



# **APLICACIÓN DEL INDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) PARA IDENTIFICAR LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL RÍO ORO Y QUEBRADA GRANDE EN PIEDRECUESTA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

## **APPLICATION OF THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) FOR IDENTIFY MASS MOVEMENTS IN THE ORO RIVER AND QUEBRADA GRANDE IN PIEDECUESTA, DEPARTMENT OF SANTANDER**

Karina Andrea Portilla Mendoza  
3101552  
Geóloga

Director trabajo de grado:  
Ing. Freddy León Reyes M.Ed

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA  
DICIEMBRE DE 2021  
BOGOTÁ-COLOMBIA**

# **APLICACIÓN DEL INDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) PARA IDENTIFICAR LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL RÍO ORO Y QUEBRADA GRANDE EN PIEDECUESTA-SANTANDER**

## **APPLICATION OF THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) FOR IDENTIFY MASS MOVEMENTS IN THE ORO RIVER AND QUEBRADA GRANDE IN PIEDECUESTA, DEPARTMENT OF SANTANDER**

Karina Andrea Portilla Mendoza  
Geóloga  
Contratista del Servicio Geológico Colombiano  
Universidad Militar Nueva Granada.  
Bogotá, Colombia  
[est.karina.portilla@unimilitar.edu.co](mailto:est.karina.portilla@unimilitar.edu.co)

### **RESUMEN**

Este trabajo de tesis en formato de artículo tiene el propósito de generar una guía metodológica para la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales usando como resultado la interpretación del índice NDVI en imágenes satelitales Sentinel-2A. Este proyecto trabaja la cuenca baja de Quebrada Grande y parte de la cuenca media del río de Oro en el municipio de Piedecuesta en el departamento de Santander, donde en la noche del 25 de febrero de 2020 y la madrugada del 26 de febrero de 2020 por motivos de altas precipitaciones detonaron movimientos en masa causando daños materiales y afectando a la comunidad cercana. Las zonas más afectadas son el resultado de eventos de tipo flujo en la parte baja de la cuenca Quebrada Grande seguido a un mayor deslizamiento en zonas aledañas a la desembocadura de esta al río Oro, donde por medio del ráster NDVI se pueden visualizar estas áreas con más claridad. Estos movimientos en masa son detectados por los índices NDVI, debido a que estos generalizan la superficie y permiten distinguir y diferenciar el terreno desnudo de la cobertura vegetal. Se utilizaron dos imágenes satelitales sentinel-2A: una anterior al evento y otra seguida del evento, con el fin de hacer la comparación a través de los índices NDVI y determinar un diferencial entre estos para así establecer las áreas detonadas por esta avenida torrencial.

Siendo declarada calamidad pública número 17 del 26 de febrero de 2020.

**Palabras Clave:** índice NDVI, avenidas torrenciales, movimiento en masa, imagen Sentinel-2, Piedecuesta.

## ABSTRACT

This thesis work in article format has the purpose of generating a methodological guide for the zoning of threats by torrential floods using as a result the interpretation of the NDVI index in Sentinel-2A satellite images. This project works the lower basin of Quebrada Grande and part of the middle basin of the Río de Oro in the municipality of Piedecuesta in the department of Santander, where on the night of February 25 - 2020 and the early morning of February 26 - 2020 by reasons of high rainfall triggered mass movements causing material damage and affecting the nearby community. The most affected areas are the result of flow-type events in the lower part of the Quebrada Grande basin followed by a greater landslide in areas near its mouth to the Oro River, where through the NDVI raster these areas can be visualized with more clarity. These mass movements are detected by the NDVI indices because they generalize the surface and allow to distinguish and differentiate the bare terrain from the vegetation cover. Two sentinel-2A satellite images were used: one prior to the event and another followed by the event in order to make the comparison through the NDVI indices and determine a differential between them in order to establish the areas detonated by this torrential avenue.

Keywords: NDVI index, torrential floods, mass movement, Sentinel-2 image, Piedecuesta.

## INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa son fenómenos naturales donde ocurren desplazamientos del suelo, roca o laderas por acción de la fuerza de gravedad en favor de las pendientes. Estos movimientos pueden ocurrir a velocidades lentas e imperceptibles como a velocidades altas determinados por superficies de rotura [1]. Su tipo de desplazamiento se caracteriza y varían de acuerdo al material de la cuenca, los mecanismos de movimientos y su grado de deformación del material y saturación del mismo [2], aunque en la práctica, en las visitas de campo es difícil determinar un tipo en partícula de movimiento de masa debido a que estos constan de diferentes procesos y comportamientos a lo largo de su trayectoria, la velocidad, humedad, material involucrado, confinamiento lateral, entre otros. En este proyecto trataremos con los movimientos en masa relacionados a deslizamientos de roca o suelo, flujo de dendritos y lodo y en menor medida del tipo caída. Según el Servicio Nacional de

Geología y Minería en el 2007 los movimientos en masa tipo deslizamiento se dan por un movimiento de ladera debajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Estos deslizamientos presentan comúnmente un control basado en su estructura en superficies de ruptura en planos de debilidad de la roca. La principal diferencia entre un deslizamiento y un movimiento de flujo es que en este último el comportamiento es similar al de un fluido, variante en su índice de plasticidad, puede ser rápido o lento, saturado o seco, posiblemente seguido de un deslizamiento o un movimiento tipo caída [3]. Los tipos caída suelen presentarse en laderas de altas pendientes donde se visualiza un movimiento que no es masivo ni del tipo de flujo; esta interacción mecánica se da entre fragmentos individuales, pero no en fragmentos en movimiento [2]. La mayoría de estos eventos involucran un grado de expansión donde las propagaciones laterales pueden considerarse como una etapa final de una serie de movimiento propiciados desde una deformación interna las cuales degeneran en un patrón y mecanismos de desplazamiento visibles.

Este trabajo sirve para futuros análisis de amenaza, siendo este un estudio primario que describe los aspectos metodológicos propuestos para elaborar investigaciones de zonificación de amenaza por movimiento en masa. Seguido a esto, primero, se continuaría con un análisis determinístico de estabilidad y, segundo, se aplicaría un análisis probabilístico [4]. Este tipo de estudios se deben comenzar por una caracterización del material amenazante, por las clasificaciones del tipo de movimiento, magnitud, distancia del viaje, velocidad e intensidad, siendo estos datos básicos para llevar a cabo algunos análisis cuantitativos de vulnerabilidad y riesgo. En este proyecto se tiene en cuenta la susceptibilidad y amenaza del terreno afectado: determinando su área y revisando su relación con sus unidades geológicas y geología estructural.

