

Determinación de Zonas Susceptibles a Deslizamientos en el Municipio de Granada, Antioquia, usando la Metodología LSI

Kein Antonio Romero Niño, Kromeron@unadvirtual.edu.co

Paola Andrea Suárez Gonzalez, pasuarezgo@unadvirtual.edu.co

Docente Asesor: Evangeline Parra Perez, evangelina.parra@unad.edu.co

RESUMEN

Este estudio presenta la generación de zonas susceptibles a deslizamientos en el municipio de Granada, Antioquia, mediante la aplicación de la metodología del Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI). Utilizando herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y un Modelo Digital de Elevación (DEM), se delimitan las pendientes y se analizan factores claves que influyen en la estabilidad del terreno. Los factores condicionantes considerados incluyen coberturas del suelo, litología y el porcentaje de pendientes, y como factor detonante se considera la precipitación. Se implementa un modelo estadístico bivariado para calcular el LSI. Los resultados se representan en un mapa de zonificación, el cual identifica áreas y niveles de susceptibilidad de riesgo de deslizamientos. Este enfoque permite una mejor planificación y gestión del riesgo, ofreciendo herramientas cruciales para la toma de decisiones en la prevención y mitigación de desastres naturales en Granada.

INTRODUCCIÓN

Granada, Antioquia, es una región caracterizada por su geografía montañosa y su notable susceptibilidad a deslizamientos de tierra. La ocurrencia frecuente de estos eventos geológicos constituye una amenaza significativa para la infraestructura vial y la seguridad de las comunidades locales. La gestión del riesgo de desastres es una prioridad para los planes de ordenamiento territorial en Colombia, como lo establece la Ley 1523 de 2012. Los deslizamientos de tierra pueden causar daños considerables, interrumpiendo la conectividad y el transporte, afectando la economía local y poniendo en riesgo vidas humanas.

En este contexto, la identificación y zonificación de áreas susceptibles a deslizamientos son fundamentales para desarrollar estrategias eficaces de mitigación y gestión del riesgo. Este estudio se centra en la aplicación de la metodología del Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI) en el municipio de Granada, Antioquia. La metodología LSI se ha probado como una herramienta efectiva para evaluar la susceptibilidad del terreno a deslizamientos, permitiendo la identificación de zonas de alto riesgo basándose en factores condicionantes del terreno.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar las Zonas Susceptibles a Deslizamientos en el Municipio de Granada, Antioquia, usando la Metodología LSI

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recolectar y analizar datos históricos de deslizamientos en la región para establecer una base de referencia para la aplicación de la metodología LSI.

Evaluar la influencia de variables como clima, coberturas del suelo, litología y porcentaje de pendientes en la ocurrencia de deslizamientos utilizando un modelo estadístico bivariado.

Generar mapa detallado que muestre las zonas de diferente susceptibilidad a deslizamientos para facilitar la planificación y gestión del riesgo.

Generar mapa de zonas susceptibles a deslizamientos en el municipio de Granada, Antioquia, mediante el uso de herramientas SIG y análisis estadísticos basados en la metodología LSI.

IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL O CASO DE ESTUDIO

Granada, Antioquia, enfrenta una problemática ambiental significativa debido a su geografía montañosa y su alta susceptibilidad a deslizamientos de tierra. Estos deslizamientos afectan la infraestructura vial, causando interrupciones en el transporte y riesgos para la seguridad de las comunidades locales. La construcción y mantenimiento de vías en esta región son especialmente desafiantes debido a la inestabilidad de las laderas. Este estudio se enfoca en el municipio de Granada (Antioquia), con el objetivo de proporcionar una herramienta de zonificación que permita identificar áreas de alto riesgo y mejorar las estrategias de prevención, mitigación y gestión del riesgo.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Definición de las zonas de susceptibilidad a deslizamientos

La metodología inicia con la identificación de cobertura vegetal, litología presente, porcentaje de pendiente del terreno y precipitación media anual total del municipio de Granada, Antioquia, utilizando información disponible en el GeoPortal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC, el Servicio Geológico Colombiano, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -SINCHI, y mediante la aplicación de herramientas SIG.

