

# **Índices espectrales para identificar posibles movimientos en masa mediante el uso de imágenes satelitales**

**Zaira Tatiana Reyes Guzmán**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en  
Sistemas de Información Geográfica

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2023

## **Dedicatoria**

A Dios por permitirme cumplir mis sueños, a mi madre Martha y a mi hermano Alejandro por ser mi fuente de inspiración, a mi novio Jeferson por su amor y apoyo incondicional, a mi abuela Susana y a mi padre Nelson, que desde el cielo siempre me cuidan y a las personas que han sido parte fundamental en mi vida, porque han ayudado a construir la persona que soy.

## Resumen

Los movimientos en masa han estado presentes por más de 53 años en el municipio de Recetor, Casanare, generando un riesgo alto para la comunidad, ya que cuentan con viviendas en zonas vulnerables, realizando un uso incorrecto del suelo, que a su vez puede afectar la movilidad de la vía Recetor, vías carreteables y caminos de herradura, que comunican al casco urbano con las veredas para el transporte, comercio, salud y demás actividades que movilizan la economía del Municipio. Por consiguiente, se pretende identificar posibles movimientos en masa mediante el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el índice de brillantez del suelo (SBI) con imágenes Sentinel 2, con el fin de informar a las autoridades competentes para que tomen las medidas de mitigación correspondientes y se puedan prevenir afectaciones humanas, económicas y de infraestructura.

**Palabras clave: Movimientos en masa, uso del suelo, NDVI, SBI, mitigación.**

## Abstract

Mass movements have been present for more than 53 years in the municipality of Recetor, Casanare, generating a high risk for the community, since they have homes in vulnerable zones, making incorrect use of the land, which in turn can affect the mobility of the Recetor road, carriageways and bridle paths, which connect the urban area with the sidewalks for transportation, commerce, health and other activities that mobilize the economy of the Municipality. Therefore, it is intended to identify possible mass movements through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Soil Brightness Index (SBI) with Sentinel 2 images, in order to inform the competent authorities so that they can take the necessary measures. of corresponding mitigation and human, economic and infrastructure effects can be prevented.

**Keywords: Mass movements, land use, NDVI, SBI, mitigation.**

# Contenido

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación.....	10
1.1. Descripción del área problemática .....	11
1.2. Formulación del problema .....	15
1.3. Justificación.....	16
2. Objetivos.....	17
2.1. Objetivo General .....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. Antecedentes.....	18
4. Referente normativo y legal .....	27
5. Referente teórico.....	31
5.1. Correcciones Imágenes Satelitales.....	31
5.1.1. Correcciones Atmosféricas .....	31
5.1.2. Correcciones Radiométricas.....	31
5.2. Índice de Vegetación Normalizada .....	31
5.3. Índice de Brillantez del Suelo .....	32
5.4. Movimientos en masa.....	32
5.4.1. Tipos de Movimientos en masa .....	33
5.5. Riesgo.....	38
5.5.1. Clasificación del riesgo .....	38

5.6.	Sentinel 2 .....	39
5.6.1.	Sentinel 2A.....	39
5.6.2.	Sentinel 2B.....	40
5.7.	ALOS PALSAR.....	40
6.	Metodología.....	41
6.1.	Enfoque Metodológico.....	41
6.2.	Tipo de Estudio .....	41
6.3.	Procedimiento.....	41
7.	Resultados Esperados .....	57
8.	Resultados obtenidos .....	58
9.	Impactos Esperados .....	67
10.	Cronograma.....	68
11.	Presupuesto .....	69
12.	Conclusiones .....	70
13.	Recomendaciones .....	71
14.	Referencias Bibliográficas .....	72

## Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Municipio Recetor – Topografía .....	11
Ilustración 2: Deslizamiento 2021 - Maracagua .....	12
Ilustración 3:Localización municipio .....	12
Ilustración 4: Municipio - rio recetor.....	13
Ilustración 5: Construcción en zonas de riesgo.....	14
Ilustración 6:Pendientes inclinadas Google Open Street view .....	14
Ilustración 7: Vía principal Google Open Street view.....	14
Ilustración 8: Caídas .....	33
Ilustración 9: Flujos .....	34
Ilustración 10: Deslizamiento .....	35
Ilustración 11: Volcamiento.....	35
Ilustración 12: Hundimiento .....	36
Ilustración 13: Reptación .....	37
Ilustración 14: Movimiento de masa complejo.....	37
Ilustración 15: Amenaza – Vulnerabilidad .....	38
Ilustración 16: Búsqueda Movimientos en masa Fuente: SIMMA.....	42
Ilustración 17: Resultados Movimientos en masa Fuente: SIMMA.....	42
Ilustración 18: Datos SIMMA .....	43
Ilustración 19: Base alfanumérica.....	43
Ilustración 20: Base de datos espacial .....	44
Ilustración 21: USGS plataforma Fuente: USGS.....	44
Ilustración 22:Alos Palsar .....	45

Ilustración 23: DEM procesado .....	45
Ilustración 24: Semi clasificación Fuente: USGS - QGIS 3.22.5 .....	46
Ilustración 25: Modelo1 Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia.....	46
Ilustración 26:Pendiente.....	47
Ilustración 27:Reclasificado NDVI y SBI .....	50
Ilustración 28: Reclasificado Pendiente.....	50
Ilustración 29:Modelo2.....	50
Ilustración 30:Pendiente reclasificada .....	53
Ilustración 31:Modelo3.....	53
Ilustración 32: Tabla posibles combinaciones .....	54
Ilustración 33: Depurar combinación.....	56
Ilustración 34: Mancheta mapas .....	56
Ilustración 35: Producto Base de datos Alfanumerica.....	58
Ilustración 36: Producto eventos.....	58
Ilustración 37: Producto DEM.....	59
Ilustración 38: Modelo ModelBuilder .....	59
Ilustración 39: Posibles movimientos en masa – 2017 .....	60
Ilustración 40: Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2017 .....	60
Ilustración 41: Posibles movimientos en masa – 2018.....	61
Ilustración 42:Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2018 .....	61
Ilustración 43:Posibles movimientos en masa – 2019 .....	62
Ilustración 44:Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2019 .....	62
Ilustración 45:Posibles movimientos en masa – 2020.....	63



Ilustración 46:Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2020 .....	63
Ilustración 47:Posibles movimientos en masa – 2021 .....	64
Ilustración 48:Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2021 .....	64
Ilustración 49:Posibles movimientos en masa – 2022 .....	65
Ilustración 50:Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2022 .....	65
Ilustración 51:Areas movimientos en masa .....	66

## **Lista de Tablas**

Tabla 1: NDVI_SBI .....	49
Tabla 2:Nuevos parámetros .....	49
Tabla 3:NDVI_SBI reclasificados .....	52
Tabla 4: Combinación posible .....	55
Tabla 5: Resultados Esperados .....	57
Tabla 6: Impactos Esperados .....	67
Tabla 7: Cronograma .....	68
Tabla 8: Presupuesto .....	69

# **1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación**

Aproximadamente el 80 % de la topografía del municipio, revela zonas de montaña de origen estructural en proceso de formación con pendientes entre 40 y 70 %, este paisaje conformado por materiales poco consolidados y muy susceptibles ante las variaciones climáticas, es el escenario propicio para desencadenar fenómenos de remoción en masa (FRM).

Por lo tanto, se pretende ayudar a mitigar esta amenaza con el insumo para identificar posibles movimientos en masa mediante el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el índice de brillantez del suelo (SBI) y así contribuir a la toma de decisiones asertivas a las autoridades competentes, para prevenir futuros daños y mejorar la economía del municipio.

## 1.1. Descripción del área problemática

A través del tiempo se ha identificado que las condiciones del terreno como: las pendientes inclinadas, la presencia de fallas geológicas, en conjunto con los procesos naturales como: la lluvia torrencial, la erosión del suelo y la elaboración de procesos artificiales como viviendas en zonas vulnerables, propician los movimientos en masa, que ocurren tanto a nivel mundial como en Colombia.

El Municipio de Recetor, Departamento de Casanare, se ha visto afectado por su topografía y ubicación geográfica, el cual presenta un relieve con alta frecuencia de procesos erosivos y pendientes que oscilan entre el 40% y 70 % de inclinación (CDGRD, 2012). Por consiguiente, se presentan deslizamientos susceptibles a las variaciones de las condiciones climáticas, generando zonas de alto riesgo para la población. (Alcaldía Municipal de Recetor, 2016).



Ilustración 1: Municipio Recetor – Topografía  
Fuente: (Alcaldía Municipal de Recetor, 2016)

El Municipio cuenta con una extensión aproximada de 173 Km<sup>2</sup>, que representan un 0.382% de la extensión del departamento, se distribuye en 16 veredas y 2 asentamientos poblados entre los cuales se encuentra el casco urbano, cuenta con una densidad poblacional de 1.387 habitantes aproximadamente. Limita al norte con el Departamento de Boyacá; al oriente con el Municipio de Aguazul; al sur con el Municipio de Tauramena y Chameza y al occidente con el Municipio

de Chámeza. El casco urbano del municipio y está situado a  $5^{\circ} 14'$  de latitud norte y a  $72^{\circ} 46'$  de longitud oeste del meridiano de Greenwich. (Alcaldía Municipal de Recetor, 2019).

Las zonas del Municipio identificadas con el mayor riesgo de deslizamiento son: Vegón, Vijagual, Cerro Rico, San Francisco, Volcanes, Maracagua, El Vive, Magavita Baja, Magavita Alta y San Jose. (Alcaldía Municipal de Recetor, 2016).



Ilustración 2: Deslizamiento 2021 - Maracagua  
Fuente: LaVozYopal

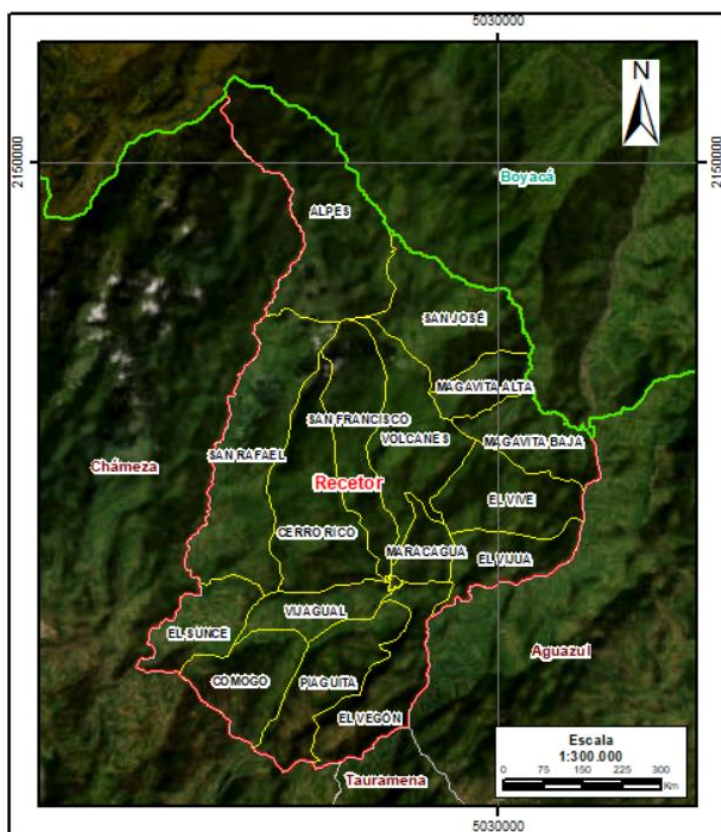


Ilustración 3: Localización municipio  
Fuente: Colombia en mapas - Elaboración propia

El casco urbano del municipio es atravesado por la vía Departamental que de San Benito conduce al municipio de Recetor, si este tramo es incluido en las vías urbanas del municipio, se contaría con aproximadamente 800 m de calles urbanas, de las cuales se encuentra pavimentadas el 5% equivalente a 40 m aproximadamente en pavimento rígido, y el resto se encuentra en asfalto, mientras que en las veredas el 25% tiene explanación carretable para tráfico de vehículos hasta sus respectivas escuelas, el 37.5% con explanaciones en proceso que no llegan hasta los centros educativos, existiendo trochas no transitables por vehículos, y el 37.5% restante se comunican por caminos de herradura con sus escuelas veredales y el casco urbano (Alcaldía Municipal de Recetor, 2016).

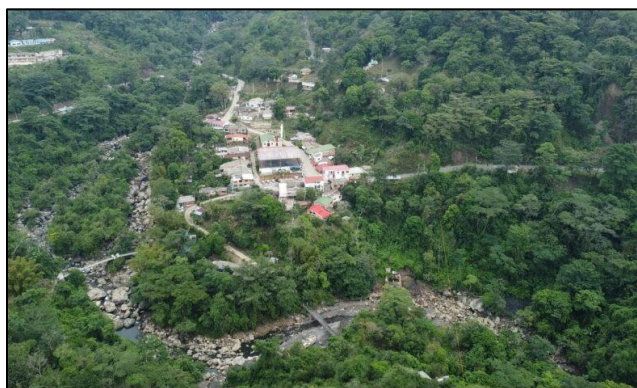


Ilustración 4: Municipio - rio recetor  
Fuente: LaVozYopal

A continuación, se presentan algunas imágenes del municipio mediante Google Street view, donde se observa: construcción en zonas con pendientes inclinadas, carreteras colindando con el rio recetor sin medidas de mitigación, via principal recetor con montañas adyacentes sin medidas de mitigación, entre otros:



Ilustración 5: Construcción en zonas de riesgo  
Fuente: Google Open Street view



Ilustración 6: Pendientes inclinadas  
Google Open Street view

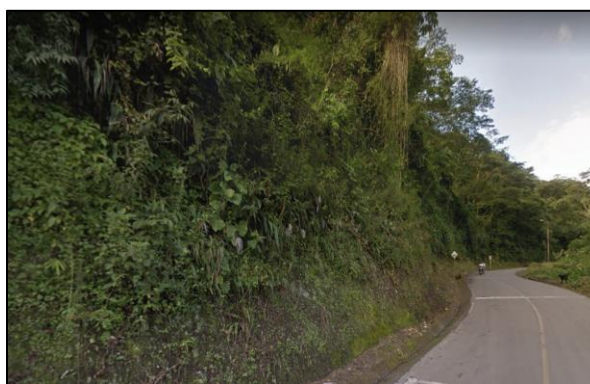


Ilustración 7: Vía principal  
Google Open Street view

## 1.2. Formulación del problema

En el mundo, los movimientos en masa son muy comunes en países con superficies onduladas o montañosas, es el caso de América Latina y el Caribe que se ha visto afectada desde el año 2000 por cerca de 66 deslizamientos de tierra que causaron alrededor de 3000 muertes. En Colombia, cerca del “50% del territorio nacional se encuentra categorizado en amenaza baja por movimientos en masa, 22% amenaza media, 20% amenaza alta y 4 % en amenaza muy alta” (SGC, 2017). Por su parte, el municipio de Recetor se caracteriza por superficies montañosas, siendo propenso a estos movimientos en masa, que han dejado daños en 162 viviendas solo a finales del 2005. Por consiguiente, de acuerdo con la condición de amenaza descrita en el EOT 2000, se encuentran las laderas con alta inestabilidad en veredas como Volcanes y El Olivo, así como desprendimiento de suelo y roca en las veredas de Piaguita, Maracagua, entre otros; presentando antecedentes de eventos desde el año 1969 hasta mediados del año 2022 dejando a su paso cerca de 162 afectados (SIMMA, 2022). En consecuencia, el Concejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, junto con la Alcaldía Municipal han sido participes de capacitaciones, algunas obras de estabilización y entregas de ayudas humanitarias a la población afectada.

De este modo, se pretende aportar una solución mediante el insumo para identificar posibles movimientos en masa con el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el índice de brillantez del suelo (SBI), que permita a los entes competentes tomar las acciones pertinentes. Por lo tanto, será que, ¿los índices espectrales pueden ser instrumentos de apoyo para la determinación de movimientos en masa en el municipio de Recetor, Casanare?

### 1.3. Justificación

Los movimientos en masa son eventos presentes en la geografía colombiana, con especial alcance en la temporada de lluvias, como es el caso del municipio de Recetor, que en los últimos años se han visto perjudicados al menos 8 veredas, dejando afectadas cerca de 162 familias y generando daños en sus viviendas. Por consiguiente, de acuerdo con la condición de amenaza descrita en el EOT 2000, así como en el plan municipal de gestión del riesgo Municipal y departamental, se encuentran las laderas con alta inestabilidad en veredas como Volcanes y El Olivo, así como desprendimiento de suelo y roca en las veredas de Piaguaita, Maracagua, soportando cerca de 412 eventos desde el año 1969 hasta el año 2022 dejando 162 afectados (SIMMA, 2022) y un aproximado de 8 veredas vulnerables según Estudio técnico municipal. (Ramirez.F & Padilla. G, 2000).

Por consiguiente, se podría contribuir a la toma de acciones por parte de las autoridades competentes como la Dirección Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres – DDGRD Casanare, Alcaldía Municipal, CORPORINOQUIA, entre otros, buscando que éstos implementen planes de manejo de riesgos de una manera más actualizada, una continua atención al mantenimiento de obras de estabilidad, reubicación de viviendas en zonas vulnerables, sensibilización de riesgos a la comunidad del municipio, entre otros. Esta pequeña acción realizada desde un proyecto de grado puede generar un impacto positivo en la calidad de vida de la comunidad del municipio, incentivando su propia economía y la del Municipio.

Por lo tanto, se pretende generar un insumo para identificar posibles movimientos en masa con el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el índice de brillantez del suelo (SBI), estudio que no ha sido realizado y que puede ayudar a establecer una mejor ruta para la gestión del riesgo en el municipio.



## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Identificar posibles movimientos en masa con índices espectrales en el municipio de Recetor, Casanare mediante el uso de imágenes satelitales, para que permita a los entes competentes tomar las acciones de prevención del riesgo.

### **2.2. Objetivos específicos**

- 1) Recopilar y procesar la información de movimientos en masa (eventos, DEM e imágenes satelitales).
- 2) Desarrollar el modelo gráfico en ModelBuilder para procesar los insumos.
- 3) Identificar posibles movimientos en masa mediante los índices espectrales.

### 3. Antecedentes

El deslizamiento de tierra es un riesgo inminente en países con topografía ondulada a empinada, es el caso de (Bezerra et al, 2020), que realizaron un mapa de riesgos de deslizamiento en el Asentamiento de São José do Jacó, ubicado en la ciudad de Natal, estado de Río Grande de do Norte, Brasil, mediante el modelo cualitativo-cuantitativo propuesto por Daniela Faria en su tesis Doctoral del año 2011, adaptado a las condiciones del área de estudio, que aplica un proceso de jerarquía analítica multicriterio (AHP) a un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo cual está relacionado con el municipio de Recetor, por su ocupación inadecuada en zonas con topografía ondulada, así como el aporte con el insumo para la gestión de riesgos, por consiguiente, este estudio pretende incentivar a un programa de monitoreo que, junto con un adecuado programa de mantenimiento de la infraestructura existente y el control de cualquier nueva infraestructura construida, puede contribuir a la sostenibilidad de la infraestructura, el medio ambiente y la comunidad que lo habita.

De este modo, también lo plantean (Abbas et al, 2022), donde identifica la evaluación de riesgos en las aldeas de los valles de Hunza-Nagar y miden los niveles de riesgo de desastres con el fin de explorar las comunidades vulnerables, mediante técnicas geoespaciales, generando un modelo para la evaluación del riesgo de desastres como resultado de análisis de superposición y clasificación de imágenes, utilizando siete parámetros principales, lo cual se asocia al municipio de Recetor, debido a los asentamientos en zonas propensas a deslizamientos. Así como también lo indican (Kahal et al, 2021), donde evalúan la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra en la ciudad prometedora de Neom en el noroeste de Arabia Saudita, mediante el uso de imágenes Landsat y los datos históricos de deslizamientos de tierra todos estos datos orientados a generar

ocho capas temáticas que representan ocho condicionantes de deslizamientos, lo cual tiene directa relación con la zona de estudio, debido a los factores desencadenantes y la afectación socioeconómica al área urbana.

