza por deslizamientos y contribuir así a la gestión territorial y la prevención de desastres en el municipio.

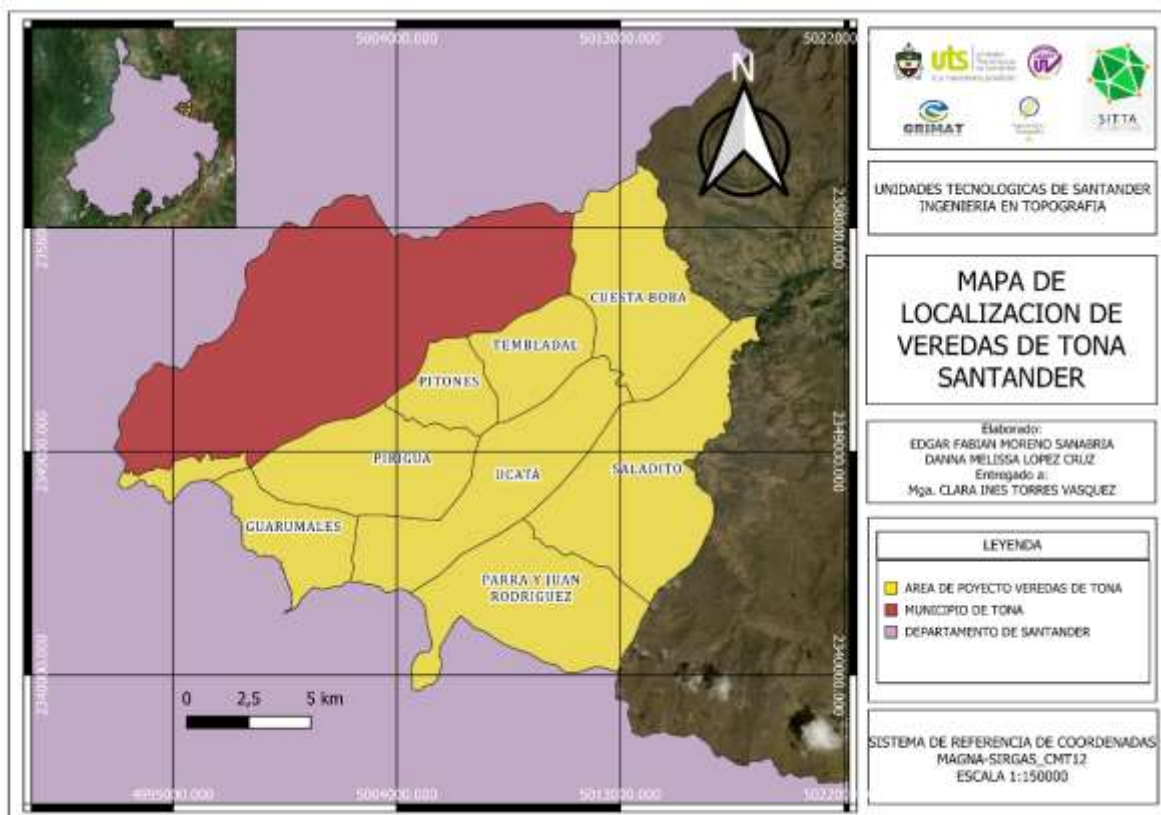


Figura 2 Mapa de localización de la zona de estudio

4.1. FACTORES CONDICIONANTES Y DETONANTES

El análisis de amenazas por deslizamiento en esta zona se justifica por la marcada variabilidad en las pendientes del terreno, lo cual convierte al área en un entorno altamente susceptible a procesos de remoción en masa, especialmente deslizamientos y caída de material rocoso. Esta inestabilidad se ve agravada por la presencia de fallas geológicas activas que contribuyen a debilitar la estructura del suelo y aceleran dichos procesos. Identificar y delimitar estas amenazas resulta fundamental para proponer medidas efectivas de prevención, planificación del uso del suelo y reducción del riesgo en el territorio.

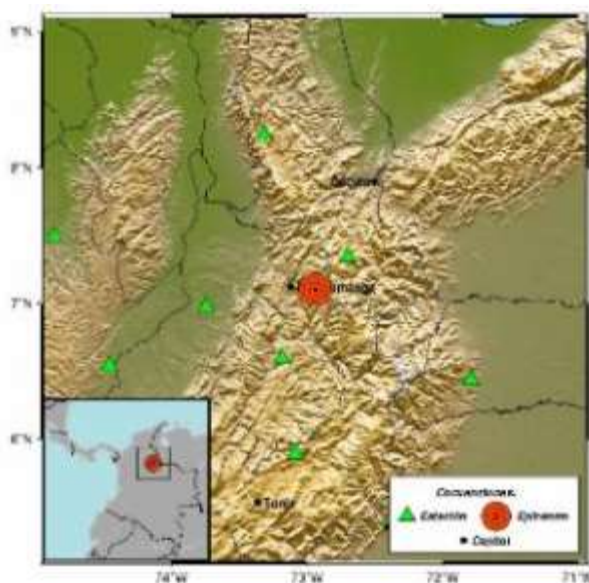


Figura 3 Ubicación del Epicentro de un Evento Sísmico

La zona de estudio presenta una topografía altamente variada, característica de los sistemas montañosos del nororiente colombiano. Se ubica en un rango altitudinal superior a los 2.000 m s. n. m., lo cual permite clasificarla dentro de una montaña media a alta. En el área se identifican geoformas como escarpes, pendientes pronunciadas, zonas inclinadas y, en menor medida, sectores planos a muy planos, lo que evidencia una compleja dinámica morfológica. Esta diversidad en las formas del relieve está acompañada por una red de fallas geológicas activas, propias del departamento de Santander, una región con alta sismicidad. La interacción entre la pendiente, la litología y la actividad tectónica convierte a esta zona en un escenario propenso a procesos de remoción en masa, en particular deslizamientos y caídas de material rocoso, los cuales son potenciados por la acción de la gravedad y las condiciones climáticas locales.

4.2. EVENTOS SÍSMICOS EN TONA Y ÁREA INFLUENCIA

4.2.1 Sismo del 21 de noviembre de 2024 – Epicentro: Tona

- **Magnitud:** 4.0
- **Profundidad:** 182 km
- **Ubicación:** Confirmada en Tona por el Servicio Geológico Colombiano (SGC).
- **Impacto:** Fue sentido en Bucaramanga, Floridablanca y municipios cercanos. No se reportaron daños.
- **Detalles:** El sismo tuvo como epicentro el municipio de Tona, en el departamento de Santander. Su profundidad fue de 182 kilómetros. “Por el momento, las autoridades no han informado de ningún tipo de eventualidad tras el movimiento.”
- **Fuente:** (SGC, 2024)

4.2.2 Sismo del 29 de julio de 1967 – Epicentro cerca de Tona

- **Magnitud:** 6.8
- **Profundidad:** 160 km
- **Área de mayor intensidad:** Entre Betulia y Tona (zona amplia, pero Tona fue parte del área sacudida).
- **Intensidad percibida:** VII (escala de Mercalli).
- **Importancia:** Uno de los sismos históricos más fuertes en Santander.
- **Detalles:** Debido a su profundidad, el sismo fue sentido en gran parte del país, desde Pasto hasta Santa Marta. Los daños más significativos ocurrieron en el departamento de Santander, donde muchas construcciones elaboradas principalmente en tapia pisada, colapsaron o quedaron averiadas
- **Fuente:** (U.NACIONAL, 1967)



Figura 4 Principales Ciudades Afectadas por el Sismo

4.2.3 Sismos recurrentes en Los Santos (Nido sísmico cercano a Tona)

- Tona se encuentra muy cerca del Nido sísmico de Bucaramanga, uno de los más activos del mundo.
- Hay micro-sismos frecuentes (diarios) en la zona, con algunos eventos importantes (≥ 4.5) cada año.
- Estos eventos afectan Tona indirectamente por su cercanía geológica.

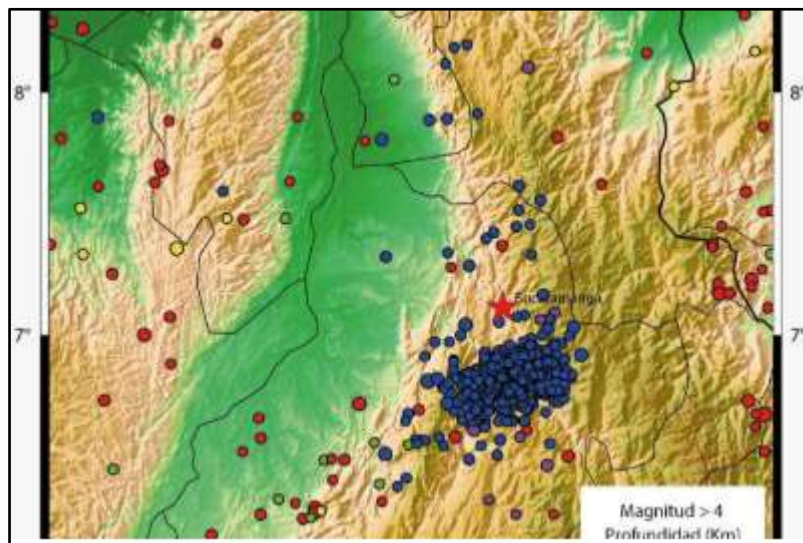


Figura 5 Colombia entre los nidos sísmicos más activos del mundo

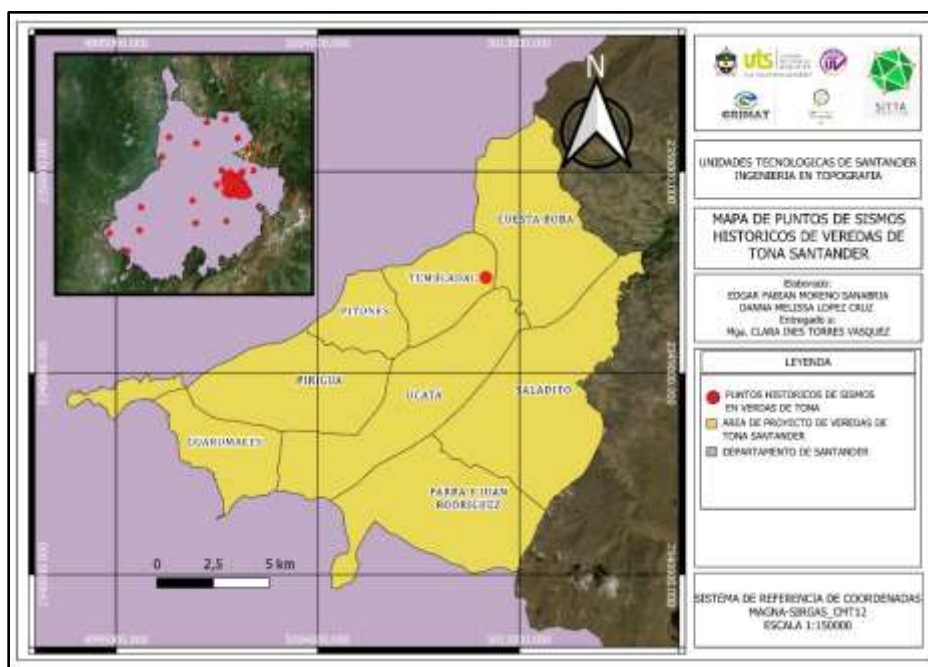


Figura 6 Mapa de puntos históricos de la zona de estudio en las veredas de Tona, Santander

La Figura 5, presenta un panorama general de la actividad sísmica en Colombia, destacando la presencia del nido sísmico de Bucaramanga, considerado uno de los más activos del mundo. En este mapa se observa una alta concentración de eventos sísmicos con magnitudes superiores a 4, ubicados principalmente en la región

nororiental del país, lo que evidencia una constante actividad tectónica en el área. Esta información resulta fundamental para contextualizar el riesgo geodinámico al que está expuesto el municipio de Tona, Santander, ya que se encuentra dentro de la influencia directa de este nido sísmico.

Por otro lado, la Figura 6 enfoca el análisis a una escala local, mostrando un mapa detallado del municipio de Tona y sus veredas, con la localización de puntos históricos donde se han registrado eventos sísmicos. Esta representación espacial permite identificar áreas específicas dentro del municipio que han sido recurrentemente afectadas por movimientos sísmicos

En conjunto, ambas figuras permiten establecer una conexión entre el contexto sísmico regional y la realidad local del municipio de Tona. Mientras la Figura 5 justifica la necesidad de estudiar las amenazas geológicas en Santander desde una perspectiva nacional, la Figura 6 permite aplicar este conocimiento a nivel veredal, ofreciendo una base sólida para el análisis de amenazas y la formulación de estrategias de gestión del riesgo.

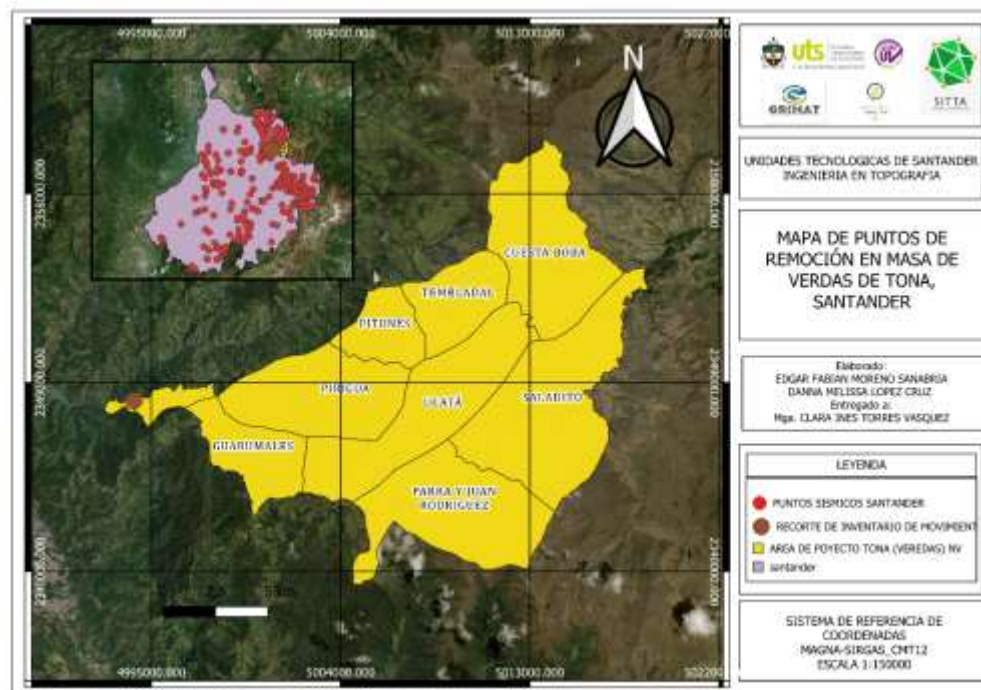


Figura 7 Mapa de puntos de remoción en masa en la zona de estudio en las veredas de Tona, Santander

4.3. EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA EN TONA

En Tona, Santander, los eventos de remoción en masa, también conocidos como deslizamientos o derrumbes, son un riesgo significativo debido a las condiciones geológicas y topográficas en las que se encuentra el municipio de Tona. Estos eventos ocurren cuando el terreno, ya sea suelo, roca o ambos, que se encuentran en una zona de pendiente se desplaza ladera abajo por la acción de la gravedad. Los factores que desencadenan estos movimientos incluyen lluvias intensas, sismos y actividades humanas que alteran la estabilidad del terreno.

Aunque no se encuentran reportes de grandes catástrofes en bases públicas, el municipio sí ha presentado remociones en masa menores debido a su:

- Variación abrupta de pendientes.
- Precipitaciones intensas.
- Suelo inestable en algunas zonas debido a la fuerte meteorización de material rocoso que se presenta en el área de estudio por tener una geomorfología de alta montaña.

En 2023, el municipio de Tona, Santander, declaró calamidad pública debido a las fuertes lluvias. Esta declaratoria, oficializada mediante el Decreto No. 049 del 12 de mayo de 2022 y prorrogada, buscaba atender las situaciones de emergencia causadas por las precipitaciones.

Ejemplos documentados:

Informe IDEAM-CDMB sobre inestabilidad en la vía Bucaramanga–Tona

- Se reportan deslizamientos recurrentes especialmente en épocas de lluvias.
- Afectación de vías rurales, taponamientos y pérdida de banca.
- Detalles: La vía Bucaramanga-Tona, en Santander, enfrenta problemas de inestabilidad debido a deslizamientos y fallas geológicas, exacerbados por las

lluvias. Esto ha generado preocupación por el posible cierre de la vía y ha llevado a las autoridades a tomar medidas para evitar un colapso.



Figura 6 Noticia de alerta Santander

Temporada de lluvias 2024

- Tona fue uno de los municipios con alerta por deslizamientos según boletines del IDEAM.
- Afectación de veredas por inestabilidad de laderas.



Figura 7 Noticia Radio Nacional de Colombia

Base de Datos DesInventar

- No reporta eventos catastróficos en Tona, pero sí en municipios vecinos, lo cual refuerza la necesidad de prevención basada en el análisis geoespacial.

- Puede usarse como soporte de la “ausencia de registro ≠ ausencia de riesgo”.