Con el inventario de deslizamientos históricos del municipio de acuerdo a información tomada del Servicio Geológico Colombiano, se aplica el modelo estadístico bivariado -método LSI, propuesto por Van Westen (2000), se determinan las áreas del municipio más susceptibles a deslizamientos, estableciendo niveles de susceptibilidad que se representan finalmente en un mapa, cuya finalidad es identificar las zonas susceptibles a deslizamientos en el municipio de Granada ubicado en el departamento de Antioquia.

RECOLECCIÓN DE DATOS

Se recolectaron diversos factores esenciales para el análisis:

Clima: Datos climáticos históricos y actuales, en particular la precipitación, la cual influyen en la ocurrencia de deslizamientos. La precipitación, es un factor crítico ya que las lluvias intensas y prolongadas pueden saturar el suelo y desencadenar deslizamientos.

Coberturas del Suelo: Tipos de uso del suelo y vegetación, obtenidos de mapas de cobertura adaptados para la región. La vegetación puede estabilizar el suelo y prevenir la erosión, mientras que ciertas actividades humanas, como la deforestación y la agricultura, pueden aumentar la susceptibilidad a deslizamientos.

Litología: Composición y estructura geológica del terreno, basada en el Mapa Geológico de Colombia 2023. Diferentes tipos de roca y suelo tienen distintas propiedades mecánicas y de drenaje que afectan la estabilidad del terreno.

Porcentaje de Pendientes: Inclinación del terreno calculada a partir del DEM del municipio. Las pendientes más pronunciadas son más susceptibles a deslizamientos debido a la fuerza gravitacional que actúa sobre el material del suelo.

APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS (LSI)

El Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI) se calculó utilizando un modelo estadístico bivariado, que evalúa la relación entre la ocurrencia de deslizamientos y las categorías de cada variable condicionante. Cada factor

condicionante se evaluó en términos de su contribución relativa a la susceptibilidad del terreno a deslizamientos.

ZONIFICACIÓN Y MAPEO

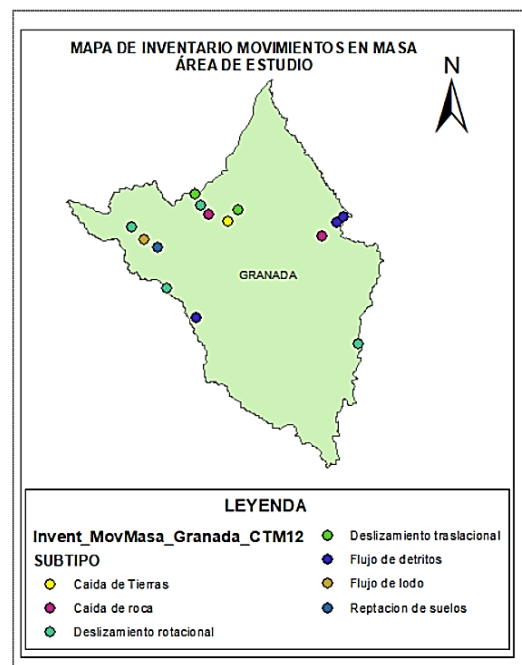
Los valores obtenidos del LSI se clasificaron en categorías de susceptibilidad utilizando el método de cortes naturales en ArcGIS. Esta clasificación permitió identificar claramente las áreas con diferentes niveles de riesgo de deslizamientos. Los resultados se representaron en mapas detallados, que destacan las zonas con diferentes grados de susceptibilidad a deslizamientos. Estos mapas son herramientas visuales cruciales para la gestión del riesgo y la planificación de medidas de mitigación. Los mapas de zonificación pueden ser utilizados por las autoridades locales y regionales para identificar áreas prioritarias para la intervención y la implementación de estrategias de mitigación, como la reforestación, la construcción de estructuras de retención y la mejora de las prácticas de uso del suelo.

I. RESULTADOS

A. Datos

- Inventario Histórico de Deslizamientos:

El mapa de inventario de Deslizamientos para la zona de estudio se desarrolló a partir del Registro histórico de deslizamientos que se encuentra en la base de datos, de libre consulta, del Servicio Geológico Colombiano, con información actualizada a marzo de 2020.



