

Análisis de la susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río nuevo presidente, Corregimiento Las Mercedes - Sardinata y Municipio de Tibú en el Departamento Norte de Santander, Colombia

Paola Andrea Paz Molina

Edwards Jhonatan Estepa Camacho



Monografía presentada como requisito para optar el título de Especialistas en Prevención, Reducción y Atención de Desastres

Universidad Católica de Manizales

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Especialización en Prevención, Reducción Atención de Desastres

Manizales

2021

Contenido

	Pág.
Introducción.....	8
1. Descripción Del Problema.....	10
2. Justificación.....	12
3. Objetivos.....	13
3.1 Objetivo General.....	13
3.2 Objetivo Específicos.....	13
4. Contexto Geográfico De Estudio.....	14
5. Antecedentes.....	16
6. Marco Teórico y conceptual.....	18
7. Marco Normativo.....	31
9. Metodología.....	32
10. Resultados.....	35
10.1 Factores Condicionantes.....	35
10.1.1 Geología.....	35
10.1.1.1 Geología Regional.....	35
10.1.1.1.1 Geología Local.....	38
10.1.1.2 Geología Estructural.....	42

10.1.1.2.1 Fallas.....	43
10.1.1.2.2 Pliegues.....	43
10.1.2 Unidades Geológicas Superficiales	44
10.1.3 Geomorfología.....	47
10.1.3.1 Subunidades geomorfológicas.....	47
10.1.4 Pendientes	50
10.1.5 Cobertura de la tierra	53
10.2 Análisis de la Susceptibilidad.....	54
11. Conclusiones.....	58
12. Recomendaciones	60
Referencias Bibliográficas.....	61

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización general del Departamento de Norte de Santander, localizado La Cuenca Nuevo Presidente.....	14
Figura 2. Categoría de Amenazas a movimientos en masa, plancha 77 Campo Dos, Escala: 100.000,2015.	17
Figura 3. Jerarquía en AHP	20
Figura 4. Proceso metodológico.....	32
Figura 5. Mapa estructural con el modelo de sombras	39
Figura 6. Mapa Geológico Ajustado a escala 1:25000.....	39
Figura 7. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales a escala 1:25000	45
Figura 8. Mapa de subunidades geomorfológicas a escala 1:25000.....	47
Figura 9. Mapa de Pendientes a escala 1:25000.....	51
Figura 10. Mapa de Cobertura Vegetal a escala 1:25000.....	53
Figura 11. Mapa de Susceptibilidad a procesos de remoción en masa a escala 1:25000.....	56

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Escala de comparaciones.....	21
Tabla 2. Índice de consistencia aleatorio (IA) en función de la dimensión de la matriz (n).....	25
Tabla 3. Tabla de susceptibilidad por procesos de remoción en masa.....	27
Tabla 4. Subunidades geomorfológicas en la zona de estudio.....	49
Tabla 5. Pendiente y su clasificación.....	52
Tabla 6. Pesos establecidos para cada variable.....	55

Resumen

El presente estudio tiene la finalidad de analizar la susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Nuevo Presidente, Corregimiento Las Mercedes, Sardinata y Municipio de Tibú en el Departamento Norte de Santander, a escala 1:25000, donde con los diferentes resultados obtenidos se identifica una zona con aparente estado de inestabilidad por la parte alta y media baja de la cuenca, y en la parte baja de la cuenca se evidencia poca susceptibilidad debido a que cuenta con una topografía plana, de igual manera se identificó falta de estos insumos en los instrumentos de planificación.

Por otra parte, se verificaron los factores condicionantes, con un análisis detallado del geoprocesamiento con los Sistema de Información Geográfico - SIG, a partir de la metodología heurística AHP por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process)

Con la metodología AHP y la escala 1:25000 aumento el detalle de los factores condicionantes como las unidades geológicas superficiales, geomorfológica, cobertura vegetal permitiendo aumentar la calidad de análisis, una limitante para el cálculo es la baja cantidad de movimientos en masa por la escala, sin embargo, los resultados obtenidos determinan las conclusiones para los municipios afectados en Gestión de Riesgo de Desastre.

Esta investigación servirá como insumo principal para la siguiente etapa en la que se incluye la combinación de lluvias y sismos, que pueden hacer una contribución significativa para lograr el siguiente paso y ayudar a mejorar el Plan de Ordenamiento Territorial de los municipios en mención.

En la cuenca del río nuevo presidente se presenta en su mayoría un porcentaje de susceptibilidad alta obteniendo un 56.19 % con un área de 54283,5 Ha y muy alta representado

en 4.83% con un área de 4673,9 Ha por lo anterior se determina que el 61,02% de la cuenca se encuentra en rangos de susceptibilidades altas y muy altas.

Palabras claves: Susceptibilidad, factores condicionantes, AHP.

Introducción

En la cuenca del Río Nuevo Presidente se encuentran dos municipios, en la parte alta de la cuenca el Municipio de Sardinata, y en la parte baja el municipio de Tibú, la cuenca se encuentra ubicada dentro de la cordillera oriental, la cual es caracterizada por contar con una variabilidad de susceptibilidades como Sísmicas, Avenidas Torrenciales, y Procesos de Remoción en Masa, por ende, la cuenca del Río Nuevo Presidente no ha estado exento de la ocurrencia de fenómenos naturales. Por lo anterior, cabe resaltar que a lo largo de los últimos años han existido diferentes afectaciones principalmente por inundaciones, seguidos de Avenidas torrenciales y finalmente por los procesos de remoción en masa viéndose afectadas diferentes veredas del Municipio de Tibú.

Dados estos acontecimientos se hace necesario realizar un análisis de Susceptibilidad a por Procesos de remoción en masa para la Cuenca del Río Nuevo Presidente, Norte de Santander. Dicho análisis de susceptibilidad se lo constituye por factores geológicos, geomorfológicos, unidades geológicas superficiales entre otros.

En la presente propuesta se identifica una baja investigación de la susceptibilidad por procesos de remoción en masa para la cuenca del Río Nuevo Presidente, Corregimiento Las Mercedes, Sardinata y Municipio de Tibú en el Departamento Norte de Santander, donde los antecedentes a niveles nacionales y locales son enfocados a las amenazas por inundación, avenidas torrenciales y amenazas sociales (Conflictos con grupos al margen de la ley), así mismo dando la prioridad por el municipio sesgando a las otras amenazas de origen natural, cabe resaltar que la información que existe de susceptibilidad a procesos de remoción en masa es a

escala 1:100.000 por ende no es adecuada, así mismo olvidándose en algunos casos de esta susceptibilidad a amenaza a procesos de remoción en masa.

Con base en lo anteriormente expuesto se ha planteado una interrogante en el sistema de la información existente, un análisis de susceptibilidad por procesos de remoción en masa para la cuenca del Río Nuevo Presidente, Departamento Norte de Santander, y se desarrollará con el mecanismo de la metodología basada en el análisis heurístico denominado método del proceso de análisis jerárquico - AHP por sus siglas en inglés (analytical hierarchy process), desarrollado por Saaty a finales de los 60 (OSORIO GÓMEZ & OREJUELA CABRERA, 2008), dentro de un periodo corto, y basados en la información existente y ajustes cartográficos realizada por los autores.

1. Descripción Del Problema

Teniendo en cuenta que el planeta Tierra se encuentra bajo cambio y movimiento constante, por lo tanto, presentan diversos procesos terrestres, eventualmente peligrosos como la erupción de volcanes, inundaciones, terremotos; sismos, Procesos de Remoción en Masa – PRM o Fenómenos de Remoción en Masa – FRM . Por lo anterior se afirma que Los Procesos De Remoción En Masa son ejemplos espectaculares de acontecimientos geológicos fundamentales denominados procesos gravitacionales afectando todo el globo terráqueo (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Por lo antepuesto, y adicionalmente debido a que estos procesos pueden ser originados por eventos hidroclimáticos, sísmicos o antrópicos, se considera necesario que hay sectores susceptibles a movimientos en masa (NASA), La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) por sus siglas en inglés, actualmente se encuentra construyendo “el mayor inventario abierto mundial de deslizamientos de tierras para abordar este problema, y la única manera que podemos hacer esto es con la ayuda de científicos” y ciudadanos.

En Colombia existe un modelo similar al NASA; denominado SIMMA - Sistema de Información de Movimientos en Masa, la cual captura la información de los deslizamientos en masa y a su vez los profesionales expertos realizan la cartografía respectiva con las diferentes metodologías existentes.

De igual manera es importante mencionar que en la zona de estudio, existen avances científicos que se han relacionado a la susceptibilidad y zonificación de amenazas a procesos de remoción en masa como se describe en (SGC, 2015) las diferentes clases de susceptibilidades geológicas, geomorfológicas, edáficas, entre otros. Y así mismo en el informe de la Contraloría

General del Departamento Norte de Santander determina que presenta amenazas meteorológicas como inundaciones, sequías, así mismo afectando los cuerpos hídricos del Río Nuevo Presidente, Sardinata, Catatumbo entre otros generando procesos de remoción en masa y socavaciones (Contraloría General) .

En razón de lo anteriormente expuesto, se evidencia una baja investigación a detalle relacionada con el análisis de la Susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca de Río Nuevo Presidente, Norte de Santander.

De esta manera se proyecta la investigación, considerando que se cuenta con la información secundaria necesaria para la ejecución óptima del mismo, estableciendo las variables requeridas y adecuadas para examinar, analizar, concluir y recomendar las acciones pertinentes para la mitigación y prevención requerida. Finalmente, se busca aumentar el conocimiento de la Gestión del Riesgo frente a este fenómeno amenazante.

2. Justificación

Esta investigación servirá como metodología para el mejoramiento de las susceptibilidades a procesos de remoción en masa para municipios con altos índices de violencia de orden social y no se pueda tomar información a detalle, adicionalmente como insumo principal para los instrumentos de planificación de los municipios afectados.

El territorio colombiano está ubicado en la región Andina, por su geomorfología y condiciones estructurales y procesos geodinámicas es altamente susceptible a procesos de remoción en masa, por tal razón es necesario estudios objetivos para la delimitación de la susceptibilidad, los cuales permitan la toma oportuna de decisiones para el ordenamiento territorial y medias prospectivas, correcticas adecuadas para la mitigación del riesgo.

Para la ejecución del presente, se cuenta con información primaria y secundaria necesaria, y software especializados en el ámbito de los Sistemas De Información Geográfico – SIG para llevar a cabo el análisis de susceptibilidad, como profesionales expertos en la caracterización geoambiental para afrontar la investigación.

La investigación permitirá fortalecer el conocimiento del riesgo permitiendo tomas las medidas de reducción pertinentes para disminuir la ocurrencia de desastres, el cual podrá ser analizado por CORPONOR, Alcaldía de Tibú y Sardinata.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Analizar la susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa para la Cuenca del Río Nuevo Presidente, Corregimiento Las Mercedes, Sardinata y Municipio de Tibú en el Departamento Norte de Santander, a través de una metodología heurística mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.