Otro estudio lo aplican (Azizi et al, 2020) donde realizaron mapas y analizaron el potencial del movimiento del suelo mediante un método cuantitativo en el Distrito de Sumedang, Java Occidental, Indonesia. teniendo en cuenta factores internos (litología) y factores externos (pendiente, lluvia y uso de la tierra), utilizando el análisis basado en el Sistema de Información Geográfica (SIG) sobre los parámetros que se han ponderado, lo cual se relaciona directamente con el casco urbano y los parámetros implicados para la determinación del nivel de riesgo, por consiguiente, este estudio plantea como posible solución el uso de las zonas identificadas en el mapa de riesgos para plantar árboles y con plantas fuertes de raíces profundas que sostengan la pendiente, así como el arreglo de desagües superficiales y de aguas residuales domésticas con una construcción impermeable.

Por su parte, (Priyono et al, 2020) analizaron el riesgo de deslizamientos de tierra en los asentamientos en el distrito de Karanganyar, Java Central, Indonesia, mediante el método integrado entre los métodos estadísticos, la observación de campo y el análisis espacial utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), siendo de relevancia para el presente estudio, ya que hace un énfasis en la zona urbana y la clasificación del riesgo.

De otro lado, también es importante considerar la densidad y ocupación población como lo plantea (Puji et al, 2020) al determinar el nivel de vulnerabilidad en Sibolangit en función de la densidad y el gradiente de población, mediante el uso de Información del Sistema Geográfico, con parámetros como gradiente, densidad de población, factor de trabajo, entre otros, que se

relaciona con Recetor, debido a tendencia de ocupación en zonas de alto riesgo. Así como también lo evidencian (Widayanti et al, 2019), con el objetivo de mapear el nivel de riesgo de deslizamiento de tierra basado en la actividad humana en Guntur Macan Village, West Lombok, mediante variables de investigación como el patrón de cultivo, excavación y corte de taludes, elaboración de estanques, drenaje, construcción, densidad de población y mitigación, lo cual puede indicar una especial relación como se había mencionado con los asentamientos informales en las zonas de alto riesgo que pueden ser una de las causas del deslizamiento de tierra.

Por consiguiente, otro factor sumado al riesgo de deslizamiento en áreas montañosas urbanizadas son las lluvias torrenciales en cortos periodos de tiempo, como lo plantea (Ahmed, 2015) en el mapeo de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en el área metropolitana de Chittagong, Blangladesh, con el fin de desarrollar estrategias apropiadas para la reducción del riesgo, en ésta investigación se aplicaron tres métodos diferentes de análisis de decisiones de criterios múltiples basados en el sistema de información geográfica, mostrando una concordancia satisfactoria entre los mapas de susceptibilidad producidos y los datos existentes sobre las 20 ubicaciones históricas, de esta manera, así como en este artículo, el municipio de Recetor, tiene factores comunes como la temporada de lluvias que pueden precipitar la susceptibilidad a deslizamientos.

De este modo, también lo muestran (Panday et al, 2021) en su estudio de deslizamientos de tierra provocados por las fuertes lluvias en el 2019 en el estado de Mon, Myanmar, con el fin de determinar la influencia de aspectos topográficos y elaborar un inventario, por lo tanto, utilizaron imágenes de teledetección, DEM y trabajos de campo limitados para crear el inventario de deslizamientos con áreas  $>4000$  m<sup>2</sup>, altura relativa y ángulo de pendiente, de este modo se asocia con el estudio de Recetor, ya que se utilizaran insumos similares.

Otro estudio, lo indican (Di Napoli et al, 2021), desarrollado una metodología combinada para evaluar la susceptibilidad a fallas y descentramiento de deslizamientos superficiales en la Cinque Terre, Italia, teniendo en cuenta las intensas lluvias que periódicamente afectan el área, utilizando modelos estadísticos probabilísticos de aprendizaje automático (ML) y herramientas basadas en sistemas de información geográfica (GIS), lo cual se relaciona con la zona de estudio, debido al factor determinante de lluvias para deslizamiento de tierra.

Del mismo modo se refieren (Dikshit et al, 2020), determinando el peligro y el riesgo asociado con los deslizamientos de tierra inducidos por la lluvia para la región de Phuentsholing ubicada en la parte suroeste de los Himalayas de Bután, mediante el desarrollo de un mapa de riesgo de deslizamientos de tierra utilizando mapas de amenaza y vulnerabilidad con registros de deslizamientos de 2004 a 2014, lo cual tiene una relación cercana con el casco urbano de Recetor, que se ve afectada por las intensas lluvias en temporada de invierno, por consiguiente, en este estudio la herramienta puede servir como un indicador para que las autoridades civiles analicen el riesgo que representan los deslizamientos de tierra debido al rápido desarrollo de infraestructura en la región.

De otra parte, las condiciones geológicas y geomorfológicas representan una amenaza en cuanto a inestabilidad de terreno se refiere, así como lo describen (Torkashvand et al, 2014), en el estudio de la zonificación de los peligros de deslizamientos de tierra en una cuenca de la provincia de Ardebil, en las laderas orientales de Sabalan, Irán, lo cual se realizó mediante la preparación de información relevante como pendiente, distancia, elevación y precipitación, interpretando fotografías aéreas, imágenes satelitales y visitas a campo, presentando una relación con el actual estudio en cuanto a condiciones geológicas y geomorfológicas se refiere debido a la susceptibilidad de la zona a deslizamientos de tierra. Así mismo, también lo indican (Mulero et

al, 2018), en el análisis de riesgo de deslizamientos multicausal en Sandnes (Noruega) en relación con el cambio climático, el uso del suelo y las propiedades geológicas/geotécnicas del subsuelo urbano, mediante datos históricos y un modelo multicapa combinando los diferentes aspectos estudiados: elevación, pendiente, entre otros, lo cual se relaciona directamente con el suelo urbano a estudiar y sus aspectos geológicos determinantes para la ubicación del riesgo.

Otro estudio lo muestran (Liu et al, 2021) realizando una evaluación del riesgo de peligro geológico del condado de Mianchi, China a través del proceso de jerarquía analítica (AHP), mediante la selección de ocho factores inductores de desastres basados en la plataforma GIS y combinados con el resultado de la investigación de campo, lo cual corresponde a los factores geológicos que presenta el municipio de Recetor.

Un caso lo analizaron (Zhang, 2020), con el mecanismo de los deslizamientos, los factores inducidos, las características geológicas y ambientales de los deslizamientos históricos en el sur de China, mediante el uso de índices combinados con el sistema SIG y la simulación de datos respecto a la relación entre los factores internos y la geomorfología en la ocurrencia del deslizamiento, lo cual se relaciona con la zona de estudio debido al uso de índices geológicos para el análisis mediante herramientas SIG.

Otros factores desencadenantes son la humedad y la temperatura, como lo muestran (Yaa'Cob et al, 2020), donde analizan y validan los datos del índice de humedad del suelo (NDMI) en Ulu Kelang, Malasia, mediante el análisis de Imágenes satelitales, determinando el índice de temperatura (LST), índice de agua (NDWI) y cantidad de lluvia, lo cual se asocia con la zona de estudio por las variantes climáticas que influyen de manera directa en el riesgo de deslizamiento.

De este modo, también cabe destacar el papel de la pendiente en este riesgo, como lo evidencian (Bronowski et al, 2016), con la evaluación de susceptibilidad en el mapeo detallado de la comuna de Dukla (235 km<sup>2</sup>) a escala 1:10.000 en Polonia, aplicando un método del índice de entropía especialmente al factor de pendiente y la elaboración de un mapa de susceptibilidad a deslizamientos con una precisión considerable del 90,5%, siendo relevante para la zona de estudio, ya que Recetor cuenta con pendientes de inclinación altas, que hacen propenso el deslizamiento de tierra, por consiguiente, un aporte para la solución de este estudio, es el uso de este mapa por las autoridades locales para las áreas de registro propensas a este riesgo.

De otra parte, la aplicación de SIG es fundamental para la determinación de este riesgo, como lo muestran (Senouci et al, 2021), donde realizaron un mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el distrito costero de Mostaganem (Oeste de Argelia), para lo cual aplicaron un enfoque basado en el conocimiento y el Proceso Jerárquico Analítico (AHP) en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG), relacionado con el estudio del presente trabajo, ya que combina parámetros de control de deslizamientos, como pendiente, aspecto y uso del suelo, utilizando herramientas GIS. Otro caso lo plantean, (Pereira et al, 2017), aplicando el análisis cuantitativo de riesgo de corrimientos de tierra al municipio de Santa Marta de Penagui~ao (Norte de Portugal) para evaluar el riesgo al que están expuestas las edificaciones, mediante un modelo de datos vectoriales en SIG, usando funciones de probabilidad y teniendo en cuenta el escenario desencadenante de lluvia, lo cual se relaciona con la zona de estudio debido a la exposición que tienen las viviendas urbanas a este evento y su análisis respecto a herramientas SIG.

La aplicación de SIG, también puede verse para el análisis de datos existentes de deslizamientos, como es el caso de (Ayalew et al, 2004), donde mapeó la susceptibilidad a deslizamientos de

tierra en el área de Tsugawa del río Agano, mediante el análisis de una base de datos espacial de 791 deslizamientos de tierra utilizando GIS, teniendo en cuenta parámetros como gradiente de pendiente, aspecto, elevación y curvatura, entre otros, lo cual tiene una cercana relación con el casco urbano de Recetor, ya que se pretenden emplear variables de análisis conforme a los datos suministrados por entidades competentes. Así mismo, lo aplican (Mititelu-Ionus et al, 2020), en su estudio para la obtención de mapas de susceptibilidad a deslizamientos basados en el inventario, clasificación y descripción, dentro del Piamonte de Bălăcița (suroeste de Rumanía), mediante el uso de DEM y base de datos litológicos, donde se analizaron y reclasificaron otros factores determinantes en formato vectorial, lo cual tiene relevancia debido a su metodología e insumos utilizados para obtener el objetivo.

Por lo tanto, el mapeo de la susceptibilidad a deslizamientos es esencial para una adecuada gestión del uso del suelo y evaluación de riesgos, tal como lo plantean (Roccati et al, 2021), con un enfoque basado en SIG para cartografiar la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el promontorio de Portofino, una zona mediterránea que se ve periódicamente afectada por intensas lluvias, en donde se basaron en más de 110 años de inventario de deslizamientos y juicios de expertos, aplicando un método de proceso de jerarquía analítica semicuantitativa (AHP), lo cual tiene relación con Recetor, ya que proporciona una herramienta útil para el análisis de riesgo de deslizamiento, por consiguiente, este estudio pretende ser una posible herramienta de apoyo a la toma de decisiones para implementar estrategias de mitigación de riesgos y aplicar de mejor manera la planificación del uso del suelo, aportando a proyectos como: RECONNECT financiado por la UE que está adoptando estrategias de mitigación de riesgos para la estabilización de taludes en el área estudiada.



Otro caso de estudio, lo muestra (Asmare, 2022), donde realiza una zonificación y evaluación del peligro de deslizamientos de tierra alrededor de la ciudad de Debre Markos, en el noroeste de Etiopía, lo cual se logró mediante una técnica estadística bivariada basada en SIG, recopilando mapas de campo, imágenes satelitales y modelos digitales de elevación, revelando zonas de mayor a menor riesgo, por lo tanto es importante para el presente trabajo, ya que pretende evaluar las zonas de riesgo de deslizamiento de tierra mediante herramientas SIG.

De manera similar, lo relacionan (Nsengiyumva et al, 2018), donde realizan una evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra mediante la aplicación del Modelo de Evaluación de Criterios Múltiples Espaciales con ocho capas de factores causales en Ruanda, África, mediante la relación entre los factores de deslizamiento y el mapa de inventario utilizando la Evaluación de Criterios Múltiples Espaciales, lo cual tiene que ver con el municipio de Recetor por el uso de factores relevantes como insumo para el análisis final del riesgo.

Por ende, el análisis de riesgo se puede evaluar mediante el uso de SIG, como lo indican (Sari et al, 2017), donde estudiaron los niveles de riesgo de deslizamiento en el subdistrito de Citeureup, Bogor Regency, West Java, utilizando técnicas analíticas de Miles y Huberman y el concepto de riesgo de desastres de Wisner. E, lo cual se relaciona con el caso de estudio debido al análisis mediante SIG para las zonas con riesgo de deslizamiento. Así mismo, lo evidencian (Udin et al, 2021), donde evalúan los factores causantes de deslizamientos de tierra y crean un mapa de susceptibilidad en Aring, Gua Musang, Kelantan, mediante el Modelo Digital de Elevación (DEM) y un método de superposición ponderada (WOM) para combinar estos mapas de factores causales ponderados en un Sistema de información geográfica (SIG), que se relaciona por el uso de un DEM y su procesamiento mediante un SIG, por consiguiente, este estudio pretende como

solución que la precisión del mapa producido ayudará a las autoridades en la mitigación y planificación de desastres para tomar las mejores decisiones posibles en el futuro.

Así mismo, también lo proponen (Muhamad et al, 2019), identificando las diversas dimensiones de la información que contribuyeron a los desastres en la Universidad Kebangsaan Malasia y desarrollar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones para apoyar la toma de decisiones informadas, mediante un enfoque heurístico, un análisis de criterios, un estudio de expertos para proporcionar peso y la superposición de análisis para producir mapas temáticos, lo anterior se relaciona con el uso de SIG, la susceptibilidad del terreno y las condiciones climáticas de Recetor. Por consiguiente, este estudio pretende ser apoyo a la toma de decisiones en la gestión del uso de la tierra para abordar los problemas de desastres en este campus.

En Colombia, el deslizamiento de tierra es un evento común especialmente en épocas de lluvia, como lo indican (Mejía et al, 1994), donde caracterizan, evalúan peligros geológicos y riesgos en el área urbana del noroeste de Medellín, Colombia, mediante el uso de siete factores determinantes que se clasificaron y se ponderaron de acuerdo con criterios de procesos de superposición de Boolean aplicados a los mapas de los factores, lo cual es relevante para el estudio en el municipio de Recetor, ya que presenta una caracterización y evaluación del riesgo mediante uso de sistemas de Información Geográfica.

Otro estudio, lo elaboraron (Van Westen et al, 1996), donde realizaron un análisis determinista del riesgo de deslizamiento mediante el uso de SIG en la ciudad de Manizales, Colombia, aplicando un modelo hidrológico, un método simple para el cálculo de la aceleración sísmica horizontal y un método de propagación de errores, para consolidar finalmente el mapa de amenaza por deslizamientos, lo cual se relaciona con el casco urbano de Recetor y brinda un acercamiento al riesgo de deslizamiento mediante el uso de métodos teóricos e implementación SIG.

## 4. Referente normativo y legal

1. **Ley 388 de 1997:** Armonizar y actualizar las disposiciones contenidas en la Ley 9 de 1989 con las nuevas normas establecidas en la Constitución Política, la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo, la Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas y la Ley por la que se crea el Sistema Nacional Ambiental.

**Artículo 5°.- *Concepto.*** El ordenamiento del territorio municipal y distrital comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales.

**Artículo 13°.- *Componente urbano del plan de ordenamiento.*** El componente urbano del plan de ordenamiento territorial es un instrumento para la administración del desarrollo y la ocupación del espacio físico clasificado como suelo urbano y suelo de expansión urbana, que integra políticas de mediano y corto plazo, procedimientos e instrumentos de gestión y normas urbanísticas.

**Artículo 30°.- *Clases de suelo.*** Los planes de ordenamiento territorial clasificarán el territorio de los municipios y distritos en suelo urbano, rural y de expansión urbana. Al interior de estas clases podrán establecerse las categorías de suburbano y de protección, de conformidad con los criterios generales establecidos. (Función Pública, 1997)

2. **Ley 1523 de 2012:** Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

**Artículo 1°.** *De la gestión del riesgo de desastres.* La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

**Artículo 2°.** *De la responsabilidad.* La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano

**Artículo 5°.** *Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.* El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en adelante, y para efectos de la presente ley, sistema nacional, es el conjunto de entidades públicas, privadas y comunitarias, de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos, mecanismos, así como la información atinente a la temática, que se aplica de manera organizada para garantizar la gestión del riesgo en el país.

**Artículo 15.** *Instancias de Orientación y Coordinación.* El sistema nacional cuenta con las siguientes instancias de orientación y coordinación, cuyo propósito es optimizar el desempeño de las diferentes entidades públicas, privadas y comunitarias en la ejecución de acciones de gestión del riesgo.

1. Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo.
2. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.
3. Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo.

4. Comité Nacional para la Reducción del Riesgo.
5. Comité Nacional para el Manejo de Desastres.
6. Consejos departamentales, distritales y municipales para la gestión del riesgo. (Función Pública, 2012)

**3. Decreto 1077 de 2015:** Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

**Artículo 2.2.2.1.3.2.2.2. *Análisis detallado de amenaza por movimientos en masa.*** Para determinar la categorización del riesgo por movimientos en masa, los estudios de amenaza tienen las siguientes especificaciones mínimas:

*1. Área de estudio.* Se referirá a las áreas con condiciones de riesgo y amenaza, por movimientos en masa delimitadas en el plan de ordenamiento territorial, a partir de los estudios básicos de que tratan los artículos anteriores. Estas áreas podrán ser precisadas con base en la geoforma de la zona objeto de análisis.

2. Se consideran como insumos mínimos que se elaboran y evalúan a la escala de trabajo, los siguientes:

2.1 Geología para ingeniería.

2.2 Geomorfología a nivel de elementos.

2.3 Hidrogeología, con énfasis en comportamiento de los niveles freáticos.

2.4 Evaluación del drenaje superficial.

2.5 Sismología.

2.7 Exploración del subsuelo.

2.8 Levantamiento topográfico, incluyendo la información predial o catastral.

3. Alcance. El análisis de la amenaza a nivel detallado se realiza empleando por lo menos métodos determinísticos y modelos matemáticos, en función de la dinámica del movimiento en masa objeto de análisis.

Cómo parte del análisis de amenaza se debe tener en cuenta las causas de la inestabilidad del terreno, considerando dentro de los agentes detonantes los siguientes factores: agua, sismo y procesos antrópicos (cortes, excavaciones, rellenos y construcciones en general), mediante el análisis mínimo de tres escenarios.

4. Productos: Mapas de zonificación de amenaza por movimientos en masa, según lo dispuesto en el presente artículo.

Se debe elaborar un documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos. (Función Pública, 2015)

## **5. Referente teórico**

### **5.1. Correcciones Imágenes Satelitales**

#### **5.1.1. Correcciones Atmosféricas**

En esta corrección se eliminan los elementos presentes en la columna atmosférica, causales de ruido en la señal y el ND del pixel. Esta corrección permite enmascarar la bruma y nubes. De esta manera se obtiene una imagen con valores de reflectancia (0 a 1) que mejora la separabilidad espectral de los objetos presentes en la imagen respecto a la original; esta corrección es útil emplearla cuando se piensa aplicar índices espectrales, esto con el fin de que se generen índices más fieles y con valores más verídicos. (Riaño et al, 2000).

#### **5.1.2. Correcciones Radiométricas**

Es una de las vías para tratar los valores de píxel de una imagen satélite para obtener valores de intensidad homogéneos equilibrando histogramas o corrigiendo imperfecciones presentes en los píxels. Entre los diversos motivos que influyen en estas distorsiones de las imágenes satélite encontramos fallos de los propios sensores, alteraciones en el movimiento del sensor o instrumento a bordo del satélite/avioneta o la interferencia de la atmósfera. (Ávila, 2011).

### **5.2. Índice de Vegetación Normalizada**

El índice de Vegetación Normalizado (NDVI), es usado para medir la vegetación de una zona en particular, este se lleva a cabo a partir de imágenes satelitales en donde se capta la radiación infrarroja (NIR) y la radiación visible (R), la diferencia entre estas corresponde al índice de Vegetación Normalizada (NDVI) los cuales deben oscilar entre -1 y +1 sobre imágenes de 8bits,

lo que corresponde entre los valores de 0 a 255 y la forma de calcular el índice se presenta a continuación:

$$NDVI_{(i,j)} = \frac{NIR_{(i,j)} - R_{(i,j)}}{NIR_{(i,j)} + R_{(i,j)}}$$

Donde  $(i, j)$  corresponde a las coordenadas de los píxeles de la zona de interés. (Pałas, K. W & Zawadzki, J, 2020).