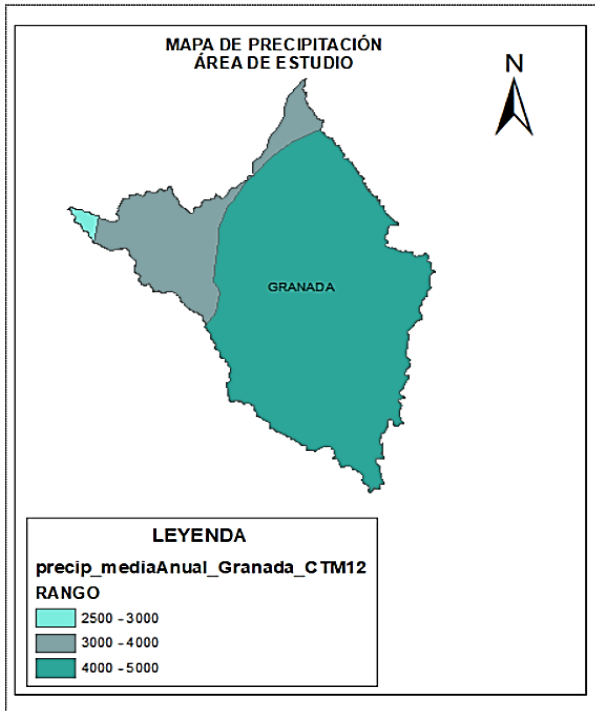
Nota: elaboración propia con uso de herramientas SIG

En este mapa presentamos los deslizamientos históricos ocurridos en el municipio de Granada, Antioquia; en total se obtuvieron 14 deslizamientos, los cuales se utilizaron para calcular los valores LSI; entre los movimientos en masa ocurridos se encuentran: caída de roca, flujo de detritos, caída

de tierras, deslizamientos rotacional y traslacional, flujo de lodo y reptación de suelos.

- Precipitación:

Para realizar el mapa de precipitación del municipio de Granada, se utilizó la precipitación media total anual, promedio multianual, periodo 1981-2010, descargada de la página oficial del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM.

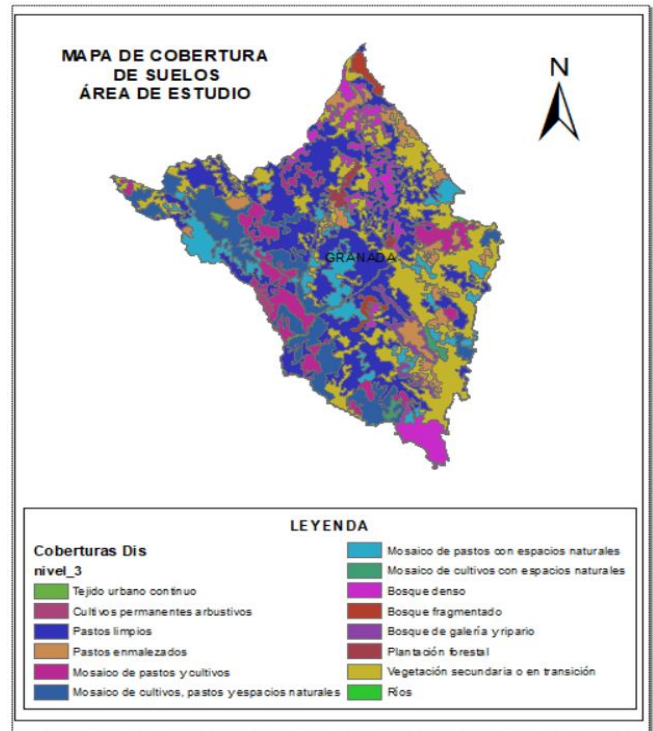


Nota: elaboración propia con uso de herramientas SIG

El municipio de Granada históricamente ha tenido un rango de precipitación entre 2500 mm a 5000 mm promedio anual, estando un 80% del territorio entre un rango de 4000 a 5000 mm.