3.2 Objetivo Específicos

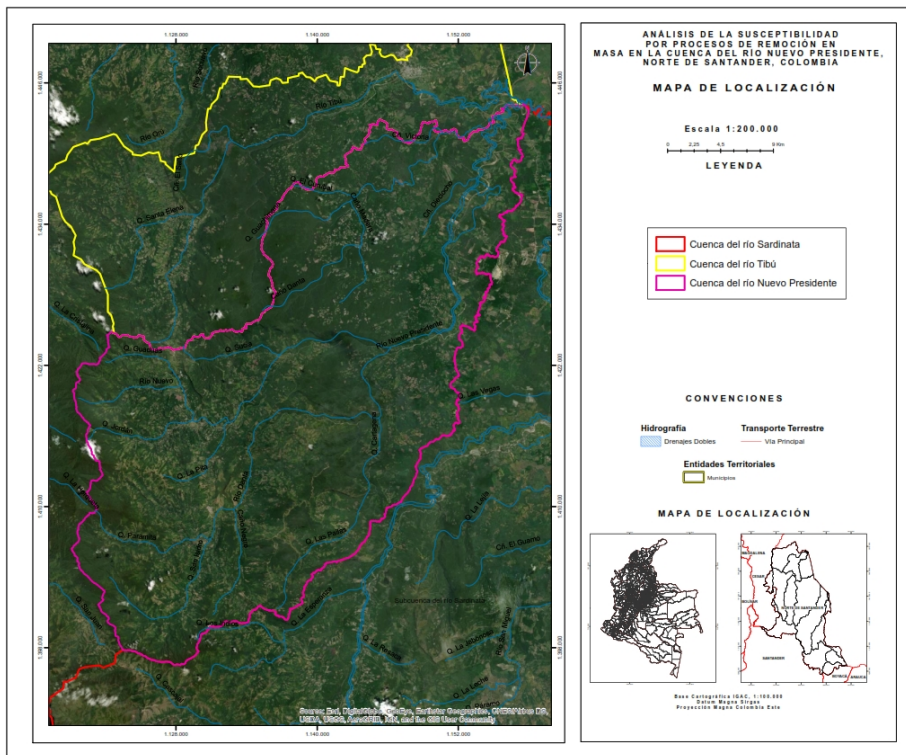
1. Aplicar el proceso metodológico del Servicio Geológico Colombiano, mediante el método heurístico, denominado procesos de análisis jerárquico - AHP a escala 1:25000 para con el base de cruce de variables obtenidas y conseguir el mapa de susceptibilidad.
2. Evaluar y analizar los resultados obtenidos a partir de la Susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

4. Contexto Geográfico De Estudio

La cuenca del Río Nuevo Presidente, se encuentra ubicada entre los Municipios de Sardinata (la parte alta) y Tibú (La parte Baja), en el Departamento de Norte de Santander, de igual manera se encuentra localizado a 112 Km hacia el noroccidente de la capital, limitando internacionalmente por el nororiente con Venezuela, el Sur con el Municipio de Sardinata y San José de Cúcuta, y finalmente en el occidente con San Calixto y El Tarra.

Figura 1.

Mapa de localización general del Departamento de Norte de Santander, localizado La Cuenca Nuevo Presidente.



Fuente. Base cartográfica del IGAC, Imagen de Esri Modificado autores.

En la se observa de manera general y especifica la localización de la Cuenca del Río Nuevo Presidente , en el Departamento de Norte de Santander, el cual presenta unas alturas variables mínimas y máximas próximas de 33 y 1200 m.s.n.m con temperaturas promedio de 27,3° centígrados (IGAC, 2016) siendo agosto el mes de mayor temperatura y enero el de menor. Topográficamente variable, se encuentra entre los climas cálidos, humedad relativa promedio anual de 81%.

Para el caso de ambas zonas pertenecientes a la cuenca hidrográfica nuevo presidente cuenta con producción de palma de aceite, explotación de recursos naturales principalmente asociados a minería, de igual manera se realizan actividades ganaderas y agrícolas, cabe resaltar que en estas zonas son muy comunes los cultivos ilegales, dentro de las comunidades del sector se encuentra una etnia indígena denominada Barí, en la parte ambiental estas zonas se caracterizan por llevar a cabo extracción incontrolada de madera, la cual ocasiona pérdida de bosques protectores de aguas en las microcuencas abastecedores para los acueductos de dichos municipios. Por otra parte en los municipios que abarca la cuenca hidrográfica se presentan diferentes amenazas y riesgos tales como fenómenos de remoción en masa, procesos erosivos, etc.

5. Antecedentes

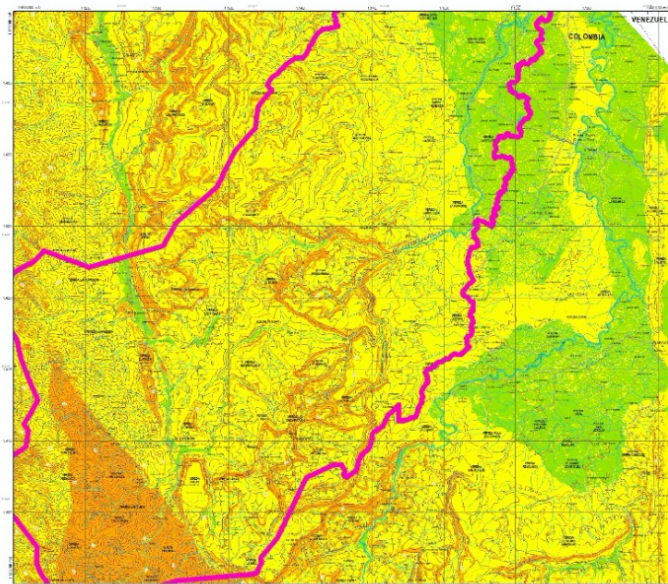
De acuerdo a las diferentes investigaciones desarrolladas en base al concepto de susceptibilidad a movimientos en masa ha sido aplicado en diferentes estudios de caso, con diferentes metodologías, se concluye que, en dichos estudios es importante tener en cuenta que el planeta Tierra por ser heterogéneo y dividido por estaciones climáticas, pueden ocurrir diferentes procesos gravitacionales. A continuación, se presenta información que aportan o son referentes al tema que se pretende desarrollar:

Método o metodología Mora – Vahrson: (Mora Chincilla, Chaves Gamboa, & Vasques Fernández, 2002), tiene como objetivo es zonificar la susceptibilidad al deslizamiento de un terreno determinado, con la combinación de valoraciones ponderados o pesos relativos de diversos indicadores morfodinámicos, obtenidos en la zona de estudio.

En el departamento de Norte de Santander, en la plancha 77 – Campo Dos considera que persisten niveles altos a bajos de Amenaza a procesos de remoción en masa. En la Figura 1, se evidencia que la mayor parte de la zona de estudio tiene Amenazas bajas a altas. Esta imagen cubre parcialmente la zona de estudio, pero no existe un análisis para el conocimiento de la Gestión de Riesgo de Desastre (Color Magenta: Zona de estudio).

Figura 2.

Categoría de Amenazas a movimientos en masa, plancha 77 Campo Dos, Escala: 100.000,2015.



Fuente SGC modificado Autores

Para el municipio de Tibú donde la cuenca tiene mayor porcentaje de incidencia se encuentra la siguiente información:

Teniendo en cuenta que se ha indagado más estudios de este tema en dicha zona, es preciso mencionar que se evidencia poca información enfocado a la susceptibilidad a procesos de remoción en masa para la cuenca del Río Nuevo Presidente, en algunos casos olvidando de estos municipios por el conflicto armado que lleva años en esta región, por lo cual el objetivo de esta investigación es realizar el análisis de Susceptibilidad a Procesos de remoción en masa en base a la información existente.

6. Marco Teórico y conceptual

Los principales referentes teóricos para analizar la gestión del riesgo en términos de susceptibilidad por procesos de remoción en masa, para entrar en materia se debe describir el fenómeno amenazante, en base lo anterior los movimientos en masa bajo el concepto de (Tarbuck & Lutgens, 2005) *“Los deslizamientos de tierra son ejemplos espectaculares de acontecimientos geológicos fundamentales denominados procesos gravitacionales. Por procesos gravitacionales se entienden los movimientos pendientes debajo de roca, regolito y suelo, bajo la influencia directa de la gravedad. Se diferencian de los procesos erosivos que se examinarán en los capítulos siguientes porque los procesos gravitacionales no precisan un medio de transporte como el agua, el viento o el hielo de los glaciares.”*. Por lo tanto, ya que la energía puede variar y ser catastrófica, se deriva una susceptibilidad por procesos de remoción en masa provocando una variedad de afectaciones de varios niveles si llegará a materializarse (Afectación socioeconómica, salud, etc.)

En la actualidad la cuenca del Río Nuevo Presidente, localizada en el municipio de Sardinata (Parte alta de la cuenca) Tibú (Parte Baja de la cuenca), en el Departamento de Norte de Santander no está exento a diferentes amenazas latentes como Avenidas Torrenciales, inundaciones y Procesos de remoción en masa. Se evidencian investigaciones amplias y suficientes para las inundaciones para los ríos aledaños a la zona de estudio.