### 5.3. Índice de Brillantez del Suelo

El Índice de Brillantez (SBI), corresponde a una medida numérica de brillantez del suelo, esta es usada en con fin de identificar la humedad y la textura de las zonas de estudio, y se calcula a partir de imágenes satelitales en donde se capta la radiación visible y radiación infrarroja, Existen varios índices de brillantes del suelo como el Tasseled Cap Transformation Brightness Index (BI) de Crist y Cicone que adaptaron a seis bandas el concepto inicial de Kauth y Thomas en 1976, desarrollado a partir de los datos MSS (Landsat Multispectral Scanner), el Brightness (B) y el Soil Brightness Index (SBI), entre otros. (Ochoa.,V & Parrot. J, 2007). Estos índices se calculan a partir de las imágenes Sentinel 2 con la siguiente ecuación:

$$SBI = \sqrt{\frac{Red^2 + Green^2}{2}}$$

(Pałas, K. W & Zawadzki, J, 2020)

### 5.4. Movimientos en masa

Un movimiento en masa (MM) puede ser definido como todo desplazamiento de material litológico y o de escombros hacia abajo (vertical o en dirección del pie de una ladera) debido a la gravedad. En el lenguaje común son conocidos bajo varios términos sinónimos como deslizamientos, derrumbes y movimientos de terreno, entre otros (Escuela de Geología, 2000).



### 5.4.1. Tipos de Movimientos en masa

- 1. Caídas, desprendimientos, desplomes.** Representa la disgregación rápida de un volumen de material litológico a lo largo de una superficie sobre la cual ocurre muy poco desplazamiento cortante. Este movimiento ocurre generalmente en zonas de alta pendiente y la gravedad constituye el principal agente motor del movimiento. Las caídas, desprendimientos o desplomes, son generados por procesos similares; se distinguen solamente por la magnitud del fenómeno. Las *caídas* son generalmente movimientos intermitentes en caída libre, asociados a escarpes de rocas duras y fracturadas; el volumen de material afectado generalmente es bajo y representa fragmentos independientes (cantos a bloques). En los *desprendimientos* se produce una disgregación de masa litológica, ya sea de suelo, roca fracturada o descompuesta y existe un descenso súbito con fragmentación de material a lo largo de una ladera de fuerte pendiente. En los *desplomes*, hay un colapso de una masa litológica de volumen considerable sobre la base o pie y forma en ella un depósito caótico de material grueso (Escuela de Geología, 2000).

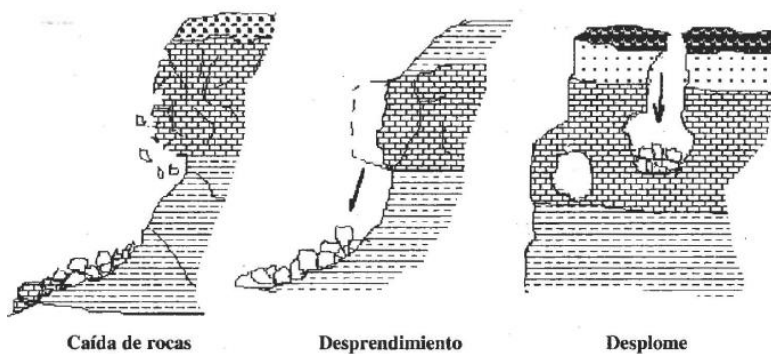


Ilustración 8: Caídas

Fuente: (Escuela de Geología, 2000)

- 2. Flujos.** Son movimientos relativos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplazan a lo largo de una superficie de falla bien definida, generalmente de orden planar, la cual sigue una discontinuidad formada por un cambio litológico (contacto suelo

- roca), una estructura geológica (plano de estratificación), una característica geotécnica (contacto roca fresca - roca meteorizada), etc. Aunque comúnmente los flujos están caracterizados como movimientos rápidos y compuestos por lodos, también pueden ser lentos y compuestos por rocas y suelos no saturados. En general, estos movimientos se caracterizan por la forma alargada y estrecha del contorno del mismo. Se diferencian de los deslizamientos por su morfología de conjunto en lámina sobre una pendiente o por el encauzamiento sobre un drenaje o cauce (Escuela de Geología, 2000).

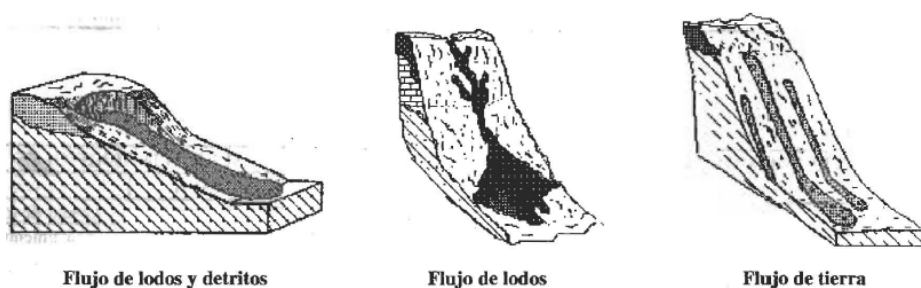


Ilustración 9: Flujos  
Fuente: (Escuela de Geología, 2000)

**3. Deslizamientos.** Son movimientos caracterizados por desarrollar una o varias superficies de ruptura, una zona de desplazamiento y una zona de acumulación de material desplazado bien definidas. Son los movimientos que presentan más criterios de clasificación. Ocurren sobre laderas de pendientes suaves a escarpadas, sobre todo tipo de materiales litológicos, a diferentes velocidades y en ellos pueden operar distintamente uno o varios agentes motores de movimiento (agua, hielo, viento) (Escuela de Geología, 2000).

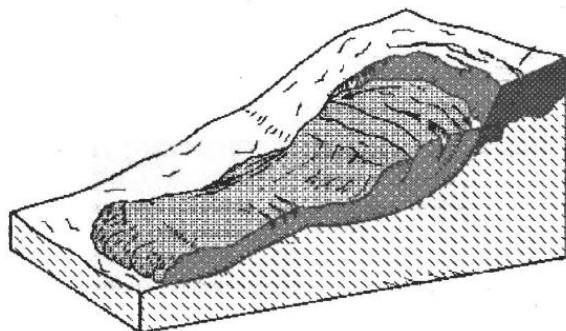
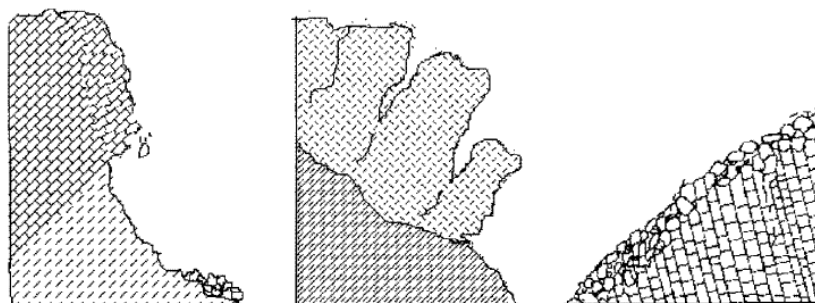


Ilustración 10: Deslizamiento  
Fuente: (Escuela de Geología, 2000)

- 4. Volcamientos.** Son movimientos producidos sobre una ladera o talud debidos a los colapsos de material rocoso, se caracterizan por una heterogeneidad litológica y estructural. El movimiento se produce por la acción de la gravedad y por la rotación, hacia delante, de un material rocoso (Capa litológica o paquete de rocas estratificadas o diaclasadas) alrededor de un punto de giro localizado en su parte inferior (Escuela de Geología, 2000).



Volcamiento de masas rocosas

Volcamiento de suelos

Volcamiento de rocas

Ilustración 11: Volcamiento  
Fuente: (Escuela de Geología, 2000)

- 5. Propagación lateral.** Son desplazamientos de terreno (rocas, suelos, detritos) en sentido lateral o casi horizontal, en donde subyacen masas rocosas fracturadas y materiales de composición arcillosa. Estos movimientos se relacionan con los fenómenos de licuación o movimientos plásticos de los materiales por la actividad sísmica. En general estos tipos de movimientos en masa son lentos, de características complejas y de difícil apreciación sobre el terreno (Escuela de Geología, 2000).

**6. Hundimientos o subsidencia.** Son movimientos de terrenos con desplazamientos subverticales, lentos y progresivos. Son causados generalmente por una ablación profunda, bajo el efecto de las estructuras tectónicas (fallas), de la disolución química de las rocas (calizas, etc.), de la diagénesis de sedimentos o por causas artificiales (extracción de recursos minerales del subsuelo, de aguas subterráneas, construcciones subterráneas como galerías, minas, etc.). Un hundimiento se manifiesta como una depresión topográfica en la superficie del terreno, sin ruptura aparente, donde algunas veces, se forman cunetas poco profundas (Escuela de Geología, 2000).

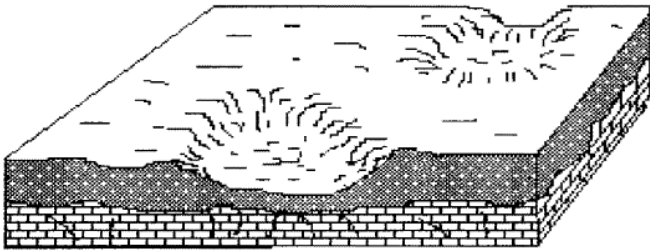


Ilustración 12: Hundimiento  
Fuente: (Escuela de Geología, 2000)

**7. Reptación.** Es un movimiento superficial (suelos), lento y continuo, con materiales de baja cohesión, favorecidos por el agua. Este tipo de movimiento no presenta superficie de ruptura, pero sobre el terreno se desarrollan varias geoformas o características que permiten su detección (Rugosidades del suelo, efectos de geotropismo en los árboles, desplazamiento de cercas, morfología suavemente ondulada con abombamientos locales, etc (Escuela de Geología, 2000).

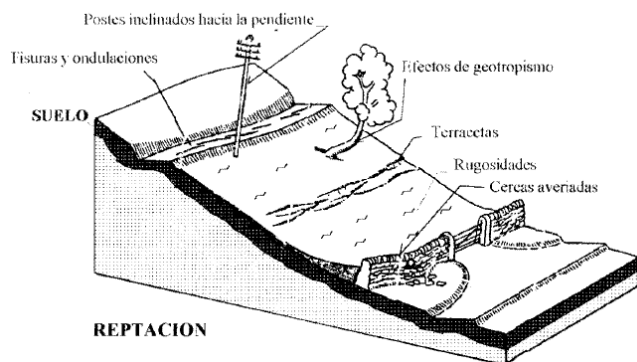


Ilustración 13: Reptación  
Fuente: (Escuela de Geología, 2000)

**8. Movimientos complejos.** Cuando se presentan diferentes tipos de mecanismos de ruptura o de falla y la combinación de dos o más movimientos en masa, estamos ante un movimiento complejo en masa (Escuela de Geología, 2000).

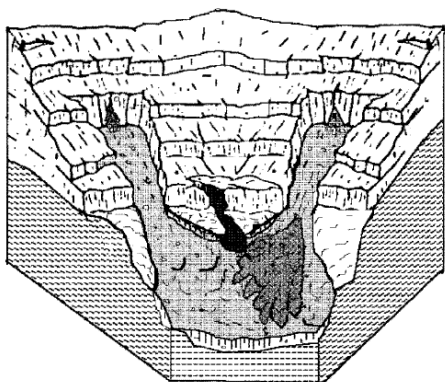


Ilustración 14: Movimiento de masa complejo  
Fuente: (Escuela de Geología, 2000)

**9. Avenidas torrenciales.** Este tipo de movimiento complejo se forma por la ocurrencia súbita de uno o varios movimientos en masa, de una magnitud considerable, que vierten sus materiales litológicos sobre un cauce generalmente estrecho, profundo, de régimen hidrológico temporal o permanente y de alto gradiente, formando una masa semilíquida de bloques y lodo que se precipita pendiente abajo, con gran velocidad y poder de arrastre (Escuela de Geología, 2000).

## 5.5. Riesgo

La organización de Naciones Unidas (ONU) define el riesgo como la probabilidad de que se produzcan consecuencias perjudiciales (muertes y/o lesiones a personas, daños a bienes, interrupción de la actividad económica, o deterioro ambiental) como resultado de la interacción entre las amenazas naturales, antrópicas y tecnológicas con las condiciones de vulnerabilidad.

(Ruiz et al, 2010, p. 166)

Es una función de dos variables: la amenaza y la vulnerabilidad. Donde ambas son condiciones necesarias para expresar al riesgo, el cual se define como la probabilidad de pérdidas, en un punto geográfico definido y dentro de un tiempo específico. Mientras que los sucesos naturales no son siempre controlables, la vulnerabilidad sí lo es. (Keipi et al, 2005)

Es posible formular los riesgos mediante la siguiente expresión:

*Riesgo = amenaza x vulnerabilidad*

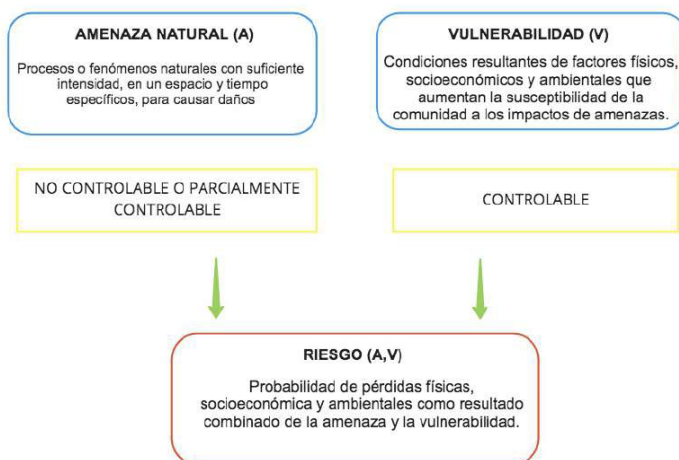


Ilustración 15: Amenaza – Vulnerabilidad  
Fuente: (Keipi et al, 2005)

### 5.5.1. Clasificación del riesgo

Existen distintos modos de clasificar una catástrofe. Atendiendo al origen del factor desencadenante, la catástrofe (clasificación de CROCQ), se clasifica en:

- *Riesgos naturales*: Son aquellos cuyo desencadenante está directamente relacionado por factores geológicos y climáticos.
- *Riesgos antrópicos*: Aquellos que están provocados por las acciones o actividades humanas.
- *Riesgos tecnológicos*: Riesgo antrópicos que son derivados del desarrollo tecnológico y de la aplicación y uso de tecnologías. (Ruiz et al, 2010)

## **5.6. Sentinel 2**

Sentinel 2, es un satélite de la Agencia Espacial Europea (ESA) el cual pertenece al programa Copérnico, este fue lanzado en el año 2015 y aun se encuentra en operación proporcionando imágenes de alta resolución en diferentes bandas como lo son la banda visible y la banda infrarroja cercana. Estas imágenes son de gran uso para planificación urbana, desastres naturales, agricultura, deforestación entre otros y está disponible para cualquier tipo de usuario que requiera trabajar con estas imágenes. (ESA, 2021)

### **5.6.1.Sentinel 2A**

Sentinel 2A, es un satélite de la Agencia Espacial Europea (ESA) el cual pertenece al programa Copérnico, este fue lanzado en el año 2015 y es uno de los dos satélites sentinel 2 que se encuentran en órbita. Proporciona imágenes de alta resolución en diferentes bandas como lo son la banda visible y la banda infrarroja cercana, este se caracteriza por hacer un reconocimiento periódico de cada 5 días. (ESA, 2021)

### **5.6.2.Sentinel 2B**

Sentinel 2B, es un satélite de la Agencia Espacial Europea (ESA) el cual pertenece al programa Copérnico, este fue lanzado en el año 2017 y es uno de los dos satélites sentinel 2 que se encuentran en órbita. Proporciona imágenes de alta resolución en diferentes bandas como lo son la banda visible y la banda infrarroja cercana, este se caracteriza por hacer un reconocimiento periódico de cada 5 días. (ESA, 2021)

### **5.7. ALOS PALSAR**

ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar), es un satélite desarrollado por el Instituto de Tecnología de Japón (JAXA), este fue lanzado en el año 2006 y proporciona imágenes de radar simétrico de apertura (SAR) en la banda (L) esto quiere decir que tiene la ventaja de penetrar condiciones climatológicas como la niebla, la lluvia y en general en tiempos de condiciones climatológicas extremas. Estas imágenes son de gran uso para la gestión de recursos naturales, desastres naturales, agricultura, deforestación entre otros y está disponible para cualquier tipo de usuario que requiera trabajar con estas imágenes. (JAXA, 2021)



## **6. Metodología**

### **6.1. Enfoque Metodológico**

Investigación Aplicada, Investigación Tecnológica, con enfoque cuantitativo. Lo anterior se fundamenta en el uso de imágenes satelitales y base de datos de histórico de movimientos en masa - SIMMA, como investigación tecnológica para recopilar y analizar los datos; de esta manera se quiere dar a conocer los posibles movimientos en masa identificados mediante índices espectrales y se pretende entregar estos datos a la Alcaldía Municipal especialmente a la Dirección Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres – DDGRD Casanare y CORPORINOQUIA, para que tomen acción y eviten futuros afectados, así como la prevención del asentamiento de nuevas viviendas en la misma zona de alto riesgo, favoreciendo la reubicación de familias hacia zonas seguras.

### **6.2. Tipo de Estudio**

Corresponde a un estudio cuasi experimental, debido a su paso por varias fases, desde la recolección y clasificación de la información de antecedentes, el procesamiento de la información y la generación de resultados, permitiendo identificar los posibles eventos de movimientos en masa mediante índices espectrales en el municipio de Recetor, Casanare debido a efectos naturales sin posibilidad de control.

### **6.3. Procedimiento**

**Fase 1: Recopilar y procesar la información de movimientos en masa (eventos, DEM e imágenes satelitales).**

1. Acopiar toda la información del Sistema de Información de Movimientos en Masa - SIMMA.

Se ingresa al sitio <https://simma.sgc.gov.co/#/public/basic/> y se especifica la búsqueda por departamento <<Casanare y municipio <<Recetor, seleccionando todos los tipos de movimientos en masa:



Ilustración 16: Búsqueda Movimientos en masa  
Fuente: SIMMA

Posteriormente la búsqueda arroja 412 resultados y se agregan los campos de: Latitud, longitud, altura, número de desaparecidos, número de afectados y se descarga en el único formato de salida PDF:

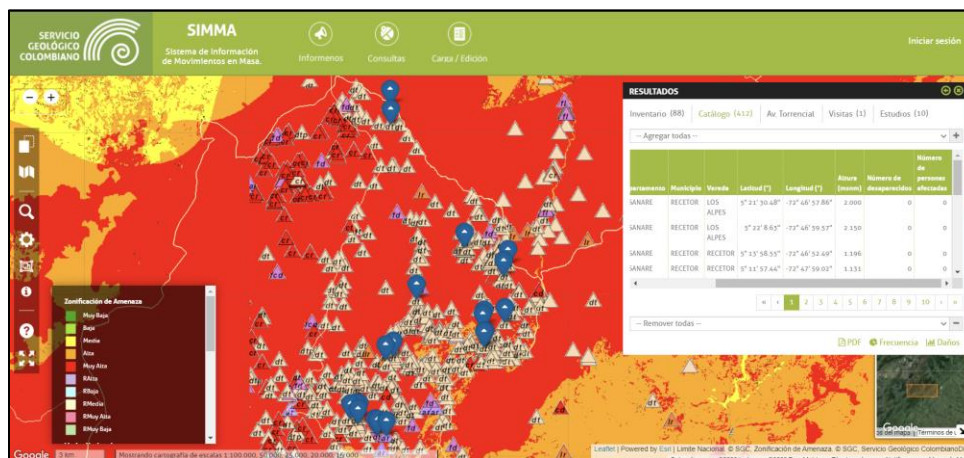


Ilustración 17: Resultados Movimientos en masa  
Fuente: SIMMA

## 2. Validar y depurar la información.

Luego de realizar la descarga, se procede a convertir el archivo en formato .xlsx:

Fecha evento	Departamento	Municipio	Vereda	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (msnm)	Número de desaparecidos	Número de personas
30/03/2022	CASANARE	RECETOR	LOS ALPES	5.369064	-72.783214	2.150	0	0
30/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.232931	-72.781247	1.196	0	0
30/03/2022	CASANARE	RECETOR	LOS ALPES	5.358467	-72.782739	2.000	0	0
29/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.199289	-72.799728	1.131	0	0
28/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.230864	-72.785575	1.235	0	0
26/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.263767	-72.768603	1.363	0	0
23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.198881	-72.804569	1.230	0	0
23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.199225	-72.801542	1.132	0	0
23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.196289	-72.800597	1.080	0	0
23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.190653	-72.791333	1.164	0	0
23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.1899	-72.785019	1.132	0	0
23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.1905	-72.789875	1.142	0	0
19/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.249656	-72.731828	1.079	0	0
19/03/2022	CASANARE	RECETOR	PUEBLO NUEVO	5.238433	-72.731197	859	0	0
19/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	5.250803	-72.720622	1.256	0	0

Ilustración 18: Datos SIMMA  
Fuente: SIMMA

De lo cual, se obtienen 16 pestañas correspondientes a las 16 hojas del PDF, sin embargo, se procede a validar la información resultante, comparando cada fila con el pdf y corrigiendo los datos con errores, celdas combinadas, cifras faltantes, duplicados, entre otros y tomando únicamente los datos entre 2017 y 2022 para un total de **250 eventos**.