- Cobertura de suelos:

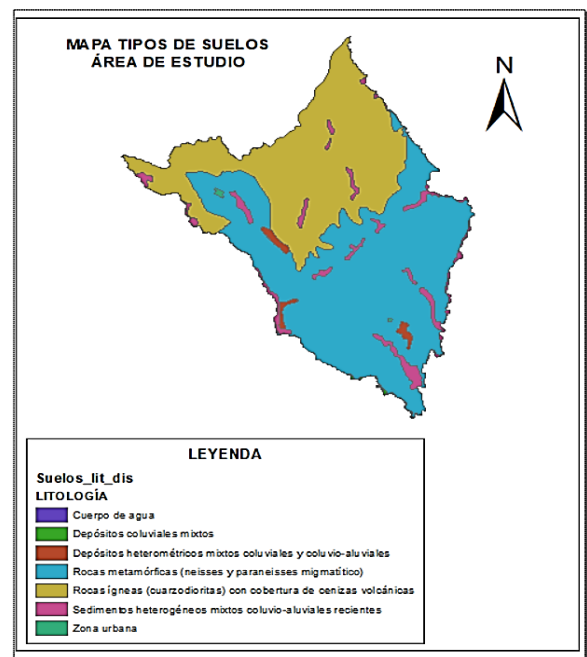
La información de la cobertura de suelos correspondiente al municipio de Granada, se obtuvo del Portal de Datos Abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC; la clasificación de cobertura de suelos se disolvió para validar la cobertura mediante el nivel 3, respetando la clasificación de la metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia.



Nota: elaboración propia con uso de herramientas SIG

- Tipo de Suelos (Litología)

La Cobertura Terrestre se obtuvo a partir del GeoPortal del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -SINCHI, el cual nos proporciona Cobertura de suelos por Regiones, por tanto, se toma como base la cobertura de tierra establecida para la Región de Chocó-Antioquia. La clasificación litológica del suelo se extrajo disolviendo la capa en el tipo de Litología para conseguir las unidades litoestratificadas, compuesta por siete (7) clases, obteniendo el siguiente mapa clasificación litológica para el municipio de Granada, Antioquia



Nota: elaboración propia con uso de herramientas SIG

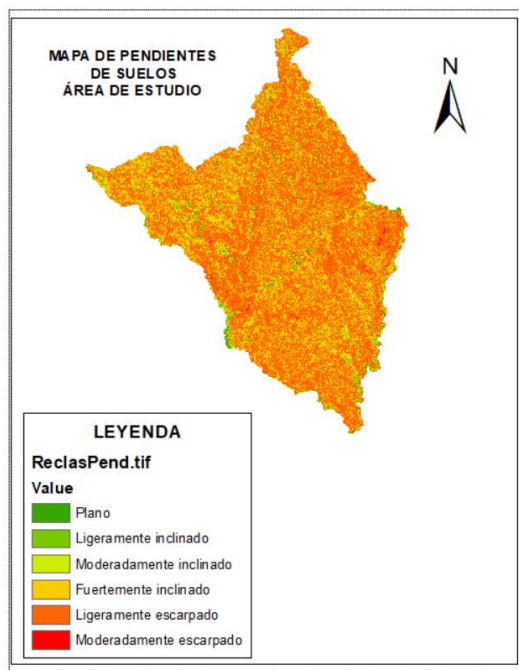
- Pendiente:

Mediante el Modelo de Elevación Digital (DEM) del municipio, tomado del Portal de Colombia en mapas, que cuenta con Modelos Digitales del Terreno dispuestos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC, se realizó el Geoproceso para la generación del ráster de Pendientes con resolución espacial de 50 metros; se utilizó la herramienta “slope”, para la obtención de la pendiente en porcentaje, la cual se reclasificó con los rangos propuestos por el IGAC, los cuales se presentan en la Tabla 1.

TABLA I. RANGOS DE PENDIENTES EN PORCENTAJES

Gradiente %	Descripción
0-3	Plano
3-7	Ligeramente inclinado
7-12	Moderadamente inclinado
12-25	Fuertemente inclinado
25-50	Ligeramente escarpado
50-75	Moderadamente escarpado
>75	Fuertemente escarpado

Nota: Esta tabla presenta los rangos propuestos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, para la descripción del tipo de pendiente de acuerdo al gradiente de la misma; la información es tomada del documento “Actualización de Áreas Homogéneas de Tierras a Nivel Municipal con Fines Multipropósito”, emitido por el mismo instituto.