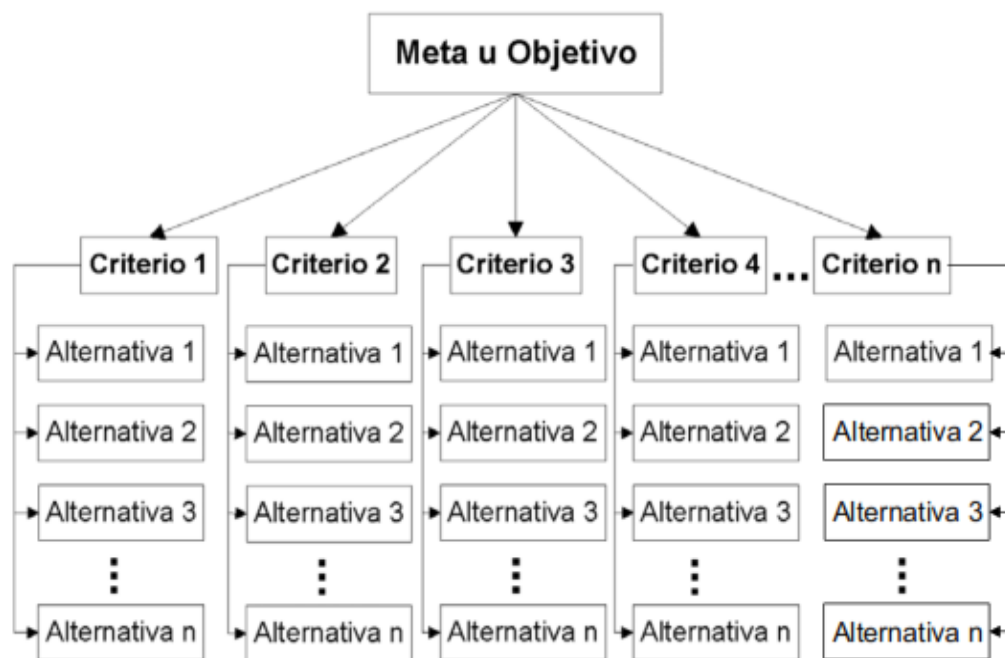
Teniendo en cuenta lo anterior, el acceso y la poca información y los limitantes de seguridad, la metodología que se implementará es el Método del proceso de análisis jerárquico (analytical hierarchy process, AHP), la cual menciona los tres principios:

- **Construcción de las jerarquías**

Consiste en la organización del problema mediante la construcción de una jerarquía de atributos, siendo el nivel superior el objetivo propuesto, los siguientes criterios deben ser explícitos y tienen que evidenciar sus relaciones ante el problema planteado. Su construcción es la parte más creativa del proceso y requiere de un consenso entre todas las partes implicadas en el proceso de decisión. Esto es particularmente válido en el caso de los Proyectos Complejos abordados por equipos multidisciplinarios. Este consiste en modelar el problema de la decisión que se pretende resolver como una jerarquía. Este hecho es una de las principales características del método, de ahí que el término "jerárquico" aparece en su denominación. En la Figura 4, se presenta la forma general que adopta una jerarquía. En el vértice superior de la jerarquía se sitúa la meta u objetivo que se pretende alcanzar. El problema de decisión consiste en elegir la alternativa que mejor contribuye a la consecución de la meta del nivel superior de la jerarquía (Cantillo Romero, 2016)

Figura 3.

Jerarquía en AHP



Fuente. Tomado de Saaty (1980)

- **Establecimiento de Prioridades:**

El objetivo de este paso consiste en construir un vector de prioridades o pesos que evalúa la importancia relativa que la unidad decisora otorga a cada criterio. El problema clave que se plantea en este punto, es responder a cómo se puede asignar un valor numérico a cada criterio que represente, del modo más ajustado posible, la preferencia del decisor de un criterio frente a otro.

El método AHP, utiliza una estrategia de asignación indirecta por la que el decisor sólo tiene que realizar una valoración sobre la importancia del criterio verbalizada en términos cualitativos y después acudir a una escala, que previamente ha sido establecida, para obtener los

valores numéricos que se corresponden con su valoración. Por tanto, como paso previo a la resolución del problema de asignación de pesos, se debe definir la correspondencia entre la valoración cualitativa del decisor y la asignación numérica, la escala sugerida por Saaty es la siguiente:

Tabla 1.

Escala de comparaciones

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Ambos elementos son de igual importancia.	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma.
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio favorece a un elemento por sobre el otro
5	Fuerte importancia de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio favorece fuertemente a un elemento por sobre el otro.
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es de muy fuerte importancia y su dominancia se ha demostrado en la práctica
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es de gran magnitud de diferencia.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Usados como valores de consenso entre dos juicios.
0	No hay relación	Un elemento no contribuye al objetivo
Recíprocos	$a_{ij} = 1/a_{ji}$	Si la actividad i tiene un peso asignado al compararlo con la actividad j, entonces a j le corresponde el recíproco al ser comparado con la actividad i.

Fuente. Saaty, 1980.

Luego el decisor debe establecer las prioridades mediante comparación entre pares y, así, determinar los pesos relativos de los criterios. Los números de la escala representan la proporción en la que uno de los elementos que se consideran en la comparación pareada domina al otro respecto a una propiedad o criterio que tienen en común. El elemento menor tiene el valor recíproco o inverso respecto al mayor, es decir, si x es el número de veces que un elemento domina a otro, entonces este último es $x - 1$ veces dominado por el primero, de tal modo que $x = 1$. Este es el principio del axioma de comparación recíproca que ya ha sido comentado.

Para determinar los pesos de los criterios el decisor, haciendo uso de la escala fundamental, debe construir una matriz R , de tal modo que el término r_{ij} representa la prioridad relativa entre el criterio C_i y el criterio C_j , con respecto a la meta del problema. Este término será mayor, igual o inferior a uno, dependiendo de cuál de los dos criterios sea el más importante para el logro de la meta. La matriz obtenida tiene la siguiente forma:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{21} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Donde $r_{ij} \cdot r_{ji} = 1$. Una Matriz con esta propiedad se denomina matriz recíproca. Para establecer las prioridades de los criterios (w_i), este método emplea los conceptos matemáticos de valor propio (autovalor) y vector propio (autovector).

Si los pesos (w , $i=1, 2, \dots, n$) fueran conocidos, la matriz de comparaciones pareadas tendría la siguiente configuración:

$$W = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Si, se quisiera obtener el vector de pesos a partir de esta matriz, se debe resolver el siguiente sistema de ecuaciones:

$$W * w = \lambda * w$$

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Donde λ es un valor propio de W y w el vector propio asociado. La matriz W tiene una forma especial, además de ser una matriz recíproca, su rango es igual 1 debido a que cada fila es múltiplo constante de la primera. Por ello, esta matriz tiene un único valor propio distinto de cero. Como la suma de los valores propios de una matriz es igual a su traza (suma de los elementos de la diagonal principal) y todos los elementos de la diagonal principal son iguales a 1, puede afirmarse que el único valor propio distinto de cero de W es igual a la dimensión de la matriz, es decir igual a n ($\lambda = n$).

Se puede observar que la suma de los elementos de la matriz de cualquier columna j es igual a:

$$\frac{1}{w_j} \sum_{i=1}^n w_i = \frac{1}{w_j}$$

Por tanto, si se normaliza la matriz W mediante la suma de las columnas, en cada una de ellas se obtiene el vector w , por lo que el promedio de cualquier fila i será igual a w_i . Dado que los pesos no son conocidos y la matriz de comparaciones R , se construye con los juicios del decisor, los que no necesariamente serán totalmente consistentes, la matriz R puede concebirse como una perturbación de la matriz W . Por tanto, puede que posea más de un valor propio distinto de cero. El máximo valor propio (λ_{max}) está asociado a un vector propio z , y se

considera que z es una buena aproximación del vector de prioridades o pesos w . Por tanto, puede escribirse

$$R * \hat{w} = \lambda_{max} * \hat{w}$$

Basado en todos estos conceptos Saaty, propone estimar el vector de pesos (vector propio) aplicando el siguiente procedimiento:

1. Obtener la matriz normalizada (RNorm), dividiendo cada elemento de la columna j -ésima por la suma de todos los elementos de dicha columna:

$$R_{norm} = \left[R_{norm} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \right]$$

2. Estimar el vector de pesos (\hat{w}) calculando el promedio de cada fila de la matriz normalizada. El vector de pesos será igual a:

$$\hat{w} = \left[\hat{w}_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{1jNorm}, \hat{w}_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{2jNorm}, \dots, \hat{w}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ijNorm}, \dots, \hat{w}_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{njNorm} \right]$$

- **Comprobar la consistencia de los juicios**

Si R fuera una matriz completamente consistente¹, entonces el λ_{max} sería igual a n . Sin embargo, el decisor cometerá ciertas inconsistencias en sus juicios y resulta conveniente medir el grado de inconsistencia de los juicios emitidos por el decisor, dado que, si no se ha sido cuidadoso con las valoraciones, el vector de prioridades o pesos obtenidos puede ser poco representativo.

¹ Una matriz es consistente si satisface la condición $r_{ik} \cdot r_{kj} = r_{ij}$

La consistencia se puede medir mediante el índice de consistencia (IC), que tiene la siguiente expresión:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Esta medida puede utilizarse para mejorar la consistencia de los juicios, si se la compara con el número apropiado de la Tabla 2, que recoge el índice de consistencia aleatorio (IA):

Tabla 2.

Índice de consistencia aleatorio (IA) en función de la dimensión de la matriz (n)

N	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404
N	0	10	11	12	13	14	15	16
RI	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

El índice de consistencia aleatorio (IA), se define como el índice de consistencia aleatorio medio obtenido mediante la simulación de 100.000 matrices recíprocas, generadas aleatoriamente utilizando la escala de Saaty (1/9, 1/8, 1, ..., 8, 9) ver Tabla 1.

Si se calcula el cociente entre el índice de consistencia (IC) y el índice de consistencia aleatorio (IA), se obtiene el denominado ratio de consistencia (RC).

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

- Si $RC = 0$, la matriz es consistente.
- Si $RC \leq 0.10$, la matriz R tiene una inconsistencia admisible, lo que significa que se la considera consistente y el vector de pesos obtenidos se admite como válido.
- En caso de que $RC > 0.10$, la inconsistencia es inadmisibile y se aconseja revisar los juicios.

Para calcular el índice de consistencia el valor de λ_{max} , se obtiene de la ecuación:

$$R * \hat{w} = \lambda_{max} \hat{w}$$






Se multiplica la matriz R por el vector \hat{w} y se obtiene un vector columna, luego cada componente de él se divide por las del vector \hat{w} y se genera otro vector columna formado por los valores propios de la matriz R. Se promedian dichos valores y se obtiene λ_{max} .

- **Susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del Río Nuevo Presidente:**

Cada una de las tres partes anteriores, y sus resultados, serán definitivos para medir, de forma general el Grado de susceptibilidad por procesos de remoción en masa de la cuenca del Río Nuevo Presidente y las variables a considerar para el modelamiento son Geología, Unidades Geológicas Superficiales, Geomorfología, Pendientes y Cobertura de la tierra se emplearán en la modelación de la susceptibilidad a movimientos en masa, las ponderaciones se establecieron a partir del proceso analítico jerárquico “AHP” allí se precisan los diferentes elementos, porcentajes y criterios temáticos en orden de importancia a partir de los cuales se obtiene el Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en la Cuenca del Río Nuevo Presidente. Para la obtención de los porcentajes serán ilustrados en su figura correspondiente. Cada elemento refleja los juicios de los expertos y la valoración relativa de cada variable frente a otras variables. Posteriormente se normaliza la matriz en donde se obtendrá las prioridades relativas de las variables de otra manera las ponderaciones para la modelación de susceptibilidad.

Tabla 3.

Tabla de susceptibilidad por procesos de remoción en masa

Escala de Color	Valor Cualitativo
	Muy Alto
	Alto
	Media
	Baja
	Muy Baja

Fuente. Saaty, 1980.

Un análisis de susceptibilidad a procesos de remoción en masa en la zona de estudio antes mencionada, representa el estudio de varios factores tales como geológicos, geomorfológicos, unidades geológicas superficiales, etc. De acuerdo a lo mencionado se precisan los diferentes elementos, porcentajes y criterios temáticos en orden de importancia a partir de los cuales se obtiene el Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en la cuenca del río Nuevo Presidente.