Listado: 17 municipios de Santander afectados por derrumbes y crecientes súbitas

En uno de ellos una avalancha dejó una persona muerta y más de 600 familias afectadas.



Bucaramanga • La actual temporada de lluvias ha golpeado fuertemente al departamento de Santander que ha reportado múltiples emergencias como deslizamientos de tierra y crecientes súbitas.

Figura 8 Noticia de Caracol Radio

Se presentaron procesos de avenidas torrenciales

En Tona, Santander, las avenidas torrenciales son crecidas repentinas de ríos y quebradas, causadas por fuertes precipitaciones, que pueden llevar sedimentos y causar daños significativos. Estas avenidas son comunes en cuencas de alta montaña y representan una amenaza para la infraestructura y la vida humana.

En el departamento de Santander, particularmente en Tona, las cuencas hidrológicas presentan un alto nivel de riesgo debido a la complejidad del relieve y a la variabilidad climática tanto en el espacio como en el tiempo. Estas condiciones afectan de manera significativa la economía local, ya que la agricultura constituye una fuente clave de ingresos para la región.

El análisis de amenazas hidrometeorológicas —como inundaciones, crecientes súbitas y deslizamientos de tierra— exige un enfoque multidisciplinario que permita entender cómo la variabilidad y el cambio climático afectan los cauces, el almacenamiento de agua y los riesgos asociados. En la microcuenca del río Tona, ubicada al noreste de Bucaramanga y perteneciente a la cuenca superior del río Lebrija, las inundaciones son el peligro hidrológico más común. El incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos se ha convertido en el principal problema socioambiental para la población de Tona y de municipios cercanos. (IDEAM, 2017)

Tabla 1 Factores Condicionantes de Deslizamientos en Tona, Santander

Factor Condicionante	Descripción	Relevancia en Tona
Pendiente del terreno	Inclinación del relieve que favorece la inestabilidad del suelo cuando supera cierto umbral. - La precipitación anual promedio es de unos 698 mm, con un rango típico entre 760 y 1020 mm según zonas rurales del municipio	Presencia de laderas empinadas en veredas como Berlín y El Tabacal. *En zonas rurales de Tona, entre 2021 y 2022, en los meses más lluviosos (abril, mayo, septiembre, octubre), podrían acumularse entre 80 y 100 mm de lluvia; Si esa lluvia cayó concentrada en pocas horas, pudo provocar intensidades desde fuerte hasta torrencial, condiciones suficientes para activar deslizamientos
Uso del suelo	Actividades humanas como deforestación, agricultura o urbanización en pendientes pronunciadas.	Expansión agropecuaria sin planificación en áreas de alto riesgo.
Topografía	Configuración del relieve, incluyendo formas y elevaciones que determinan la acumulación o escurrimiento de agua,	La topografía accidentada en zonas rurales de Tona favorece procesos erosivos y deslizamientos en época de lluvias.

	así como la estabilidad del terreno.	
Geología (Litología / tipo de suelo - Geometría de laderas - Cobertura vegetal)	Composición y estructura de las formaciones rocosas; influencia directa en la resistencia del terreno a procesos de inestabilidad. Materiales geológicos poco consolidados o alterados que pierden cohesión con facilidad. Forma y orientación de las pendientes respecto a factores como la lluvia o el sol. La vegetación ayuda a estabilizar el suelo; su ausencia facilita movimientos en masa.	Presencia de rocas fracturadas, suelos volcánicos y sedimentos poco consolidados en sectores de alta pendiente. Suelos de origen volcánico y sedimentario en zonas altas, propensos a deslizamientos. Pérdida de cobertura boscosa por actividades agrícolas o ganaderas. Laderas convexas en dirección a la pendiente, acumulación de agua en taludes.
Geomorfología	Dinámica y evolución del paisaje natural, incluyendo procesos erosivos, acumulativos o tectónicos que afectan la estabilidad del suelo.	Zonas con presencia de terrazas, escarpes y formas erosivas activas que aumentan la susceptibilidad a movimientos en masa.

Tabla 2 Factores Detonantes de Deslizamientos en Tona, Santander

Factor Detonante	Descripción	Ejemplos en Tona
Precipitación intensa	Lluvias fuertes o prolongadas que saturan el suelo, reduciendo la fricción interna.	Temporada invernal 2021–2022: múltiples reportes de deslizamientos en zonas rurales.
Sismos	Vibraciones del terreno que pueden desestabilizar taludes, especialmente en terrenos ya saturados.	Sismo del 21 de noviembre de 2024 con epicentro en Tona (M4.0, 182 km de profundidad).
Intervención antrópica	Construcción de vías, cortes no controlados o excavaciones en taludes sin soporte.	Construcción de carreteras rurales sin obras de drenaje adecuadas.
Cambios en el nivel freático	Elevación del agua subterránea por lluvias o represamientos, que reduce la resistencia del suelo.	Aumento del nivel de pozos y filtraciones en época de lluvias intensas.
Erosión superficial	Desgaste progresivo del suelo por escorrentía, especialmente en zonas sin vegetación.	Canales de escorrentía formados en fincas de zonas de montaña sin manejo de suelos.

- Con el fin de contextualizar la dinámica de las precipitaciones en el municipio de Tona, se presenta a continuación la climatología de días de lluvia por mes reportada por el IDEAM (periodo de referencia 1981–2010). Esta información permite evidenciar los patrones de estacionalidad de las lluvias, así como los periodos del año en los que se concentran los mayores registros de precipitación, lo cual constituye un factor detonante relevante para los procesos analizados en el presente estudio.

Datos climáticos para Tona (Berlin Automatica), elevación 3.214 m (10.545 pies), (1981-2010)													
Mes	Jan	Feb	Mar	Apr	Mayo	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Año
Significado máximo diario °C (°F)	14.5 (58.1)	14.7 (58.5)	14.9 (58.8)	14.3 (57.7)	13.8 (56.8)	12.9 (55.2)	12.3 (54.1)	12.8 (55.0)	13.5 (56.3)	13.5 (56.3)	13.5 (56.3)	13.9 (57.0)	13.7 (56.7)
Daily mean °C (°F)	8.5 (47.3)	8.7 (47.7)	9.0 (48.2)	9.3 (48.7)	9.2 (48.6)	8.8 (47.8)	8.4 (47.1)	8.7 (47.7)	8.9 (48.0)	9.0 (48.2)	9.0 (48.2)	8.7 (47.7)	8.8 (47.8)
Medio diario mínimo °C (°F)	1.7 (35.1)	2.6 (36.7)	3.7 (38.7)	5.4 (41.7)	5.9 (42.6)	5.8 (42.4)	5.4 (41.7)	5.4 (41.7)	5.2 (41.4)	5.2 (41.4)	4.6 (40.3)	3.1 (37.6)	4.5 (40.1)
Promedio de precipitación mm (pulgadas)	14.0 (0.55)	23.9 (0.94)	36.4 (1.43)	81.5 (3.21)	92.3 (3.63)	59.0 (2.32)	55.7 (2.19)	68.0 (2.68)	94.1 (3.70)	99.7 (3.93)	54.0 (2.13)	19.6 (0.77)	698.2 (27.49)
Días de precipitación promedio	6	8	11	15	18	20	21	19	17	19	13	8	175
Humedad relativa media (%)	84	84	85	88	88	89	89	88	87	88	87	86	87
Horas mensuales de sol	223.2	180.7	161.2	114.0	108.5	105.0	124.0	133.3	132.0	127.1	147.0	198.4	1,754.4
Horas diarias de sol	7.2	6.4	5.2	3.8	3.5	3.5	4.0	4.3	4.4	4.1	4.9	6.4	4.8

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales
Tabla 3 Tabla de información de datos climáticos del municipio de Tona, Santander (1981-2010)

- Cabe resaltar que estos valores corresponden a la climatología 1981–2010, debido a que los promedios actualizados por parte del IDEAM aún no se encuentran disponibles públicamente.
- Estacionalidad de las lluvias (días de precipitación)

Los meses con menos días de lluvia son enero (6), febrero (8) y diciembre (8) = temporada relativamente seca.

Los meses con más días de lluvia son mayo (18), junio (20), julio (21), agosto (19) y septiembre (17) = temporada de lluvias más intensa.

El promedio anual es de 175 días con lluvia, lo que significa que prácticamente la mitad del año presenta precipitaciones.

- Cantidad de precipitación (mm promedio)

Los meses más lluviosos en cuanto a volumen son:

mayo (92,0 mm)
octubre (99,7 mm)
noviembre (94,6 mm)

Los meses más secos son:

enero (14,0 mm)
febrero (23,9 mm)
diciembre (32,0 mm)

Esto muestra un régimen bimodal de lluvias, típico de la región andina: una temporada fuerte en abril–mayo y otra en octubre–noviembre.

- Temperatura y humedad relativa

Temperatura media anual: entre 7,8 °C y 8,9 °C, con mínimas alrededor de 1,7 °C (enero) y máximas de 14,9 °C (abril).

Humedad relativa muy alta todo el año (84–89 %), lo que favorece la persistencia de nubosidad y precipitación.

- Radiación solar

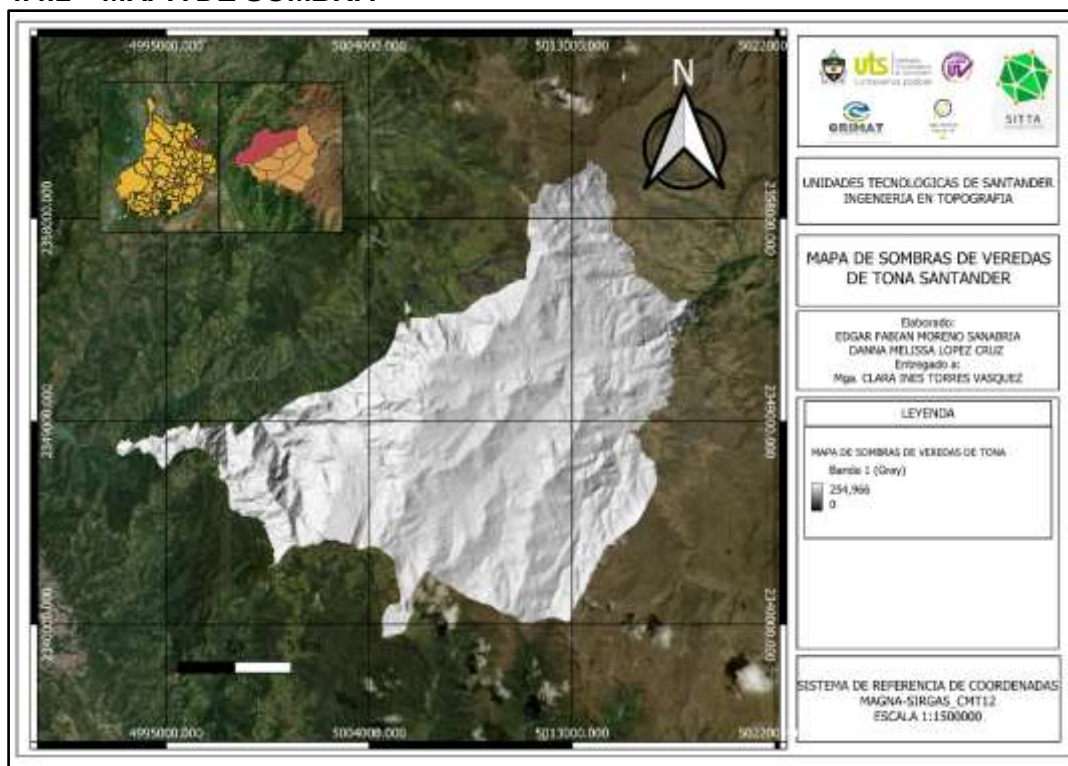
Más horas de sol en enero (7,2 h/día) y menos en mayo–junio (3,5 h/día), coincidiendo con la temporada lluviosa.

INTERPRETACIÓN GENERAL

Los datos climatológicos del municipio de Tona evidencian un comportamiento bimodal de las precipitaciones, con máximos en los meses de abril–mayo y octubre–noviembre, y periodos secos a comienzos y finales de año (enero, febrero y diciembre). En promedio, se registran 175 días de lluvia anuales, lo que representa una condición de alta pluviosidad que incide directamente en la ocurrencia de procesos de inestabilidad. Asimismo, la elevada humedad relativa (superior al 84 %) y la limitada radiación solar durante la temporada de lluvias refuerzan la saturación del suelo, convirtiendo la precipitación en uno de los principales factores detonantes de los eventos analizados.

4.4. ANALISIS DE INFORMACION

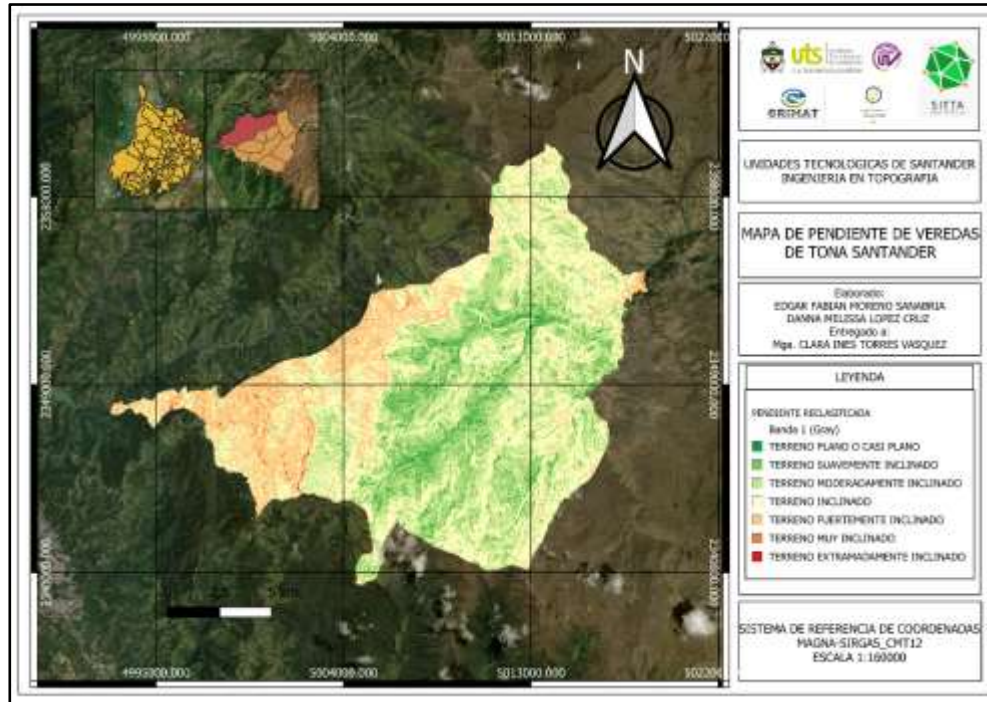
4.4.1 MAPA DE SOMBRA



La presente salida cartográfica corresponde al Mapa de Sombras de las Veredas del municipio de Tona, Santander, realizado como insumo base para la caracterización geoespacial del relieve dentro del proyecto de modelación de amenazas por deslizamientos. El mapa fue generado a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM), utilizando la herramienta de sombreado (hillshade), que permite visualizar de manera detallada las variaciones topográficas del terreno.

Esta visualización resalta el relieve del área mediante efectos de sombra simulados, facilitando la interpretación morfológica del territorio. Las sombras más oscuras indican pendientes abruptas o zonas orientadas opuestas a la fuente de iluminación simulada (generalmente al noroeste), mientras que los tonos más claros representan zonas con pendientes suaves o orientadas hacia la luz.

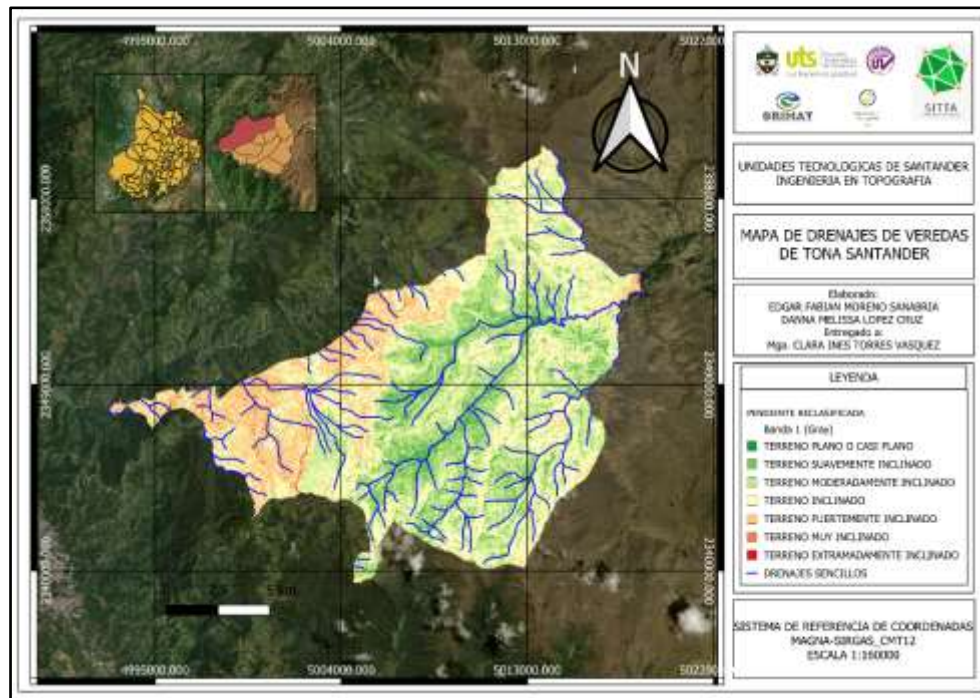
4.4.2 MAPA DE PENDIENTE



El presente insumo cartográfico corresponde al Mapa de Pendientes Reclasificadas del municipio de Tona, Santander, el cual ha sido elaborado a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE), y posteriormente procesado mediante herramientas SIG para calcular y reclasificar los grados de inclinación del terreno. Este producto forma parte del proyecto de investigación titulado:

“Diseño de un modelo geoespacial de amenazas por deslizamientos en el municipio de Tona, Santander como aporte a la gestión territorial y prevención de desastres.” La clasificación de pendientes permite identificar con claridad los rangos de inclinación del terreno, los cuales se asocian directamente con la susceptibilidad a movimientos en masa, ya que la pendiente es uno de los factores determinantes en la generación de deslizamientos, especialmente cuando se combina con lluvias intensas, suelos inestables y actividades antrópicas.