3. Transformar coordenadas de eventos.

Luego de consolidar la base alfanumérica, se procede a transformar las coordenadas de latitud y longitud a coordenadas elipsoidales en grados decimales:

X	Y	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (msnm)	Tipo de movimiento	Fecha evento movimiento	Departamento	Municipio	Vereda	Número de desaparecidos	Número de personas
745658.362	593905.143	5.369064	-72.783214	2150	DESPLAZAMIENTO	30/03/2022	CASANARE	RECETOR	LOS ALPES	0	0
745930.152	578846.685	5.232931	-72.781247	1196	DESPLAZAMIENTO	30/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
745715.269	592733.076	5.358467	-72.782739	2000	DESPLAZAMIENTO	30/03/2022	CASANARE	RECETOR	LOS ALPES	0	0
743893.884	575117.996	5.199289	-72.799728	1131	DESPLAZAMIENTO	29/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
745451.199	578616.337	5.230864	-72.785575	1235	REPTACIÓN	28/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
747320.376	582262.805	5.263767	-72.768603	1363	DESPLAZAMIENTO	26/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
743357.17	575070.996	5.198881	-72.804569	1230	DESPLAZAMIENTO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
743692.735	575110.217	5.199225	-72.801542	1132	DESPLAZAMIENTO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
743798.666	574785.801	5.196289	-72.800597	1080	DESPLAZAMIENTO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
744828.238	574165.925	5.190653	-72.791333	1164	FLUJO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
745928.774	574085.074	5.1899	-72.785019	1132	FLUJO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
744989.994	574149.565	5.1905	-72.789875	1142	DESPLAZAMIENTO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
751404.147	580716.472	5.249656	-72.731828	1079	DESPLAZAMIENTO	19/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
751478.619	579475.18	5.238433	-72.731197	859	DESPLAZAMIENTO	19/03/2022	CASANARE	RECETOR	PUEBLO NUEVO	0	0
752646.405	580847.875	5.250803	-72.720622	1256	DESPLAZAMIENTO	19/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
752825.449	584351.994	5.282472	-72.718892	899	DESPLAZAMIENTO	19/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0

Ilustración 19: Base alfanumérica  
Fuente: SIMMA – Elaboración propia

#### 4. Elaborar el inventario espacial con la información recopilada.

Con la base alfanumérica consolidada, se procede a cargar los puntos en Arcgis 10.8, se depuran y validan aquellos que no estaban dentro del límite municipal, para posteriormente, realizar una proyección de coordenadas WGS84 UTM ZONE 18N a CTM12 y calcular las nuevas coordenadas Xcoord, Ycoord en este sistema, dejando como llave respecto a la base alfanumérica, las coordenadas X, Y elipsoidales en grados decimales:

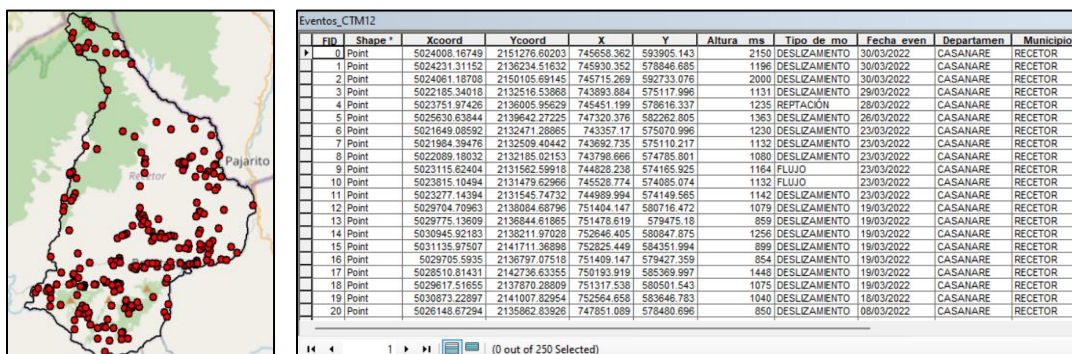


Ilustración 20: Base de datos espacial  
Fuente: SIMMA – Elaboración propia

#### 5. Realizar la búsqueda de imágenes satelitales de los años con eventos.

Ingresando a la plataforma del Servicio Geológico de Estado Unidos - USGS, se indica el municipio “RECETOR” buscando las imágenes Sentinel 2A o 2B con nivel por defecto 1C el cual toma las bandas en la parte alta de la atmósfera, escogiendo aquellas con menor nubosidad y mayor claridad posible desde el año 2017 hasta el año 2022, para posteriormente proceder a su descarga.

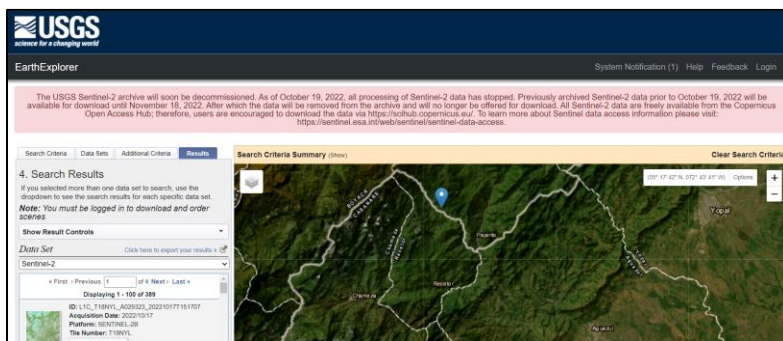


Ilustración 21: USGS plataforma  
Fuente: USGS

## 6. Descargar DEM para el municipio.

Se ingresa a la plataforma de Alaska Satellite Facility, se delimita la zona de estudio y se busca por el satélite Alos Palsar, descargando el DEM del 10/02/2011:

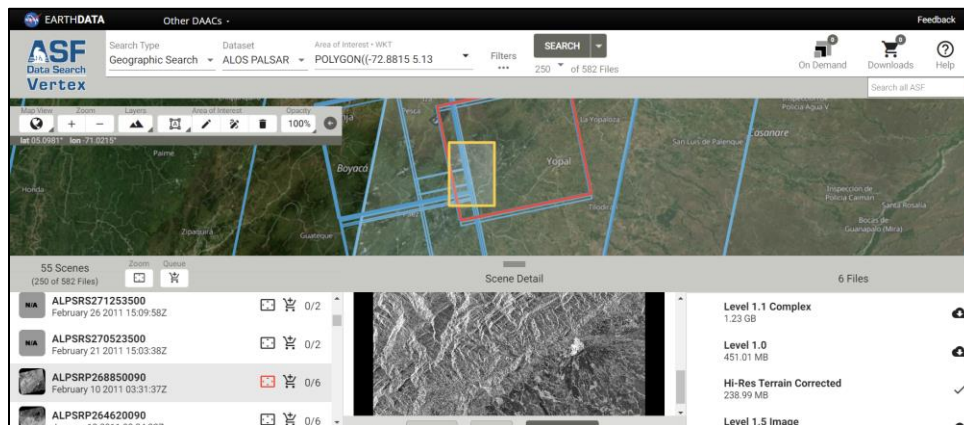


Ilustración 22: Alos Palsar

Fuente: ASF

Posteriormente, se realiza la corrección de “relleno de celdas sin datos”, se proyecta a las coordenadas CTM12 y se realiza el recorte para el municipio:

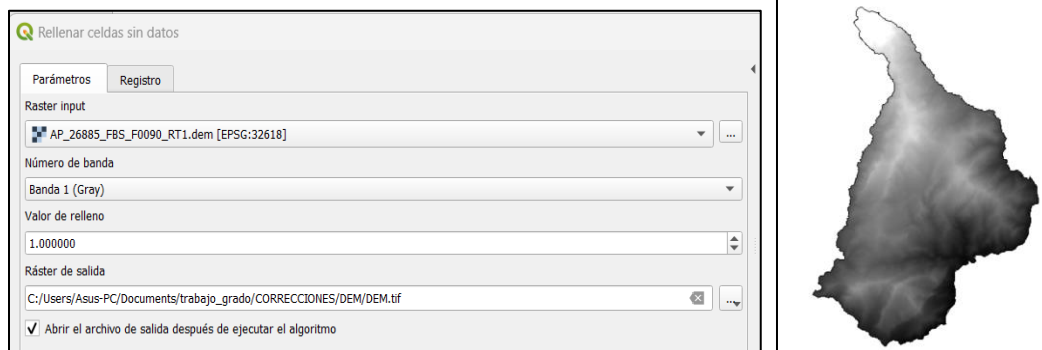


Ilustración 23: DEM procesado

Fuente: QGIS 3.22.5 – Elaboración propia

## 7. Efectuar las correcciones necesarias a las imágenes satelitales.

Una vez descargadas, se inicia el programa QGIS 3.22.5 y se instala el complemento Semi Automatic Classification Plugin para poder realizar la correspondiente corrección radiométrica y Corrección atmosférica por el método DOS (Dark Object Subtraction) por sus siglas en inglés o Método de Substracción de Píxeles oscuros, también conocido como el Método de Chávez, el

cual consiste en eliminar aquellos valores de reflectancia muy bajos y con estos valores se calibra el resto de la imagen para conseguir unos valores de reflectancia más adecuados.

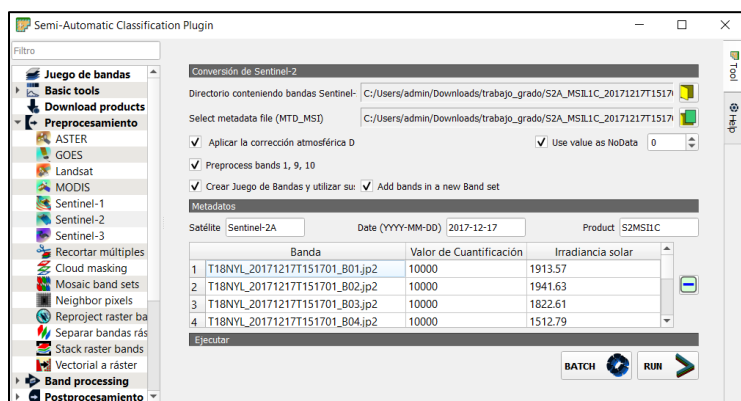


Ilustración 24: Semi clasificación  
Fuente: USGS - QGIS 3.22.5

Posteriormente, se realiza el recorte de las imágenes corregidas respecto al límite municipal de Recetor y se transforma al sistema de coordenadas CTM12.

## Fase 2: Desarrollar el modelo grafico en ModelBuider para procesar los insumos.

Actividades:

1. Realizar modelo para cálculo de NDVI, SBI y pendiente.

Mediante ModelBuilder, se agrega la calculadora ráster con las fórmulas de NDVI y SBI, así como el calculo de pendiente en grados para el DEM y se ejecuta para cada uno de los años de estudio:

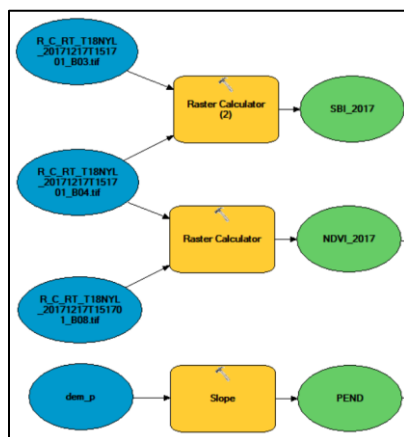


Ilustración 25: Modelo 1  
Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

Posteriormente se obtiene la pendiente para el municipio de Recetor:

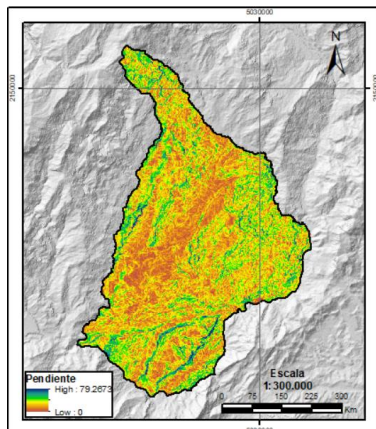
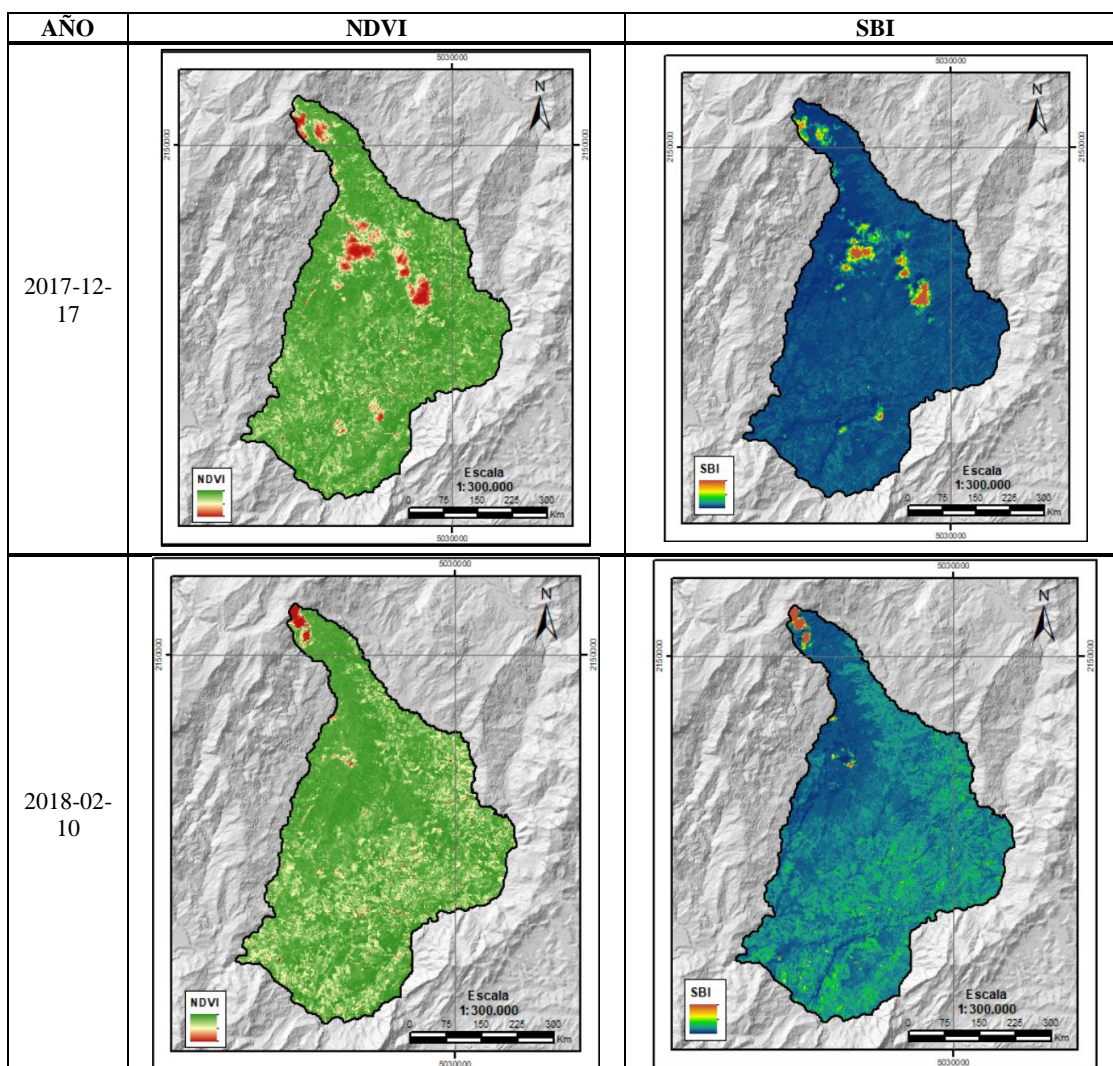
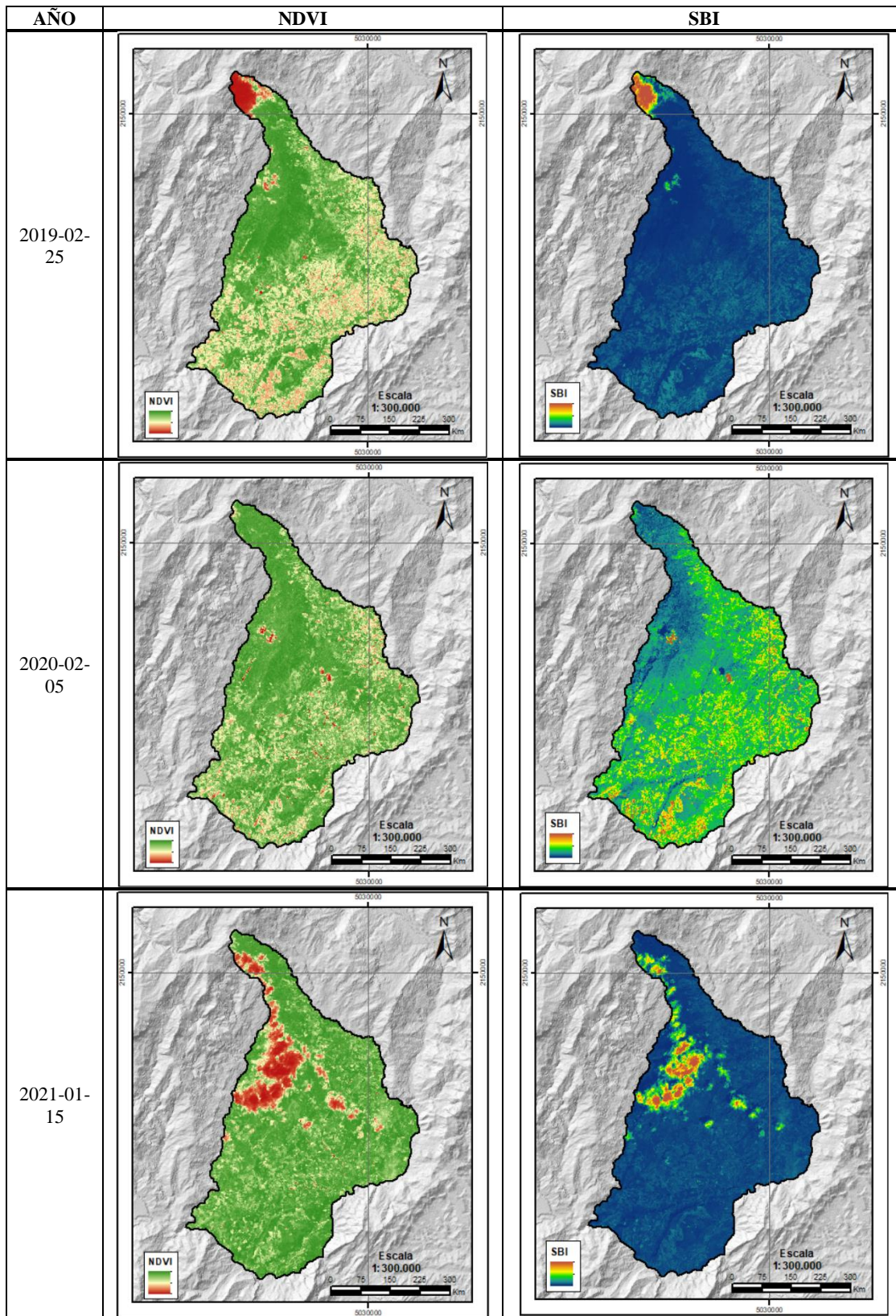


Ilustración 26:Pendiente

Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

Así como los índices espectrales desde el año 2017 hasta el año 2022:







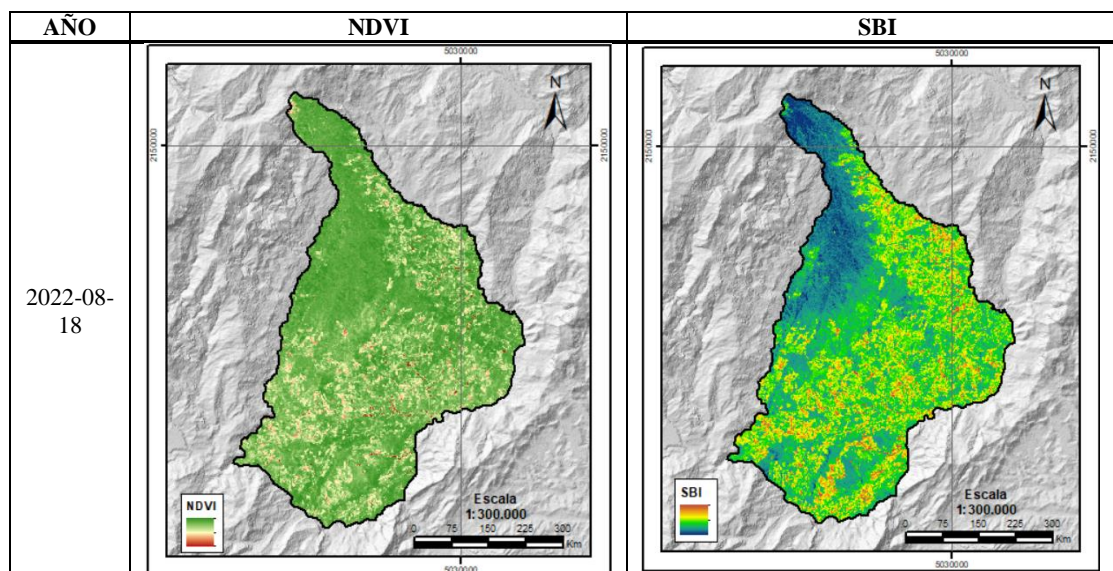


Tabla 1: NDVI\_SBI

Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

## 2. Reclassificar los índices espectrales y pendiente.

Con la información resultante del cálculo de índices espectrales y pendiente, se realiza la reclasificación de acuerdo con la siguiente tabla:

NDVI	SBI	PENDIENTE
-1 a 0,15 = Cuerpos de agua, zonas construidas y nubes.	0 a 0,2 = Cuerpos de agua y zonas de vegetación.	0° = Zonas horizontales y planas.
0,15 a 0,45 = Procesos de movimientos de masas.	0,2 a 0,3 = Suelos desnudos.	1 a 14° = Zonas de pendiente ligera.
0,45 a 0,75 = Vegetación poco densa.	0,3 a 1 = Nubes.	>15° = Zonas inclinadas
0,75 a 1 = Vegetación activa.		(Procesos de movimientos en masa).