### **Zona de estudio: antecedentes y planteamiento del problema**

En este trabajo se identificó un evento repetitivo de movimiento en masa, poco estudiado, localizado en la cuenca baja de Quebrada Grande y cuenca alta del río de Oro en el municipio de Piedecuesta en el departamento de Santander (FIGURA 1). El municipio de Piedecuesta se encuentra localizado a menos de 20 kilómetros al sureste del municipio de Bucaramanga, donde las grandes cuencas involucradas en estas avenidas torrenciales se encuentran sobre la parte alta de la cuenca de los ríos Lebrija y Chicamocha y en específico en la microcuenca Quebrada Grande desembocando sobre la cuenca alta del río de Oro a alturas del municipio de Piedecuesta. El pasado 25 de septiembre de 2020 por efectos de alta pluviosidad se detonaron eventos torrenciales que causaron daños afectando a un total de 497 familias, 150 personas evacuadas, 5 personas fallecidas y 3 desaparecidas sobre esta zona de influencia [5]. Estos eventos torrenciales se caracterizaron por ser de tipo desplazamiento, flujo de detritos y de flujos hiperconcentrados [5].

El único informe presente de esta zona, relacionado a esta avenida torrencial ocurrida, lo realizó este año el Servicio Geológico Colombiano donde identificaron los procesos de tipo flujo, sus suelos y geomorfología asociada en toda la microcuenca Quebrada Grande, donde analizan su geología y movimientos de taludes desde la formación de sus drenajes y analizan su relación estructural con la Falla de Bucaramanga.

Debido a estas noticias evidenciadas en el 2020 se hace necesario, además de ayudar a las comunidades cuando ocurren estos eventos, propiciar el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de estos movimientos en masa, comenzando por estudios para determinar y cartografiar estos junto con sus características geológicas y geomorfológicas presentes. Por esta razón, en este trabajo se emplea en la zona un estudio a partir de imágenes satelitales Sentinel-2A, donde se utiliza el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI, el cual es un parámetro calculado sensible a la cubierta vegetal. Esta sensibilidad permite analizar un rango de comportamiento para determinar las áreas donde han ocurrido los movimientos en masa ocurridos.

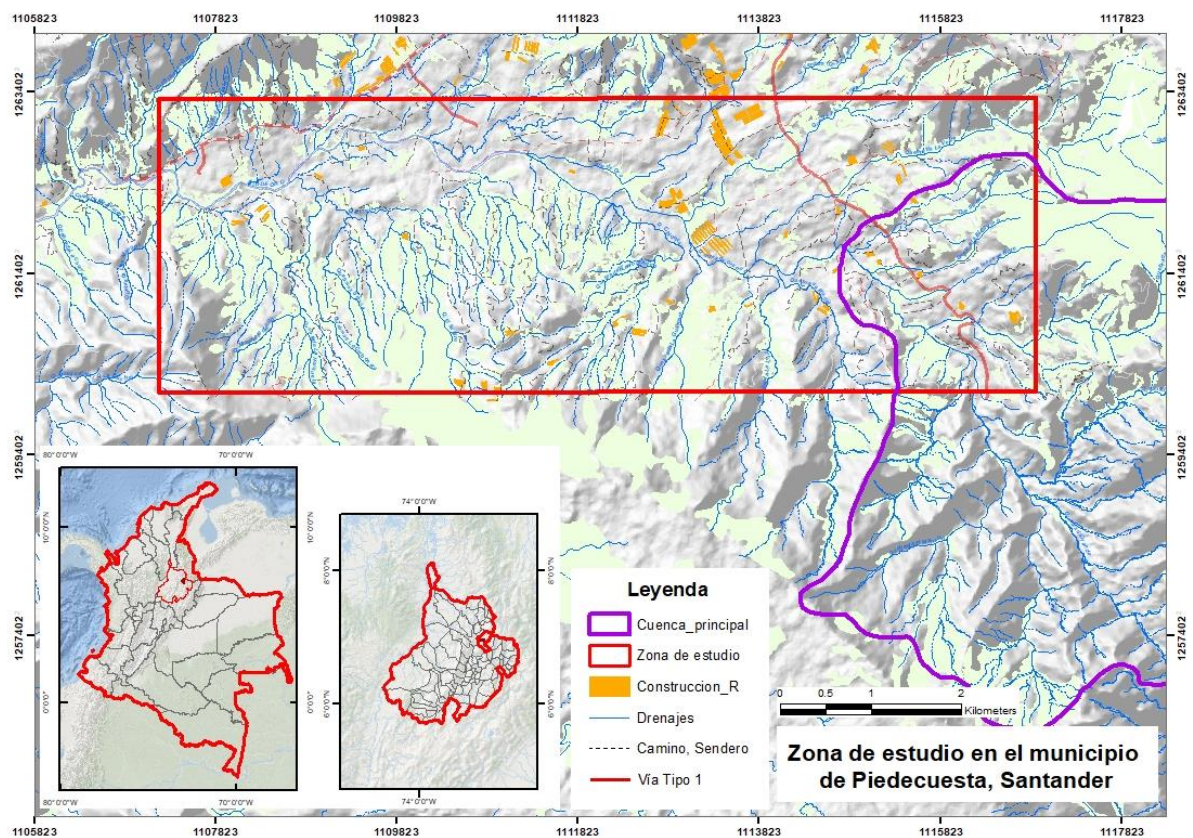


FIGURA 1. Zona de estudio en el municipio de Piedecuesta en el departamento de Santander – Colombia.

## **Objetivo general del trabajo**

- Aplicar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para determinar zonas con movimientos en masa en el río de Oro y la microcuenca Quebrada Grande en el municipio de Piedecuesta en el departamento de Santander.

## **Objetivos específicos**

- Establecer los índices NDVI equivalentes a las zonas donde ocurre la evidencia de la avenida torrencial.
- Visualizar las zonas determinadas con movimientos en masa y calcular su área.
- Identificar la relación que existe entre los movimientos en masa encontrados con las características geológicas y geomorfológicas presentes.