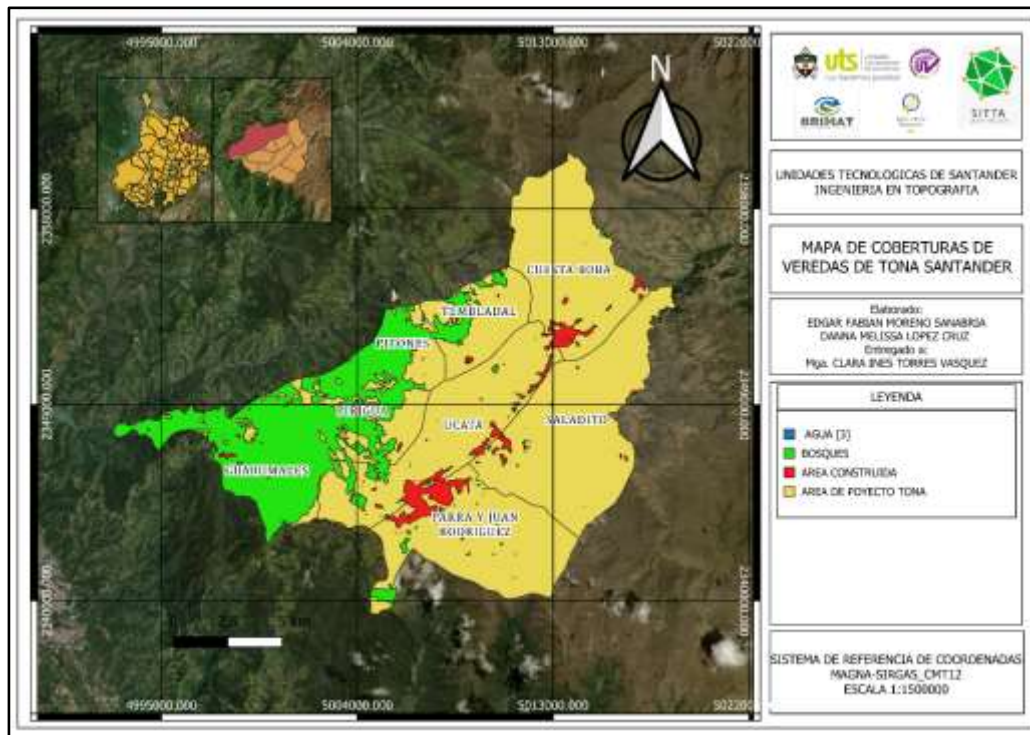
4.4.3 MAPA DE DRENAJES SENCILLOS



La presente salida gráfica representa la superposición del modelo de drenajes y la reclasificación de pendientes del municipio de Tona, Santander. Esta combinación cartográfica constituye un componente estratégico dentro del análisis multivariable del territorio, permitiendo identificar con mayor precisión zonas críticas con alta susceptibilidad a deslizamientos, al conjugar dos factores clave: topografía e hidrología superficial.

Este producto ha sido elaborado en el contexto del proyecto geoespacial que busca caracterizar y modelar las amenazas por deslizamientos en las veredas de Tona, como parte de una propuesta técnica orientada a la gestión del riesgo y la planificación territorial preventiva.

4.4.4 MAPA DE COBERTURAS



El presente mapa representa la distribución de coberturas del suelo en las veredas del municipio de Tona, Santander. Esta cartografía clasifica y especializa los diferentes tipos de ocupación y uso del suelo, siendo una herramienta fundamental en el análisis de amenazas por deslizamientos, dado que las coberturas naturales y antrópicas influyen directamente sobre la estabilidad del terreno.

Este producto geoespacial se integra como parte clave del proyecto de modelación de amenazas, aportando al diagnóstico territorial desde una perspectiva del uso y transformación del paisaje, crucial para entender cómo la ocupación humana y la cobertura vegetal afectan la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

Clasificación de coberturas:

Según la leyenda y simbología utilizada, el mapa distingue las siguientes categorías: Bosques (verde): áreas con cobertura boscosa natural, generalmente en zonas de pendiente media o alta.

Área construida (rojo): concentraciones urbanas o rurales consolidadas, como centros poblados o veredas densamente habitadas.

Agua (azul): cuerpos o corrientes hídricas superficiales.

Área del proyecto Tona (beige): extensión territorial considerada para el análisis general de amenazas.

Análisis territorial por vereda:

El cruce entre las coberturas y las condiciones topográficas permite identificar zonas prioritarias para la gestión del riesgo. De acuerdo con el análisis visual del mapa, se observan las siguientes situaciones relevantes:

Veredas con predominio de cobertura boscosa:

- Guarumales
- Pirgüa
- Pifones
- Tembladal

Estas veredas presentan una cobertura vegetal natural significativa, lo que puede reducir la susceptibilidad a deslizamientos, al mejorar la infiltración, controlar la escorrentía superficial y estabilizar el suelo. No obstante, estas áreas suelen coincidir con pendientes pronunciadas, por lo que se requiere monitoreo, especialmente en zonas intervenidas o taladas.

Veredas con concentración de áreas construidas:

- Parra y Juan Rodríguez
- Ucata
- Saladito
- Cuesta Boba
- Tembladal (núcleo central)
- Pifones (núcleo)

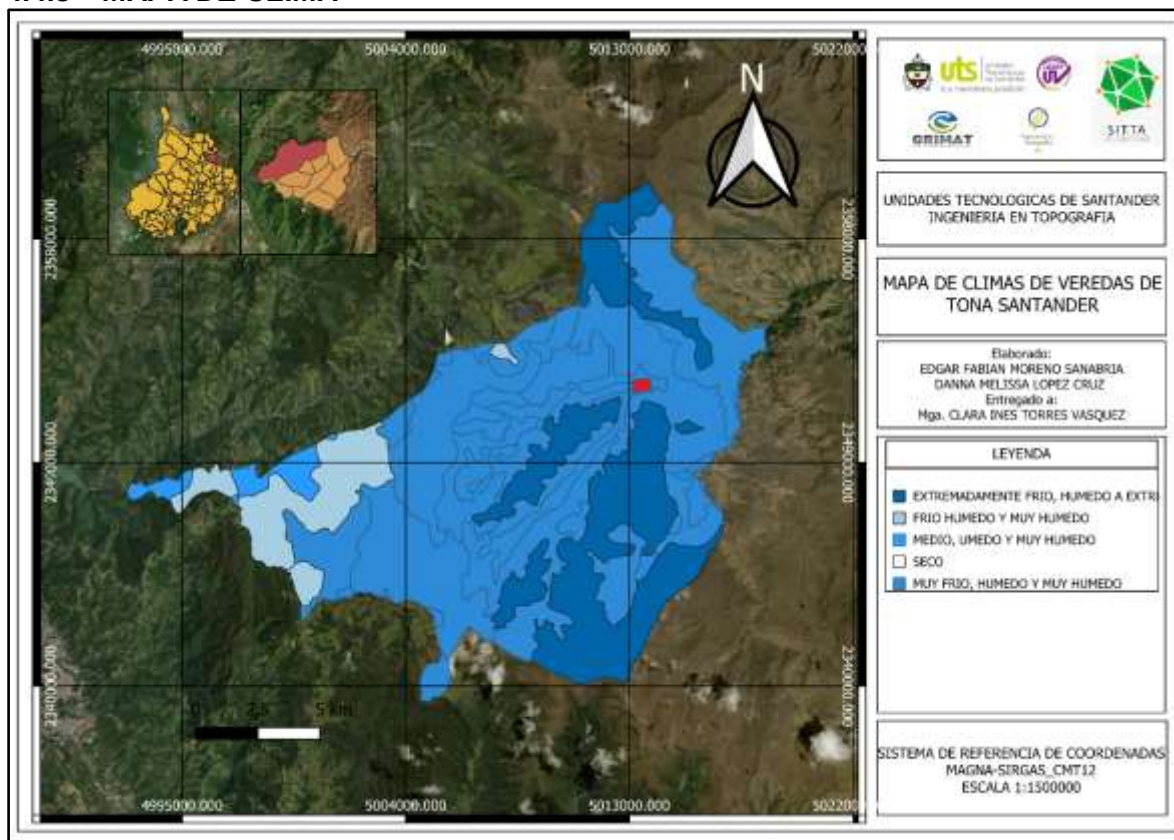
Estas veredas presentan una ocupación humana significativa, lo que incrementa el riesgo en caso de ocurrencia de deslizamientos, especialmente cuando las áreas urbanizadas se ubican cerca de laderas o cursos de agua. La expansión urbana sin planificación y la presión sobre áreas naturales incrementan la vulnerabilidad territorial.

Implicaciones para el modelo de amenazas por deslizamientos:

- La incorporación del análisis de coberturas en el modelo geoespacial permite:
- Identificar zonas donde la remoción de cobertura vegetal ha incrementado la exposición al riesgo.
- Priorizar áreas urbanizadas o en expansión para la implementación de medidas preventivas.
- Delimitar zonas de amortiguación o restauración ecológica en veredas con alta pendiente y baja cobertura vegetal.
- Establecer zonas de intervención diferenciada según uso del suelo (prevención, reforestación, relocalización).

Con respecto al área construida se hizo una bitemporalidad entre el año 2017 y 2024 donde dio como resultado que el área construida del año 2017 era de 5'082910 m² y en el año 2024 era de 6'720.460 m².

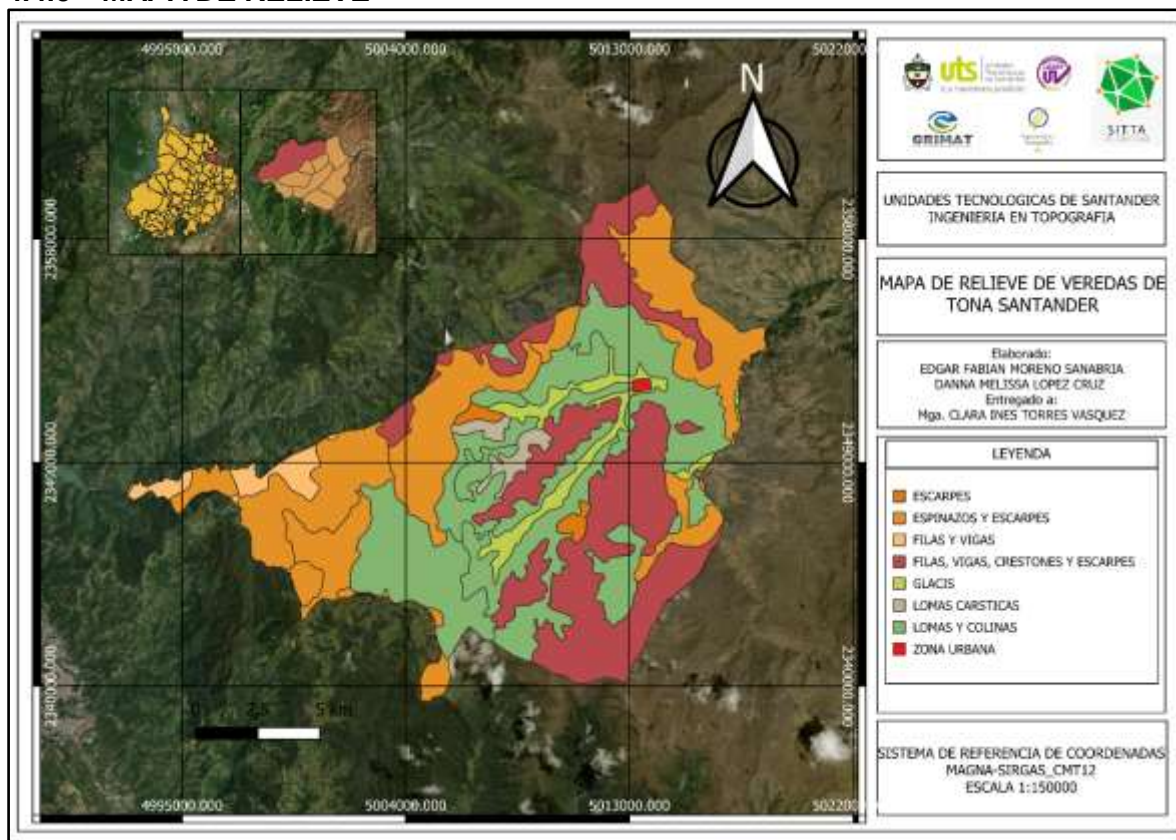
4.4.5 MAPA DE CLIMA



La presente salida gráfica representa la superposición del modelo de drenajes y la reclasificación de pendientes del municipio de Tona, Santander. Esta combinación cartográfica constituye un componente estratégico dentro del análisis multivariable del territorio, permitiendo identificar con mayor precisión zonas críticas con alta susceptibilidad a deslizamientos, al conjugar dos factores clave: topografía e hidrología superficial.

Este producto ha sido elaborado en vista del proyecto geoespacial que busca caracterizar y modelar las amenazas por deslizamientos en las veredas de Tona, como parte de una propuesta técnica orientada a la gestión del riesgo y la planificación territorial preventiva.

4.4.6 MAPA DE RELIEVE



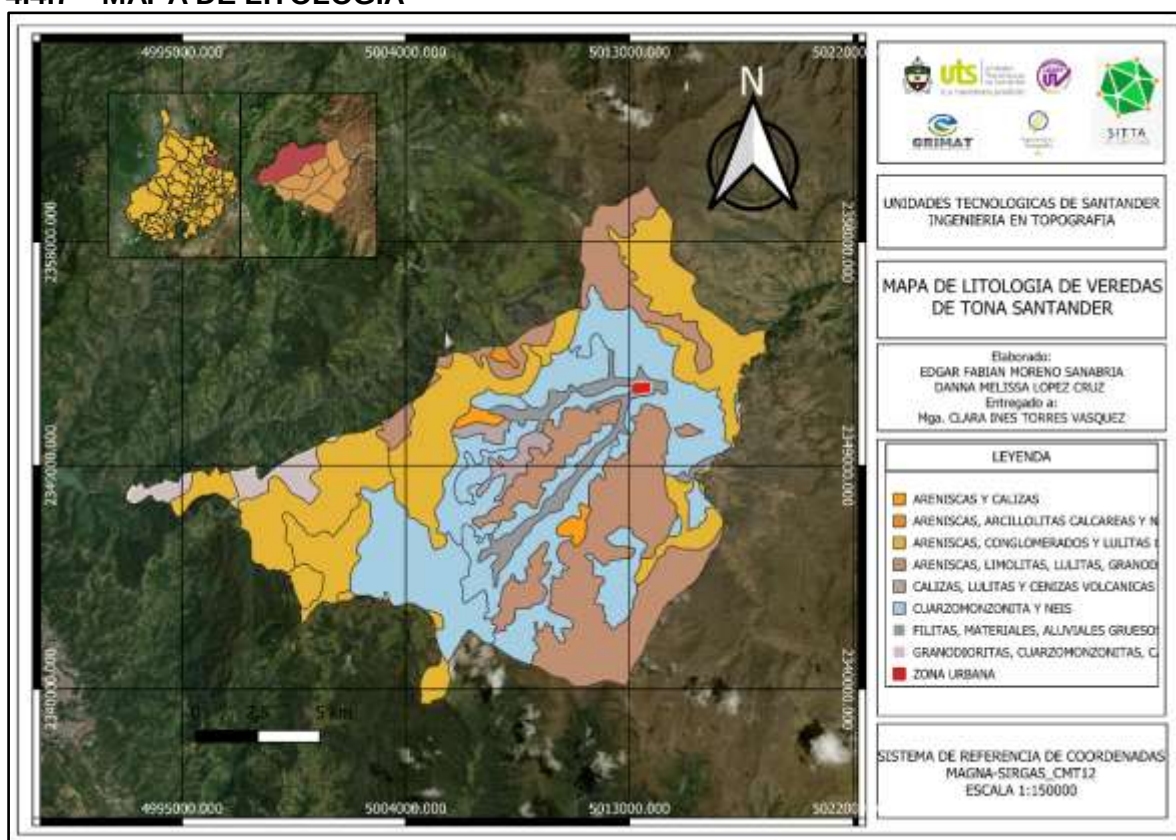
La presente salida gráfica representa la caracterización del relieve de las veredas del municipio de Tona, Santander, mediante la identificación y clasificación de unidades morfológicas como escarpes, espinazos, filas, vigas, glacis, lomas cársticas y colinas. Esta información topográfica permite reconocer la diversidad de formas del terreno y su distribución espacial, aspectos determinantes para la comprensión de la dinámica geomorfológica local.