Tabla 2: Nuevos parámetros

Fuente: (Beltrán.R, 2019)

La reclasificación se realiza por la herramienta “Calculadora Raster”, ingresando los nuevos parámetros para los índices NDVI y SBI de los años de estudio, así como para la pendiente:

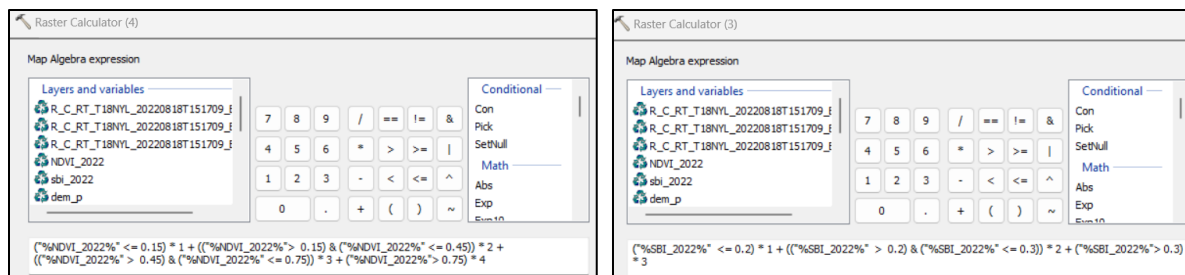


Ilustración 27:Reclasificado NDVI y SBI  
Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

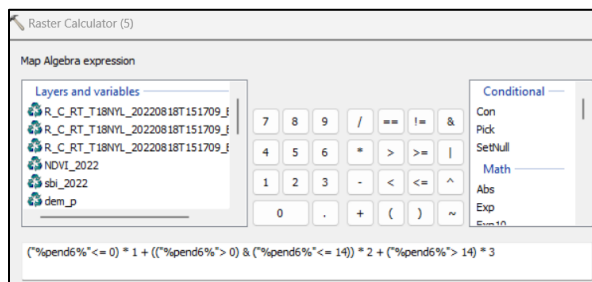


Ilustración 28: Reclasificado Pendiente  
Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

De este modo, se obtiene el Modelo para reclasificar los valores en cada índice espectral y pendiente:

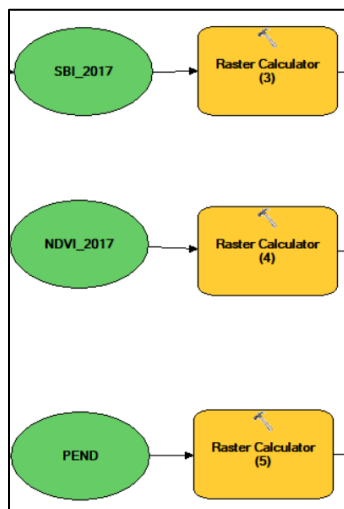
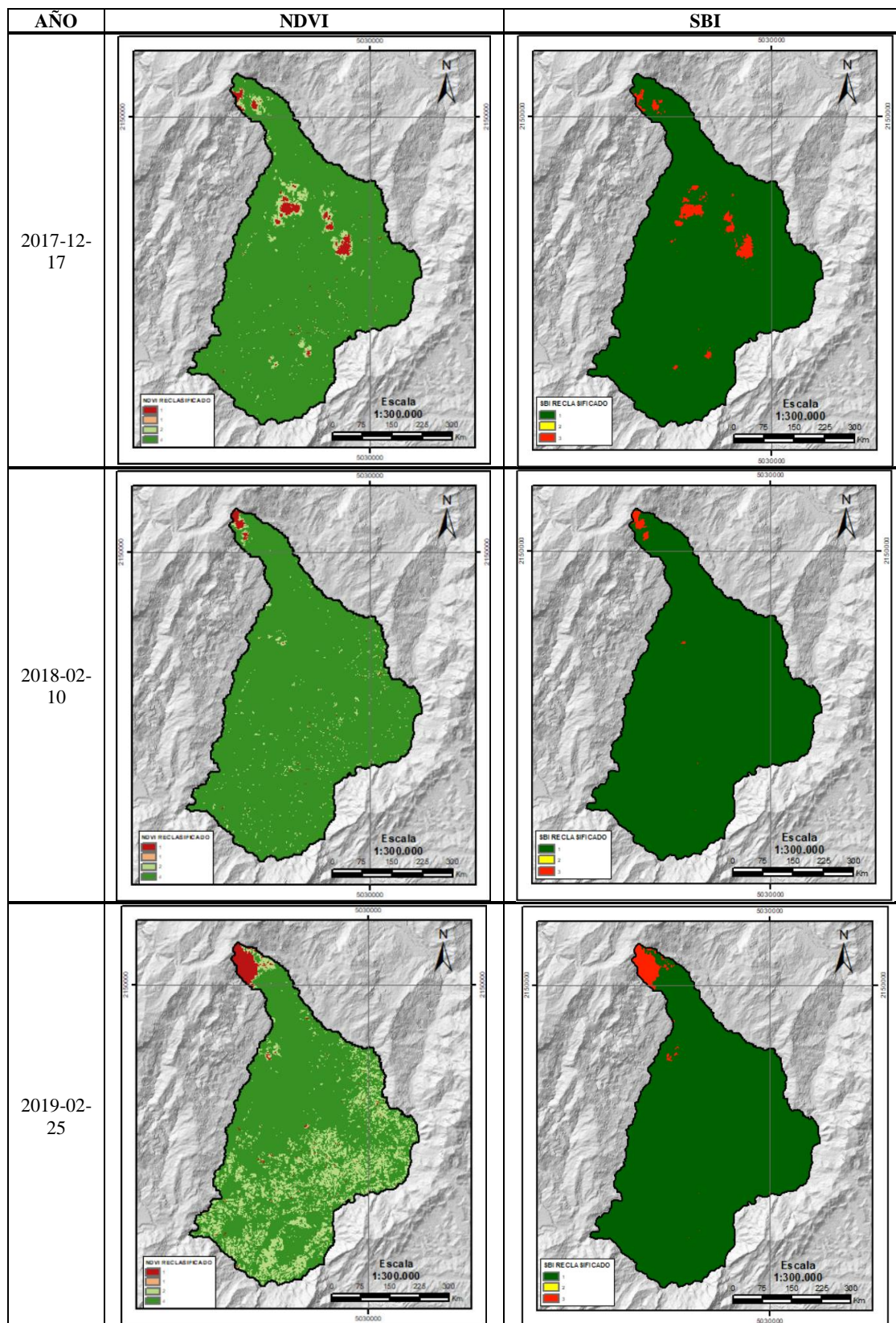


Ilustración 29:Modelo2  
Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

Posteriormente se ejecuta el modelo para cada uno de los 6 años y se obtiene lo siguiente:



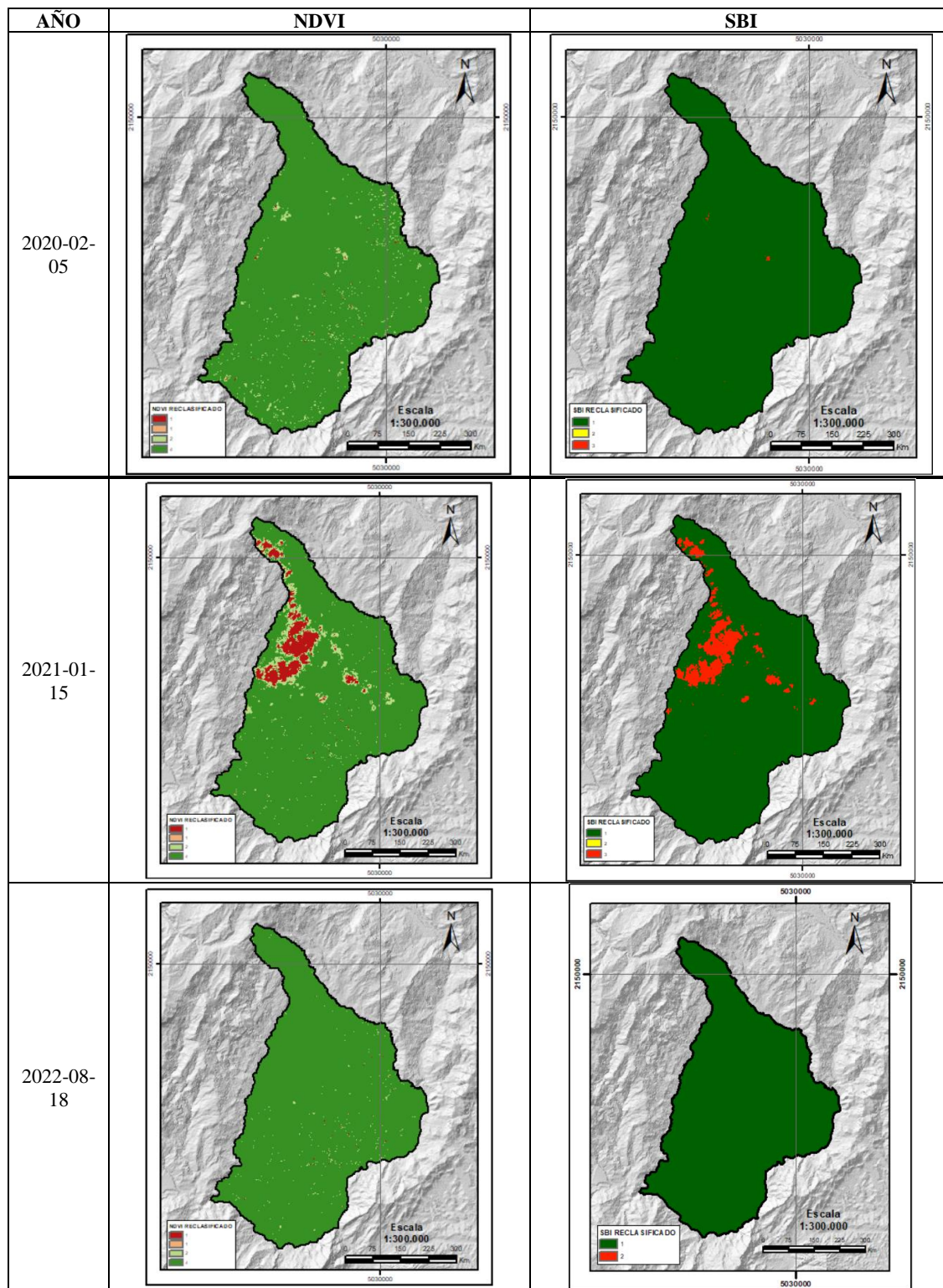


Tabla 3:NDVI\_SBI reclassificados  
Fuente: QGIS 3.22.5 – Elaboración propia

Así mismo, se obtiene la pendiente reclasificada:

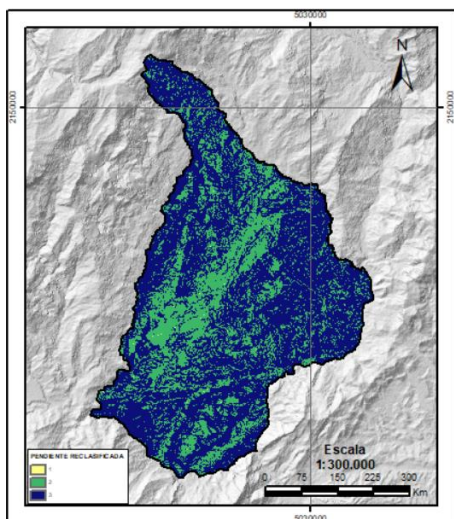


Ilustración 30: Pendiente reclasificada  
Fuente: ArcGIS – Elaboración propia

### 3. Realizar la combinación de las reclasificaciones.

Se procede a ingresar NDVI, SBI y pendiente para cada año en la herramienta “Combine”, para obtener las posibles combinaciones de píxel:

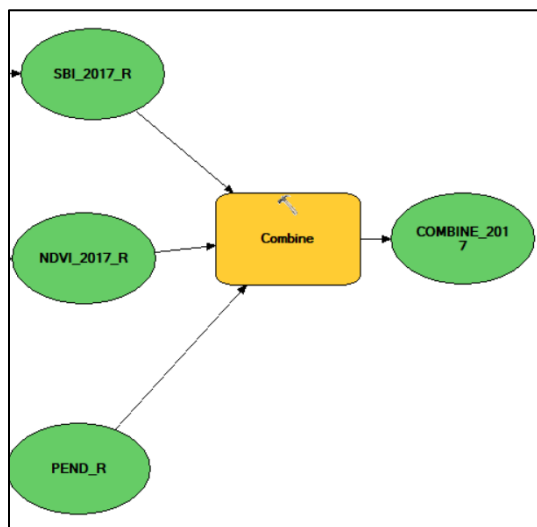


Ilustración 31: Modelo3  
Fuente: ArcGIS – Elaboración propia

### Fase 3: Identificar posibles movimientos en masa mediante los índices espectrales.

Actividades:

1. Definir la posible combinación de movimientos en masa.

Con el resultado de la herramienta “combine”, se escoge la combinación: Pendiente =3, SBI =2 y

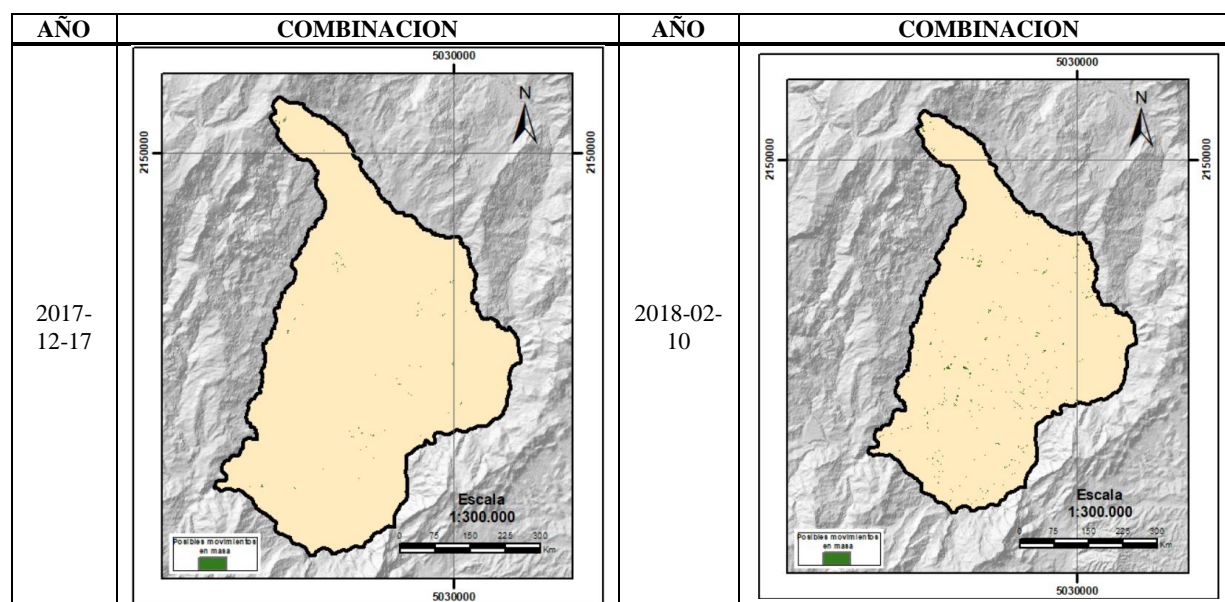
NDVI =2, por ejemplo, para el año 2020, la combinación idónea es la #13.