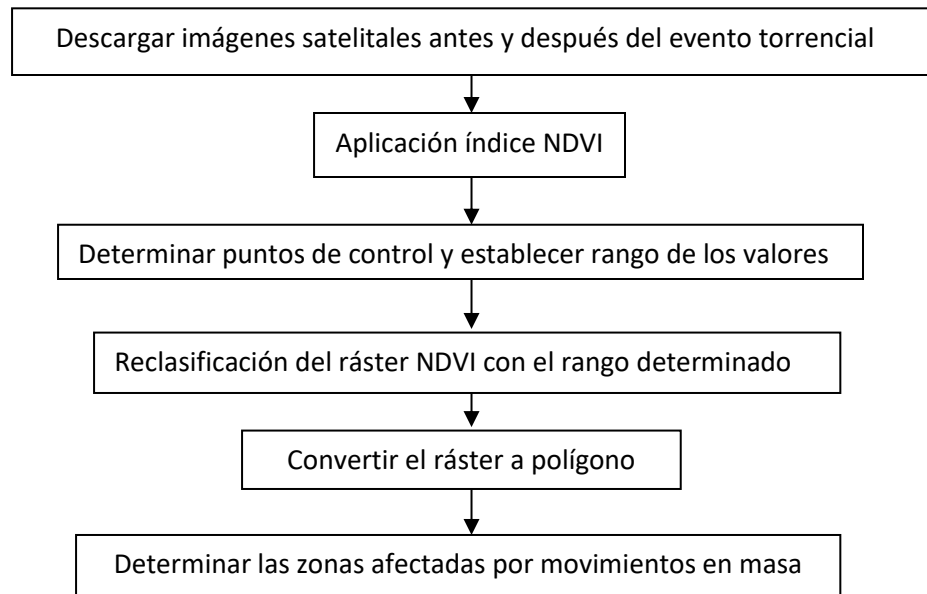
## **1. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Materiales**

Los insumos empleados para la elaboración del presente proyecto fueron:

- Cartografía base oficial escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, planchas 120-II-D, 120-IV-D y 120-IV-B.
- Modelo de sombras del relieve y de pendientes generados a partir del Modelo Digital de Elevación en ALOS-PALSAR con resolución de 12,5 m por píxel.
- Imágenes satelitales Sentinel-2A extraídas de Earth Explorer.
- Cartografía geológica oficial del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000, plancha 120 Bucaramanga.

## Metodología



### Descarga de imágenes satelitales

A partir de los resultados de la emergencia que afectó el municipio de Piedecuesta y los reportes de noticias comunicados se identificaron las principales zonas afectadas por la avenida torrencial presentada el 25 de febrero de 2020, lo cual facilitó crear un área de estudio específica y con base en la cartografía del IGAC en escala 1:25.000 y el Modelo Digital de Elevación en ALOS-PALSAR determinar las posibles cuencas afectadas (Figura 1) para proceder a descargar las imágenes satelitales correspondientes, de Earth Explorer, teniendo en cuenta en la búsqueda imágenes anteriores y posteriores al evento. Para este proyecto se utilizaron estas dos imágenes:

- 1) Imagen Sentinel-2A tomada el 9 de enero de 2020 con un nivel de procesamiento 1C, con una cobertura de nubes de 9,2091.
- 2) Imagen Sentinel-2A tomada el 29 de marzo de 2020 con un nivel de procesamiento 1C, con una cobertura de nubes de 5,3756.

El nivel de procesamiento 1C incluye correcciones radiométricas y geométricas, ortorectificación y contiene registro espacial.

### Aplicación del índice NDVI

Acto seguido, se cargaron las bandas 8 y 4 en ArcMap 10.8, las cuales fueron utilizadas en la herramienta *Raster Calculator* de *Spatial Analyst* haciendo uso de la ecuación para hallar el índice NDVI. Este ráster fue realizado para las dos imágenes satelitales (Figura 2 y 3).



## Índice Diferencial Normalizado de Vegetación – NDVI

Es un índice unidimensional que describe la diferencia entre la reflectancia de la luz roja visible y las longitudes de onda del infrarrojo cercano de la cobertura de vegetación y puede ser usada para estimar la densidad de color verde de una zona [6].

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Este índice varía entre los valores -1.0 a 1.0, donde los valores negativos corresponden a elementos como nubes o agua, los valores cercanos a cero representan rocas y terreno desnudo y los valores cercanos a 1 corresponden a zonas tropicales.

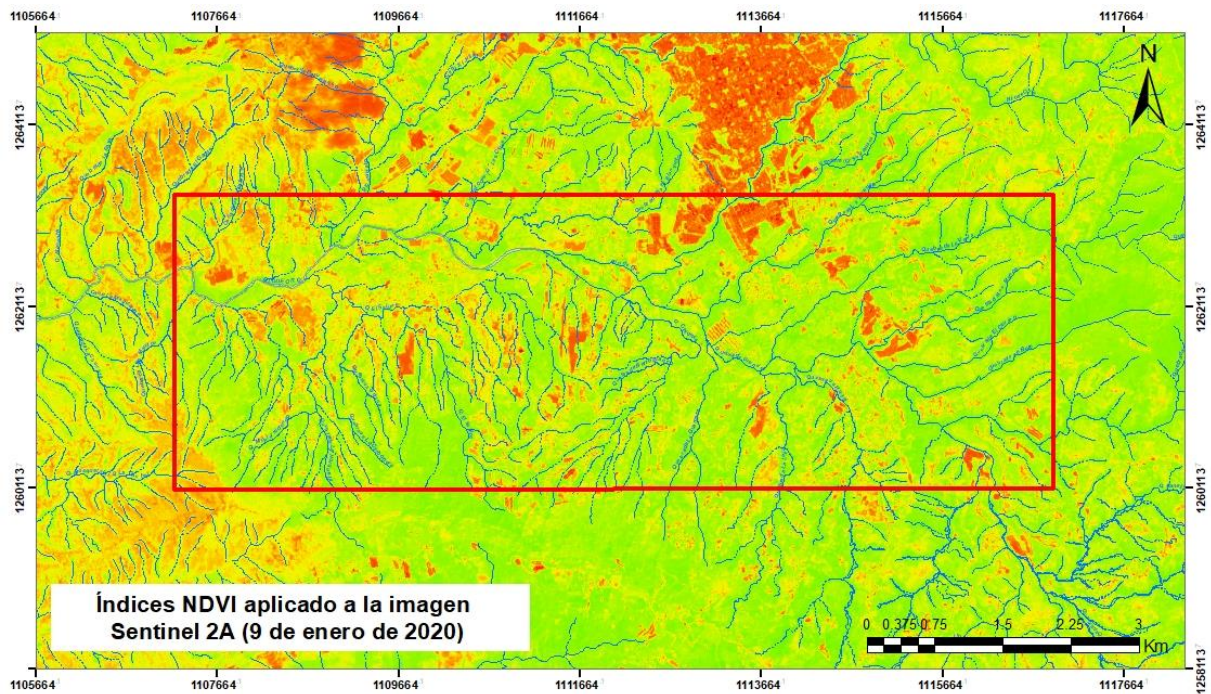


FIGURA 2. Mapa de los índices NDVI aplicado a la imagen Sentine-2A anterior al movimiento de masa.