En el análisis multivariable para la evaluación de amenazas por remoción en masa, este insumo cartográfico reviste especial relevancia, dado que el tipo de relieve influye directamente en la estabilidad de las laderas, el comportamiento del escurrimiento superficial y la susceptibilidad a procesos como deslizamientos, reptación o caída de rocas. Las áreas identificadas como escarpes, espinazos y

crestones representan zonas de alta energía del relieve, donde la pendiente y la morfología favorecen la ocurrencia de movimientos gravitacionales, especialmente cuando se combinan con suelos saturados o coberturas vegetales inadecuadas.

Este producto forma parte del proyecto geoespacial orientado a la caracterización y modelación de amenazas en las veredas de Tona. Su integración con capas de clima, pendientes, geología y drenajes permitirá construir un modelo más preciso de susceptibilidad, facilitando la gestión del riesgo, la priorización de intervenciones y la planificación territorial preventiva.

4.4.7 MAPA DE LITOLOGIA



La presente salida gráfica representa la distribución litológica de las veredas del municipio de Tona, Santander, identificando y delimitando las principales unidades

geológicas presentes en el territorio, tales como areniscas, calizas, conglomerados, lutitas, filitas, materiales aluviales, granodioritas y rocas volcánicas. La cartografía muestra la variabilidad composicional del sustrato rocoso y sedimentario, lo cual influye directamente en las propiedades geotécnicas del terreno.

En el marco del análisis multivariable para la evaluación de amenazas por remoción en masa, esta información resulta clave, ya que cada tipo litológico presenta diferentes niveles de resistencia a la erosión, cohesión interna y permeabilidad. Por ejemplo, las lutitas y arcillolitas suelen comportarse como materiales de baja resistencia mecánica y alta susceptibilidad al meteorizado, favoreciendo procesos de deslizamiento bajo condiciones de alta humedad. En contraste, rocas como granodioritas o cuarzomonzonitas tienden a presentar mayor estabilidad, aunque pueden desarrollar fracturas que condicionan fallas locales.

Este producto forma parte del proyecto geoespacial orientado a la caracterización y modelación de amenazas por deslizamientos en las veredas de Tona. Su integración con capas de pendiente, clima, relieve y drenajes permitirá identificar zonas críticas y priorizar acciones de gestión del riesgo, aportando a la planificación territorial preventiva y a la toma de decisiones en proyectos de infraestructura y ordenamiento rural.

TRABAJO DE CAMPO

Con el fin de complementar el trabajo desarrollado y evidenciar de manera visual y descriptiva las actividades realizadas, en esta parte se presenta la ruta seguida durante el trabajo de campo, representada en un mapa con el trazado correspondiente y los puntos visitados. Asimismo, se incluyen fotografías, productos topográficos y descripciones de los hallazgos en campo, que permiten contextualizar y sustentar los resultados obtenidos a lo largo del proceso; Además,

se llevaron a cabo vuelos de dron (phanton 4) con el objetivo de identificar puntos críticos en el área de estudio, cuya información, análisis e interpretación serán presentados en la sección de resultados.



Figura 9 PUNTOS GEOREFERENCIADOS DE RECORRIDO EN CAMPO

Con el fin de identificar y caracterizar las áreas con susceptibilidad a deslizamientos en el municipio de Tona, Santander, se realizaron vuelos de dron en sectores de las veredas: Guarumales - Sector Picacho, Ucatá (Sector Berlín) Saladito y Cuesta Boba. Estos vuelos fueron procesados para obtener modelos digitales de superficie, ortomosaicos y reportes de calidad que permiten evaluar las condiciones topográficas y geoespaciales de cada zona, en la imagen se observan los tres puntos visitados correspondientes a las veredas mencionadas



Figura 10 SECTOR PICACHO

En la vereda Guarumales (sector Picacho), se identificó un punto de deslizamiento ubicado sobre una ladera contigua a la vía principal, con coordenadas 7.1079986° N, -72.9804519° W (sistema WGS84) y una altitud de 3 226,3 m s. n. m. Durante el vuelo de dron 01, se cubrió un área de 7,27 hectáreas (72 700 m²). En este punto se evidencian características morfológicas asociadas a inestabilidad del terreno, tales como escarpe principal, grietas de tracción y presencia de material coluvional. La zona evaluada se encuentra directamente relacionada con infraestructura vial, ya que el deslizamiento se localiza en el borde de la calzada, aunque no se reporta presencia de viviendas cercanas.

- Detalles técnicos del punto GUA-01:
- Ubicación: Vereda Guarumales, sector Picacho
- Tipo de unidad: Ladera contigua a la vía principal (talud de corte)
- Coordenadas (WGS84): $7^{\circ}06'28.795''$ N, $72^{\circ}58'49.627''$ W

- Altitud: 3 226,3 m s. n. m.
- Cobertura del vuelo de dron 01: 7,27 ha (72 700 m²)
- Relación con infraestructura: Punto ubicado junto a la vía principal (borde de calzada)
- Relación con asentamientos: No se identificaron viviendas cercanas
- Observaciones de campo: Presencia de escarpe principal; no se observó humedad superficial del terreno



Figura 11 SECTOR VEREDA UCATÁ

Segunda parada para la toma de datos en campo, correspondiente a la vereda Ucatá, sector Berlín. En este punto se identificó un terreno plano localizado en una zona de influencia hídrica del río Jordán, con coordenadas 7.146124° N, -72.907285° W (sistema WGS84) y una altitud de 3 362,1 m s. n. m. Durante el vuelo de dron 02, se cubrió un área de 13,07 hectáreas (130 700 m²). La topografía del sitio es predominantemente plana, con alta humedad superficial del suelo debido a su cercanía al cauce del río (menos de 50 metros aproximadamente). A diferencia de otros sectores evaluados, este punto no presenta condiciones típicas de inestabilidad por ladera, pero sí podría ser susceptible a procesos de erosión lateral, socavación fluvial o saturación del suelo, factores que también deben ser considerados en la evaluación de amenazas geodinámicas.

- Detalles técnicos del punto UCA-01:
- Ubicación: Vereda Ucatá, sector Berlín
- Tipo de unidad: Terreno plano con influencia hídrica (contacto con el río Jordán)
- Coordenadas (WGS84): 7°08'46.048" N, 72°54'26.227" W
- Altitud: 3 362,1 m s. n. m.
- Cobertura del vuelo de dron 02: 13,07 ha (130 700 m²)
- Relación con infraestructura: Próximo a vías o caminos terciarios
- Relación con asentamientos: Se evidencian viviendas en la zona
- Relación con drenajes: Ubicado a menos de 50 m del cauce del río Jordán
- Observaciones de campo: Topografía plana; alta humedad del suelo; posible susceptibilidad a erosión lateral o procesos de socavación más que a deslizamiento típico de ladera



Figura 12 SECTOR RIO JORDAN

Tercera parada para la toma de datos en campo, ubicada en las veredas Cuesta Boba y Saladito, sector Berlín. En esta zona se identificó un terreno con pendientes pronunciadas, correspondiente a una unidad morfológica de montaña, con coordenadas 7.199244° N, -72.842013° W (WGS84) y una altitud de 3 431,0 m s. n. m. El vuelo de dron 03 realizado sobre este sector cubrió una superficie total de 531,37 hectáreas (5 313 657 m²), permitiendo un análisis detallado de las condiciones del relieve. Este punto presenta condiciones típicas de inestabilidad por remoción en masa, debido a su fuerte pendiente, cobertura vegetal natural dispersa y presencia de indicios de erosión superficial. Si bien no se evidencian drenajes cercanos, existen vías terciarias y senderos en las proximidades, así como viviendas cercanas al área, lo que incrementa el nivel de exposición y riesgo para la población local.

- Detalles técnicos del punto CUS-01:
- Ubicación: Veredas Cuesta Boba y Saladito, sector Berlín
- Tipo de unidad: Ladera de alta pendiente con morfología de montaña, asociada a procesos de remoción en masa
- Coordenadas (WGS84): 7.199244° N, -72.842013° W
- Altitud: 3 431,0 m s. n. m.
- Cobertura del vuelo de dron 03: 531,37 ha (5 313 657 m²)
- Relación con infraestructura: Presencia de vías terciarias, senderos o acceso carretable cercano
- Relación con asentamientos: Existen viviendas cercanas a la zona de análisis
- Relación con drenajes: No se evidencian quebradas o microcuencas próximas

- Observaciones de campo: Pendientes pronunciadas con riesgo potencial de movimientos en masa; vegetación natural dispersa; signos de erosión superficial



Figura 13 SECTOR ESTACION METEREOLÓGICA DE BERLIN

Imagen satelital del sector Berlín donde se localizan la represa y la estación meteorológica. Estos elementos constituyen infraestructuras clave para el monitoreo ambiental e hidrometeorológico en la zona. La presencia de la estación permite la recolección de datos climáticos (precipitación, temperatura, humedad, etc.) que resultan fundamentales para la evaluación de amenazas por deslizamientos, al influir directamente en la saturación de suelos y en la dinámica de escorrentía superficial. Por su parte, la represa representa un punto de interés en términos de gestión hídrica, ya que puede modificar los patrones de flujo y humedad del entorno inmediato. Esta información complementa el análisis geoespacial del territorio y permite un mejor entendimiento de los factores que inciden en la inestabilidad del terreno.



Figura 14 TRAZADO FINAL CON PUNTOS GEOREFERENCIADOS EN CAMPO

Representación del recorrido total efectuado durante el levantamiento de datos en campo para la identificación y caracterización de áreas con susceptibilidad a deslizamientos en el municipio de Tona, Santander. El trayecto, con una longitud aproximada de 18 773,71 metros, conectó los tres puntos clave de monitoreo ubicados en las veredas Guarumales (sector Picacho), Ucatá (sector Berlín) y Cuesta Boba/Saladito (sector Berlín). Esta ruta permitió el desplazamiento estratégico entre sectores de interés geotécnico, priorizados por su morfología, cobertura, condiciones de accesibilidad y antecedentes de inestabilidad.

El recorrido fue trazado con base en las condiciones topográficas del terreno y las vías existentes, permitiendo una cobertura efectiva mediante vuelos de dron y observaciones directas.

Registro fotográfico de la visita y levantamiento

Las siguientes fotografías evidencian la participación del equipo de trabajo y las condiciones ambientales presentes al momento de la recolección de datos.



Figura 16 Río Jordán

Vista panorámica del embalse Se observa el entorno natural donde se realizaron los vuelos de dron para la identificación de puntos críticos.



Figura 15 Cobertura Vegetal

Registro de las áreas recorridas en campo, donde se observa pastizales y pajonales también el relieve característico de la zona en la que se efectuaron los levantamientos.



Figura 18 Equipo control de Dron

Control remoto y visualización en pantalla durante la operación de vuelo, evidenciando el monitoreo en tiempo real de la trayectoria y captura de información geoespacial.

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión



Figura 17 Dron Phantom 4

Equipo de dron phantom 4 utilizado en el trabajo de campo, preparado para el vuelo con el fin de obtener imágenes aéreas que permitieron la identificación y posterior análisis de puntos

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Septiembre de 2025



Figura 20 Punto de armada

Levantamiento topográfico en zona de ladera mediante receptor GNSS, en el marco de la caracterización del área de estudio.



Figura 21 Punto base

Montaje del equipo GNSS en la vía del sector, empleado para la toma de datos precisos de coordenadas y altitud.



Figura 19 Toma de punto de Mojon existente

Uso de equipo GNSS para la recolección de datos georreferenciados en cercanías de un cuerpo de agua información fundamental para el análisis posterior.



Figura 20 Cuadrilla Topográfica

Trabajo colaborativo en campo durante la instalación del receptor GNSS, evidenciando la planificación y coordinación en el proceso de levantamiento topográfico.



Figura 21 Toma de mojón georreferenciado

Toma de punto topográfico con receptor GNSS en zona de cobertura vegetal, con el fin de obtener datos georreferenciados del área de estudio.



Figura 22 Represa Rio Jordán

Infraestructura hidráulica observada (embalse), incluida en el recorrido de campo y registrada para complementar la caracterización de puntos críticos.



Figura 23 Sector relieve montañoso

Vista panorámica del relieve montañoso en el área de Berlín, Santander, registrada durante el trabajo de campo para evidenciar las condiciones ambientales y topográficas presentes.

5 RESULTADOS

5.1 ANALISIS E INTERPRETACION DE LA GEOINFORMACION

La siguiente tabla resume las zonas críticas por remoción en masa en veredas de Tona, Santander, indicando su ubicación, factores que favorecen la inestabilidad (pendientes, materiales, drenaje, clima) y los procesos asociados, como deslizamientos, reptación, flujos y licuefacción. Sirve como insumo clave para priorizar medidas de mitigación y gestión del riesgo.

Tabla 4 Zonas críticas por remoción en masa en veredas de Tona, Santander

Vereda	Sectores críticos (referencia espacial)	Factores dominantes	Procesos	Sectores críticos-Propuesta (referencia espacial)	Litología (Propuesta)	Clima (Propuesta)	Altura aprox. (msnm)	Influencia área construida (Propuesta)	Procesos-Propuesta
Saladito	Sectores de ladera oriental, cercanos a drenajes principales	Pendientes fuertes a extremas, suelos de baja cohesión, alta escorrentía	Deslizamientos y flujos de lodo	Laderas orientales y cercanas a drenajes principales	Esquistos y areniscas fracturadas	Frío húmedo	2800-3200	Viviendas dispersas y vías terciarias en ladera	Deslizamientos y flujos de lodo
Parra y Juan Rodríguez	Zonas altas y abruptas en el oriente de la vereda	Pendientes extremas, fracturamiento de laderas, deforestación local	Caídas de material y deslizamientos	Zonas altas y abruptas del oriente	Metamórficas + coluviales inestables	Frío húmedo	3000-3400	Construcción rural puntual y caminos	Caídas de material y deslizamientos
Cuesta Boba	Áreas del norte con laderas prolongadas y pendientes muy inclinadas	Alta pendiente, meteorización de lutitas, concentración de escorrentía	Deslizamientos superficiales y reptación	Laderas del norte con pendientes muy inclinadas	Depósitos aluviales/coluviales poco consolidados	Templado-frío, húmedo	2600-3000	Cercanía a cultivos y vías veredales	Deslizamientos superficiales y reptación
Ucatá	Sectores centrales asociados a cursos de agua secundarios	Pendientes moderadas a inclinadas, saturación de suelos, drenaje deficiente	Deslizamientos rotacionales	Sectores centrales asociados a cursos secundarios	Areniscas meteorizadas y arcillas residuales	Frío húmedo	2800-3300	Vías veredales y viviendas en pendiente	Deslizamientos rotacionales/locales
Tembladal	Laderas intermedias, transición hacia áreas de menor pendiente	Pendientes moderadas, acumulación de agua en épocas de lluvia	Deslizamientos superficiales	Laderas intermedias en transición a mayor altura	Esquistos y cuarcitas con fracturas	Páramo bajo (frío y lluvioso)	3200-3500	Escasa construcción	Deslizamientos superficiales y erosión
Pirigua	Laderas dispersas con inclinación moderada	Relieve intermedio, suelos moderadamente estables	Deslizamientos locales aislados	Laderas altas dispersas	Metamórficas meteorizadas, suelos delgados	Páramo húmedo	3300-3600	Sin áreas construidas significativas	Reptación y flujos de ladera
Pitones	Zonas centrales próximas a drenajes secundarios	Pendientes inclinadas, saturación por escorrentía	Flujos de detritos y reptación	Proximidades a drenajes secundarios en laderas altas	Areniscas meteorizadas + coluviales	Páramo húmedo	3400-3600	Muy poca construcción	Flujos de detritos y reptación
Guarumales	Sectores bajos cercanos a drenajes y zonas de acumulación de agua	Pendientes suaves, acumulación hídrica, erosión hídrica	Encharcamiento y reptación lenta	Sectores bajos cercanos a drenajes y fondos de valle	Aluviales recientes	Templado-húmedo	1800-2400	Influencia de expansión urbana cercana	Encharcamiento y erosión hídrica

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Septiembre de 2025

La tabla muestra que los puntos críticos en Tona se concentran en zonas de pendientes fuertes, litologías inestables (esquistos, areniscas, coluviales y aluviales) y bajo condiciones de clima frío húmedo y páramo, donde predominan procesos de deslizamientos, flujos de lodo y reptación. En las áreas bajas con aluviales recientes, el riesgo principal es el encharcamiento y la erosión hídrica. La presencia de construcciones dispersas y vías en laderas incrementa la vulnerabilidad de varias veredas.

Los riesgos en Tona se originan en la interacción entre la geología, el clima y la presión antrópica, siendo prioritario el manejo del uso del suelo y la prevención en sectores con viviendas y vías en laderas inestables.