Nota: elaboración propia con uso de herramientas SIG

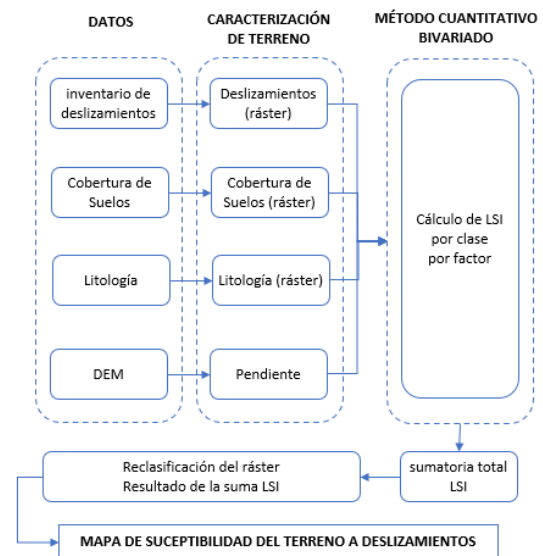
B. Aplicación de método

- Índice de Susceptibilidad a deslizamiento (LSI):

Este método calcula la relación de frecuencia entre la distribución de deslizamientos de tierra y los parámetros seleccionados como influyentes en la ocurrencia de

deslizamientos. En otras palabras, cada mapa de parámetro se analiza con respecto al mapa de inventario de deslizamientos y se obtiene una razón de influencia de cada parámetro [1].

FIGURA 1 DIAGRAMA DE FLUJO METODOLOGÍA APLICADA



Nota: Elaboración propia a partir de diagrama de Flujo del documento Tesis: “Zonificación de la Susceptibilidad del Terreno a los Deslizamientos. Caso de Estudio: Nariño-Colombia”, de la Universidad Nacional de Colombia.

Mediante la Ecuación 1 se calcularon pesos equivalentes a frecuencias de ocurrencia de deslizamiento por cada clase de un factor, los cuales permitieron ponderar la contribución de inestabilidad para cada una de las clases de los factores condicionantes [2].

Ecuación 1.

$$LSI_{(m,n)} = \frac{N_{(m,n)}}{A_{(m,n)}} / \frac{N_T}{A_T}$$

Donde:

$N_{m,n}$ es el número de deslizamientos en la clase m de cada parámetro n

$A_{m,n}$ es el área ocupada por esa clase

N_T es el número total de deslizamientos

A_T es el área total investigada

En la aplicación de la mencionada ecuación, se obtuvieron los siguientes LSI, por cada factor y su respectiva clase:

TABLA II. LSI-COBERTURA DE SUELOS GRANADA

Cobertura de Suelos	LSI
Cultivos permanentes arbustivos	24,653
Pastos enmalezados	0
Pastos limpios	1,192
Mosaico de pastos con espacios naturales	1,585
Tejido urbano continuo	0

Cobertura de Suelos	LSI
Vegetación secundaria o en transición	0,312
Mosaico de pastos y cultivos	0,947
Mosaico de cultivos con espacios naturales	0
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1,824
Bosque fragmentado	0
Bosque denso	0
Ríos	4,359
Bosque de galería y ripario	0
Plantación forestal	0

Nota: Esta tabla consolida los valores LSI calculado para cada clase de cobertura de suelos existente en Granada, Antioquia.

TABLA III. LSI-LITOLOGÍA GRANADA

Litología	LSI
Rocas ígneas (cuarzodioritas) con cobertura de cenizas volcánicas	0,910
Depósitos heterométricos mixtos coluviales y coluvio-aluviales	0
Zona urbana	0
Sedimentos heterogéneos mixtos coluvio-aluviales recientes	0
Rocas metamórficas (neisses y paraneisses migmatítico)	1,171
Cuerpo de agua	0
Depósitos coluviales mixtos	0

Nota: Esta tabla consolida los valores LSI calculado para cada clase de litología existente en Granada, Antioquia.

TABLA IV. LSI-PENDIENTE GRANADA

Pendiente	LSI
Plano	0
Ligeramente inclinado	0
Moderadamente inclinado	0
Fuertemente inclinado	0,458
Ligeramente escarpado	1,378
Moderadamente escarpado	0

Nota: Esta tabla consolida los valores LSI calculado para cada clase de pendiente existente en Granada, Antioquia. Se aclara que la pendiente “fuertemente escarpada” no se encuentra entre las categorías existentes en el municipio.

TABLA V. LSI-PRECIPITACIÓN GRANADA

Precipitación mm. anual	LSI
2500 - 3000	0
3000 - 4000	2,222
4000 - 5000	0,714

Nota: Esta tabla consolida los valores LSI calculado para cada clase de precipitación que se ha presentado en promedio anual en Granada, Antioquia, teniendo en cuenta el consolidado utilizado que corresponde al periodo 1981-2010.