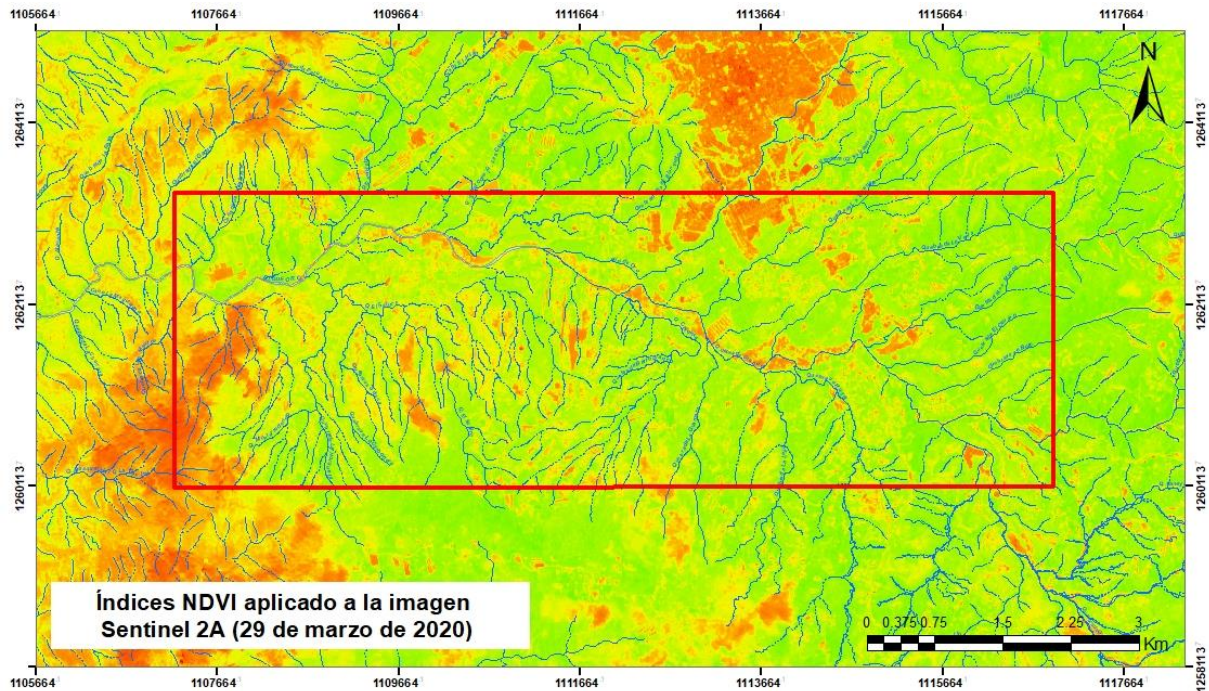


FIGURA 3. Mapa de los índices NDVI aplicado a la imagen Sentine-2A posterior al movimiento de masa.

### Determinar puntos de control y establecer rango de los valores NDVI

Para este trabajo se realizó una revisión de los valores resultantes del índice NDVI, los cuales fueron tomados como puntos de control.

Con el fin de realizar unos puntos de control representativos con los movimientos en masa ocurridos se tomaron en cuenta estas bandas:

- Cargar las bandas 4, 3, 2 [R, G, B] para obtener la imagen de verdadero color
- Cargar las bandas 8, 4, 3 [NIR, R, G] para obtener la imagen de infrarrojo para vegetación.
- Cargar el Basemap Imagery de ArcMap

Las cuales permitieron realizar una comparación visual con el ráster del índice de vegetación obtenido. Se visualizaron los diferentes colores presentes detectando los posibles movimientos en masa y a partir de los ráster NDVI generados se determinaron puntos de control para establecer un rango de valores NDVI demarcando las zonas afectadas.

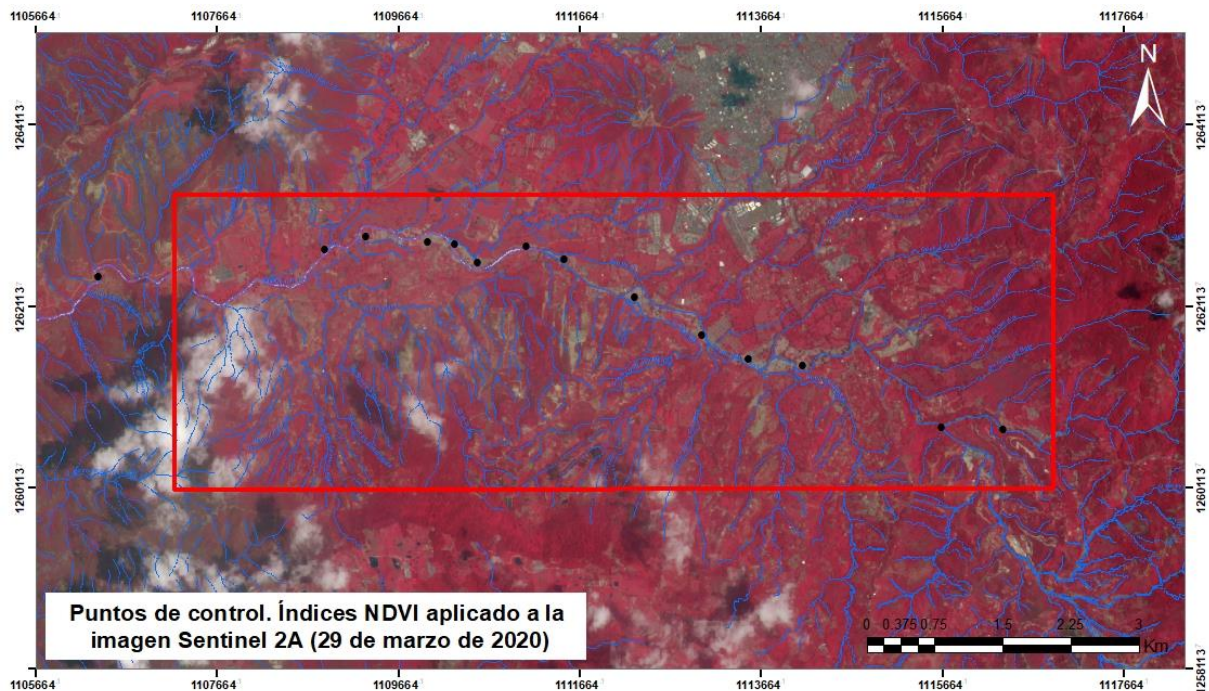


FIGURA 4. Puntos de control sobre imagen Sentinel-2A con bandas 8,4,3 de Infrarrojo para vegetación.