Tabla 4 Tabla de Análisis de Condiciones Físicas y Procesos Geomorfológicos en veredas de Tona, Santander

TABLA DE ANALISIS										
N° DE PUNTO	VEREDA	COORDENADA		COTA	PENDIENTE	CLIMA	CRIPCION, COBERT	LITOLOGIA	RELIEVE	PROCESO GEOMORFOLOGICO
		LATITUD	LONGITUD	msnm						
1	UCATA	7.107765°	-72.980731°	3236.66	TERRENO EXTREMADAMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	PASTIZALES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DESPLAZAMIENTOS Y CAIDAS DE ROCA
2	UCATA	7.107993°	-72.980435°	3254.28	TERRENO MUY INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	PASTIZALES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DESPLAZAMIENTOS Y CAIDAS DE ROCA
3	UCATA	7.107845°	-72.980238°	3239.47	TERRENO MUY INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	PASTIZALES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DESPLAZAMIENTOS Y CAIDAS DE ROCA
4	UCATA	7.146080°	-72.907200°	3345.18	TERRENO MUY INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	PASTIZALES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DESPLAZAMIENTOS Y CAIDAS DE ROCA
5	UCATA	7.147301°	-72.906061°	3343.92	TERRENO MUY INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	PASTIZALES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DESPLAZAMIENTOS Y CAIDAS DE ROCA
6	UCATA	7.107823°	-72.980468°	3238.65	TERRENO SUAVEMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	AREA CONSTRUIDA	FLUTAS, MATERIALES, ALUMALES GRUESOS Y FINOS	GLACIS	REPTACION
7	UCATA	7.107809°	-72.980381°	3239.23	TERRENO SUAVEMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	AREA CONSTRUIDA	FLUTAS, MATERIALES, ALUMALES GRUESOS Y FINOS	GLACIS	REPTACION
8	CUESTA BOBA	7.186036°	-72.868431°	3311.64	TERRENO MODERADAMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	PASTIZALES	CUARZOMONZONITAY NEIS	LOMAS Y COLINAS	ENCHARCAMIENTOS Y REPTACION
9	CUESTA BOBA	7.184814°	-72.867130°	3310.55	TERRENO SUAVEMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	PASTIZALES	CUARZOMONZONITAY NEIS	LOMAS Y COLINAS	ENCHARCAMIENTOS Y REPTACION
10	CUESTA BOBA	7.185468°	-72.868563°	3308.19	TERRENO MODERADAMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	PASTIZALES	FLUTAS, MATERIALES, ALUMALES GRUESOS Y FINOS	GLACIS	ENCHARCAMIENTOS Y REPTACION
11	PITONES	7.190340°	-72.937575°	3200	TERRENO FUERTEMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	BOSQUES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DESPRENDIMIENTO DE ROCA
12	PITONES	7.187528°	-72.947772°	2900	TERRENO INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	BOSQUES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	ACARREO DE SEDIMENTOS
13	PITONES	7.176390°	-72.949238°	3100	TERRENO FUERTEMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	BOSQUES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DESPRENDIMIENTO DE ROCA
14	PIRIGUA	7.166830°	-72.948852°	3300	TERRENO FUERTEMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	PASTIZALES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	REPTACION Y ENCHARCAMIENTO
15	PIRIGUA	7.151819°	-72.994308°	2100	TERRENO INCLINADO	FRIO HUMEDO Y MUY HUMEDO	BOSQUES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	REPTACION Y EROSION HIDRICA LINEAL
16	GUARUMALES	7.132775°	-72.982116°	2700	TERRENO INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	BOSQUES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DESPLAZAMIENTOS GRANDES, ALTA SUSCEPTIBILIDAD A EROSION HIDRICA Y PERDIDA DE SUELO
17	GUARUMALES	7.126975°	-73.000933°	2700	TERRENO FUERTEMENTE INCLINADO	MUY FRIO, HUMEDO Y MUY HUMEDO	BOSQUES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DEPOSITOS COLUVALES AL PIE DE LADERA, DESPLAZAMIENTOS ROTACIONALES Y FLUJOS DE DETRITOS Y Lodos
18	PIRIGUA	7.140343°	-73.000215°	2350	TERRENO FUERTEMENTE INCLINADO	FRIO HUMEDO Y MUY HUMEDO	BOSQUES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	DESPLAZAMIENTOS PEQUEÑOS, EROSION EN CARCAVAS Y SOCACAVACION LATERAL
19	PIRIGUA	7.149473°	-73.009362°	2200	TERRENO FUERTEMENTE INCLINADO	FRIO HUMEDO Y MUY HUMEDO	BOSQUES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	EROSION LAMINAR Y CARCAVAS INCIPIENTES
20	CARAGUA	7.149151°	-73.034871°	2300	TERRENO INCLINADO	FRIO HUMEDO Y MUY HUMEDO	BOSQUES	ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y LULITAS CALCAREAS	ESPINAZOS Y ESCARPES	REPTACION Y PEQUEÑOS DESPLAZAMIENTOS SUPERFICIALES

ELABORADO POR:
Docencia

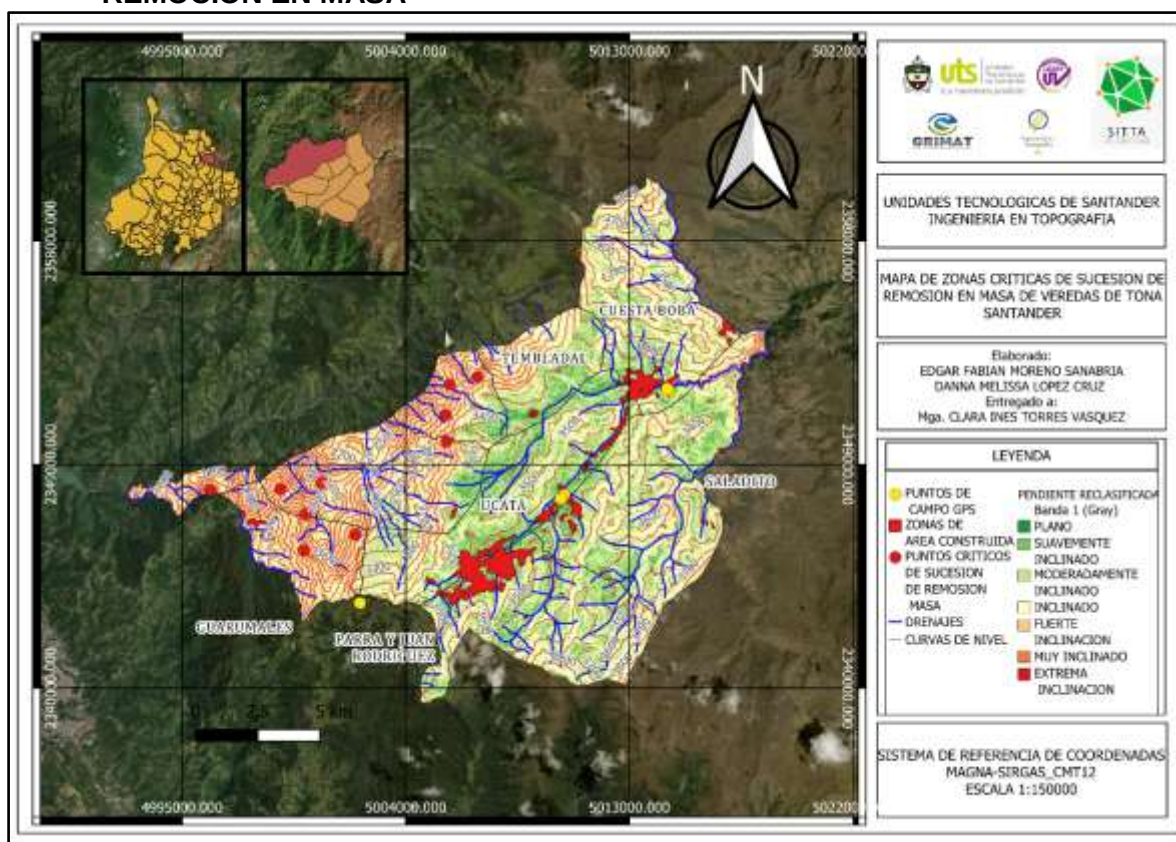
REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Septiembre de 2025

La información resume las condiciones físicas y ambientales de puntos localizados en las veredas de Tona, considerando pendiente, clima, cobertura, litología y relieve, con el fin de identificar los procesos geomorfológicos predominantes en la zona.

El área de la tabla con puntos de color rojo corresponde a puntos críticos a procesos de remoción en masa, pero establecidos bajo criterios de análisis con la geo-información, tomando como base mapa de pendientes, curvas de nivel y mapa de sombras.

5.1.1 MAPA DE PENDIENTES CON CURVAS DE NIVEL Y ZONAS VULNERABLES DE REMOCIÓN EN MASA



El mapa de pendientes de las veredas de Tona muestra cómo se distribuyen las zonas planas, inclinadas y extremadamente empinadas del municipio. También resalta el área construida (en rojo), lo que permite ver dónde coinciden los mayores riesgos naturales con la presencia de población e infraestructura.

Las veredas Cuesta Boba, Saladito y Parra y Juan Rodríguez presentan las pendientes más pronunciadas, lo que las hace especialmente vulnerables a deslizamientos. En Ucatá, Tembladal y Pitones el riesgo es intermedio, mientras que en Pirigua, Guarumales y Caragua predomina un relieve más estable. Sin embargo, cuando las zonas construidas se ubican en laderas inclinadas o cerca de drenajes, la vulnerabilidad aumenta considerablemente.

Este mapa es clave para el modelo geoestadístico, ya que ayuda a identificar las áreas críticas donde se debe priorizar la prevención, fortalecer la gestión del riesgo y proteger a las comunidades de posibles remociones en masa.

5.2 ANALISIS DE LA INFORMACION OBTENIDA EN CAMPO

A continuación, se presentan los resultados individuales de cada sector, acompañados de su respectivo reporte técnico y visualizaciones, para posteriormente integrar la información en un modelo geoespacial consolidado.

5.2.1 Sector Picacho - Vereda Güarumales

El vuelo realizado en Guarumales permitió cubrir un sector caracterizado por pendientes moderadas a altas y presencia de curvas cerradas en la vía principal. Las imágenes revelan áreas con vegetación natural mezclada con pastos para ganadería, así como taludes artificiales producto de la construcción vial. Estos cortes de terreno, junto con la inclinación natural de la ladera, representan puntos críticos de atención para la gestión del riesgo de deslizamientos.

Estos cortes de terreno, junto con la inclinación natural de la ladera, representan puntos críticos de atención para la gestión del riesgo de deslizamientos.



Figura 24 Calidad del procesamiento

- Se procesaron 38 imágenes, de las cuales 34 fueron calibradas correctamente (89%), lo que indica un ajuste adecuado de las fotografías al modelo.
- El Ground Sampling Distance (GSD) fue de 5.54 cm/pixel, garantizando un nivel de detalle suficiente para identificar taludes, vegetación y morfología del terreno.
- Se obtuvo una cobertura total de 7,28 ha lo cual permitió analizar con precisión la zona de interés.
- El sistema reporta un error en parámetros de cámara de solo 1.47%, considerado aceptable para la precisión requerida en estudios de estabilidad de laderas.

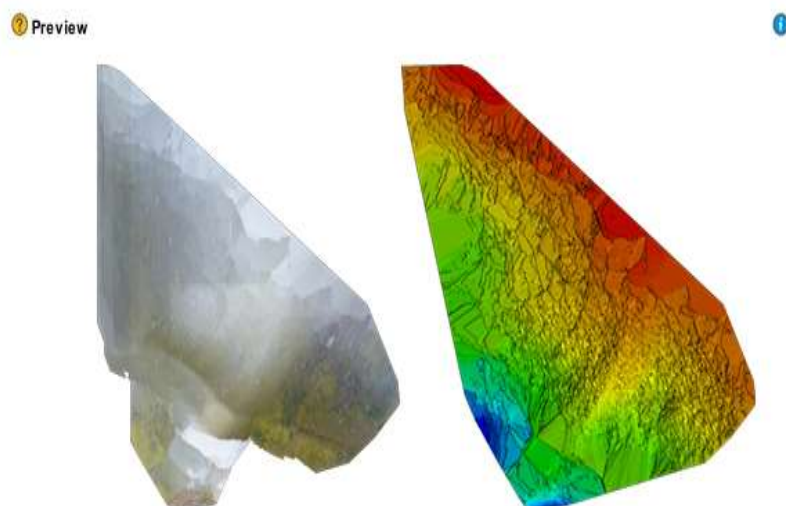


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Figura 25 Modelo Digital de Superficie (MDS)

- El ortomosaico generado permite observar con alta resolución los cortes de terreno y las coberturas vegetales.
- El MDS refleja claramente la topografía irregular, con laderas empinadas que coinciden con zonas críticas de riesgo de deslizamientos.

Number of Calibrated Images	34 out of 38
Number of Geolocated Images	38 out of 38

Initial Image Positions

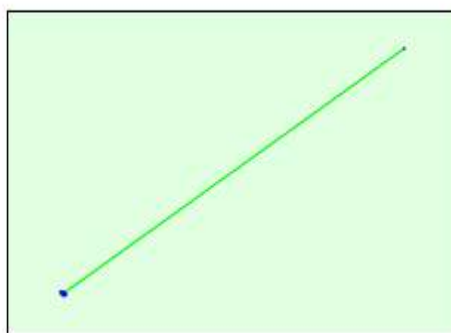


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Figura 26 Posición de Imágenes

- La distribución de las imágenes se presenta en una trayectoria lineal con solape adecuado.
- Esto asegura la correcta reconstrucción del relieve, aunque algunas áreas periféricas muestran menor cobertura.

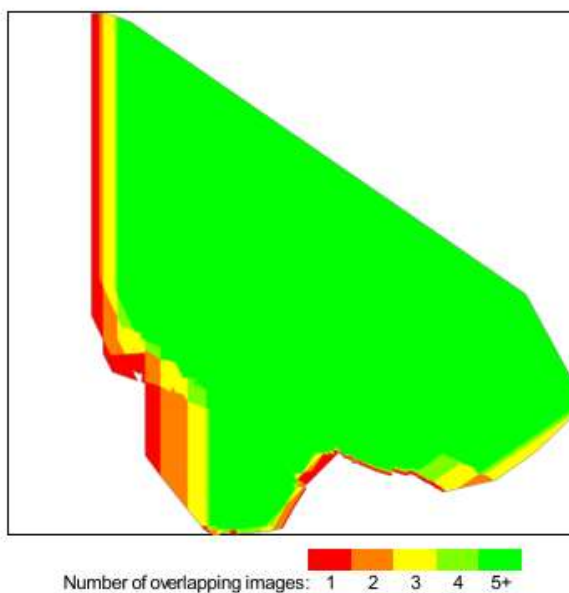


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Figura 27. Nivel de solape entre imágenes

- La mayor parte del área presenta más de 5 imágenes de solape por píxel (color verde), lo que garantiza buena calidad en el ortomosaico y el MDS.
 - Las zonas en rojo y amarillo, ubicadas en los bordes, reflejan baja superposición, lo que puede afectar la precisión en esas áreas específicas.

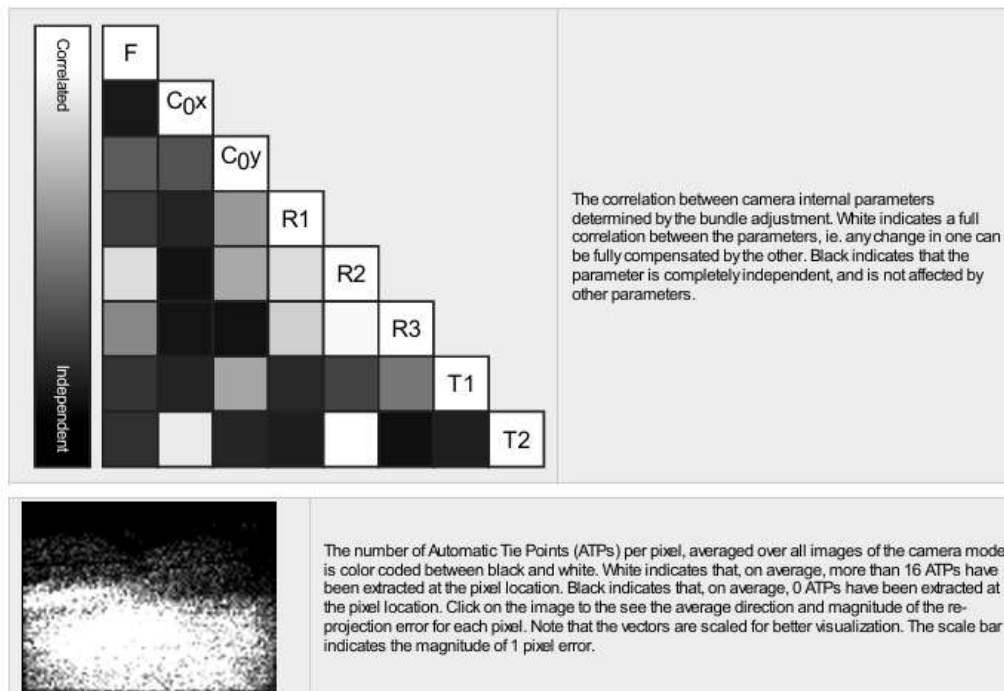


Figura 28 Matriz de correlación entre parámetros internos de la cámara e Imagen con puntos de unión automática

- Esta matriz te muestra cómo cada parámetro está relacionado con los otros durante el ajuste del modelo de la cámara.
- Representa la cantidad y calidad de los Automatic Tie Points (ATP) por píxel.
- Los vectores (flechas) muestran la dirección y magnitud del reproyección para cada punto, escalados para mejor visualización.
- La barra de escala indica un error de reproyección de 1 píxel.