Una vez obtenida la susceptibilidad del terreno debe ser representada cartográficamente en cuatro clases o categorías (baja, media, alta y muy alta). y una vez definida la susceptibilidad, esta se caracteriza con la frecuencia de ocurrencia de los tipos de movimientos en masa analizados. Sin embargo, considerando las limitaciones de información en el presente caso de estudio se empleó una alternativa con base en los métodos heurísticos geomorfológico. Por lo tanto, la categorización de la amenaza por movimientos en masa se basa en descriptores cualitativos que se definen a partir de la aplicación de matrices que relacionan la posibilidad de ocurrencia susceptibilidad con la frecuencia relativa de ocurrencia. SGC. (2017)

Glosario

Teniendo en cuenta la terminología de la política nacional de gestión del riesgo, la 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” y específicamente en el Artículo 4°. Definiciones. Para efectos de la presente ley se entenderá por:

Amenaza: peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (SGC, 2017).

Análisis y evaluación del riesgo: implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación. (Congreso de la Republica, Ley No 1523, 2012).

Deslizamiento: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante. (SGC, 2017).

Vulnerabilidad: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos. (Congreso de la Republica, Ley No 1523, 2012).

Remoción en masa: él término remoción en masa se usa para denotar “el movimiento ladero debajo de una masa de roca, detritos o de suelo”. Sin embargo, se usa indistintamente para mencionar al fenómeno (acción) como al resultado (efecto). Movimiento ladero abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras. (Ministerio de Ambiente, 2004).

Conocimiento del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre. (Congreso de la Republica, Ley No 1523, 2012)

Reducción del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la

intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera. (Congreso de la Republica, Ley No 1523, 2012)

Gestión del riesgo: es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. (Congreso de la Republica, Ley No 1523, 2012)

7. Marco Normativo

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. (Congreso de la Republica, Ley No 1523, 2012).

Ley No 99 de 1993, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. (EL Congreso de Colombia, Ley No 99, 1993)

Decreto 1077 de 2015, Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio” (Ministerio de Vivienda, 2015)

Directiva presidencia No 33 de 1990, Define la prevención de Riesgos como concepto de Planificación. (SNPAD, 1990).

Decreto 1200 de 2004, “Por el cual se determinan los Instrumentos de Planificación Ambiental y se adoptan otras disposiciones” (El Plan de Gestión Ambiental Regional - PGAR y Plan de Acción Trienal -PAT). (Ministerio de Ambiente, 2004).

Resolución 059 de 2021, “Por medio de la cual se adopta el Plan de Acción Integral de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental – CORPONOR para la vigencia 2021”

Plan Estratégico Ambiental Regional CORPONOR (2016 – 2035),

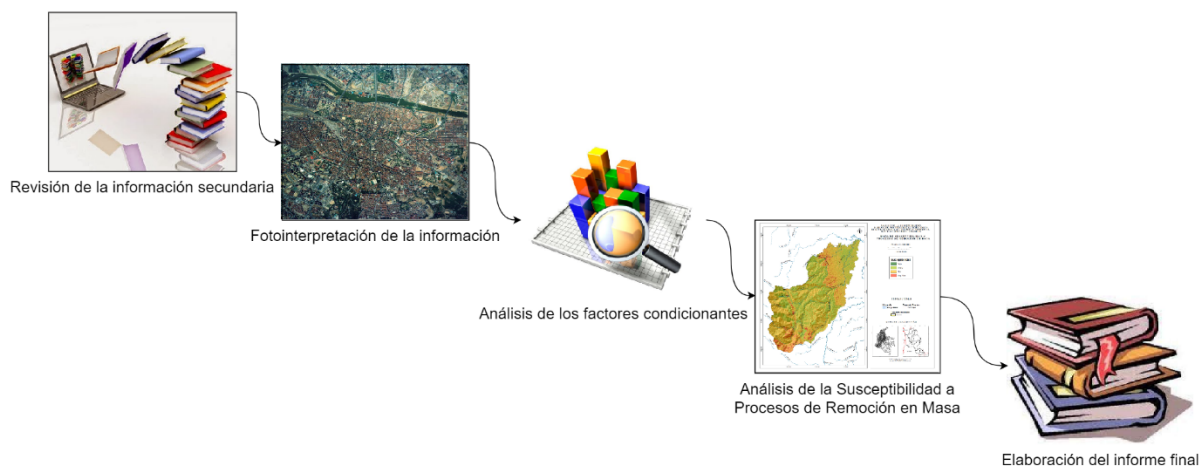
9. Metodología

Para el desarrollo del presente estudio de caso en la cuenca hidrográfica Nuevo Presidente, se llevará a cabo la metodología cualitativa y cuantitativa, debido a que el proceso matemático nos determinará los niveles de susceptibilidad de la cuenca y su proyección cuantitativa a niveles descriptivos.

El diseño metodológico es de tipo experimental, por lo anterior este estudio se divide en las siguientes fases

Figura 4.

Proceso metodológico.



Fuente. Autores.

Primera fase:

En primera instancia se realizará la adquisición y revisión de la información existente en información estratigráfica, estructural, geomorfológica y susceptibilidad a procesos de remoción

en masa en Colombia, énfasis en el Departamento de Norte de Santander, Cuenca del Río Nuevo Presidente, todo lo referente a los factores condicionantes dicha información la obtendremos en artículos científicos, artículos de periódicos, libros digitales, artículos de revistas, monografías de pregrado y posgrado, entre otras. , seguido de esto se adquirirá información de las metodologías existentes para la susceptibilidad por procesos de remoción e masa, lo anterior para soportar de forma argumentativa las variables adecuadas para la cuenca del Río Nuevo Presidente, Norte de Santander.

SEGUNDA FASE:

Se cuenta con la siguiente actividad:

- Fotointerpretación: La información disponible fue contemplada con la fotointerpretación de imágenes satelitales, como la de Sentinel II 2020, Modelos Digital de Elevación – DEM y todos los subproductos procesados del DEM.
- Mapa de Unidades Geológicas Superficiales – UGS: Con base en el mapa estructural del Servicio Geológico, se realiza la refotoiterpretación a escala 1:25000 en la Cuenca del Río Nuevo Presidente, determinando un único mapa de unidades geomorfológicas superficiales fotointerpretado, lo anterior porque no se puede acceder a la zona de estudio.
- Mapa Geomorfológico: Se elabora un mapa de subunidades geomorfológicas fotointerpretado a partir de la información existente, el cual proporciona información fundamente del modelo, relieve o geoformas del terreno con características homogéneas, con énfasis en los procesos morfodinámicos de acuerdo a la Metodología de Carvajal, 2012.

- Mapa de cobertura: Se realizó una aproximación por medio de la fotointerpretación de imágenes satelitales, también basados en información existente
- Mapa de pendientes: Se obtuvo de un subproducto del modelo digital de elevación de Alos Palsar
- Incorporar la información en una base de datos: Teniendo en cuenta los productos anteriormente mencionados, se realiza la aplicación del método heurístico AHP descrito anteriormente en el marco teórico y en la Figura 3. a través un aplicativo GIS.

Tercera fase:

En esta fase, se analizará los factores condicionantes y el análisis de la susceptibilidad por procesos de remoción en masa

Cuarta fase:

Se realizará la documentación pertinente en función de redactar las propuestas, recomendaciones y conclusiones para facilitar el conocimiento ante la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río nuevo presidente.

10. Resultados

Para cumplir con los objetivos planteados se cartografió cada una de las variables, y posteriormente se aplicó la metodología Saaty para los pesos de evidencia o de variables realizando el cruce correspondiente de los factores condicionantes y finalmente obtener el mapa de susceptibilidad. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

10.1 Factores Condicionantes

10.1.1 Geología

10.1.1.1 Geología Regional. La cuenca del Rio Nuevo Presidente se encuentra localizado en una de Las secuencias cretácicas y cenozoicas reposan sobre un basamento metamórfico conformado por la Formación Silgará, una secuencia de rocas de metamorfismo de bajo a medio grado con protolito sedimentario precámbrico y metamorfismo cambro-ordovícico en un ambiente marino poco profundo. De acuerdo al modelo de terrenos de Toussaint (1993), el Terreno Chibcha del cual hace parte la Formación Silgará, aún no se acrecionaba al Bloque Autóctono hasta finales del Paleozoico por el sistema de fallas de Guaicáramo. Así, los sedimentos de la Formación Silgará sufren un metamorfismo de bajo a medio grado durante la Tectogénesis Caledoniana (Ordovícico Tardío – Devónico Temprano) (Toussaint, 1993). A principios del Mesozoico, el denominado Oriente Colombiano (Toussaint, 1993) terrenos Chibcha y Andaquí y Bloque Autóctono acrecionados) ya estaba conformado y es a partir del Triásico que fue sometido a un régimen tectónico de distensión relacionado con la disgregación del supercontinente de Pangea, la apertura del Paleo-Caribe y el inicio de la separación entre Norteamérica y Suramérica. Dicho ambiente facilitó el ascenso de magmas que generaron el

Batolito de Agua Blanca (granito Tipo I de las series calco-alcálicas altas en K a calco-alcálicas altas en K-shoshoníticas de afinidad peraluminica a metaluminica en las rocas menos diferenciadas, formado en un ambiente de arco magmático de margen continental) de edad Triásico Superior- Jurásico inferior ($201 \pm 3,6$ U/Pb) Dicho ambiente distensional facilitó la ocurrencia también de un volcanismo de composición variada (riolitas, dacitas, andesitas, basaltos y abundantes piroclásticas), con carácter subalcalino con tendencia calco alcalina a calcoalcalino alto en K, con edad de 177 a 181 Ma, U/Pb). Igualmente facilitó la génesis de fallas normales y un adelgazamiento general de toda la corteza en varias regiones (Toussaint, 1993). La Formación La Quinta fue depositada, según Clavijo (1994), en un ambiente continental epicontinental, fuertemente influenciada por dicho volcanismo explosivo de intensidad fluctuante. Los depósitos volcánicos y volcanoclasticos y los sedimentos derivados de su remoción, iniciaron el relleno de una paleocuenca (Estrada, 1972; Mojica & Franco, 1992, en Clavijo, 1995). El volcanismo es aéreo en algunos sectores y subaéreo en otros (depósitos de “surge”, presencia de algas en chert). La plancha 77- Campo Dos muestras algunas diferencias en la geología, teniendo como referencia la Falla Catatumbo. Hacia el oeste de la falla aparece el basamento ígneo-metamórfico cubierto por la Formación La Quinta. Hacia el Este de la Falla Catatumbo, aparecen rocas cretáceas y terciarias. Estas diferencias indican que la Falla Catatumbo en el Juratriásico pudo ser un límite Este del Graben o zona de distensión, de tal forma que la Formación La Quinta se depositó al Oeste de este límite, comportándose la Falla Catatumbo como una falla de carácter normal. La actividad volcánica cesa en el Jurásico Medio y queda configurado el basamento sobre el cual se depositan a partir del Cretácico las secuencias sedimentarias presentes de la Cuenca de Catatumbo. Desde el Jurásico Medio hasta el Aptiano no se observa sedimentación alguna en esta área (ausencia de la Formación Rio Negro), ya que