### Reclasificación del ráster NDVI con el rango determinado

Luego, se realiza una reclasificación a los ráster NDVI donde se tienen en cuenta el valor mínimo (0.164810) y máximo (0.370979) encontrados para las zonas donde ocurrieron los movimientos de masa.

### Convertir el ráster a polígono

Se usa la herramienta *Raster to polygon* excluyendo los valores fuera del rango anteriormente establecido. En adición, se realiza una diferencia de las capas de los polígonos resultantes teniendo en cuenta que esto indicaría las zonas encontradas diferentes entre las dos imágenes satélites con diferencia de tiempo.

### Determinar las zonas afectadas por movimientos en masa

Visualización final de los movimientos en masa detectados a partir de los resultados del índice de NDVI, verificando estos con las imágenes satelitales trabajadas. Incluir mapas de geología, revisar geomorfología y geología estructural para establecer posibles relaciones con los polígonos de los movimientos de masa determinados.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Aplicación del índice de vegetación NDVI

Al aplicar la ecuación para hallar el índice de vegetación en las dos imágenes satelitales se tuvieron en cuenta combinaciones de bandas para poder establecer con mayor claridad el movimiento de masas. Como se puede observar en la figura 5 el uso de RGB para resaltar el color verdadero (Figura 5), el uso de las bandas NIR, R, G para resaltar el infrarrojo de la vegetación (Figura 6), el cual en este proyecto es de gran importancia por su función y sensibilidad para detallar la vegetación.

Para esta unión de bandas (Figura 6) se realizó desviación estándar, en el Software Erdas Imagine 2014, para mejorar la imagen y poder observar más diferencias y detalle en los colores y contrastes de la diferente vegetación. En esa imagen se ve más realce en las partes centrales de la imagen donde se evidencia suelo descubierto, lo que vendría siendo el movimiento de masa estudiado. En la parte inferior izquierda hay algunos destapados que no hacen parte de un gran movimiento en masa, se descarta por visualización de imágenes satelitales recientes.

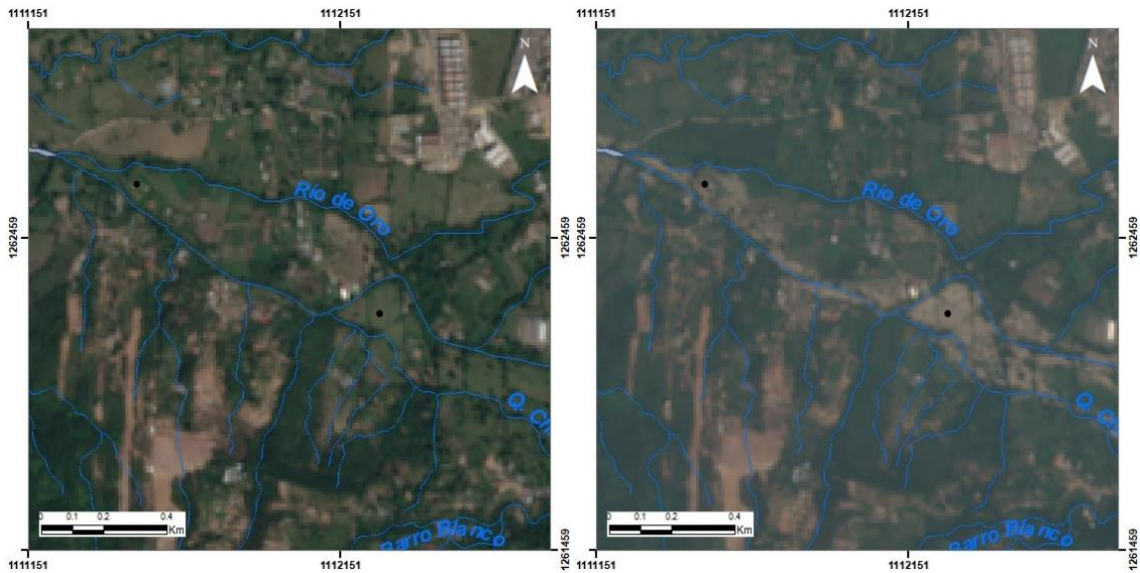


FIGURA 5. Zona de interés: bandas RGB (4,3,2). Imagen izquierda imagen del 9 de enero de 2020 e imagen de la derecha tomada el 29 de marzo de 2020.



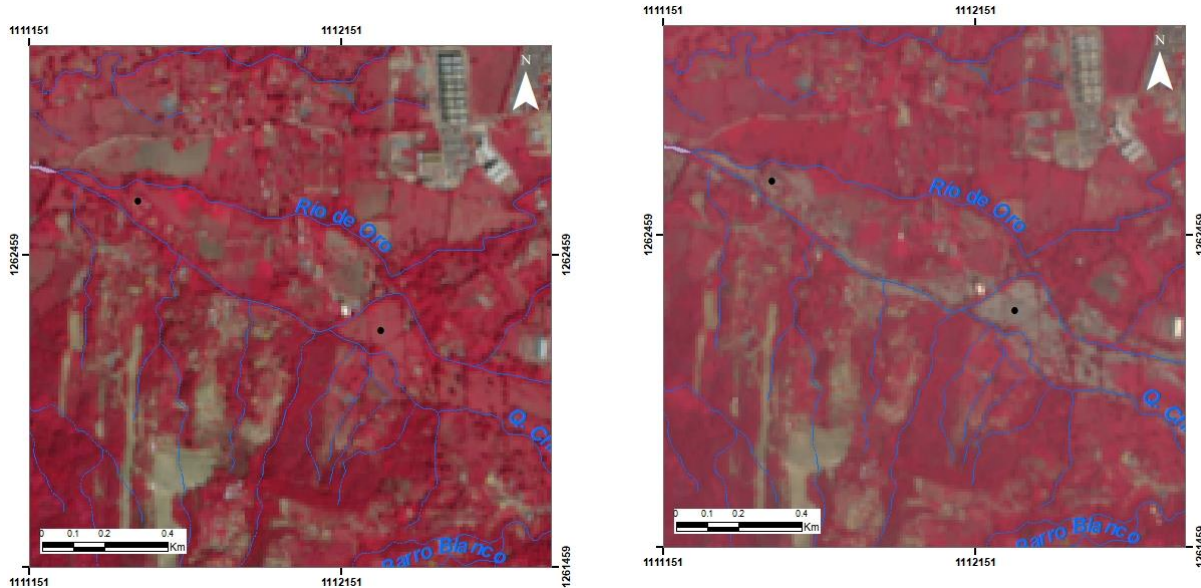


FIGURA 6. Zona de interés: NIR, R, G (8,4,3). Imagen izquierda imagen del 9 de enero de 2020 e imagen de la derecha tomada el 29 de marzo de 2020.