Con los LSI calculados para cada clase de cada factor, los cuales permitieron identificar las clases de factores que han

sido desencadenantes de deslizamientos en el pasado [3], se elaboraron los mapas en formato ráster.

Para elaborar el mapa de susceptibilidad, se utilizaron los valores del área, número de deslizados y el valor de LSI, para así realizar un ponderado y poder dar un peso a cada variable. En el caso de estudio se usó un método cuantitativo con la frecuencia relativa de deslizamientos para así hallar el peso para cada variable:

$$FRD = \frac{N_{(m,n)}}{AREA}$$

se otorgaron los valores de cada frecuencia relativa de deslizamiento para cada variable (cobertura, litología, pendiente, precipitación).

TABLA VI. COBERTURA DE SUELOS FRD

Cobertura de Suelos	AREA (m ²)	Nmn	FRD
Cultivos permanentes arbustivos	550846.5496	1	$\frac{1}{550846.5496}$
Pastos enmalezados	10972798.76	0	0
Pastos limpios	56961439.03	5	$\frac{5}{56961439.03}$
Mosaico de pastos con espacios naturales	17137017.48	2	$\frac{2}{17137017.48}$
Tejido urbano continuo	364250.5863	0	0
Vegetación secundaria o en transición	43544054.34	1	$\frac{1}{43544054.34}$
Mosaico de pastos y cultivos	14336236.51	1	$\frac{1}{14336236.51}$
Mosaico de cultivos con espacios naturales	1200163.819	0	0
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	22333120.33	3	$\frac{3}{22333120.33}$
Bosque fragmentado	2176598.052	0	0
Bosque denso	13127066.84	0	0
Ríos	3115229.455	1	$\frac{1}{3115229.455}$
Bosque de galería y ripario	2670827.162	0	0
Plantación forestal	1628535.617	0	0

Nota: Esta tabla muestra los valores para hallar la frecuencia relativa de deslizamiento de cada clase de cobertura de suelos existente en Granada, Antioquia.

TABLA VII. LITOLOGIA FRD

Litología	AREA (m ²)	Nmn	FRD
Rocas ígneas (cuarzodioritas) con cobertura de cenizas volcánicas	74598087.64	5	$\frac{5}{74598087.64}$
Depósitos heterométricos mixtos coluviales y coluvio-aluviales	1916405.072	0	0
Zona urbana	229669.3649	0	0
Sedimentos heterogéneos mixtos coluvio-aluviales recientes	8680846.037	0	0
Rocas metamórficas (neisses y paraneisses migmatítico)	104363696.5	9	$\frac{9}{104363696.5}$
Cuerpo de agua	169802.7418	0	0
Depósitos coluviales mixtos	159677.1631	0	0

Nota: Esta tabla muestra los valores para hallar la frecuencia relativa de deslizamiento de cada clase de litología existente en Granada, Antioquia.

TABLA VIII. PENDIENTE FRD

Pendiente	AREA (m ²)	Nmn	FRD
Plano	2385400	0	0
Ligeramente inclinado	5963200	0	0
Moderadamente inclinado	12045200	0	0
Fuertemente inclinado	59280950	2	$\frac{2}{59280950}$
Ligeramente escarpado	118278000	12	$\frac{12}{118278000}$
Moderadamente escarpado	965875	0	0

Nota: Esta tabla muestra los valores para hallar la frecuencia relativa de deslizamiento de cada clase de pendiente existente en Granada, Antioquia. Se recuerda que la pendiente "fuertemente escarpada" no se encuentra entre las categorías existentes en el municipio.

TABLA IX. PRECIPITACION FRD

Precipitación	AREA (m ²)	Nmn	FRD
2500-3000	1379389,959	0	0
3000-4000	36670519,15	6	$\frac{6}{36670519,15}$
4000-5000	152068275,4	8	$\frac{8}{152068275,4}$

Nota: Esta tabla muestra los valores para hallar la frecuencia relativa de deslizamiento de cada clase de precipitación existente en Granada, Antioquia.

Para obtener los pesos relativos, sumamos las frecuencias relativas de graduales para cada variable y luego normalizamos estas sumas para que la suma total sea 1 o 100%.