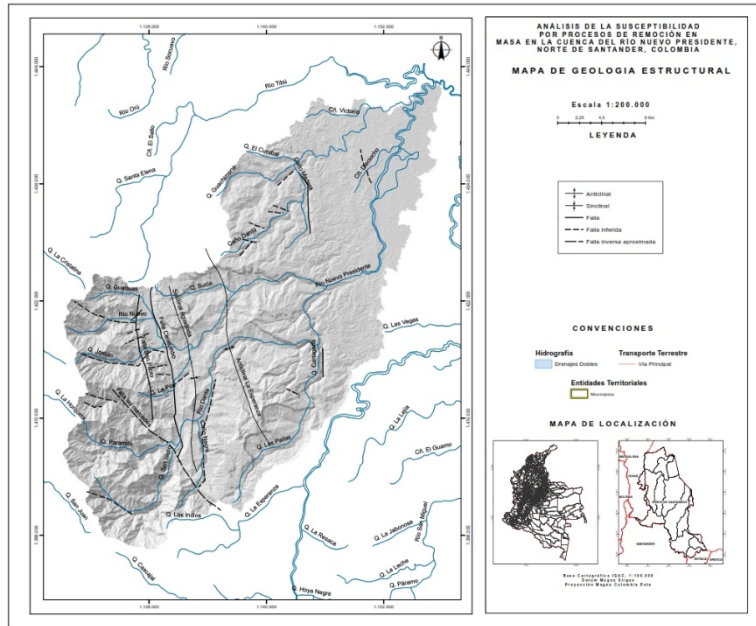
ésta, aún hace parte de un bloque levantado del Macizo de Santander. A partir del Aptiano la transgresión marina llega a la cuenca, dando inicio a la deposición de la Formación Tibú - Mercedes. A partir de entonces quedan unidas las cuencas Maracaibo y río Magdalena (Toussaint, 1996). De acuerdo a Fabre (1984; en Toussaint, 1996), a partir del Albiano inicia un periodo de enfriamiento lento de la litósfera sin movimiento de las fallas normales existentes, lo cual permitió una subsidencia térmica regional que afectó el conjunto del Oriente Colombiano. Durante este periodo se deposita la Formación Aguardiente en un ambiente de plataforma marina interna a media (Toussaint, 1996). Del Coniaciano al Santoniano continúa la transgresión y se deposita la Formación La Luna a una profundidad que ha sido debatida. Boesi et al. (1988, en PDVSA - INTEVEP, 2008) indican profundidades que van de 100 m en el Turoniano hasta aproximadamente 800 m en el Campaniano y mencionan condiciones euxínicas del Turoniano hasta el Santoniano. Algunos niveles de fosfatos aparecieron desde el Turoniano, siendo bastante importantes en ambos lados del Macizo de Santander durante el Coniaciano. En la Cuenca del Catatumbo las fosforitas de Sardinata se encuentran en niveles de areniscas y cherts del techo de la Formación La Luna. Estos depósitos indican condiciones de clima tropical cálido con un aporte de sedimentos muy débil (Catchart y Zambrano, 1967; en Toussaint, 1993). Para el Cenozoico, la geología del área, vuelve nuevamente a mostrar diferencias, todas relacionadas a la Falla Catatumbo. Al este de la misma, se observa la gruesa secuencia de rocas cenozoicas, las cuales incluyen, en su composición, gran cantidad de fragmentos líticos de rocas metamórficas esquistosas e ígneos y de las rocas sedimentarias como chert, indicando proveniencia de la zona Oeste o Macizo de Santander - Serranía de Perijá. E decir, la Falla Catatumbo, cambia nuevamente su movimiento, convirtiéndose en una falla inversa que levanta el Macizo de Santander. - Serranía de Perijá y define el límite más oeste de la Cuenca de Catatumbo (Cuenca

de Maracaibo). En el nuevo ambiente deltaico comienza a sedimentarse la Formación Barco que reposa sobre la Formación Catatumbo. La Formación Los Cuervos recubre la anterior, iniciándose por varias capas de carbón intercaladas con arcillolitas sideríticas y algunas capas de calizas que indican una pequeña transgresión local del mar durante el Paleoceno (Toussaint, 1999). La deposición continua y se consolidan las formaciones Mirador en un ambiente de formación de pantano somero, Formación Carbonera en ambiente costanero bajo con moderada influencia marina a pantano somero, León en un ambiente continental fluvial y continental para la Formación Guayabo. La Orogenia Andina cenozoica reactiva las fallas normales generadas durante la distensión del Triásico, pero esta vez en un régimen compresivo, causando una inversión tectónica que afecta las secuencias sedimentarias cretácicas y cenozoicas. A partir de esta compresión se generan los pliegues al oriente de la Falla Catatumbo (e.g. Sinclinal de Agualinda y Anticlinal la Esperanza) (Siguiete Figura) En los últimos dos millones de años y como resultado de las crecientes máximas de los afluentes importantes del área como el río Tibú, en épocas de fuerte precipitación y gran aporte de material proveniente de las partes altas de las cuencas, se depositó el material aluvial sobre sectores específicos, así como en zonas relativamente planas.

10.1.1.1 Geología Local. El área de estudio se caracteriza por presentar materiales Ígneos a Sedimentarios y cuaternario, conformado por 75% de rocas sedimentarias desde el cretácico al cuaternario de espesor variables. Para la descripción de las unidades geológicas, se toman las descripciones de las memorias de la cartografía geológicas del Servicio Geológico Colombiano.

Figura 5.

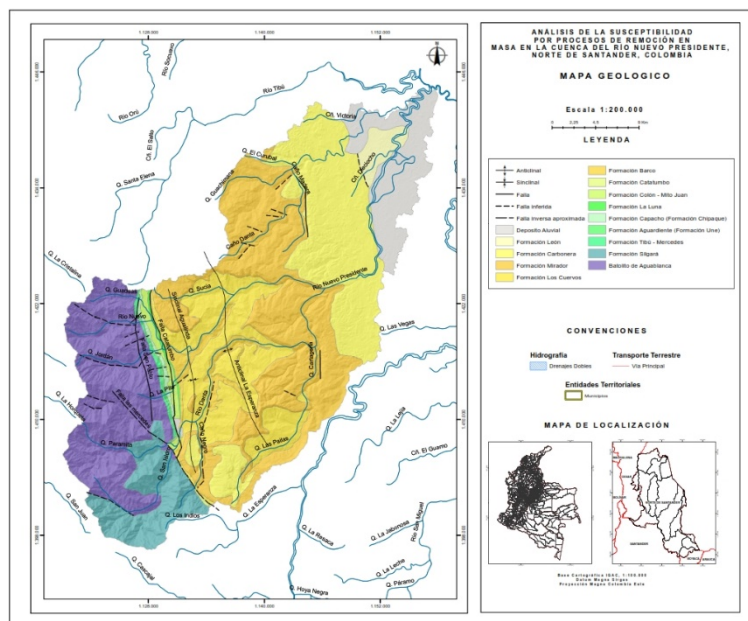
Mapa estructural con el modelo de sombras



Fuente. Autores.

Figura 6.

Mapa Geológico Ajustado a escala 1:25000.



Fuente. Autores.

Las unidades geológicas descritas a continuación son de la memoria del SGC, Plancha 077 (SGC, 2015):

- Depósito aluvial: depósitos no litificados de gravas y bloques en matriz limoarenosa y arcillosa, limos y arenas finas, de color marrón oscuro a amarillento moderado y naranja amarillento oscuro a naranja grisáceo.
- Formación León: lutitas y lodolitas con capas delgadas de areniscas de grano fino; de coloraciones gris amarillento, gris oliva y naranja amarillento oscuro; presentan estratificación fina plano paralela, comúnmente se encuentran lentes decimétricos de lodolita arenosa.
- Formación Carbonera: areniscas de grano fino color naranja amarillento, con matriz lodosa, poco cementadas y friables, intercaladas con lodolitas color gris verdoso y mantos de carbón de hasta 1m de espesor; se presenta estratificación y laminaciones cruzadas. (Van der Hammen, 1957)
- Formación Mirador: areniscas de grano fino a grueso, de composición predominantemente cuarzosa a lítica, con bajo contenido de matriz lodosa, color entre gris claro, naranja amarillento muy pálido a oscuro y marrón claro; con estratificación gruesa plano paralela y cruzada. (Van der Hammen, 1957)
- Formación Los Cuervos: intercalaciones de lodolitas color gris claro a marrón amarillento moderado, laminadas a masivas, con mantos de carbón de espesor variable hasta 1,7 metros hacia la parte inferior de la secuencia; areniscas sublíticas a

cuarzosas de grano fino, color gris claro, con laminillas de carbón milimétricas y discontinuas. (Van der Hammen, 1957)

- Formación Barco: niveles de areniscas color marrón claro a naranja rojizo y lodolitas gris oliva claro, con estratificación paralela y cruzada, ocasionalmente capas delgadas a finas de arcillolitas de color gris medio y delgadas láminas de carbón. (Van der Hammen, 1957)
- Formación Catatumbo: lodolitas silíceas color gris marrón a marrón claro, con fractura concoidea, arcillolitas y en menor proporción cuarzoareniscas muy finas de color negro, gris medio y gris oliva. Localmente lodolitas con nódulos ferruginosos de color marrón oscuro, cuyo diámetro no supera los 3 cm; fósiles de ostrácodos y gasterópodos y algunos niveles con carbonatos. (Van der Hammen, 1957)
- Formación Colon Mito Juan: niveles de lodolitas silíceas de colores negro, gris medio y gris oliva, algunas calcáreas, laminadas, de aspecto pizarroso, en ocasiones con fuerte olor a hidrocarburo o a azufre; arcillolitas y en menor proporción areniscas cuarzosas muy finas, puntualmente nódulos de arcillas ferruginosas de color marrón oscuro y pirita diseminada. (Sutton, 1946; Key, 1960).
- Formación La Luna: intercalaciones de limolitas color gris medio, lutitas negras carbonosas y calcáreas, arcillolitas, calizas y lodolitas bituminosas hacia la parte media y el techo; capas de chert centimétricas hacia la base; concreciones y nódulos calcáreos, centimétricos a decimétricos comunes en la secuencia.
- Formación Capacho: lodolitas, lodolitas arenosas y areniscas lodosas de grano fino a muy fino, color negro a gris oscuro y gris marrón por presencia de óxidos de hierro,

competentes, con ocasionales láminas de material carbonoso, partición en lajas.