Rowid	VALUE	COUNT	NDVI_2020_R	SBI_2020_R	PEND_4R
6	7	385	4	1	1
9	10	382	3	1	1
10	11	19	2	1	1
16	17	13	1	1	1
0	1	144041	3	1	2
3	4	176728	4	1	2
4	5	7373	2	1	2
7	8	955	1	1	2
11	12	31	2	2	2
17	18	4	1	2	2
18	19	1	1	3	2
1	2	331645	3	1	3
2	3	472518	4	1	3
5	6	19126	2	1	3
8	9	1286	1	1	3
12	13	404	2	2	3
13	14	52	1	2	3
14	15	31	1	3	3
15	16	21	2	3	3

Ilustración 32: Tabla posibles combinaciones

Fuente: ArcGIS – Elaboración propia

Por consiguiente, se aplica este mismo criterio para cada uno de los 6 años de estudio, obteniendo la combinación idónea para identificar los posibles movimientos en masa:



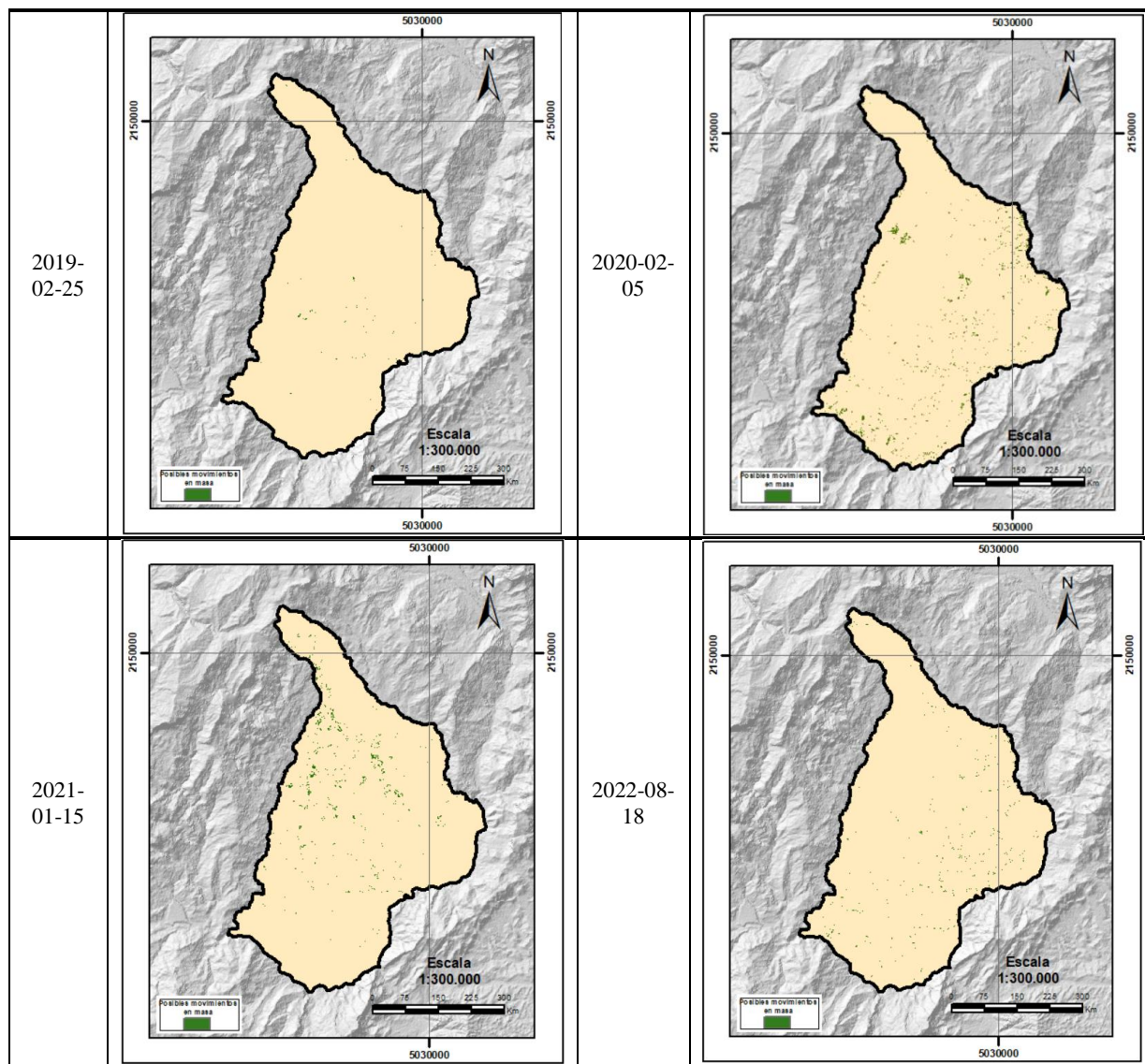


Tabla 4: Combinación posible  
Fuente: ArcGIS – Elaboración propia

## 2. Depurar áreas de la combinación seleccionada.

Se verifica que los polígonos coincidan en un 70% con zonas de suelo desnudo, que no pertenezcan a nubes o vegetación activa, comparando con el inventario de movimientos en masa para cada respectivo año, lo cual permite una mejor aproximación a las condiciones reales del municipio.

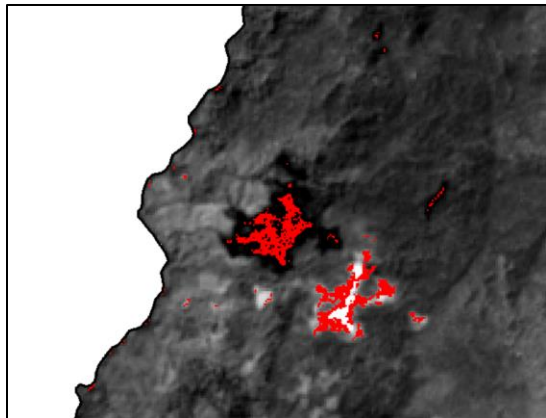


Ilustración 33: Depurar combinación  
Fuente: ArcGIS – Elaboración propia

### 3. Realizar mapas de posibles movimientos en masa.

Se procede a realizar la mancheta con la información básica y de interés, que permita visualizar los posibles movimientos en masa para cada uno de los años de estudio.

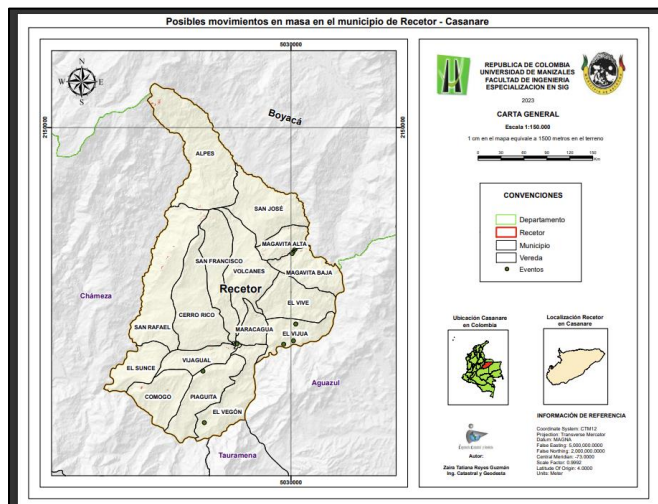


Ilustración 34: Mancheta mapas  
Fuente: ArcGIS – Elaboración propia



## 7. Resultados Esperados

Objetivos	Resultados /Producto esperado	Indicador	Beneficiario
Recopilar y procesar la información de movimientos en masa (eventos, DEM e imágenes satelitales).	Base de datos alfanumérica, shp y DEM	Información recolectada	Dirección Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres – DDGRD Casanare, Alcaldía Municipal y CORPORINOQUIA.
Desarrollar el modelo grafico en ModelBuilder para procesar los insumos.	Modelo grafico en ModelBuilder	Modelo gráfico	Dirección Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres – DDGRD Casanare, Alcaldía Municipal y CORPORINOQUIA.
Identificar posibles movimientos en masa mediante los índices espectrales.	Mapas de posibles movimientos en masa.	Mapas	Comunidad del municipio, Dirección Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres – DDGRD Casanare, CORPORINOQUIA, Alcaldía y Concejo Municipal.

Tabla 5: Resultados Esperados

Fuente: Elaboración propia

## 8. Resultados obtenidos

### 1) Recopilar y procesar la información de movimientos en masa (eventos, DEM e imágenes satelitales).

1.1. Se depuró y validó la base de datos alfanumérica para 250 eventos de movimientos en masa:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	X	Y	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (msnm)	Tipo de movimiento	Fecha evento movimiento	Departamento	Municipio	Vereda	Número de desaparecidos	Número de personas
1	745658.362	593905.143	5.369064	-72.783214	2150	DESPLAZAMIENTO	30/03/2022	CASANARE	RECETOR	LOS ALPES	0	0
2	745930.352	578846.685	5.232931	-72.781247	1196	DESPLAZAMIENTO	30/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
3	745715.269	592733.076	5.358467	-72.782739	2000	DESPLAZAMIENTO	30/03/2022	CASANARE	RECETOR	LOS ALPES	0	0
4	743893.884	575117.996	5.199289	-72.799728	1131	DESPLAZAMIENTO	29/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
5	745451.199	578616.337	5.230864	-72.785575	1235	REPTACIÓN	28/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
6	747320.376	582262.805	5.263767	-72.768603	1363	DESPLAZAMIENTO	28/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
7	743357.17	575070.996	5.198881	-72.804569	1230	DESPLAZAMIENTO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
8	743692.735	575110.217	5.199225	-72.801542	1132	DESPLAZAMIENTO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
9	743798.666	574785.801	5.196289	-72.800597	1080	DESPLAZAMIENTO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
10	744828.238	574165.925	5.190653	-72.791333	1164	FLUJO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
11	745528.774	574085.074	5.1899	-72.785019	1132	FLUJO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
12	744989.994	574149.565	5.1905	-72.789875	1142	DESPLAZAMIENTO	23/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
13	751404.147	580716.472	5.249656	-72.731828	1079	DESPLAZAMIENTO	19/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
14	751478.619	579475.178	5.238433	-72.731197	859	DESPLAZAMIENTO	19/03/2022	CASANARE	RECETOR	PUEBLO NUEVO	0	0
15	752646.405	580847.875	5.250803	-72.720622	1256	DESPLAZAMIENTO	19/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0
16	752825.440	584351.994	5.282472	-72.718892	899	DESPLAZAMIENTO	19/03/2022	CASANARE	RECETOR	RECETOR	0	0

Ilustración 35: Producto Base de datos Alfanumerica

Fuente: SIMMA – Elaboración propia

1.2. Se obtuvieron 250 eventos de movimientos en masa en el municipio de Recetor, Casanare

desde el año 2017 hasta el año 2022 y se transformaron a formato .shp:

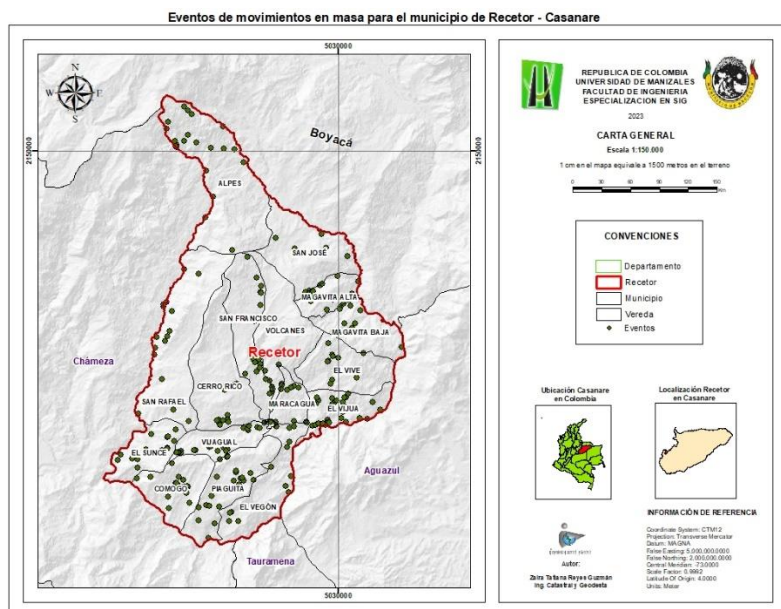


Ilustración 36: Producto eventos

Fuente: SIMMA – Elaboración propia

1.3. Se corrigió, cortó y reproyectó al sistema de Coordenadas CTM12 para el DEM del municipio:

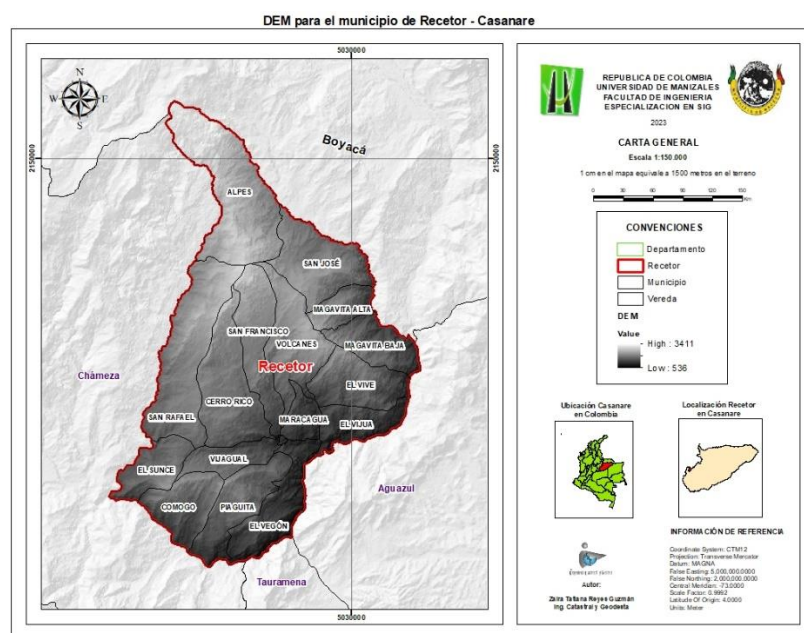


Ilustración 37: Producto DEM  
Fuente: ALOS PALSAR – Elaboración propia

## 2) Desarrollar el modelo grafico en ModelBuilder para procesar los insumos.

Se elaboró un modelo en la herramienta ModelBuilder de ArcGIS 10.8, para automatizar el proceso de identificación de posibles movimientos en masas:

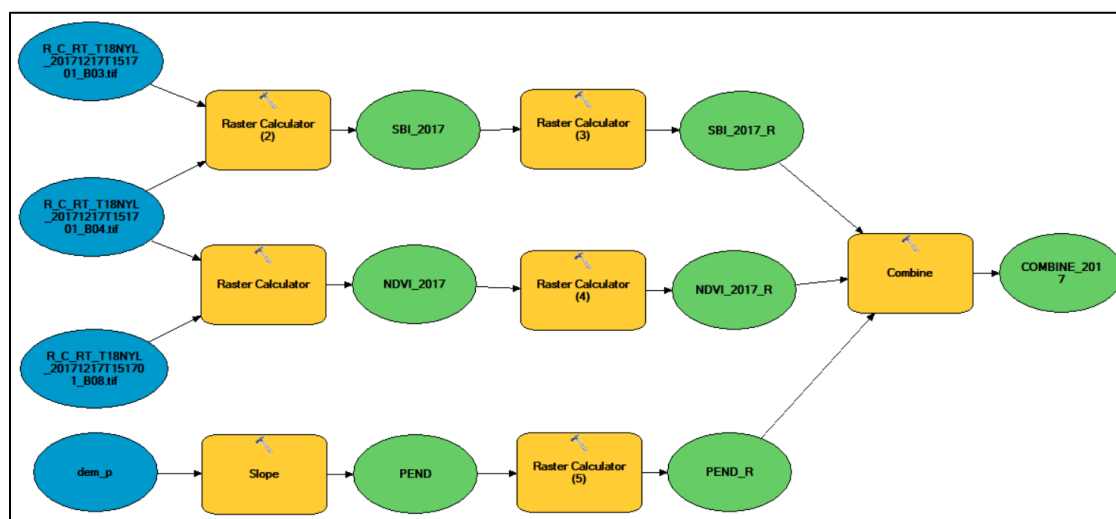


Ilustración 38: Modelo ModelBuilder  
Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

### 3) Identificar posibles movimientos en masa mediante los índices espectrales.

Se realiza la depuración y validación de resultados de la herramienta “combine” y se obtienen los siguientes resultados para cada uno de los 6 años de estudio:

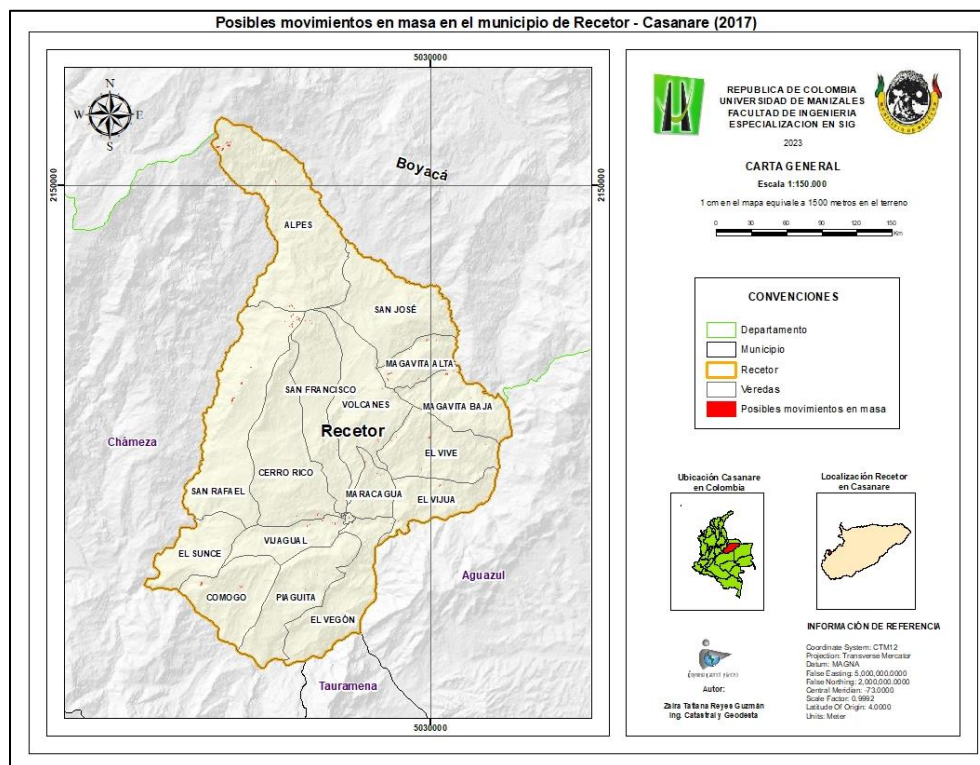
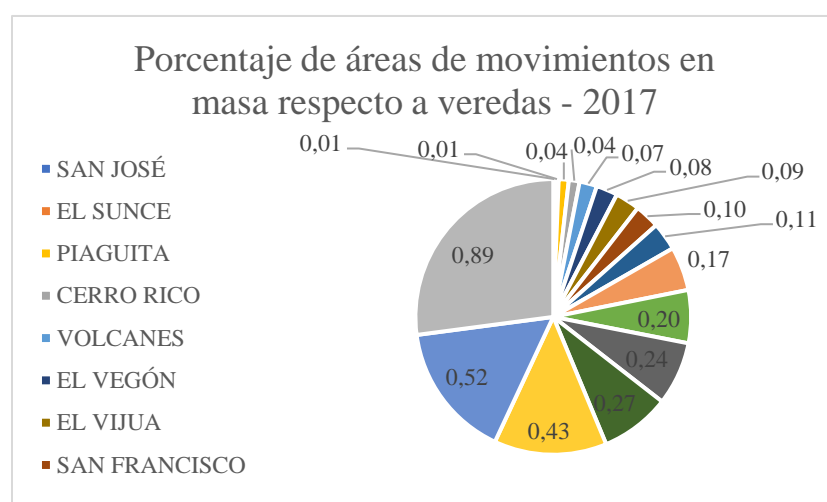


Ilustración 39: Posibles movimientos en masa – 2017

Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia



Para el año 2017, se identifica que la vereda **Comogo** cuenta con el **89%** de su área con posibles movimientos en masa, mientras que la vereda San José cuenta con el 1% de su área con posibles movimientos en masa.

Ilustración 40: Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2017

Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

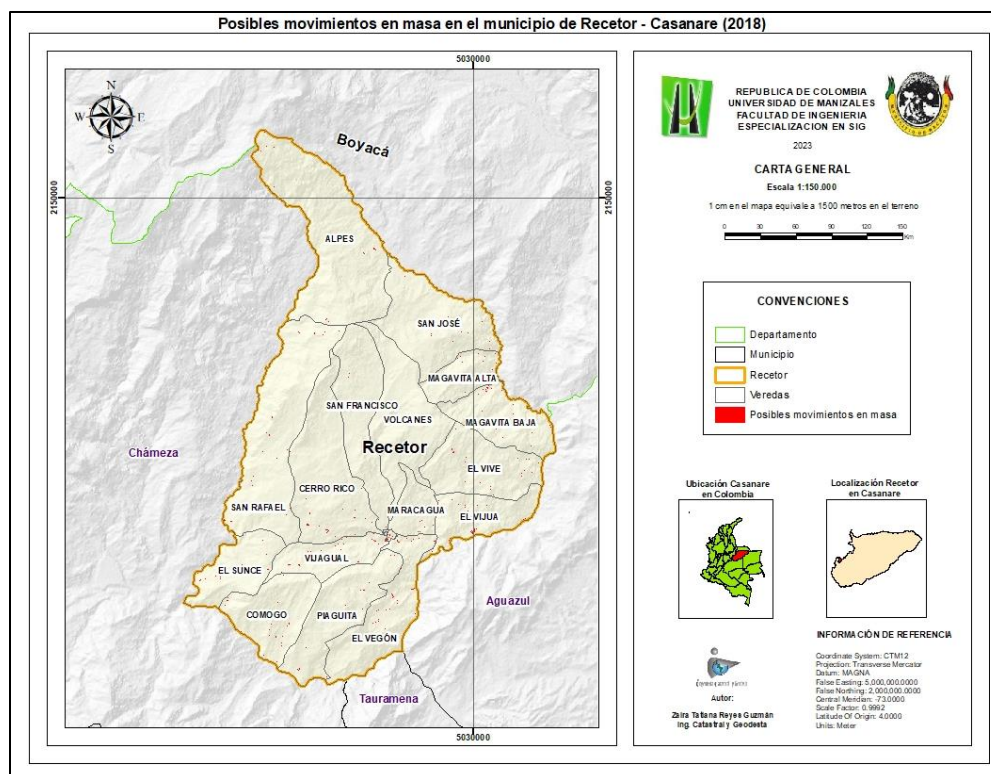


Ilustración 41: Posibles movimientos en masa – 2018  
Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

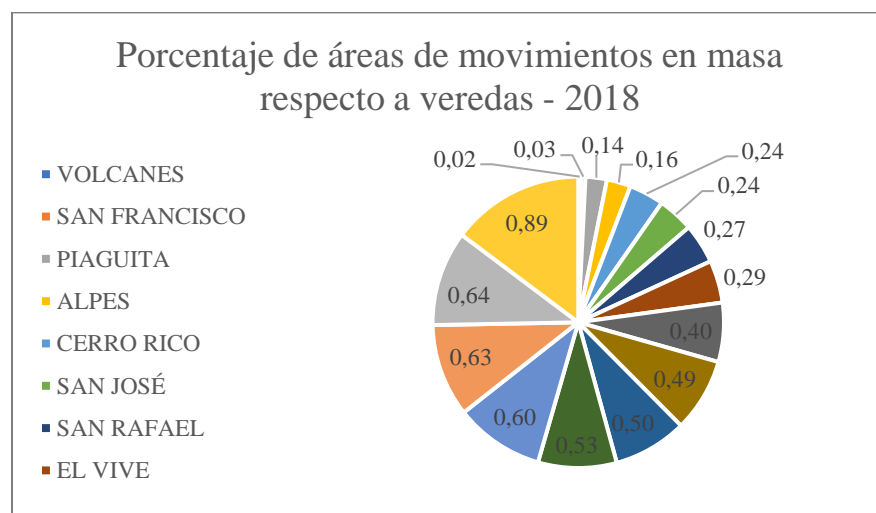


Ilustración 42: Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2018  
Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

Para el año 2018, se identifica que la vereda **El Vijua** cuenta con el **89%** de su área con posibles movimientos en masa, mientras que la vereda Volcanes cuenta con el 2% de su área con posibles movimientos en masa.