Cobertura de Suelos:

$$CS_{total} = \frac{1}{550846.5496} + \frac{5}{56961439.03} + \frac{2}{17137017.48} + \frac{1}{43544054.34} + \frac{1}{14336236.51} + \frac{2}{22333120.33} + \frac{1}{3115229.455}$$

$$CS_{total} = 0,00000256792$$

Litología:

$$L_{total} = \frac{5}{74598087.64} + \frac{9}{104363696.5}$$

$$L_{total} = 0,00000015326$$

Pendiente:

$$P_{total} = \frac{2}{59280950} + \frac{12}{118278000}$$

$$P_{total} = 0,00000013519$$

Precipitación:

$$Pre_{total} = \frac{6}{36670519,15} + \frac{8}{152068275,4}$$

$$Pre_{total} = 0,00000021623$$

Se suman las variables para dar un ponderado de 100%.

$$Total_{pond} = CS_{total} + L_{total} + P_{total} + Pre_{total}$$

$$Total_{pon} = 0,00000256792 + 0,00000015326 + 0,00000013519 + 0,00000021623$$

$$Total_{pond} = 0,00000307261$$

Aplicamos este valor de Total_{pond} como el 100% y le tomamos los datos normalizados para hallar el índice compuesto.

$$IC\ Cobertura\ de\ Suelos = \frac{0,00000256792}{0,00000285638} * 100 = 83.6\%$$

$$IC\ Litologia = \frac{0,00000015326}{0,00000285638} * 100 = 5\%$$

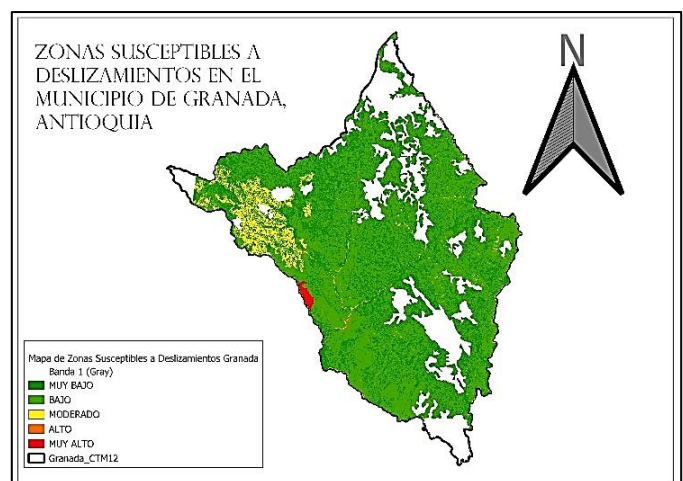
$$IC\ Pendiente = \frac{0,00000013519}{0,00000285638} * 100 = 4.4\%$$

$$IC\ Precipitacion = \frac{0,00000013519}{0,00000285638} * 100 = 7\%$$

Ya con estos índices compuestos podemos realizar el mapa usando la herramienta superposición ponderada de los ráster usando la siguiente formula y así hallamos las zonas susceptibles a deslizamiento en el municipio de Granada Antioquia.

$$(83.6\% * LSI_{COBERTURAS\ DE\ SUELOS}) + (5\% * LSI_{LITOLOGIA}) + (4.4\% * LSI_{PENDIENTE}) + (7\% * LSI_{precipitacion})$$

Nota: Los niveles de susceptibilidad a deslizamiento se clasificaron en: muy alta, alta, moderada, baja y muy baja. Con dichas categorías se desarrolló y generó el Mapa de Zonas de Susceptibilidad a Deslizamientos del municipio de Granada, Antioquia.



Nota: elaboración propia con uso de herramientas SIG

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio sobre la determinación de zonas susceptibles a deslizamientos en el municipio de Granada, Antioquia, mediante la aplicación de metodología del Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI), ha generado hallazgos claves que son esenciales para la gestión del riesgo de desastres en la región.

La metodología LSI ha demostrado ser una herramienta efectiva para identificar y zonificar áreas de riesgo. Utilizando un enfoque bivariado, se ha evaluado la relación entre la ocurrencia de deslizamientos y diversos factores

condicionantes del terreno, proporcionando una comprensión detallada de las zonas más vulnerables.