(INGRAIN - ANH, 2012).

- Formación Aguardiente: areniscas líticas glauconíticas de grano grueso, en una matriz lodosa, con coloración gris verdoso oscuro, estratificación plano paralela y con costras de óxidos de hierro en los planos de estratificación. (Notestein et al., 1944).
- Formación Tibú Mercedes: capas medias de lodolitas y lodolitas carbonosas color marrón grisáceo y fractura concoidea; calizas arenosas de color gris , con fósiles, fragmentos de ostras, densas, los fósiles son fragmentos de ostras; interestratificadas con lodolitas grises oscuras, calcáreas con calcos de carga, pirita diseminada. (Van der Hammen, 1951).
- Batolito de Aguablanca: granito a granodiorita, inequigranulares hipidiomórficas de grano grueso a muy grueso, compuestas por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y hornblenda; monzogranitos con tonalidades verde grisáceo a gris verdoso claro, equigranulares; gabros inequigranulares, color verde grisoso. (González et al., 2015).
- Formación Silgará: esquistos moscovíticos con tonalidades blanco, gris verdoso oscuro, ocasionalmente con pirita diseminada y vetas de cuarzo. Mojica & Villarroel , 1984).

10.1.1.2 Geología Estructural. Así mismo como en la geología local, se ajustó a 1:25000, se realizó para la geología estructural, y determinando los nombres bajo la memoria de la plancha 077 de campo dos:

10.1.1.2.1 Fallas

- Falla Catatumbo: Con una longitud más de 70 km de largo, con buzamiento al oeste, casi vertical, y movimiento dextral, los pliegues La Esperanza y Agualinda, asociados con la compresión lo genera el cabalgamiento de la Falla Catatumbo, dando como origen al plegamiento en el costado este de la falla por lo cual se conoce como Flexura del Catatumbo. En dicho costado de la falla, los buzamientos se incrementan rápidamente hasta 50° y 70° aunque disminuyen hacia el este. La unidad más afectada es la Formación Catatumbo, cuyo espesor aumenta, posiblemente por efectos de la falla. Hacia el Norte, corta la Formación Barco causando mayor exposición en superficie de la misma. (SGC, 2015).
- Falla Las Mercedes: Definida por Notestein et al. (1944), Suescún (1967), aparentemente conforma un sistema con la Falla Catatumbo, tiene na dirección N40°W, con longitud aproximada de la 14km en la Plancha 077.

10.1.1.2.2 Pliegues

- Anticlinal La Esperanza: Pliegue levemente asimétrico, con buzamientos suaves en ambos flancos y cabeceo hacia el Norte, cuya porción ubicada al Este del poblado Las Mercedes y se conoce como el Domo Las Mercedes. Esta estructura fue descrita por Notestein et al. (1944). (SGC, 2015).

- Sinclinal de Agualinda: El Sinclinal de Agualinda es una estructura paralela al anticlinal La Esperanza, cuyo eje tiene dirección norte-sur y pasa al Este de los poblados Las Mercedes y Luis Vero, afectando rocas de las formaciones Los Cuervos, Mirador y Carbonera (Suescún, 1967). Corresponde a la flexura de arrastre ubicada justo al Este de la Falla Catatumbo. Los buzamientos de los flancos son suaves, por lo tanto no presenta una fuerte expresión geomorfológica. (SGC, 2015)

10.1.2 Unidades Geológicas Superficiales

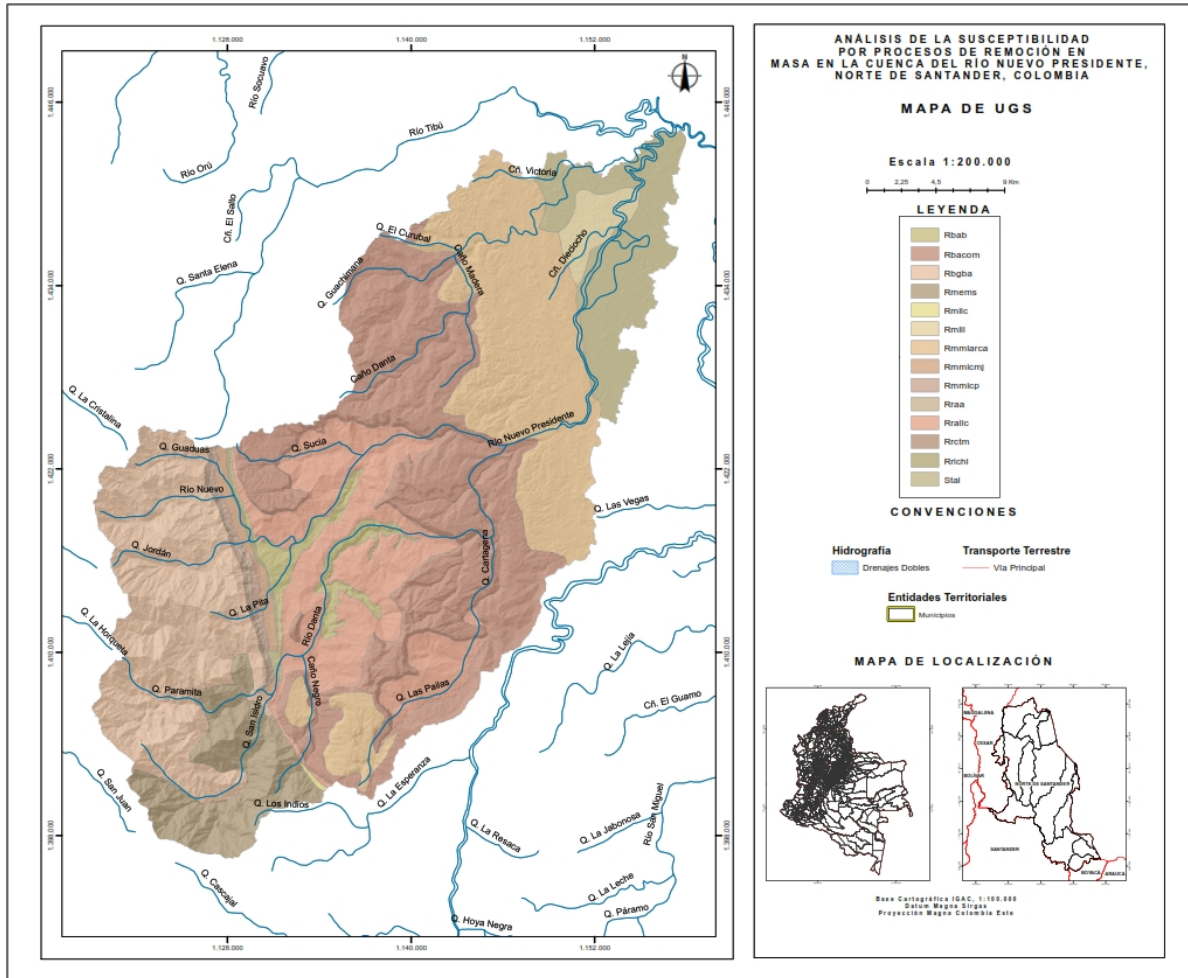
El mapa de unidades geológicas superficiales para esta investigación será escala 1:25000, utilizando la Guía metodológica para la zonificación de amenazas por movimientos de masa en escala 1:25000 (SGC, 2017). Para llevar a cabo el mapa, primero se realiza una recopilación de información que incluye caracterizaciones aledañas a la cuenca así mismo en la cuenca del Río Nuevo Presidente, por la cual se encuentra la geología 100k de la plancha 077 – Campo Dos, y el mapa de amenazas de la misma plancha.

Por otra parte se descargó el modelo digital de elevación de 12,5 metros de Alos Palsar con el cual se generó el modelo de sombras, Pendientes y base cartográfica 1:25000, posteriormente se realizó la definición de los nombres de las Unidades geológicas superficiales bajo la descripción de la guía metodológica del SGC- (SGC, 2017) teniendo en cuenta la información primaria como secundaria.

A continuación, se describe de forma somera de las unidades geológicas superficiales que afloran en la zona de estudio.

Figura 7.

Mapa de Unidades Geológicas Superficiales a escala 1:25000



Fuente. Autores.

Nombre de la UGS	Simbología UGS	Área m2	Porcentaje
Suelo transportado de aluvial	Stal	502612664	35,98894836

Nombre de la UGS	Simbología UGS	Área m2	Porcentaje
Roca de muy mala calidad de lodolitas de la Formación Capacho (Formación Chipaque)	Rmmlcp	4758381,38	0,340717921
Roca de muy mala calidad de lodolitas de la Formación Colón - Mito Juan	Rmmlcmj	9696100,4	0,694277088
Roca de muy mala calidad de lodolitas y arcillolitas de la Formación Carbonera	Rmmlarca	191956524	13,74480572
Roca de mala calidad de esquistos moscovísticos de la Formación Silgará	Rmems	68633826,1	4,914438893
Roca de mala calidad de lodolitas y lutitas de la Formación León	Rmlll	16575874,4	1,186894664
Roca de mala calidad de lutitas y lodolitas de la Formación Catatumbo	Rmllc	633986,12	0,04539578
Roca de regular calidad de areniscas de la Formación Aguardiente (Formación Une)	Rraa	2254003,62	0,161395097
Roca de regular calidad de calizas de la Formación Tibú - Mercedes	Rrectm	3972872,5	0,284472544
Roca de regular calidad de areniscas y lodolitas de la Formación Los Cuervos	Rrallc	139523826	9,990428297
Roca de regular calidad de lodolitas y cherts de la Formación La Luna	Rrlchl	2803335,29	0,200729302
Roca de buena calidad de granito del Batolito de Aguablanca	Rbgba	171014775	12,24529814
Roca de buena calidad de areniscas y conglomerados de la Formación Mirador	Rbacom	257730988	18,45450361
Roca de buena calidad de areniscas de la Formación Barco	Rbab	24407866	1,747694582
TOTAL		1396575023	100

Fuente. Autores.

Debido a que la zona de se encuentra en una zona roja (grupos armados al margen de la ley), no se puede verificar la información de fotointerpretación realizada por los autores de esta investigación.