En la Figura 7 se ven las diferencias en los índices de vegetación de una imagen a la otra, donde se confirma la avenida torrencial ocurrida sobre la microcuenca de la Quebrada Grande y el río de Oro.

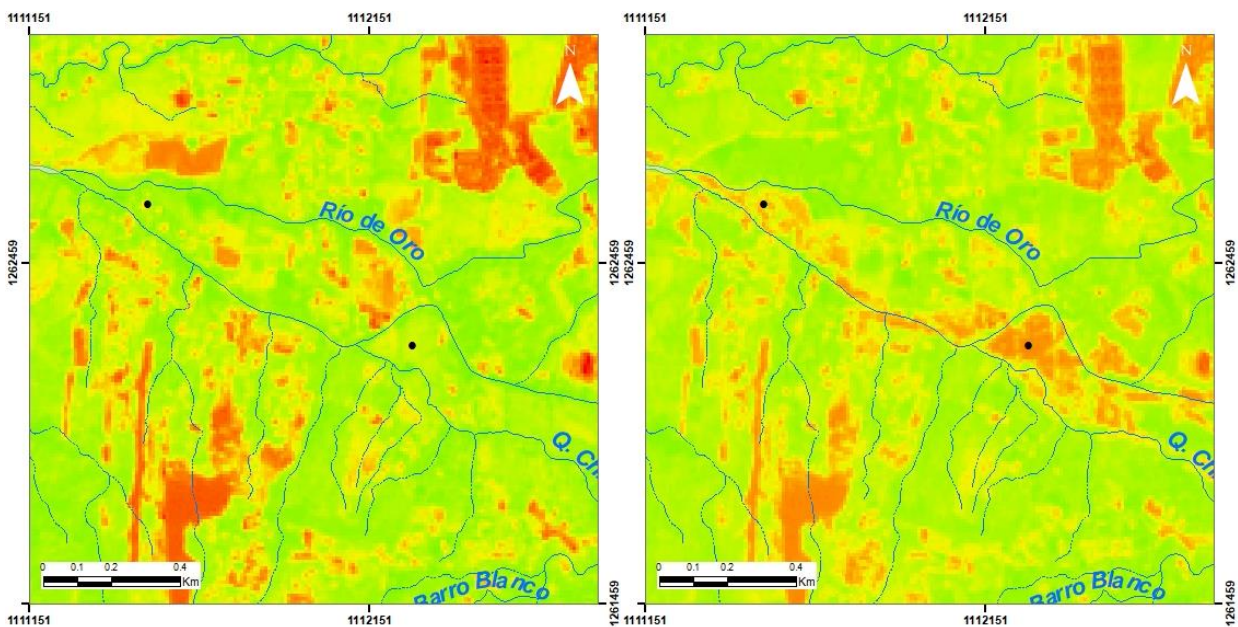


FIGURA 7. Zona de interés: Ráster índice NDVI. Imagen izquierda imagen del 9 de enero de 2020 e imagen de la derecha tomada el 29 de marzo de 2020.

En estas imágenes se pueden ver los puntos de control digitalizados, los cuales fueron tomados en comparación del terreno con las imágenes anteriores, donde se estableció un rango numérico de los índices de vegetación asociados a estos movimientos.

Seguido a esto, se reclasifica la imagen con el rango establecido, obteniendo las imágenes de la Figura 8.

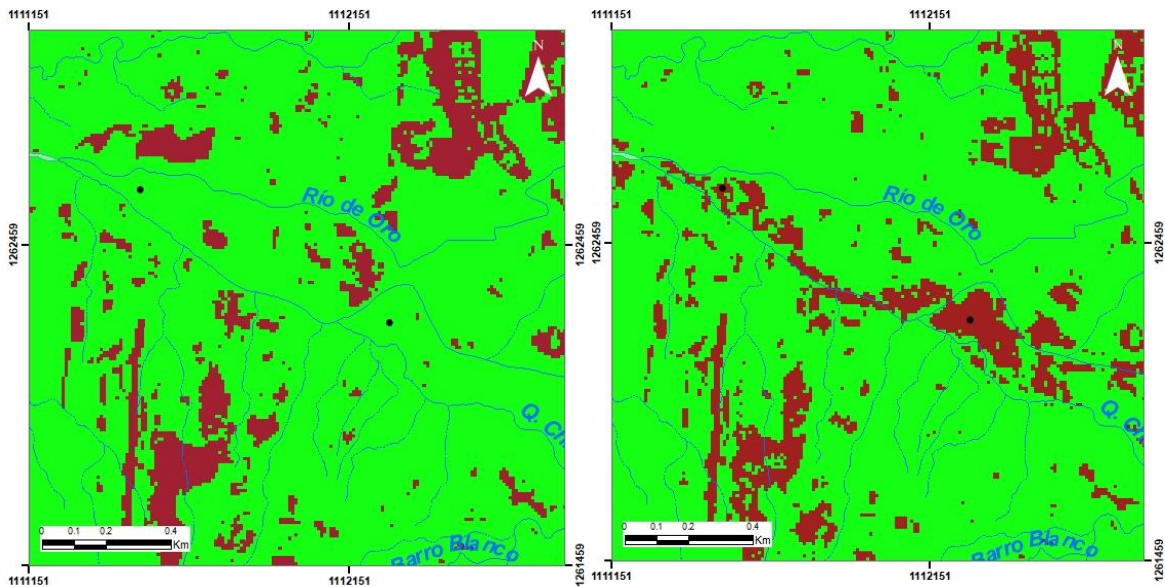


FIGURA 8. Zona de interés: polígonos de movimientos en masa. Imagen izquierda imagen del 9 de enero de 2020 e imagen de la derecha tomada el 29 de marzo de 2020.