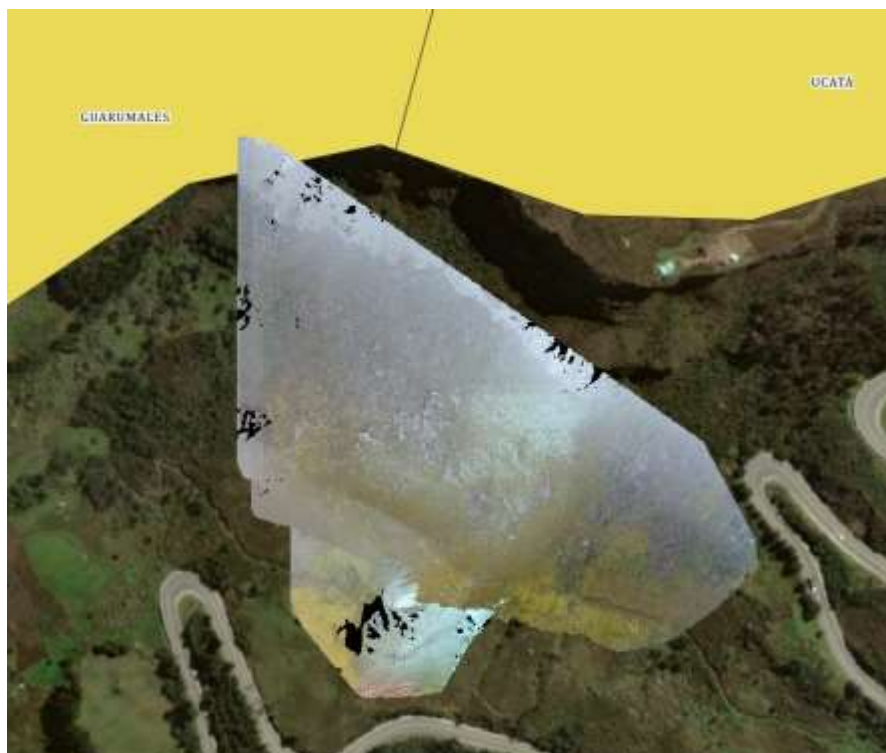


Figura 29 Ortoimagen tomada en Vereda Guarumales

5.2.2 Comparación de imágenes de Vereda Guarumales

El análisis comparativo entre la fotogrametría obtenida mediante dron y el mapa de pendientes en el sector muestra que la zona en común se caracteriza por la presencia de laderas con pendientes fuertes y muy fuertes, representadas en tonos rojos y anaranjados. Esta condición topográfica, sumada a la intervención antrópica asociada a la vía de alta sinuosidad y a los cortes de talud visibles en la imagen, incrementa la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

La superposición de ambas fuentes de información permite confirmar que los sectores críticos se concentran principalmente en los tramos viales donde la carretera atraviesa estas laderas empinadas, configurando un escenario de riesgo directo para la infraestructura y la movilidad. En este contexto, el análisis resalta la necesidad de priorizar acciones de mitigación en el área de coincidencia, incluyendo medidas de drenaje, revegetalización y obras de estabilización, orientadas a reducir la vulnerabilidad del terreno y garantizar la seguridad en la zona.

5.3 Sector Berlín - Vereda Ucatá

En Ucatá se obtuvo un ortomosaico de alta resolución que evidencia un terreno más suavemente ondulado en comparación con otras zonas del estudio. Se destacan áreas con uso agropecuario, drenajes naturales y tramos de vías terciarias. Las curvas y meandros observados en los cuerpos de agua sugieren zonas de acumulación hídrica que, bajo condiciones extremas, podrían afectar la estabilidad de taludes cercanos.

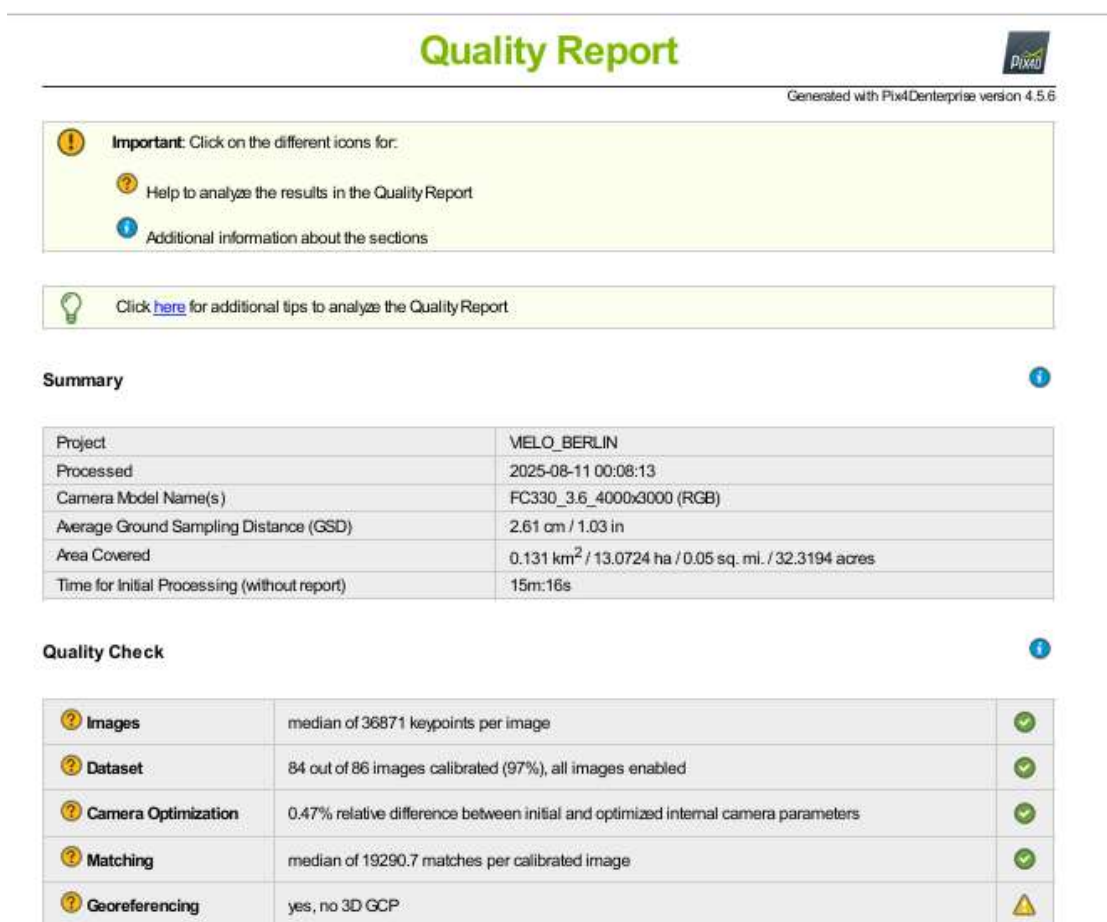


Figura 30 Reporte calidad del procesamiento

- El análisis de calidad muestra una calibración exitosa con el 97% de las imágenes calibradas, una baja diferencia (0.47%) entre los parámetros internos iniciales y optimizados de la cámara

- Distancia media de muestreo en tierra (GSD): 2.61 cm / 1.03 in
- Área cubierta: 0.131 km² (13.07 ha / 0.05 sq. mi. / 32.31 acres)
- Tiempo de procesamiento inicial: 15 min 16 s

Calibration Details

Number of Calibrated Images	84 out of 86
Number of Geolocated Images	86 out of 86

? Initial Image Positions

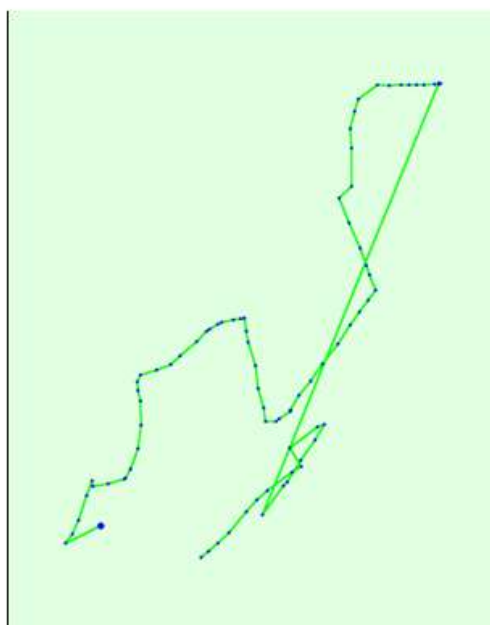


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Figura 31 Posiciones e imágenes

- Indica una trayectoria consistente del vuelo, empezando desde el punto azul grande. La línea verde representa el orden temporal de captura, mostrando un patrón que cubre adecuadamente la zona de interés.

- El gráfico de solapamiento de imágenes revela una buena cobertura del área, con la mayoría de las zonas con más de 5 imágenes superpuestas (verde), lo que favorece la calidad del ortomosaico y modelos 3D.

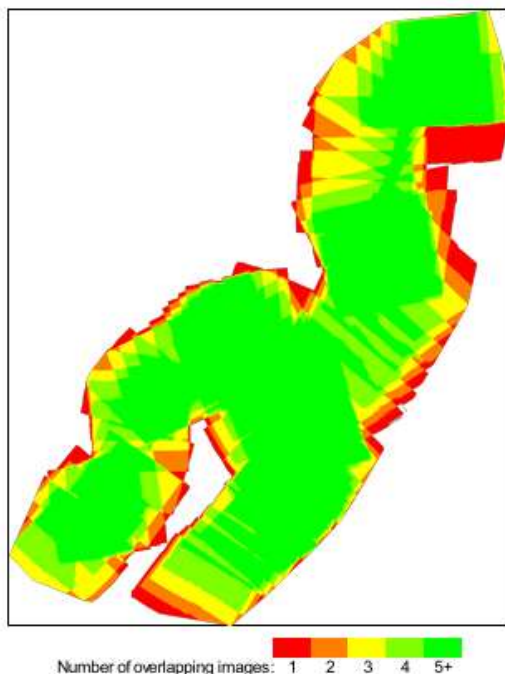


Figura 32 mapa de solapamiento de imágenes

- Verde: Zonas con alta superposición (5 o más imágenes), lo cual es ideal para asegurar una buena reconstrucción y mayor precisión en el modelo 3D y ortomosaico.
- Amarillo y Naranja: Áreas con entre 2 y 4 imágenes superpuestas, que tienen una cobertura moderada.
- Rojo: Zonas con baja superposición (solo 1 imagen), lo que puede generar menor calidad o mayor incertidumbre en esos sectores.

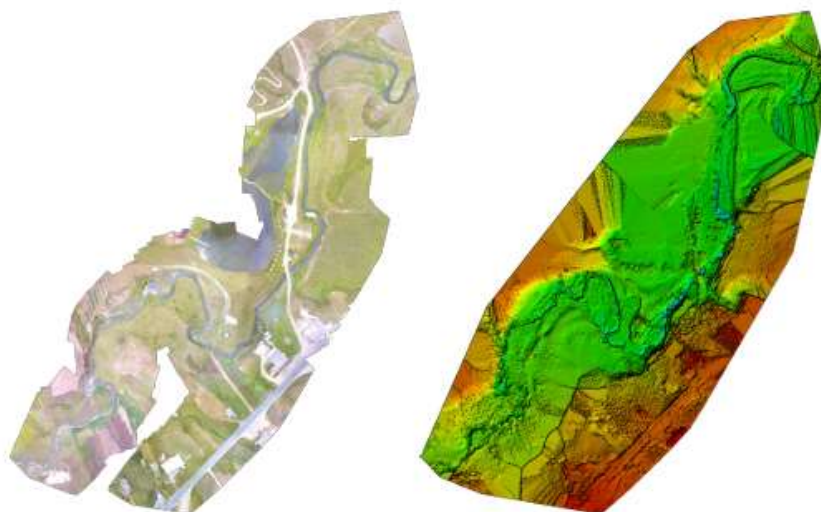


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Figura 33 Ortoimagen y Modelo Digital de Superficie

- El ortomosaico y el Modelo Digital de Superficie (DSM) muestran claramente la topografía ondulada y las características del terreno, permitiendo identificar áreas agropecuarias, drenajes y caminos.
- El DSM antes de la densificación se presenta con una representación inicial que permite una evaluación rápida del relieve.

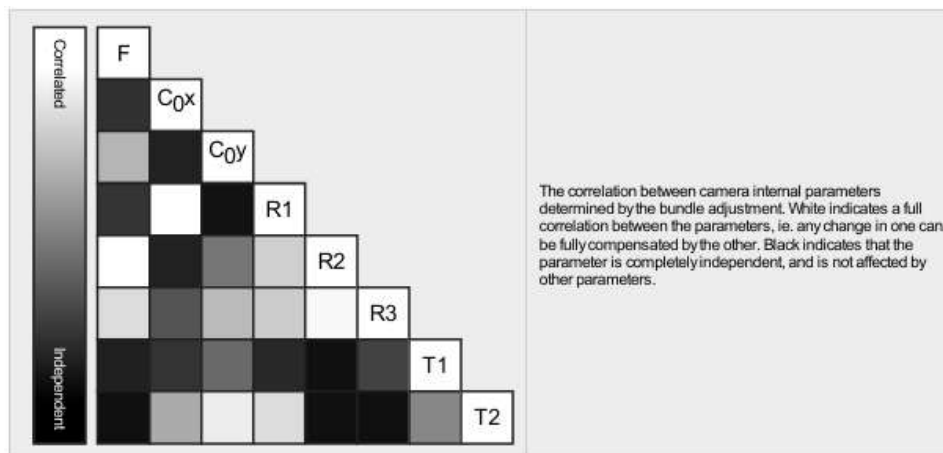


Figura 34 Matriz de correlación

- La imagen con puntos de unión automática (ATP) muestra la distribución y densidad de los puntos clave detectados por píxel.
- Zonas blancas indican píxeles con más de 16 puntos de unión, mientras que zonas negras indican ausencia o baja densidad, señalando posibles áreas de baja textura o características homogéneas.
- Los vectores muestran la dirección y magnitud del error de reproyección, escalados para facilitar la interpretación.
- Las áreas blancas indican alta correlación, lo que significa que cambios en un parámetro pueden compensarse con otro.
- Las áreas negras señalan independencia entre parámetros.



Figura 35 resultado vuelo tomado en Vereda Ucatá

5.3.1 Comparación de imágenes de Vereda Ucatá

El análisis comparativo entre la fotogrametría y el mapa de pendientes en la vereda Ucatá, municipio de Tona, Santander, permite identificar condiciones críticas asociadas a la interacción entre cobertura vegetal fragmentada y laderas de fuerte inclinación. En la zona central de la vereda se evidencian parches con alta intervención antrópica, caracterizados por suelos descubiertos y uso agrícola intensivo, que al coincidir con pendientes pronunciadas incrementan de manera significativa la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

La coincidencia entre ambas fuentes de información muestra que los sectores más vulnerables se ubican en áreas donde la deforestación ha reducido la capacidad de protección natural del terreno, generando focos de riesgo frente a deslizamientos y erosión acelerada. Estos hallazgos permiten establecer que Ucatá presenta un escenario de criticidad superior frente a otras veredas, dado que combina factores de presión antrópica con condiciones geomorfológicas desfavorables.

En conjunto, esta evidencia aporta al modelo geoestadístico de gestión del riesgo al delimitar zonas prioritarias de intervención, orientando la necesidad de

implementar medidas como la revegetalización, prácticas de conservación de suelos y la regulación del uso agrícola en laderas. De esta manera, Ucatá se posiciona como un territorio donde la gestión territorial y la restauración ambiental son fundamentales para reducir la vulnerabilidad frente a eventos de remoción en masa.

5.4 Sector Berlín - Vereda Cuesta Boba y Saladito

El levantamiento aéreo en la vereda Cuesta Boba reveló un terreno de alta pendiente, con zonas de vegetación dispersa y áreas intervenidas por actividades humanas. Las imágenes muestran una distribución heterogénea de coberturas, con sectores donde la vegetación ha sido reemplazada por suelo desnudo, lo que incrementa la vulnerabilidad a deslizamientos. Se identifican además patrones de escorrentía superficial que podrían concentrar el flujo de agua durante lluvias intensas, favoreciendo la inestabilidad del terreno.

En la vereda Saladito, contigua a Cuesta Boba, el ortomosaico evidencia laderas de pendiente media a alta con un mosaico agropecuario y franjas de vegetación secundaria. Se observan vías veredales con taludes de corte y pequeños parches de suelo desnudo. La escorrentía se concentra en concavidades y en el contacto con cauces menores, incrementando la susceptibilidad a movimientos en masa superficiales. Estos rasgos orientan la priorización de monitoreo en bordes de talud, pies de ladera y cruces vía–drenaje.