Entre los factores que más influyen en la susceptibilidad a deslizamientos en Granada se encuentran la cobertura del suelo, la litología y el porcentaje de pendientes. En particular, áreas con cultivos permanentes arbustivos, ciertos tipos de rocas metamórficas y pendientes inclinadas han mostrado una alta susceptibilidad. La precipitación también desempeña un papel crucial como factor detonante, exacerbando las condiciones de inestabilidad del terreno.

El uso de un inventario histórico de deslizamientos ha sido fundamental para la calibración del modelo LSI. Esto ha permitido identificar patrones y tendencias en la ocurrencia de deslizamientos, proporcionando una base sólida para predecir futuras áreas de riesgo.

La creación de mapas detallados de zonificación de susceptibilidad ha resultado ser una herramienta visual poderosa para la gestión del riesgo. Estos mapas permiten identificar claramente las áreas con diferentes niveles de riesgo de deslizamientos (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), facilitando la planificación de medidas de mitigación y prevención.

Los resultados del estudio son de gran utilidad para las autoridades locales y regionales en la toma de decisiones. La identificación de áreas prioritarias para la intervención permite enfocar los esfuerzos en la implementación de estrategias de mitigación efectivas, como la reforestación, la construcción de estructuras de retención y la mejora de las prácticas de uso del suelo.

En el caso que se desee un mayor nivel de confianza en la determinación de zonas de susceptibilidad de deslizamiento, se recomienda tomar en cuenta más factores, tanto condicionantes como desencadenantes, tales como: curvatura χ del terreno, densidad de drenajes, orientación de pendientes, proximidad a fallas geológicas, probabilidad sísmica, cuya relación lograra aumentar la certeza de las zonas establecidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Santamaría, T. & Samudio, M. & Sáenz D. (2021). Determinación de áreas susceptibles a deslizamientos en el corregimiento de Cerro Punta, provincia de Chiriquí, Panamá. *Revista de Iniciación Científica. Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá. Volumen 7. Páginas 11.*

Recuperado el día 24 de mayo de 2024 de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/338/3382483004/index.html>

[2] [3] Marín, LFO (s/f). *Zonificación de la Susceptibilidad del Terreno a los Deslizamientos. Caso de Estudio: Nariño - Colombia*. Educa.co. Recuperado el 28 de mayo de 2024, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69829/1030564924.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Capítulo 10. Evaluación del peligro de deslizamientos de tierra. (s. f.). <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/ch15.htm#TopOfPage>

Codazzi-IGAC, I. G. A. (s/f). Colombia en mapas. Gov.co. Recuperado el 28 de mayo de 2024, de <https://www.colombiaenmapas.gov.co/>

Cómo funciona Calcular índice compuesto—ArcGIS Online | Documentación. (s. f.). <https://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/analyze/how-calculate-composite-index-works-mv.html>

CLIMA PRECIPITACION - GALERÍA DE MAPAS - IDEAM. (s/f). Gov.co. Recuperado el 28 de mayo de 2024, de http://www.ideam.gov.co/galeria-de-mapas/-/document_library_display/4VnjNLZDi78B/view/98893526?_110_INSTANCE_4VnjNLZDi78B_topLink=home&_110_INSTANCE_4VnjNLZDi78B_delta2=20&_110_INSTANCE_4VnjNLZDi78B_keywords=&_110_INSTANCE_4VnjNLZDi78B_advancedSearch=false&_110_INSTANCE_4VnjNLZDi78B_andOperator=true&p_r_p_564233524_resetCur=false&_110_INSTANCE_4VnjNLZDi78B_cur2=3

La Geología de Colombia (s/f). Gobernador.co. Recuperado el 25 de mayo de 2024 https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/mgc_1M2020.aspx

Portal de datos abiertos del SIAT-AC - instituto SINCHI. (s/f). Siatac.Co. Recuperado el 25 de mayo de 2024, de <https://datos.siatac.co/datasets/sinchi::coberturas-de-la-tierra-por-regi%C3%B3n-hist%C3%B3rico-escala-11000/about>

Portal de Datos Abiertos // SGC. (s/f). Gov.co. Recuperado el 28 de mayo de 2024, de <https://datos.sgc.gov.co/datasets/312c8792ddb24954a9d2711bd89d1afe/explore>

LINK DEL VIDEO: <https://youtu.be/lxVOjqBJC0o>