Finalmente, se encuentra un área de 544.189 metros cuadrados de territorio afectado en esta zona de interés establecida (Figura 9).



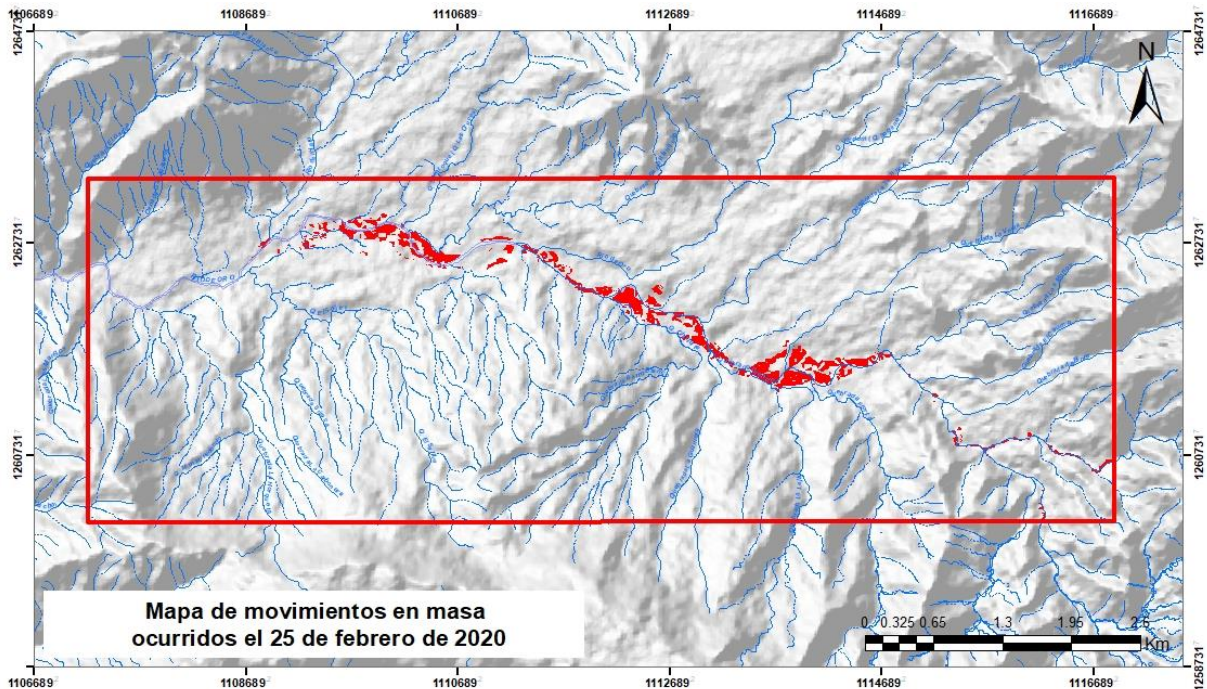


FIGURA 9. Mapa de los polígonos generados a partir del índice de vegetación.

## Discusiones

Es muy importante seguir estudiando y evaluar los tipos de eventos presentados en esta fecha para entender la dinámica de los drenajes que desembocan en el río Oro y buscar que este tipo de trabajos agilicen el proceso para una mejor evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en este territorio.

La geología de esta zona de estudio está compuesta por depósitos no consolidados del cuaternario (Figura 10), asociados a las dinámicas que ocurren en los drenajes que la componen y los eventos fluvio-torrenciales que se han presentado en las últimas décadas. Conociendo que los fluidos y movimientos están afectando la parte alta de la cuenca Quebrada Grande se hace necesario analizar su geología. Osorio *et al.* 2007 propone que para el entendimiento de la génesis de los depósitos cuaternarios es importante hacer referencia a las unidades geológicas que componen la cuenca y a sus exclusivos movimientos estructurales. La geología de la cuenca Quebrada Grande está compuesta por rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas de edades precámbricas, paleozoicas y jurásicas, respectivamente. Estas rocas metamórficas corresponden al Neis de Bucaramanga, aflorando al este de la Falla de Bucaramanga-Santa Marta, y a la Formación Silgará. Estas dos formaciones son intruidas por rocas ígneas de edad Triásica – Jurásica asociadas al Grupo Plutónico de Santander. La geología más cercana a la zona de interés en este estudio está asociada a rocas sedimentarias. Todas estas unidades están marcadas por fallas asociadas a la Falla de Bucaramanga, la cual controla directamente los drenajes orientándolos hacia el noreste. La falla Bucaramanga tiene grandes evidencias de estar en actividad reciente



motivo por el cual esta zona debe estar expuesta a mayores estudios para evitar pérdidas y daños en tiempos de altas precipitaciones.

No se descarta que algunas de las laderas de esta microcuenca sean inestables debido a actividades antropogénicas que afecten y reactiven los materiales de los flujos que deslizan hacia la parte inferior de la cuenca.