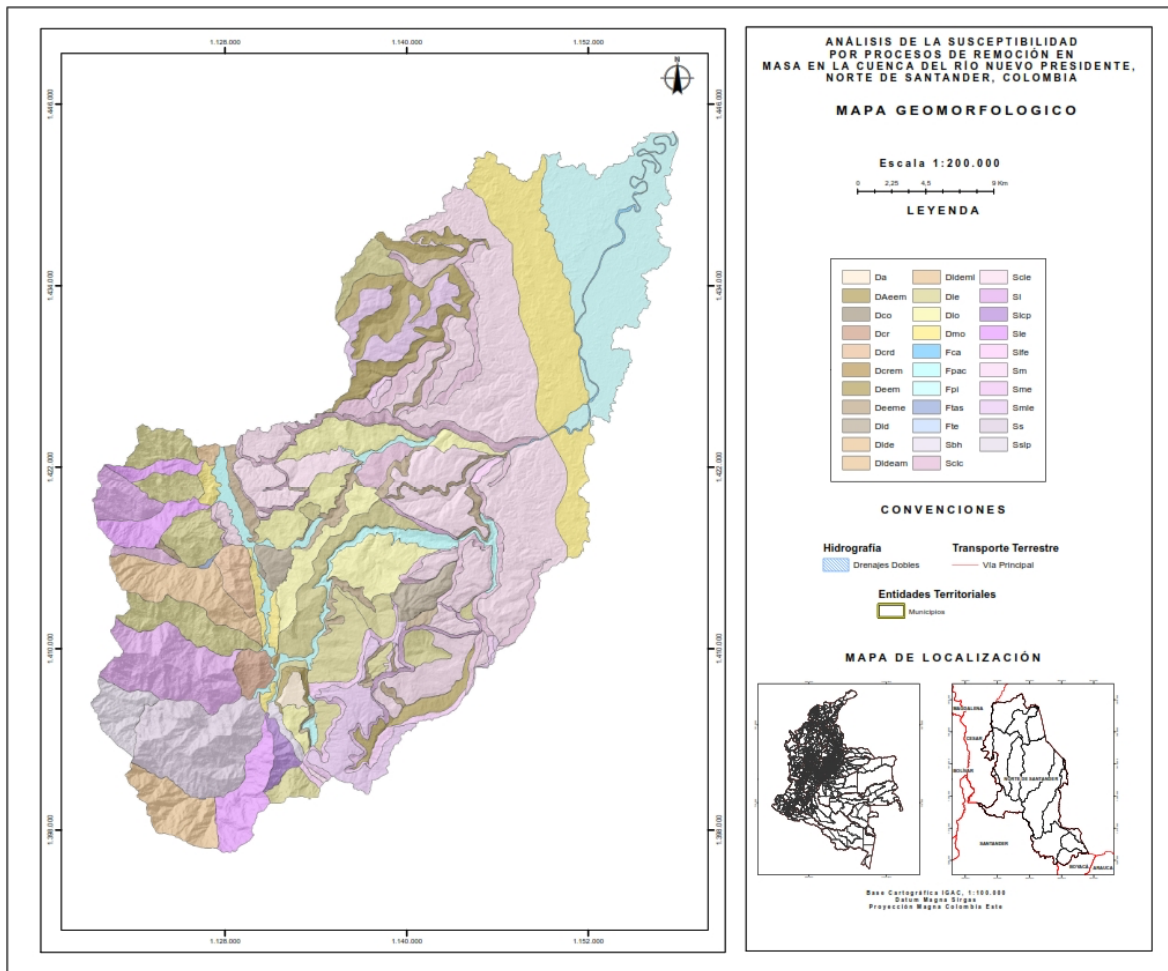
10.1.3 Geomorfología

El área de influencia está constituida principalmente por rocas sedimentarias y un porcentaje menor de materiales volcánicos, adicionalmente por depósitos aluviales, con geoformas planas a colinadas, de bajas pendientes a altas y disectadas a continuación se describe las subunidades geomorfológicas a escala 1:25000.

10.1.3.1 Subunidades geomorfológicas. Se describen las subunidades geomorfológicas fotointerpretadas a partir del modelo digital de elevación y cuyo mapa resultante se puede ver a continuación

Figura 8.

Mapa de subunidades geomorfológicas a escala 1:25000.



Fuente. Autores.

Las descripciones de cada una de las subunidades geomorfológicas fueron tomadas del Anexo 2AGlosario geomorfológico-2016 de la Guía Metodológica para estudios de Amenaza, vulnerabilidad y Riesgos por Movimientos en masa (SGC, 2016) en función de lo anterior se eliminará la descripción ya que sería una repetición de la información por lo que no hubo control de campo para verificar la fotointerpretación

Tabla 4

Subunidades geomorfológicas en la zona de estudio

Ambiente	Simbología	Subunidad geomorfológica	Area	Porcentaje
Denudacional	Da	Altiplano	2944433,87	0,131539733
	Dcrem	Cerro remanente o relicto	307745,431	0,013748229
	Dcr	Colina residual	6256782,16	0,279515687
	Dcrd	Colina residual disectada	8077577,66	0,360857963
	Dco	Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión	275627,775	0,012313404
	Deem	Escarpe de erosión mayor	35512106,9	1,586469002
	DAeem	Escarpe de erosión mayor de altiplano	2162486,97	0,096607012
	Deeme	Escarpe de erosión menor	813703792	36,35142928
	Dle	Ladera erosiva	98711482,8	4,409839943
	Dlo	Ladera ondulada	62192659,6	2,778396869
	Dld	Loma denudada	12733483	0,568856029
	Dlde	Lomo denudado	1566681,91	0,069989998
	Dldeam	Lomo denudado alto de longitud media	23419796,8	1,046256751
	Dldeml	Lomo denudado moderado de longitud larga	17742400,4	0,792624562
	Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	82034782,2	3,664824486
Fluvial	Ftas	Terraza de acumulación subreciente	350712,91	0,01566776
	Fte	Terraza de erosión	174382,876	0,007790386
	Fca	Cauce aluvial	3298344,44	0,147350345
	Fpac	Planicie aluvial confinada	25078574,7	1,120361049
	Fpi	Plano o llanura de inundación	89868952,1	4,014808444
Estructural	Sbh	Barra homoclinal	2305327,48	0,102988274
	Slfe	Escarpe de línea de falla	6463029,77	0,288729599
	Sme	Escarpe de meseta	16960078,3	0,757675079
	Sle	Ladera estructural	31205712,7	1,394085009
	Scle	Ladera estructural de cuesta	720897250	32,20538684
	Slcp	Ladera contrapendiente	4906841,15	0,219208378
	Scle	Ladera de contrapendiente de cuesta	49460102,4	2,209582199
	Sl	Lomos	44764776,8	1,999823073
	Sm	Meseta estructural	2239602,36	0,100052068

Ambiente	Simbologia	Subunidad geomorfologica	Area	Porcentaje
	Ss	Sierra	43051584	1,923287843
	Sslp	Sierra y lomos de presión	11303921,9	0,504991768
	Smle	Superficie tabular de meseta	18465826,8	0,82494294
		TOTAL	2238436861	100

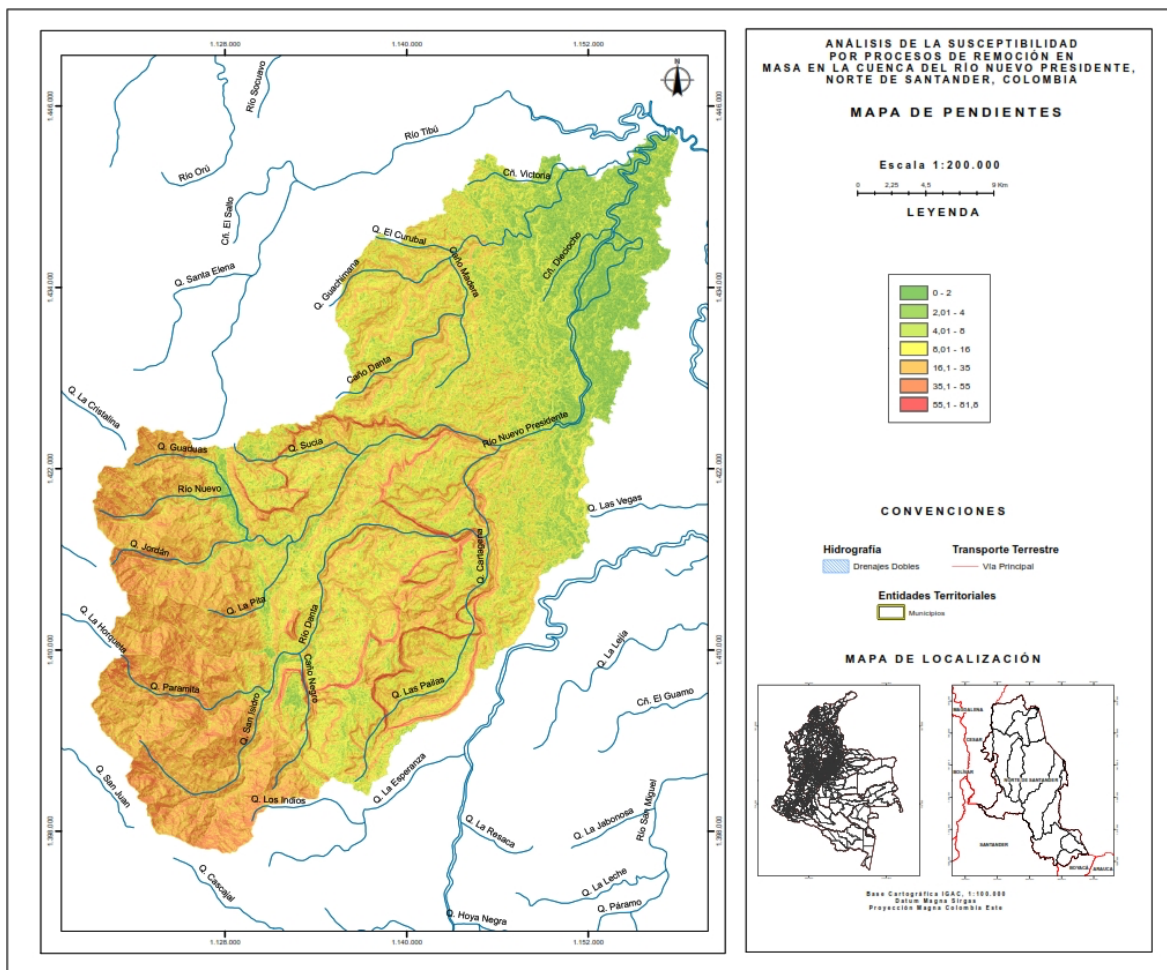
Fuente. Autores.

10.1.4 Pendientes

Representa la inclinación del terreno natural, para los términos de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, a mayor pendiente mayor susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

Figura 9.

Mapa de Pendientes a escala 1:25000.



Fuente. Autores.

De forma general se observa que la pendiente suave pertenece a la parte baja de la cuenca del Río Nuevo Presidente correspondiente a la parte del depósito aluvial, las pendientes moderadas a la parte denudacional- estructural correspondiendo a la parte media de la cuenca y las pendientes altas a la parte alta de la cuenca

Tabla 5.