Quality Report



Generated with Pix4Dentprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	ULTIMO_VUELO
Processed	2025-08-12 15:35:28
Camera Model Name(s)	FC330_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	15.55 cm / 6.12 in
Area Covered	5.314 km ² / 531.3657 ha / 2.05 sq. mi. / 1313.7128 acres
Time for Initial Processing (without report)	06m:10s

Quality Check



Images	median of 28232 keypoints per image	
Dataset	40 out of 42 images calibrated (95%), all images enabled	
Camera Optimization	1.41% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 13929 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, no 3D GCP	

Figura 36 Calidad de los vuelos

- Se procesaron 40 de 42 imágenes, calibrando el 95% del dataset.
- Se obtuvo una media de 28,232 keypoints por imagen y 13,929 matches por imagen calibrada.
- La optimización de la cámara presentó una diferencia relativa del 1.41%, indicando una buena calibración.
- La georreferenciación se realizó sin puntos de control en 3D, con una advertencia que debe considerarse en el análisis final.
- El área cubierta fue de 5.314 km² = 531.3657 ha

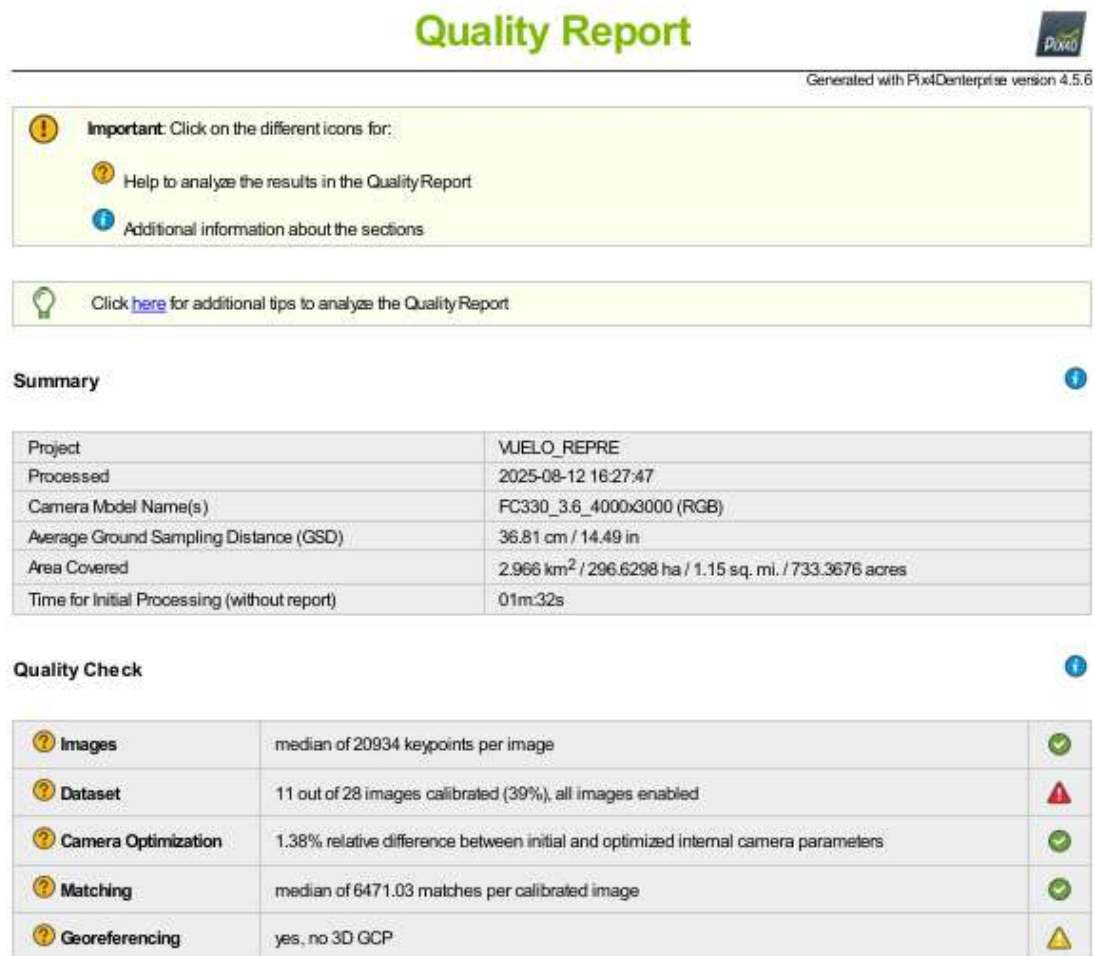


Figura 37 Resultados del proceso

- Se procesaron 11 de 28 imágenes calibradas, mostrando una calibración más limitada (39% del dataset).
- Se obtuvo una media de 20,934 keypoints por imagen y 6,471 matches por imagen calibrada.
- La optimización de la cámara fue similar con una diferencia relativa de 1.38%.
- La georreferenciación también se hizo sin 3D GCP, con la misma advertencia.
- El área cubierta fue de 2.966 km² = 296.6298

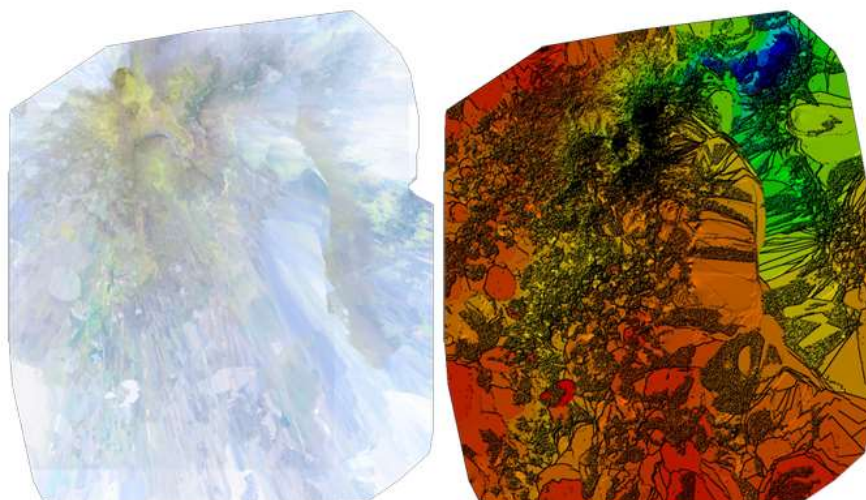


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Figura 38 Ortomosaico

- Ortomosaico (izquierda): Es una composición de imágenes aéreas corregidas geométricamente para crear una vista aérea continua y ortorectificada del terreno.
- Permite observar la distribución espacial y los usos del suelo con alta precisión visual.

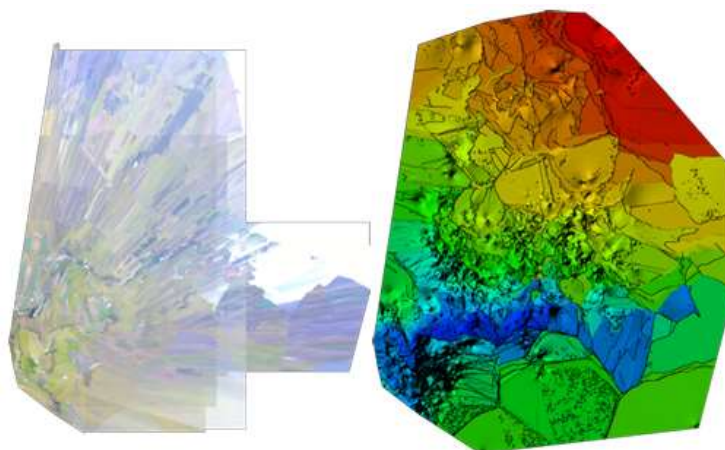


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Figura 39 Modelo Digital de Superficie (DSM)

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Septiembre de 2025

- Modelo Digital de Superficie disperso (DSM, derecha): Representa la topografía del terreno y la altura de objetos sobre la superficie (vegetación, edificaciones, taludes) pero en una versión inicial con puntos dispersos antes de un proceso de densificación que aumentará la resolución y detalle.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	40 out of 42
Number of Geolocated Images	42 out of 42

Initial Image Positions

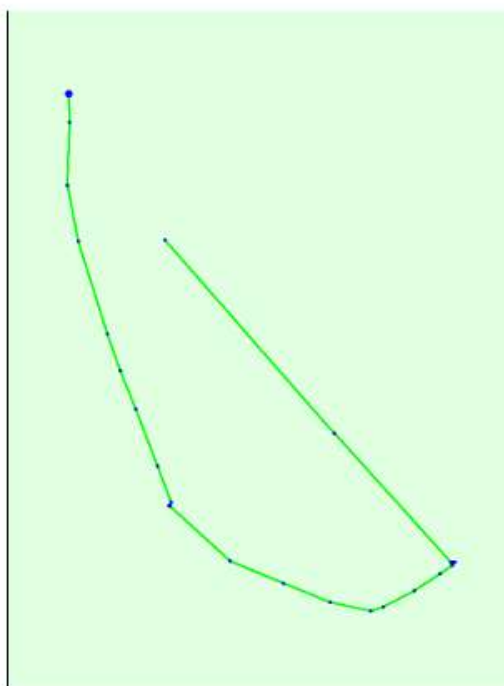


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Figura 40 Detalles de Calibración

- Cada punto azul representa una posición donde se tomó una imagen durante el vuelo. La línea verde conecta estos puntos en el orden en que las imágenes fueron capturadas, empezando desde el punto azul más grande.
- Esto proporciona una visión general de la trayectoria del dron o vehículo aéreo y cómo se cubrió el área de estudio.

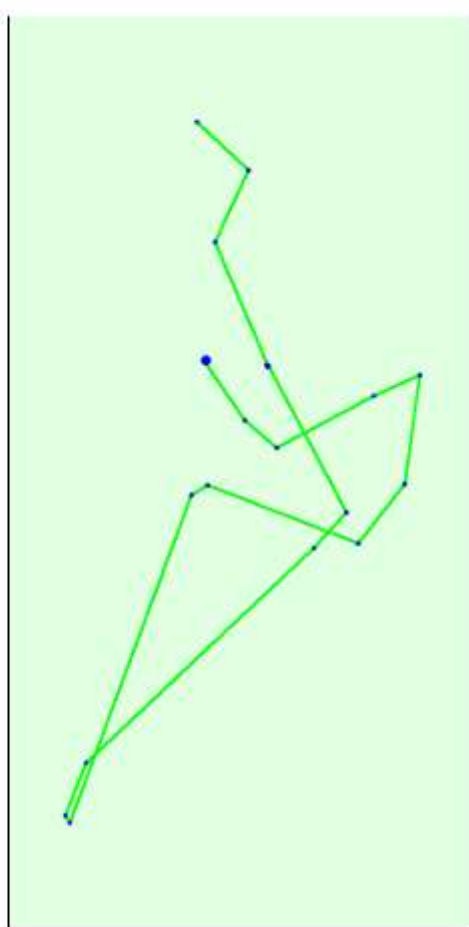


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Figura 41 Posiciones Iniciales de las Imágenes durante el vuelo.

- Permite verificar la cobertura espacial del vuelo y si la ruta fue eficiente y completa.
- Ayuda a detectar posibles errores o inconsistencias en la posición de las imágenes que puedan afectar la calidad del modelo final.
- Es útil para entender la distribución temporal y espacial de los datos capturados para la reconstrucción 3D y ortomosaico.

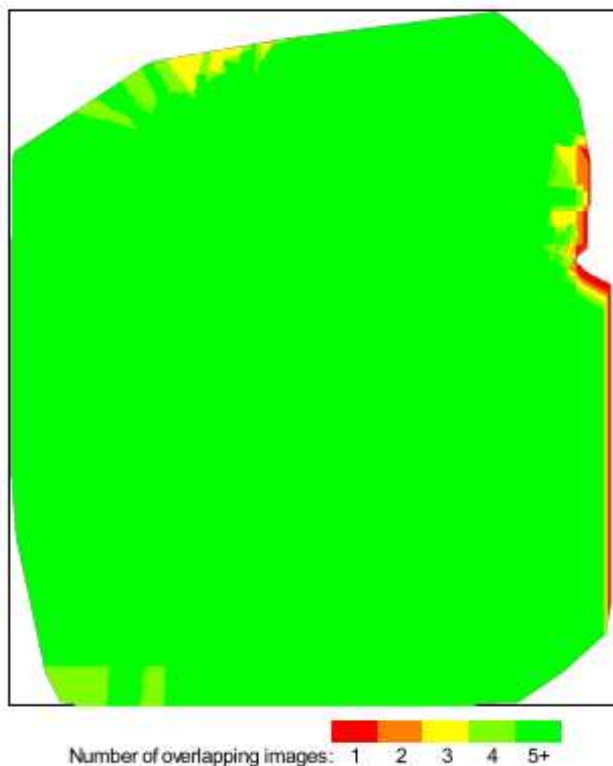


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Figura 42 Número de imágenes superpuestas por píxel

- Cobertura casi completamente verde: Esto indica una excelente superposición de imágenes en la mayor parte del terreno.
- Las pequeñas franjas rojas y amarillas en los bordes son normales y esperadas debido al límite del área cubierta por el dron.
- Esta distribución sugiere que el ortomosaico y DSM generados tendrán buena calidad en toda el área principal.

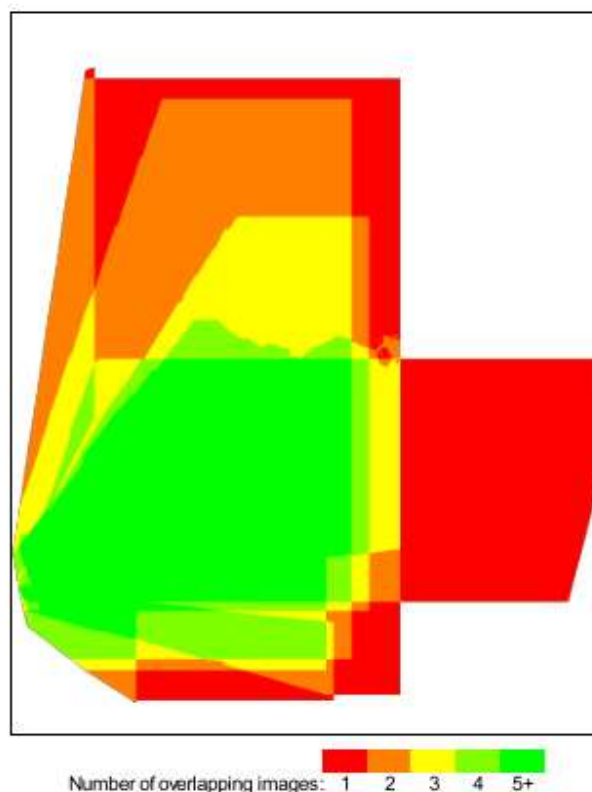


Figura 43 Cobertura y Calidad de la Superposición de Imágenes

- Presencia significativa de zonas rojas y naranjas: Muestra baja superposición en varias áreas
- Riesgo de mala calidad en el modelo 3D o errores en el ortomosaico.
- Necesidad de mejorar la planificación del vuelo (altura, traslape, cobertura).
- La zona verde central tiene suficiente superposición y puede dar buenos resultados localizados, aunque globalmente, la calidad podrá ser menos confiable.

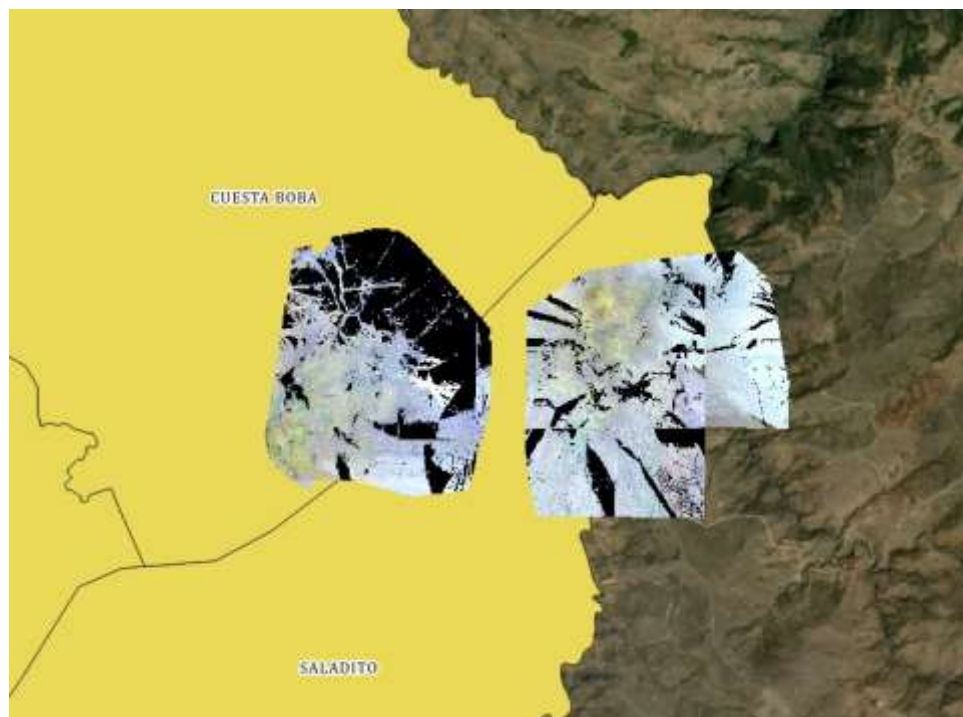


Figura 44 resultado vuelo tomado en Veredas Cuesta Boba y Saladito

5.4.1 Comparación de imágenes de Vereda Cuesta Boba y Saladito

El análisis comparativo de las imágenes aéreas obtenidas mediante vuelos de dron en las veredas Saladito y Cuesta Boba, en el municipio de Tona, Santander, frente al mapa de pendientes, permite identificar diferencias relevantes para la gestión del riesgo y la construcción de un modelo geoestadístico de vulnerabilidad por remoción en masa. En la vereda Saladito, las imágenes muestran un relieve abrupto, con pendientes pronunciadas que superan los 35°, asociado a áreas de suelos susceptibles a saturación hídrica. Estas condiciones se reflejan en una mayor probabilidad de deslizamientos superficiales y procesos de inestabilidad en taludes, especialmente en sectores cercanos a los cauces menores y áreas de uso agrícola. Por su parte, en la vereda Cuesta Boba, aunque las pendientes son más heterogéneas, con zonas moderadas alternadas con laderas fuertes, se evidencian

riesgos asociados a procesos de reptación y pequeños deslizamientos en sectores intervenidos por actividades humanas o cercanos a vías rurales.