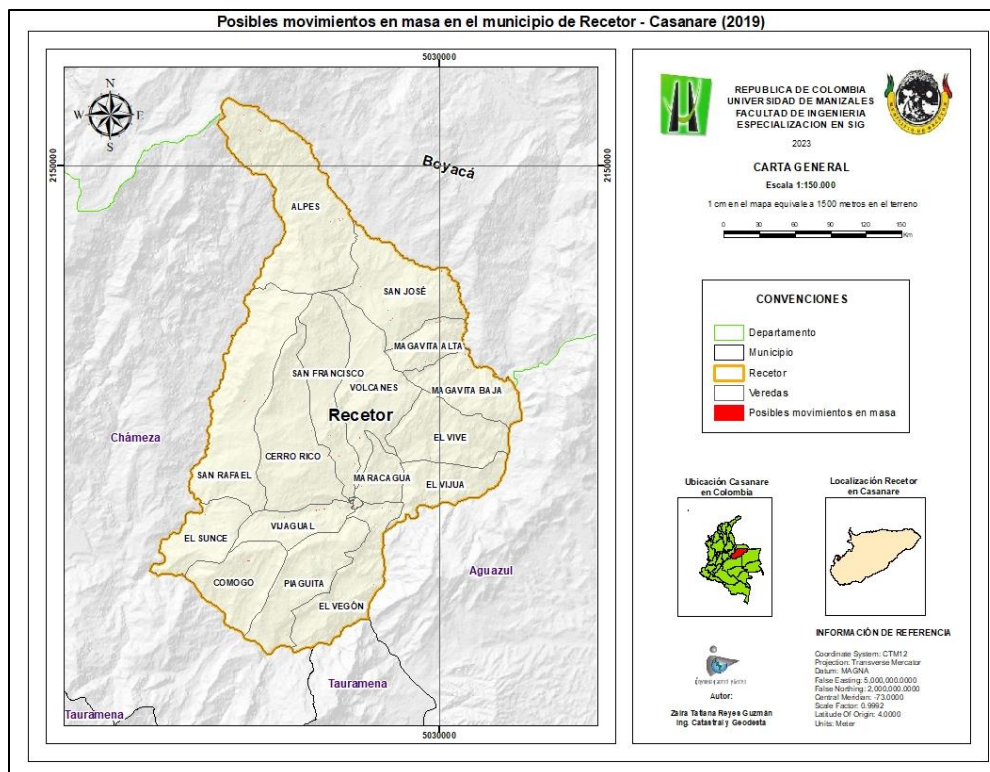


Ilustración 43: Posibles movimientos en masa – 2019  
 Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

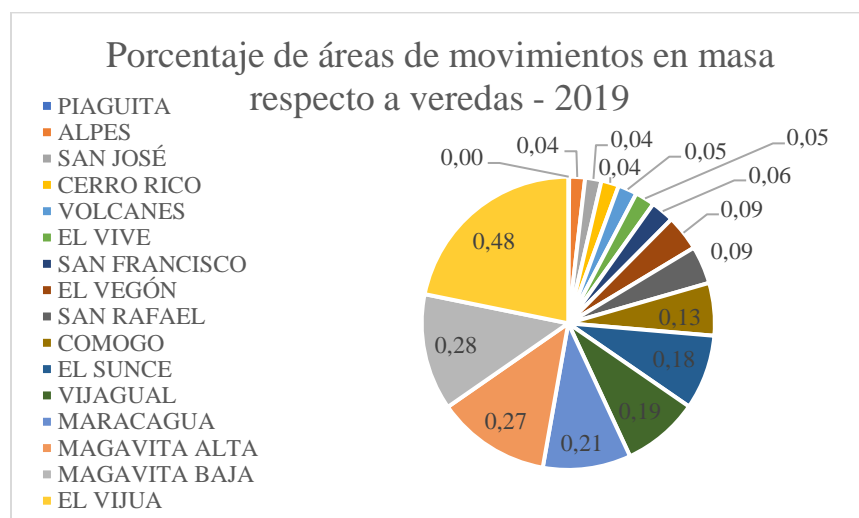


Ilustración 44: Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2019  
 Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

Para el año 2019, se identifica que la vereda **El Vijua** cuenta con el **48%** de su área con posibles movimientos en masa, mientras que la vereda Piaguaita cuenta con el 0% de su área con posibles movimientos en masa.

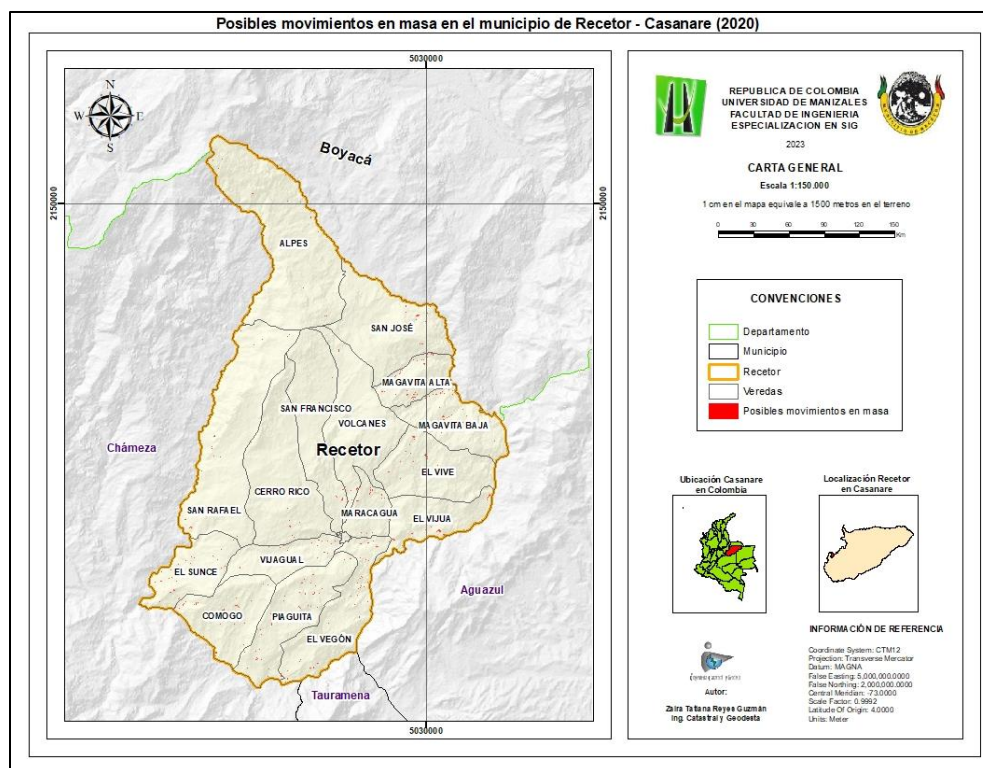


Ilustración 45: Posibles movimientos en masa – 2020  
 Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

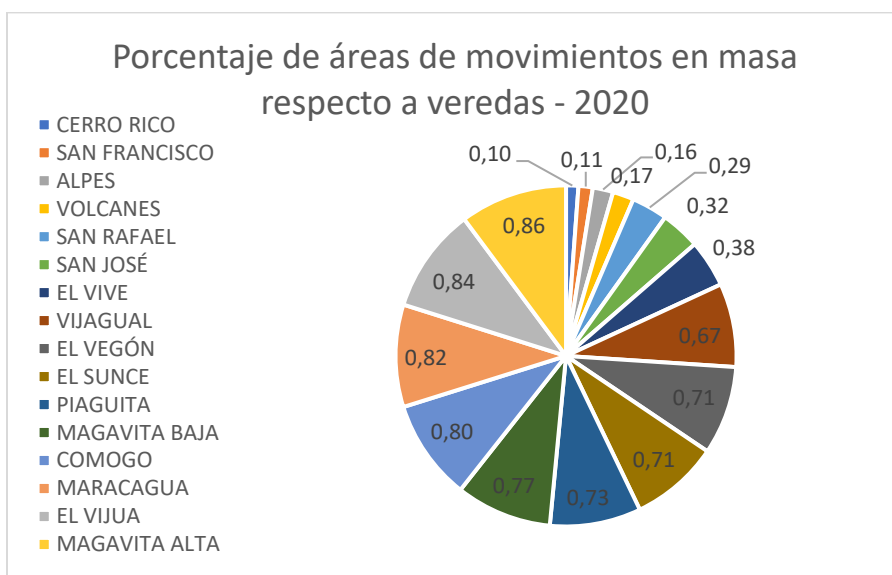


Ilustración 46: Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2020  
 Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

Para el año 2020, se identifica que la vereda **Magavita Alta** cuenta con el **86%** de su área con posibles movimientos en masa, mientras que la vereda Cerro Rico cuenta con el 10% de su área con posibles movimientos en masa.

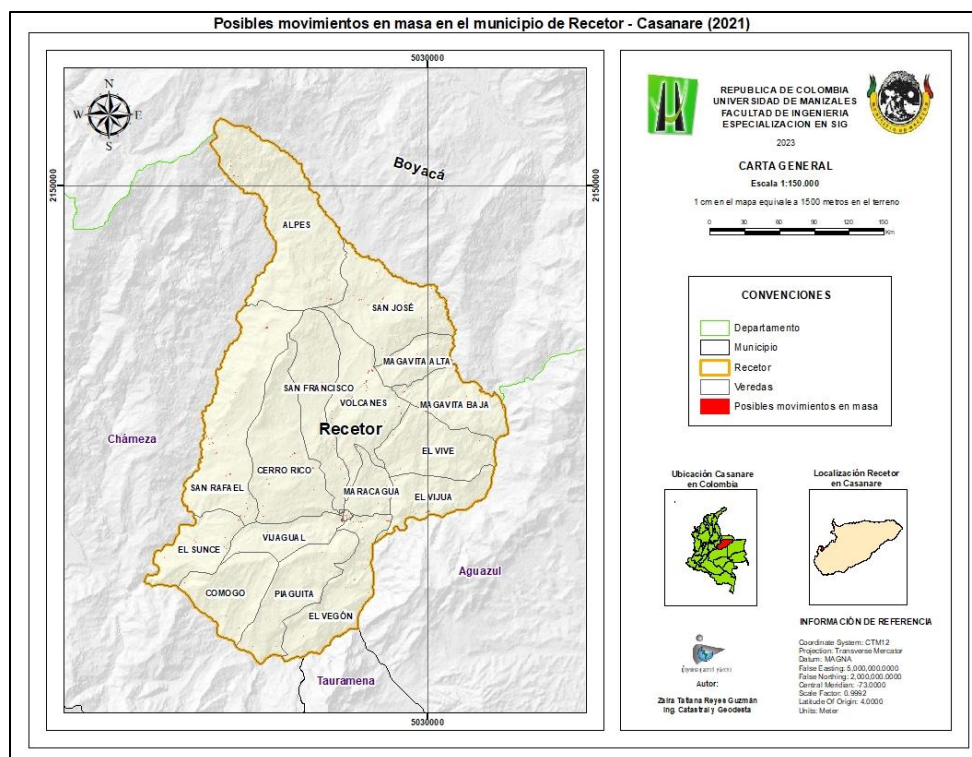


Ilustración 47: Posibles movimientos en masa – 2021  
 Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

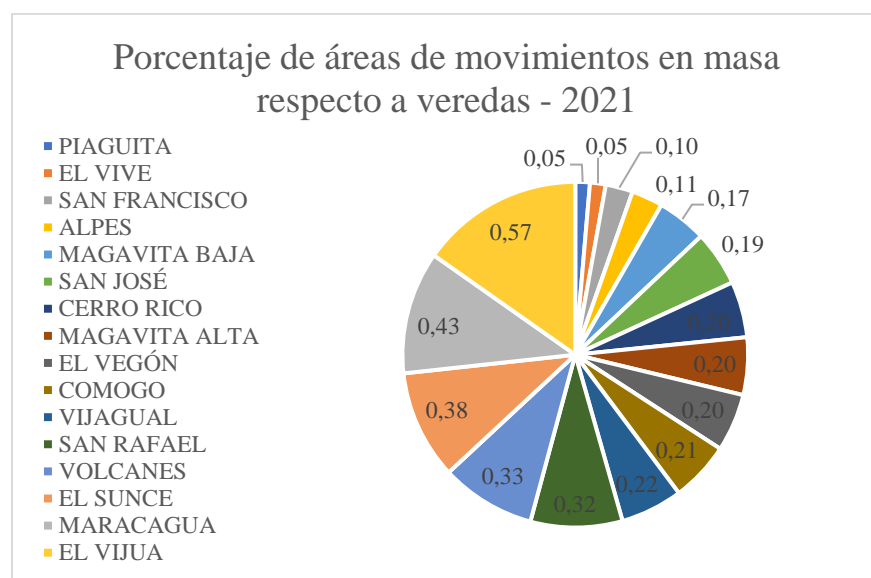


Ilustración 48: Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2021  
 Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

Para el año 2021, se identifica que la vereda **El Vijua** cuenta con el **57%** de su área con posibles movimientos en masa, mientras que la vereda Piaguita cuenta con el 5% de su área con posibles movimientos en masa.



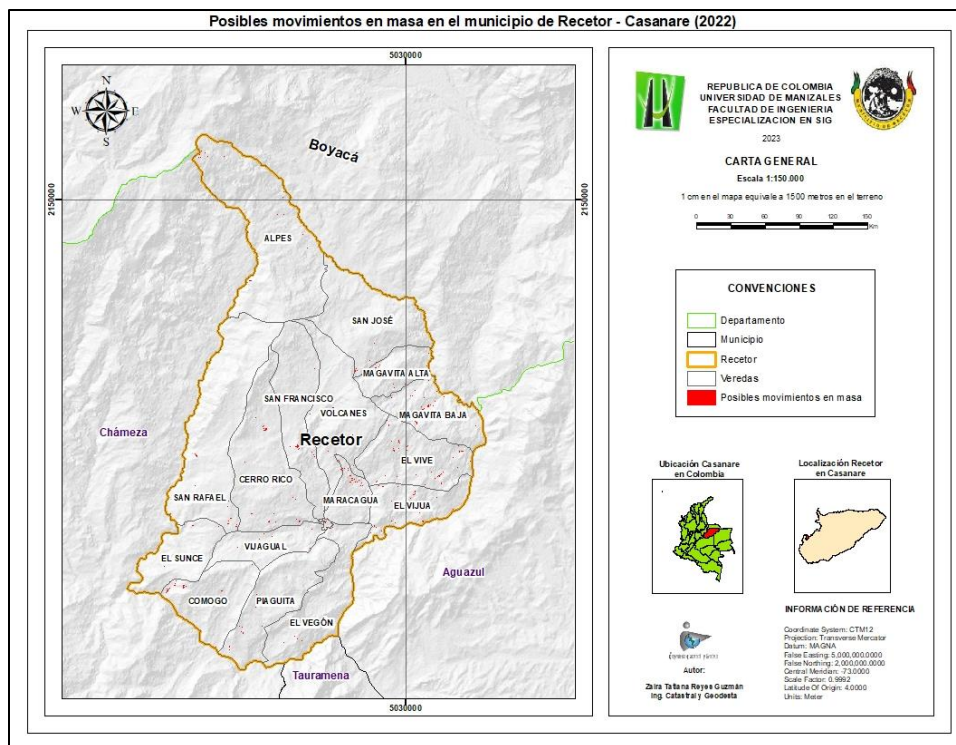


Ilustración 49: Posibles movimientos en masa – 2022  
 Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

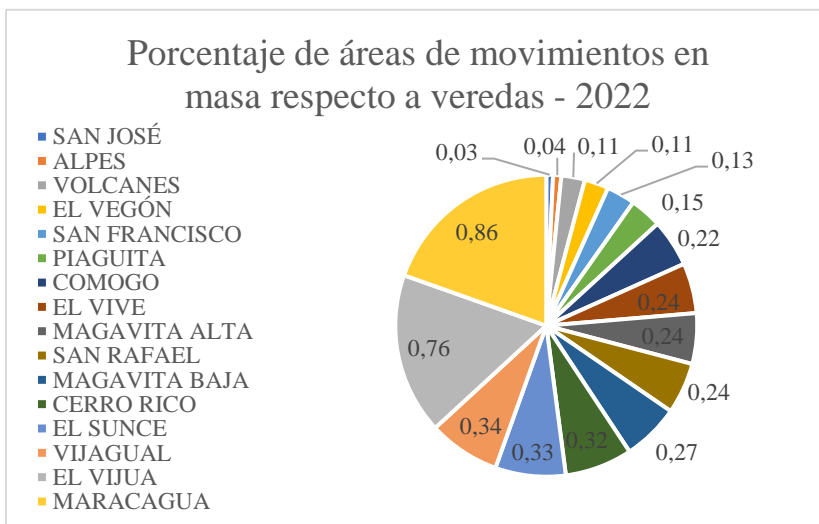


Ilustración 50: Porcentaje áreas posibles movimientos en masa – 2022  
 Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

Para el año 2021, se identifica que la vereda **Maracagua** cuenta con el **86%** de su área con posibles movimientos en masa, mientras que la vereda San José cuenta con el 3% de su área con posibles movimientos en masa.

Por lo que finalmente, se obtiene un balance de área ocupada de movimientos en masa por vereda del municipio de Recetor – Casanare:

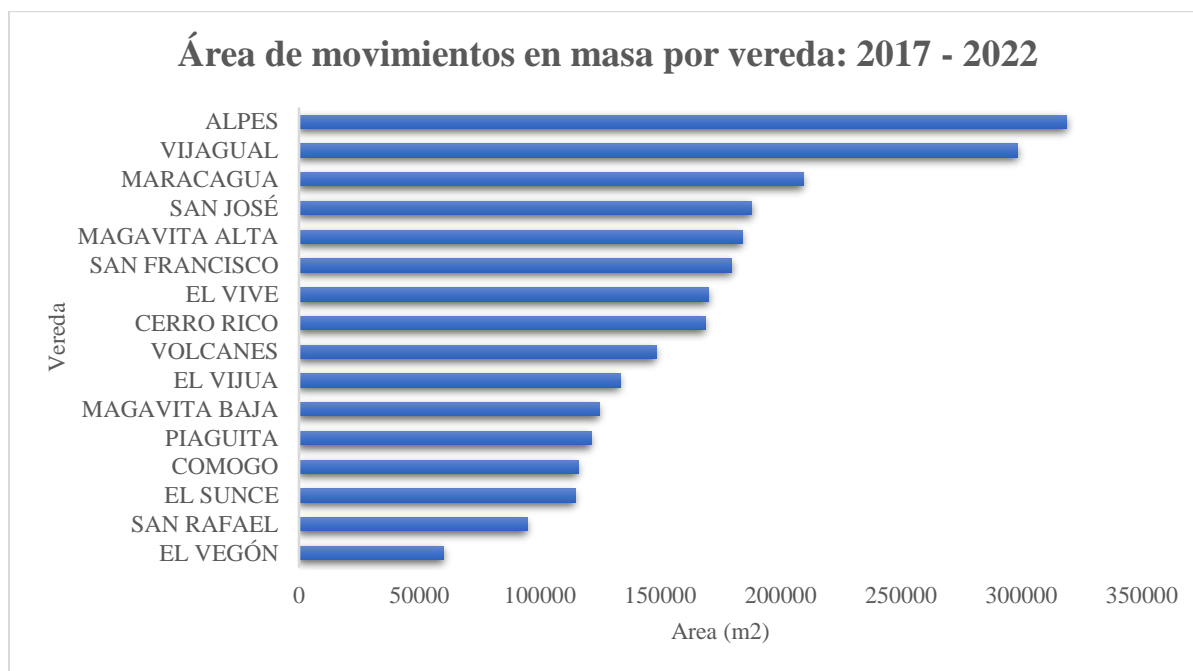


Ilustración 51: Áreas movimientos en masa  
Fuente: ArcGIS 10.8 – Elaboración propia

De lo anterior se identifica que la vereda Alpes tiene 318.977 m<sup>2</sup> ocupados por posibles movimientos en masa, mientras que el municipio de San Francisco solo cuenta con 60.000 m<sup>2</sup> ocupados por posibles movimientos en masa.