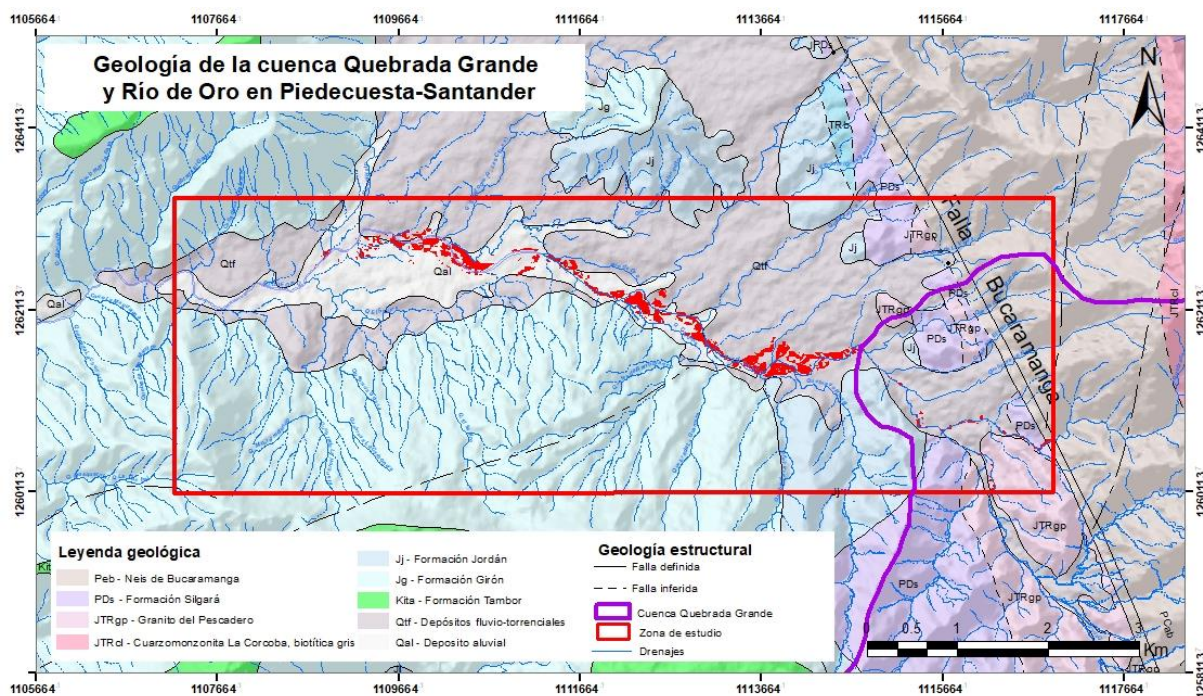


Figura 10. Mapa de las unidades geológicas y geología estructural

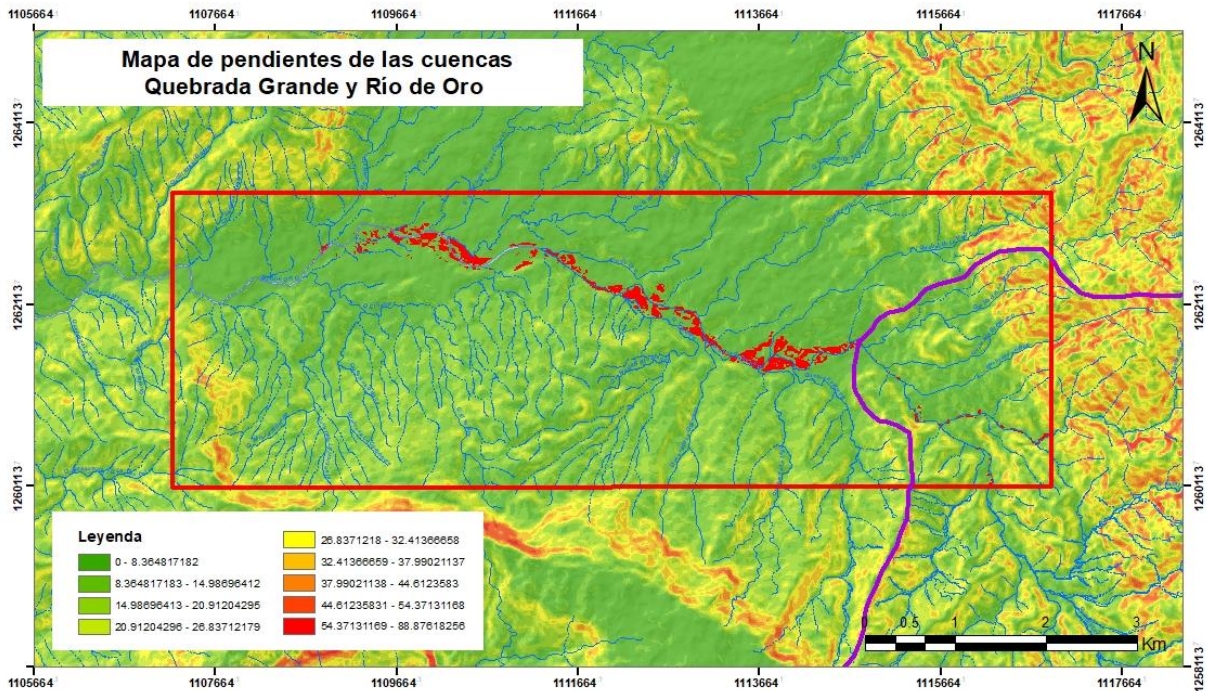


Figura 11. Mapa de pendientes

### 3. CONCLUSIONES

- Este trabajo fue realizado en la parte inferior de la microcuenca de Quebrada Grande, donde fueron afectadas comunidades, viviendas y algunos otros tipos de infraestructura ubicadas en unidades de suelos transportados fluvio-torrenciales, considerando esta zona presente con amenaza alta según las evidencias del evento ocurrido el 26 de febrero de 2020 y verificado en área-terreno en este proyecto. Por esta razón es importante seguir ahondando en estos estudios para optar medidas de planificación, control, mitigación y la implementación de estrategias para la gestión del riesgo.
- Los depósitos de suelos transportados fluvio-torrenciales (zona actual de este proyecto) corresponde a depósitos recientes, con esta última depositación, y subrecientes, con avenidas torrenciales ocurridas años anteriores. Estos materiales son susceptibles a removilizarse de nuevo, ya sea por erosión o saturación lateral, ya que esto hace parte de la evolución natural de esta microcuenca de estudio. Es así, que la aplicación de estos índices, como herramienta de control y seguimiento, ayuda a generar alertas tempranas permitiendo así tomar de mejor manera decisiones para disminuir el riesgo de que estas situaciones vuelva a ocurrir en esta magnitud.

- Por lo dicho anteriormente, se hace cada vez más necesario ahondar en temas relacionados a movimientos en masa y asociar con ellos sus características geológicas y geomorfológicas presentes, en su conservación de suelo, manejo ambiental y ordenamiento territorial. Para este tipo de proyectos es necesario tener en cuenta el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa que favorezcan el uso de las aplicaciones SIG, tomando en cuenta la utilidad del uso de los sensores remotos y su resolución espacial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Crozier M. y Glade T. (2005). Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach, en Glade, T., et al. ed., Landslide hazard and risk: Chichester, England, John Willey & Sons. 2–40 p.
- [2] Servicio Nacional de Geología y Minería. (2007). *Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas*.
- [3] Varnes D. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C. *Natl. Acad. Press. Transp. Res. Board Spec. Rep. 176*. 9–33 p.
- [4] Ávila G. et al. (2016) *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*.
- [5] Rangel M. y García H. y Reyes A.(2021). Avenida torrencial de la quebrada grande en el municipio de piedecuesta, departamento de santander. *Bogotá. Servicio Geológico Colombiano*. 56 p.
- [6] Weier J. y Herring J. (2000). Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). *NASA Earth Observatory, Washington DC*. [https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php).