La comparación entre ambas imágenes permite establecer que Saladito presenta mayor criticidad en términos de susceptibilidad a deslizamientos por su relieve más abrupto, mientras que en Cuesta Boba los procesos de remoción en masa se relacionan más con intervenciones antrópicas y la dinámica de laderas medias. En conjunto, estas observaciones evidencian que los puntos críticos de riesgo se concentran en zonas de transición de fuerte pendiente hacia los cursos de agua, en taludes carreteables y en áreas agrícolas donde la cobertura vegetal ha sido reducida. Estos hallazgos aportan al modelo geoestadístico al delimitar sectores con mayor probabilidad de ocurrencia de eventos de remoción en masa y permiten orientar estrategias de gestión del riesgo en el municipio de Tona, priorizando acciones de monitoreo, mitigación y fortalecimiento de la resiliencia comunitaria.

5.5 Integración de resultados

La consolidación de los modelos geoespaciales obtenidos para las veredas Guarumales, Picacho, Saladito y Cuesta Boba permitió generar una visión integral de la topografía y posibles zonas de amenaza por deslizamientos en el municipio de Tona. Este insumo constituye una herramienta para la gestión del riesgo, facilitando la identificación de áreas prioritarias para monitoreo y acciones de prevención, así como para la planificación territorial en concordancia con la reducción de desastres.

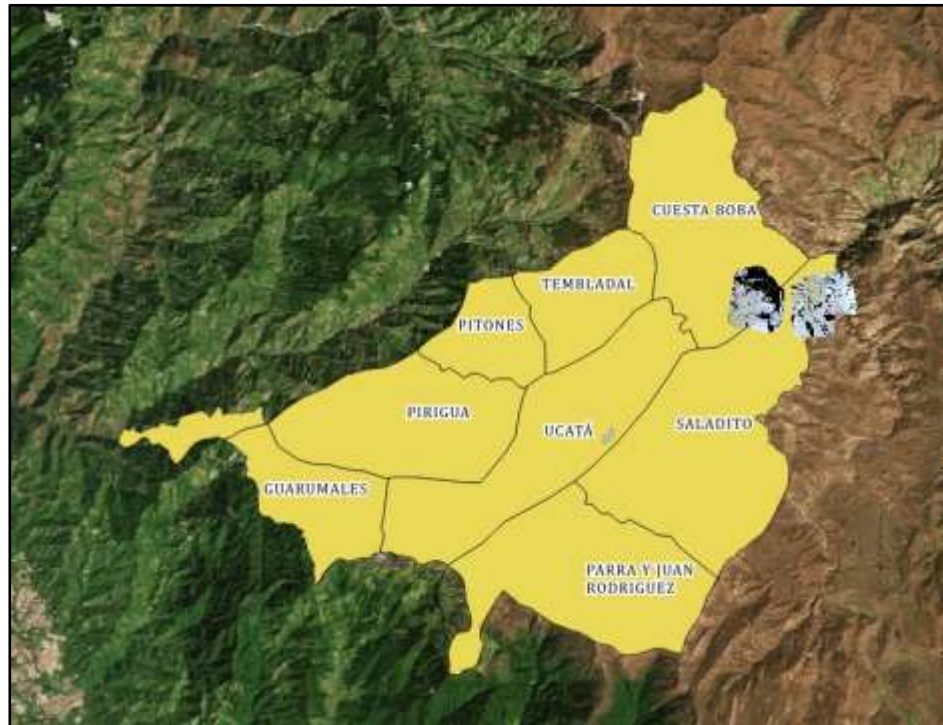


Figura 45 ZONA DE ESTUDIO SOBREPUESTAS DEM DRON

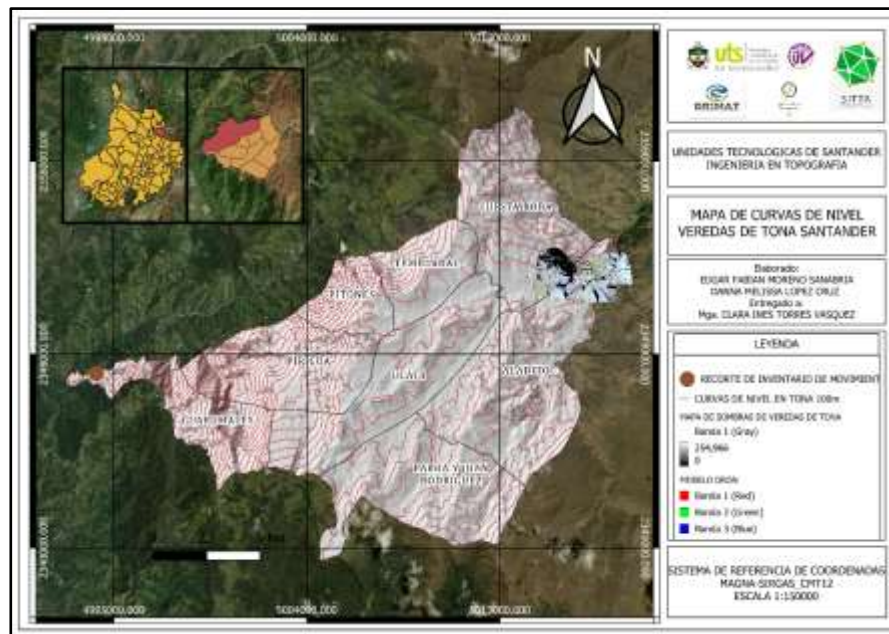


Figura 49 MAPA MORFOMÉTRICO Y DISTRIBUCIÓN DEL RELIEVE MEDIANTE CURVAS DE NIVEL EN LAS VEREDAS DE TONA

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Septiembre de 2025

El mapa de curvas de nivel de las veredas de Tona permite identificar las zonas con mayor susceptibilidad a procesos de remoción en masa, gracias a la concentración y disposición de las curvas cada 100 metros. En sectores como Cuesta Boba, Saladito y Parra, Juan Rodríguez, Guarumales y Pirigua, la marcada densidad de curvas evidencia pendientes fuertes e inestables, condiciones que favorecen la ocurrencia de deslizamientos, reptación y caídas de roca.

En contraste, sectores de Ucatá, Tembladal y Pitones muestran un relieve menos accidentado, asociado a una relativa estabilidad, aunque con riesgo de encharcamiento y erosión superficial en suelos mal drenados.

Este análisis permite reconocer las áreas críticas donde debe priorizarse la prevención y el monitoreo, para reducir la vulnerabilidad de las comunidades expuestas a los procesos geomorfológicos.

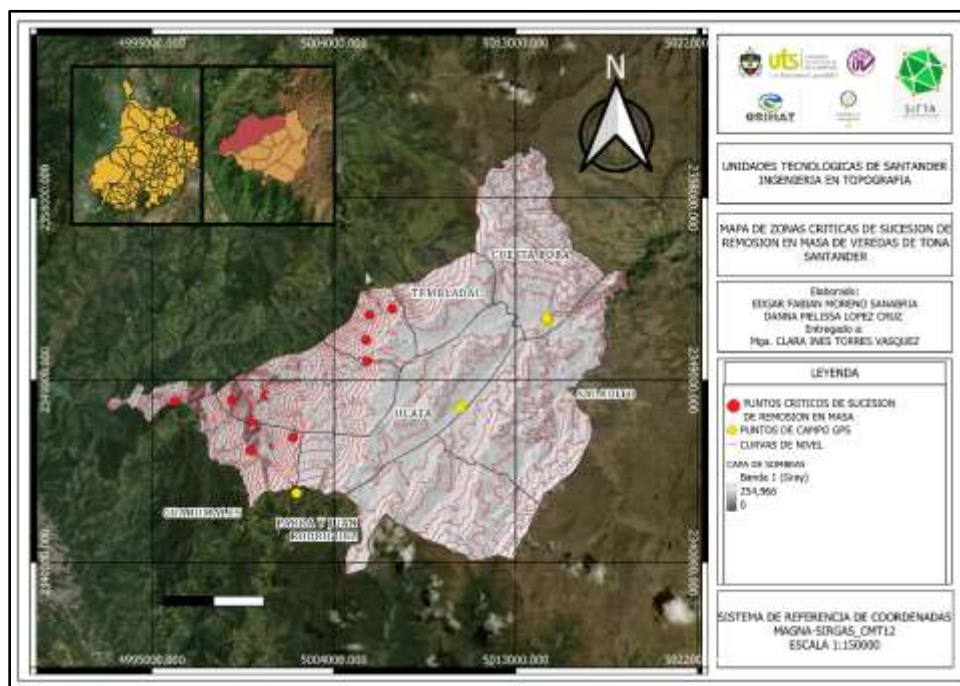


Figura 50 ANÁLISIS DEL RELIEVE Y SUS CONDICIONES DE VULNERABILIDAD A PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA MEDIANTE MAPA DE SOMBRAS EN LAS VEREDAS DE TONA, SANTANDER

El mapa de sombras de las veredas de Tona permite una mejor interpretación del relieve y la morfología del terreno, al resaltar las diferencias de pendiente y orientación de las laderas. En él se distinguen zonas con fuertes contrastes topográficos, especialmente en Cuesta Boba, Saladito, Parra y Juan Rodríguez, así como en Guarumales y Pirigua, donde la inclinación marcada de las laderas favorece procesos de deslizamiento, reptación y caídas de material.

Las veredas Ucatá, Tembladal y Pitones presentan pendientes intermedias que, bajo condiciones de saturación hídrica o intervención antrópica, podrían activar inestabilidad en los taludes. En contraste, los sectores más bajos y suavizados del relieve muestran una menor probabilidad relativa de remoción en masa, aunque no están exentos de procesos de encharcamiento o erosión hídrica localizada.

Este mapa resulta clave porque permite visualizar de manera más precisa las zonas críticas que requieren mayor atención en términos de prevención, gestión del riesgo y planeación territorial.

6 CONCLUSIONES

El estudio logró diseñar un modelo geoespacial de amenazas por deslizamientos en el municipio de Tona, Santander, cumpliendo así con los objetivos propuestos. La investigación permitió identificar y delimitar zonas de alta amenaza, particularmente aquellas con pendientes pronunciadas, y las veredas que presentan una expansión de la frontera agrícola y usos no planificados del suelo.

El modelo geoespacial y la cartografía temática generada a partir de datos de campo y análisis SIG se establecen como una herramienta para las autoridades locales. La información es útil para la toma de decisiones en el ordenamiento territorial y la prevención de desastres, fortaleciendo la capacidad del municipio para gestionar el riesgo de manera informada y efectiva.

El levantamiento de datos geoespaciales mediante vuelos de dron en el municipio de Tona, Santander, permitió identificar y caracterizar áreas con distintos niveles de susceptibilidad a deslizamientos, diferenciando claramente unidades de terreno en función de su morfología, pendiente, cobertura, cercanía a cuerpos de agua y relación con infraestructuras y asentamientos humanos. Los tres puntos evaluados (Guarumales, Ucatá y Cuesta Boba/Saladito) evidencian condiciones geodinámicas particulares: desde laderas activas hasta zonas con potencial erosivo asociado a cuerpos de agua.

La integración de esta información, junto con los datos obtenidos de la estación meteorológica y los registros históricos, constituye un insumo clave para el diseño de un modelo geoespacial de amenazas por deslizamientos. Dicho modelo permitirá mejorar la comprensión del comportamiento del territorio.

7 RECOMENDACIONES

Según el informe, las recomendaciones para el municipio de Tona, Santander, se centran en el uso de los hallazgos del estudio para la planificación y prevención de desastres. Se sugiere la implementación de las siguientes medidas para mitigar los riesgos de deslizamientos:

Crear un sistema de monitoreo permanente: Se debe establecer en las zonas de alto riesgo para alertar a la población y permitir una respuesta rápida ante posibles eventos.

Implementar los resultados del estudio en la planificación territorial: Se recomienda que las autoridades locales integren los hallazgos del modelo geoespacial en los planes de ordenamiento territorial para una mejor gestión del riesgo.

Desarrollar programas de reforestación: Se propone la reforestación y el manejo ambiental en áreas vulnerables para reducir la erosión y la inestabilidad del suelo.

Promover la educación y concientización comunitaria: Es esencial educar a la población sobre el riesgo de deslizamientos y las medidas de autoprotección para fortalecer la capacidad de la comunidad para responder a estos eventos.

Se recomienda la implementación de un sistema de monitoreo geoespacial continuo, que combine observaciones remotas (drones, imágenes satelitales), y análisis de series temporales climáticas. Esta herramienta fortalecería la alerta temprana y la toma de decisiones frente a eventos de remoción en masa.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **J., A. (2023). Análisis geoespacial en la gestión del riesgo de desastres: estado del arte y nuevas tendencias.**
- **OSORIO GÓMEZ & OREJUELA CABRERA, L. (2008). Gestión del riesgo de desastres.**
- **SISTEMA NACIONAL DE GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES. (2020). Evaluación de la gestión del riesgo de desastres en Colombia.**
- **PMGRD-TONA. Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Tona, Santander.**
- **Burrough, P. (1998). Principios de Sistemas de Información Geográfica.**
- **González, E., Castro, R., & Martínez, A. (2017). Aplicación de SIG y modelos geoespaciales para la evaluación del riesgo de deslizamientos en zonas de montaña de Ecuador. *Revista de Estudios Ambientales*, 22(3), 179-192.**
- **Kumar, R., Thapa, A. K., & Rai, N. (2019). Uso de modelos geoespaciales y SIG para la evaluación de deslizamientos en áreas rurales de Nepal. *Revista de Investigación Geográfica y Ambiental*, 17(1), 45-58.**
- **González, V., & Fuentes, J. (2017). Uso de la teledetección y GIS para la zonificación de peligros por deslizamientos en el sur de Chile. *Revista de Ciencias Ambientales*, 42(4), 110-121.**
- **Müller, B., Rossi, I. S., & Bertani, L. (2018). Análisis de deslizamientos en áreas de alta montaña utilizando modelos geoespaciales: Un caso de estudio en los Alpes suizos. *Journal of Environmental Geology*, 29(3), 213-224.**
- **Bianchi, A., Rossi, M., & C., L. (2013). Aplicación de modelos geoespaciales en la zonificación de peligros por deslizamientos en las**

montañas de los Alpes italianos. *Revista Internacional de Geografía y Ciencias Ambientales*, 22(3), 132-143.

- **Rodríguez, J. R., Vargas, L. F., & González, C. (2016). Modelos geoespaciales para la identificación de áreas de riesgo por deslizamientos en la región de los Andes Centrales, Colombia.** *Revista de Geomática*, 15(2), 85-98.
- **Pérez, C., Ramírez, L., & Martínez, J. C. (2019). Identificación de áreas susceptibles a deslizamientos en el municipio de Tona, Santander, utilizando modelos geoespaciales.** *Revista de Geografía y Ordenamiento Territorial*, 22(1), 56-71.
- **González, A., Díaz, F., & Pérez, M. A. (2017). Estudio de susceptibilidad a deslizamientos en el municipio de Tona y zonas aledañas utilizando herramientas geoespaciales.** *Revista Colombiana de Geografía*, 28(2), 112-126.
- **López, Ó., Aguirre, J. C., & Varela, C. (2020). Zonificación del peligro de deslizamientos en la cuenca del río Tona utilizando modelos geoespaciales y SIG.** *Revista de Ingeniería Geotécnica y Ambiental*, 19(4), 185-199.
- **Torres, J. L., Rodríguez, M., & Díaz, C. (2018). Evaluación de riesgos de deslizamientos en la región del Chocó utilizando modelos geoespaciales y SIG.** *Revista de Geomática y Ciencias Ambientales*, 26(1), 50-62.

9 ANEXOS

Anexo 1. Los shape contruidos para las salidas graficas

Anexo 2. Salidas graficas correspondientes a los diferentes

Anexo 3. Mapas temáticos a partir de sig y de información de campo

Anexo 4. Modelos con dron modelos digitales y modelos del terreno para el análisis
de sitios susceptibles a deslizamientos.

Anexo 5. Fotografías imágenes tomadas en campo