## 9. Impactos Esperados

<b>Impacto Esperado</b>	<b>Plazo (años) después de finalizado el proyecto: corto (1-4), mediano (5-9), largo (10 o más)</b>	<b>Indicador Verificable</b>	<b>Supuestos</b>
Generar conocimiento histórico de eventos de movimientos en masa.	Corto Plazo	Número de Usuarios	Socialización del comportamiento estadístico de movimientos en masa.
Generar un insumo de apoyo para la gestión del riesgo.	Corto Plazo	Número de Usuarios	Inclusión de insumos en la determinación de riesgo de movimientos en masa.
Replicar el modelo en otros municipios de Casanare.	Corto Plazo	Veredas intervenidas	Presentación de un informe de eficacia de la implementación del modelo en el municipio de Recetor, ante los entes territoriales competentes.

Tabla 6: Impactos Esperados  
Fuente: Elaboración propia

## 10. Cronograma

Actividades	Tiempo (días)
<b>Fase 1: Recopilar y procesar la información de movimientos en masa (eventos, DEM e imágenes satelitales).</b>	<b>75</b>
1. Acopiar toda la información del Sistema de Información de Movimientos en Masa - SIMMA.	10
2. Validar la calidad de la información.	15
3. Transformar coordenadas de eventos.	5
4. Elaborar el inventario espacial con la información recopilada.	5
5. Realizar la búsqueda de imágenes satelitales de los años con eventos.	15
6. Descargar DEM para el municipio.	10
7. Efectuar las correcciones necesarias a las imágenes satelitales.	15
<b>Fase 2: Desarrollar el modelo gráfico en ModelBuilder para procesar los insumos.</b>	<b>55</b>
1. Realizar modelo para cálculo de NDVI, SBI y pendiente.	15
2. Reclasificar los índices espectrales y pendiente.	20
3. Realizar la combinación de las reclasificaciones.	20
<b>Fase 3: Identificar posibles movimientos en masa mediante los índices espectrales.</b>	<b>50</b>
1. Definir la posible combinación de movimientos en masa.	10
2. Depurar áreas de la combinación seleccionada.	25
3. Realizar mapas de posibles movimientos en masa.	15

Tabla 7: Cronograma

Fuente: Elaboración propia

## 11. Presupuesto

Actividades	Cantidad	Tiempo (días)	Presupuesto
Persona: Recolector de información	1	15	\$ 510.000
Persona: Procesamiento de información	1	70	\$ 7.000.000
Persona: Profesional SIG	1	95	\$ 12.730.000
Software libre y con licenciamiento estudiantil	2	165	\$ 0
Viáticos	1	15	\$ 90.000
Alquiler de Mobiliario y Oficina	1	180	\$ 6.660.000
Servicios Públicos (Agua, luz, internet)	1	180	\$ 1.620.000
Alquiler de equipo de cómputo 1	1	70	\$ 2.800.000
Alquiler de equipo de cómputo 2	1	95	\$ 5.700.000
<b>Presupuesto Total</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>\$ 37.110.000</b>

Tabla 8: Presupuesto

Fuente: Elaboración propia

## 12. Conclusiones

Se logra recopilar y procesar la información de movimientos en masa, mediante la búsqueda minuciosa de los insumos en los diferentes entes de información, tales como el Servicio Geológico Colombiano a través de la página de Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y la página del satélite Alos Palsar, lo que permite obtener la base de datos alfanumérica y el shp de los eventos de movimientos en masa ocurridos desde el año 2017 al año 2022, así como el DEM de 12.5 m para el municipio.

Por consiguiente, se construye un modelo en ModelBuilder como herramienta SIG que permite realizar el procesamiento necesario como, por ejemplo, cálculos de índices, reclasificación y combinación, para obtener la mejor combinación de índices espectrales y pendiente que permita reconocer los posibles movimientos en masa.

Por último, se efectuó la depuración de los resultados de combinaciones por cada año de estudio y se generaron los respectivos mapas de ubicación con los posibles movimientos en masa, identificando que la vereda Alpes tiene 318.977 m<sup>2</sup> ocupados por posibles movimientos en masa, mientras que el municipio de San Francisco solo cuenta con 60.000 m<sup>2</sup> ocupados por posibles movimientos en masa.

## 13. Recomendaciones

Se recomienda tener como insumo imágenes satelitales con la menor nubosidad posible, ya que las nubes generan ruido de información que al procesar en la herramienta SIG, se puede confundir con los posibles movimientos en masa, sin embargo, se puede lograr una corrección de nubosidad adicional en imágenes Sentinel 2 con el complemento Sen2Cor para el programa SNAP.

Así mismo, se recomienda tener imágenes satelitales con una periodicidad de tiempo más corta, por ejemplo, cada 3 meses, con el fin de observar el comportamiento de los índices espectrales y poder ajustar el modelo a las condiciones propias del municipio.

Por último, se recomienda el uso de imágenes satelitales con una mayor resolución espacial, por ejemplo, IKONOS que tiene una resolución de hasta 4 m, lo que permite obtener resultados más precisos del área de estudio, incluyendo centros poblados de pequeña extensión.

## 14. Referencias Bibliográficas

1. Abbas, N., Afsar, S., Jan, B., Sayla, E., & Nawaz, F. (2022). GIS based model for the landslides risk assessment. A case study in hunza-nagar settlements, gilgit-baltistan, pakistan. *Environmental Challenges*, 7 doi:10.1016/j.envc.2022.100487
2. Ahmed, B. (2015). Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in chittagong metropolitan area, bangladesh. *Landslides*, 12(6), 1077-1095. doi:10.1007/s10346-014-0521-x
3. Alcaldía Municipal de Recetor (2016). Actualizacion plan municipal de Gestion del Riesgo de Recetor Casanare – 2016 – 2019. Recuperado de:  
[https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28490/PMGR\\_D\\_RecetorCasanare\\_2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28490/PMGR_D_RecetorCasanare_2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
4. Alcaldía Municipal de Recetor (2019). Reseña del Municipio de Recetor. Recuperado de:  
<http://www.recetor-casanare.gov.co/municipio/resena-del-municipio-de-recetor>
5. Asmare, D. (2022). Landslide hazard zonation and evaluation around debre markos town, NW Ethiopia—a GIS-based bivariate statistical approach. *Scientific African*, 15 doi:10.1016/j.sciaf.2022.e01129
6. Ávila, E., Díaz, H., Guzmán J. Otálora, J (2018). Cuantificación del retroceso glaciar del Nevado del Tolima, aplicando técnicas de teledetección. *Revista de Topografía Azimut*, 9, 37-45. Recuperado de:  
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/download/12661/14422>
7. Ayalew, L., Yamagishi, H., & Ugawa, N. (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in tsugawa area of agano river, niigata prefecture, japan. *Landslides*, 1(1), 73-81. doi:10.1007/s10346-003-0006-9



8. Azizi, H., Asupyani, H., Akbar, F., & Sulaksana, N. (2020). Landslide zoning with GIS analysis method: Case study cipelah and its surroundings area, rancabali subdistrict, bandung regency, west java. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 412(1) doi:10.1088/1755-1315/412/1/012023
9. Beltrán, C (2019). Elaboración de inventario de movimientos en masa mediante técnicas geomáticas en el municipio de Villeta Cundinamarca. Recuperado de:  
[https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/2729/TRABAJO%20DE%20GRADO\\_CAMILA%20BELTRAN%20RINCON.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/2729/TRABAJO%20DE%20GRADO_CAMILA%20BELTRAN%20RINCON.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
10. Bezerra, L., Neto, O., Santos, O., Jr., & Mickovski, S. (2020). Landslide risk mapping in an urban area of the city of natal, brazil. Sustainability (Switzerland), 12(22), 1-18.  
doi:10.3390/su12229601
11. Bronowski, B., Chybiorz, R., & Jura, D. (2016). Landslide susceptibility mapping in the beskid niski mts., western carpathians (dukla commune, poland). Geological Quarterly, 60(3), 586-596. doi:10.7306/gq.1275
12. Castrillón, R & Rueda, J (2018). Distribución espacial de la contaminación por fuentes fijas y su relación con parámetros hidrológicos en la zona oeste del departamento del Tolima. (Tesis pregrado). Recuperado de Repositorio Unibague:  
<https://repositorio.unibague.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12313/630/1/Trabajo%20de%20grado.pdf>
13. CDGRD (2012). Segunda version plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado de:  
<https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Gobierno/PublishingImages/Paginas/Plan->

Departamental-Para-la-Gestion-del-Riesgo-de-Casanare-DGRD/PDGRD%20-%202015.pdf

14. Di Napoli, M., Di Martire, D., Bausilio, G., Calcaterra, D., Confuorto, P., Firpo, M., Cevasco, A. (2021). Rainfall-induced shallow landslide detachment, transit and runout susceptibility mapping by integrating machine learning techniques and gis-based approaches. *Water (Switzerland)*, 13(4) doi:10.3390/w13040488
15. Dikshit, A., Sarkar, R., Pradhan, B., Acharya, S., & Alamri, A. (2020). Spatial landslide risk assessment at phuentsholing, bhutan. *Geosciences (Switzerland)*, 10(4) doi:10.3390/geosciences10040131
16. Dominguez, J (2000). Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Recuperado de:  
[https://www.researchgate.net/profile/Javier-Dominguez-12/publication/237467702\\_Breve\\_Introduccion\\_a\\_la\\_Cartografia\\_y\\_a\\_los\\_Sistemas\\_de\\_Informacion\\_Geografica\\_SIG/links/0deec52724b3d7dcc4000000/Breve-Introduccion-a-la-Cartografia-y-a-los-Sistemas-de-Informacion-Geografica-SIG.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Javier-Dominguez-12/publication/237467702_Breve_Introduccion_a_la_Cartografia_y_a_los_Sistemas_de_Informacion_Geografica_SIG/links/0deec52724b3d7dcc4000000/Breve-Introduccion-a-la-Cartografia-y-a-los-Sistemas-de-Informacion-Geografica-SIG.pdf)
17. Escuela de Geología (2000). Boletín de Geología: Vol 22 – No. 37. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. [https://www.researchgate.net/profile/German-Vargas-Cuervo/publication/281444519\\_Criterios\\_para\\_la\\_Clasificacion\\_y\\_Descripcion\\_de\\_Movimientos\\_en\\_Masa/links/55e779f608ae21d099c15115/Criterios-para-la-Clasificacion-y-Descripcion-de-Movimientos-en-Masa.pdf](https://www.researchgate.net/profile/German-Vargas-Cuervo/publication/281444519_Criterios_para_la_Clasificacion_y_Descripcion_de_Movimientos_en_Masa/links/55e779f608ae21d099c15115/Criterios-para-la-Clasificacion-y-Descripcion-de-Movimientos-en-Masa.pdf)

18. European Space Agency. (2021). Sentinel-2. Recuperado de:  
[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Sentinel-2A](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Sentinel-2A)
19. Función Pública (1997). Ley 388 de 1997. Recuperado el 25 de mayo de 2022.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>
20. Función Pública (2012). Ley 1523 de 2012. Recuperado el 25 de mayo de 2022.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
21. Función Pública (2014). Decreto 1807 de 2014. Recuperado el 14 de julio de 2022.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>
22. Función Pública (2015). Decreto 1077 de 2015. Recuperado el 15 de julio de 2022.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>
23. JAXA. (2021). ALOS. Recuperado de: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/index.htm>
24. Kahal, A., Abdelrahman, K., Alfaihi, H., & Yahya, M. (2021). Landslide hazard assessment of the neom promising city, northwestern saudi arabia: An integrated approach. *Journal of King Saud University - Science*, 33(2)  
doi:10.1016/j.jksus.2020.101279
25. Keipi, K., Mora, S & Bastidas, P (2005). Gestión de riesgo derivado de amenazas naturales en proyectos de desarrollo: lista de preguntas de verificación “Checklist”. (Serie de informes de buenas prácticas del Departamento de Desarrollo Sostenible. Washington, D.C: Banco Interamericano de Desarrollo.
26. Liu, Y., Sun, Y., Dong, Q., & Wei, N. (2021). Geological hazard risk assessment based on GIS in mianchi county. Paper presented at the *Journal of Physics: Conference Series*, , 1961(1) doi:10.1088/1742-6596/1961/1/012021

27. Mejia, M., & Wohl, E. (1994). Geological hazard and risk evaluation using GIS: Methodology and model applied to medellin, colombia. *Bulletin - Association of Engineering Geologists*, 31(4), 459-481. doi:10.2113/gsegeosci.xxxi.4.459
28. Mititelu-Ionus, O., Licurici, M., Simulescu, D., Boengiu, S., & Marinescu, E. (2020). Landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in the bălăcita piedmont (south-west romania). [Analiza, cartografierea si validarea susceptibilitatii la alunecari de teren în piemontul balacitei (sud-vestul României)] *Forum Geografic*, 19(2), 119-130. doi:10.5775/FG.2020.127.D
29. Muhamad, N., Lim, C., Reza, M., & Pereira, J. (2019). (The needs of disaster susceptibility map as an input in land use management: A case study of universiti kebangsaan malaysia). [Keperluan peta kerentanan bencana sebagai input dalam pengurusan guna tanah: Kajian kes universiti kebangsaan Malaysia] *Sains Malaysiana*, 48(1), 33-43. doi:10.17576/jsm-2019-4801-05
30. Mulero, D., Njå, O., & Fernández, C. (2018). Landslide risk management in the urban development of sandnes (norway). Paper presented at the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 42(3W4) 327-334. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-327-2018
31. Nsengiyumva, J., Luo, G., Nahayo, L., Huang, X., & Cai, P. (2018). Landslide susceptibility assessment using spatial multi-criteria evaluation model in rwanda. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2) doi:10.3390/ijerph15020243
32. Ochoa. V & Parrot, J (2007). Extracción automática de trazas de deslizamientos utilizando un modelo digital de terreno e imágenes de satélite de alta resolución

- IKONOS. Revista mexicana de ciencias geológicas. Recuperado de:  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742007000300006](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742007000300006)
33. Pałas, K. W., & Zawadzki, J. (2020). Sentinel-2 imagery processing for tree logging observations on the Białowieża Forest world heritage site. *Forests*.  
doi:10.3390/f11080857
34. Panday, S., & Dong, J. (2021). Topographical features of rainfall-triggered landslides in mon state, myanmar, august 2019: Spatial distribution heterogeneity and uncommon large relative heights. *Landslides*, 18(12), 3875-3889. doi:10.1007/s10346-021-01758-7
35. Pereira, S., Garcia, R., Zêzere, J., Oliveira, S., & Silva, M. (2017). Landslide quantitative risk analysis of buildings at the municipal scale based on a rainfall triggering scenario. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 624-648.  
doi:10.1080/19475705.2016.1250116
36. Priyono, K., Jumadi, Saputra, A., & Fikriyah, V. (2020). Risk analysis of landslide impacts on settlements in karanganyar, central java, indonesia. *International Journal of Geomate*, 19(73), 100-107. doi:10.21660/2020.73.34128
37. Puji, I., Ahmad, F., Roesyanto, Ridwan, M., & Hidayati, Y. (2020). Vulnerability analysis of landslide at sibolangit using geographic information system (GIS) based on population density and slope gradient. Paper presented at the IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 801(1) doi:10.1088/1757-899X/801/1/012008
38. Radilla, F (2008). Modelado de datos para base de datos espaciales. Caso de estudio: sistemas de información geográfica. (Tesis de maestría). Recuperada de:  
<https://www.cs.cinvestav.mx/Estudiantes/TesisGraduados/2008/tesisFlorRadilla.pdf>

39. Ramirez.F & Padilla, G (2000). Informe técnico sobre la visita de emergencia al municipio Recetor – Casanare. Recuperado de:  
<https://recordcenter.sgc.gov.co/B2/11003040004477/documento/pdf/0101044771101000.pdf>
40. Riaño, D., Salas J., Chuvieco, E. 2000. Corrección atmosférica y topográfica, información multitemporal y auxiliar aplicadas a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes Landsat-TM. *Tecnologías Geográficas para el desarrollo sostenible*. Dpto. de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares, pp 222-239.
41. Roccati, A., Paliaga, G., Luino, F., Faccini, F., & Turconi, L. (2021). Gis-based landslide susceptibility mapping for land use planning and risk assessment. *Land*, 10(2), 1-28.  
doi:10.3390/land10020162
42. Ruiz, M & Ayuso, F (2010). *Planes de Emergencia y Dispositivos de Riesgos Previsibles*. Recuperado de:  
[https://books.google.es/books?id=3K\\_DzjTk55EC&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=true](https://books.google.es/books?id=3K_DzjTk55EC&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=true)
43. Sari, D., Innaqa, S., & Safrilah. (2017). Hazard, vulnerability and capacity mapping for landslides risk analysis using geographic information system (GIS). Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 209(1) doi:10.1088/1757-899X/209/1/012106
44. Senouci, R., Taibi, N., Teodoro, A., Duarte, L., Mansour, H., & Meddah, R. Y. (2021). Gis-based expert knowledge for landslide susceptibility mapping (LSM): Case of mostaganem coast district, west of algeria. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1-21.  
doi:10.3390/su13020630

45. Servicio Geológico Colombiano SGC (2017). Las amenazas por movimientos en masa de Colombia. Recuperado de:  
[https://srvags.sgc.gov.co/Archivos\\_Geoportal/Manuales/Libro\\_MNMM.pdf](https://srvags.sgc.gov.co/Archivos_Geoportal/Manuales/Libro_MNMM.pdf)
46. Sistema de Información de Movimientos en Masa – SIMMA (2022). Datos abiertos Recetor. Recuperado el 24 de mayo de 2022. <https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>
47. Skakun, R, Wulder, M & Franklin, S (2003). Sensitivity of the thematic mapper enhanced wetness difference index to detect mountain pine beetle red-attack damage. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 86, Pg. 433-443.
48. Torkashvand, A., Irani, A., & Sorur, J. (2014). The preparation of landslide map by landslide numerical risk factor (LNRF) model and geographic information system (GIS). *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(2), 159-170.  
doi:10.1016/j.ejrs.2014.08.001
49. Udin, W., Yahaya, N., & Shariffuddin, S. (2021). Landslide susceptibility assessment using geographic information system in aring, gua musang, kelantan. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 842(1) doi:10.1088/1755-1315/842/1/012008
50. Van Westen, C., & Terlien, M. (1996). An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from manizales (colombia). *Earth Surface Processes and Landforms*, 21(9), 853-868. doi:10.1002/(SICI)1096-9837(199609)21:9<853:AID-ESP676>3.0.CO;2-C
51. Widayanti, B., Yuniarman, A., & Lestari, S. (2019). The landslide risk analysis based on human activity using arc-GIS method. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 674(1) doi:10.1088/1757-899X/674/1/012019

52. Yaa'Cob, N., Abd Rashid, Z., Tajudin, N., & Kassim, M. (2020). Landslide possibilities using remote sensing and geographical information system (GIS). Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 540(1) doi:10.1088/1755-1315/540/1/012084
53. Zhang, Y. (2020). The cause analysis of landslide disaster. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 780(7) doi:10.1088/1757-899X/780/7/072049