Pendiente y su clasificación

Procesos característicos y condiciones del terreno	Pendiente (° Grados)	Área (m ²)	Porcentaje
Plano a casi plano. No hay denudación apreciable.	0 – 2	203068	3,29323046
Suavemente inclinado. Movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones periglaciares (soliflucción) y fluviales (erosión laminar y en surcos). Susceptible a desarrollar procesos erosivos.	2 – 4	425737	6,90433774
Inclinado. Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos.	4 – 8	1030208	16,7072723
Moderadamente abrupto. Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente soliflucción periglacial, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptible a erosión y deslizamientos.	8 – 16	1789103	29,0145592
Abrupto. Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos.	16 – 35	2162143	35,0642897
Muy abrupto. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.	35 – 55	516407	8,37476738
Extremadamente abrupto. Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente “denudación de escarpe”; susceptible a rodamiento de rocas.	> 55	39559	0,64154325

TOTAL	6166225	100
--------------	---------	-----

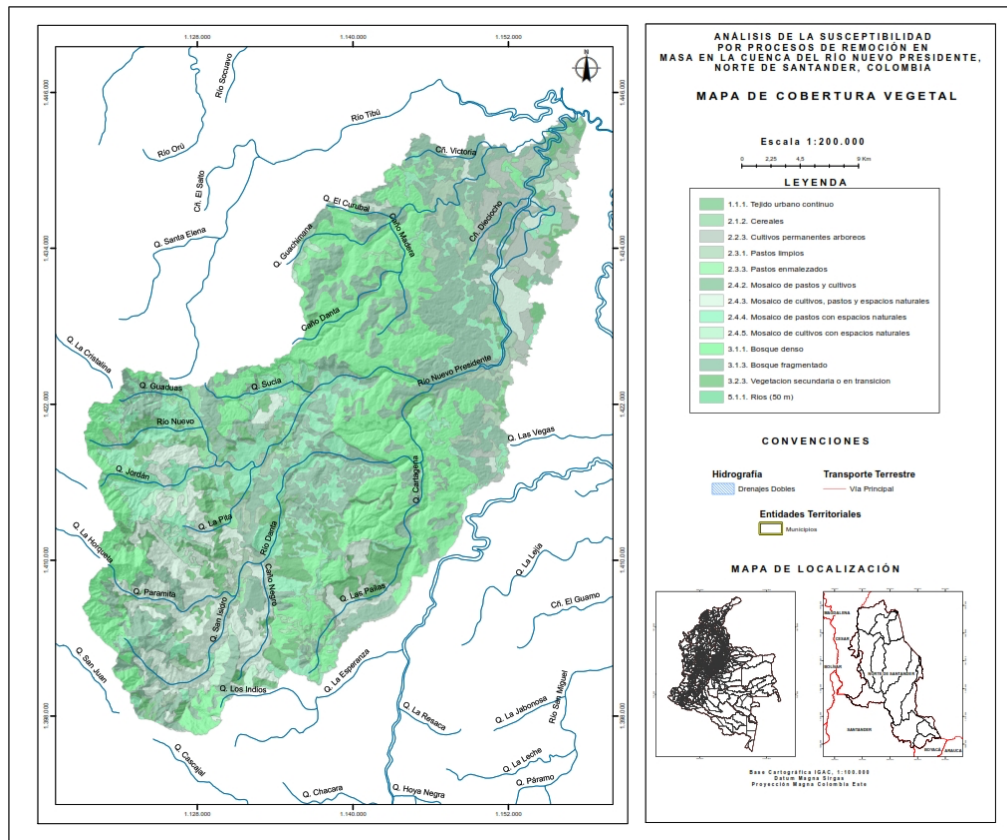
Fuente: Tomado de van Zuidam (1986), SGC 2017 Modificado para el área de estudio.

10.1.5 Cobertura de la tierra

Las importantes en la ocurrencia de movimientos en masa es el cambio en la cobertura de la tierra, en general son considerados factores estáticos dentro de los análisis de amenaza y pueden ser incluidos como capas de información independientes que representan las condiciones actuales de vegetación o la dinámica antrópica dentro del territorio (van Westen et al., 2008). Con base en la información disponible en el SIG de Norte de Santander y con interpretación fotogeológica la cobertura se distribuye de la siguiente Manera.

Figura 10.

Mapa de Cobertura Vegetal a escala 1:25000.



Fuente. Autores.

10.2 Análisis de la Susceptibilidad

Para calcular el mapa de susceptibilidad por procesos de remoción en masa se empleará las diferentes variables o actores condicionantes como lo son la geología, geomorfología, cobertura vegetal y pendientes. Donde se aplicó un análisis multicriterio a partir del método AHP mencionado en el marco teórico donde se involucra todos los actores condicionantes y se establecen las priorizaciones y combinaciones pertinentes de acuerdo a reglas de decisiones específicas que han sido implementados en los SIG.

La susceptibilidad a procesos de remoción en masa se aplica los porcentajes de acuerdo a la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2013). Ver anexo 1.

Tabla 6.

Pesos establecidos para cada variable

Atributo	Pendiente	UGS	Geomorfología	COB VEG/USO	Peso
Pendiente	0,38	0,38	0,41	0,30	0,36
UGS	0,38	0,38	0,41	0,30	0,36
Geomorfología	0,13	0,13	0,14	0,30	0,17
COB VEG/USO	0,13	0,13	0,05	0,10	0,10
Sumatoria	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente. Autores.

Para el objetivo 2 se obtuvieron los siguientes resultados, de acuerdo a la articulación en la descripción del problema planteado y el énfasis en el análisis de susceptibilidad por procesos de remoción en masa se deduce que existe información, pero a escalas 1:1'000.000 o 1:100.000 referente a los análisis de susceptibilidad por procesos de remoción en masa, lo cual permite observar un déficit en este ámbito a escala un poco más detallada como se observó en la Figura 2.

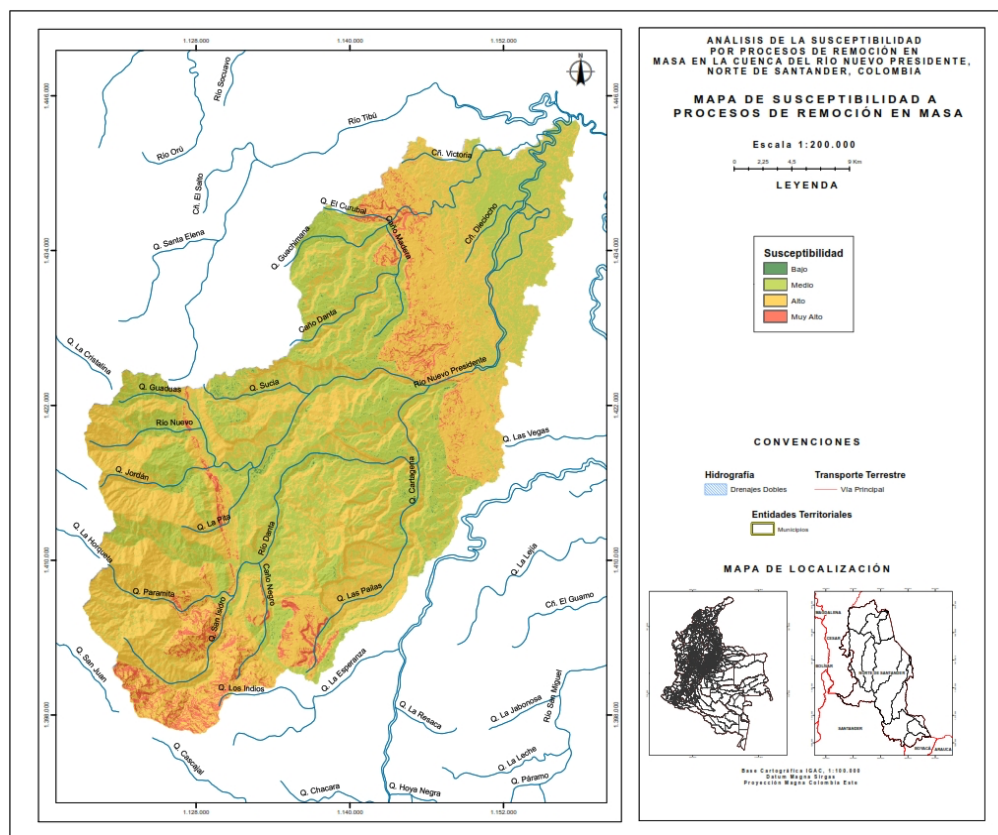
Adicionalmente, la cuenca del Rio Nuevo Presidente, Norte de Santander cuenta con una población étnica vulnerable (Social y armada) y se hace necesario realizar una investigación de este tipo con el fin de crear conocimiento acerca de este tema en particular y existe una probabilidad de un desastre en esta localidad ocasionado múltiples eventos.

Dando respuesta a la siguiente incógnita, ¿Cuál es la susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa para la Cuenca del Río Nuevo Presidente, Norte de Santander, Corregimiento Las Mercedes, Sardinata y Municipio de Tibú en el Departamento Norte de Santander?

Se determina que en la cuenca del Río Nuevo presidente existe un alta probabilidad se genere un proceso de remoción en masa en la parte alta de la cuenca y la media baja, por las condiciones geoambientales existentes como se observa en la siguiente figura:

Figura 11.

Mapa de Susceptibilidad a procesos de remoción en masa a escala 1:25000.



Fuente. Autores.

Haciendo un análisis comparativo entre la susceptibilidad del sector a 1:100.000 realizada por el SGC y la 1:25000 del presente trabajo investigativo, se deduce que la aplicación de la metodología heurística sirve para discriminar algunas áreas sobrevaloradas a producirse un proceso de remoción en masa como lo es parte baja de la cuenca que casi es plana y presentaba un alto índice de susceptibilidad. En base lo anterior la comunidad podrá tener una aproximación más cerca a la probabilidad de un posible evento de este tipo.

11. Conclusiones

Esta investigación es relevante para la comunidad de Tibú, debido a que no se evidencian estudios al detalle acerca de la Susceptibilidad por Procesos de Remoción en Masa a escalas menores a la 100.000.

El presente trabajo servirá como insumo primordial para llegar a la siguiente etapa y sería la combinación de los factores detonantes lluvia y sismo para ayudar a mejorar el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Tibú y Sardinata, así como información de la Corporación Autónoma Regional de Norte de Santander (CORPONOR).

La metodología heurística del SGC (2015) basado en el método jerárquico priorizado-AHP Saaty (1980), permite realizar un modelo de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa en territorios de poco acceso por zonas de conflicto armado, permitirá dar una aproximación más cerca a la realidad del terreno y así mismo el conocimiento de este a la población y así disminuir la vulnerabilidad.

La cuenca del río nuevo presidente está distribuido de la siguiente manera: en primera instancia no existe susceptibilidad muy baja, es decir, su porcentaje es 0% y evidentemente el área sería de 0 Ha, hay un 0.8869 % de susceptibilidad baja con un área de 856,839 Ha, un 38.08 % de susceptibilidad media con un área de 36789,494 Ha, susceptibilidad alta de 56.19 % con un área de 54283,5 Ha y muy alta en 4.83% con un área de 4673,9 Ha.

Para el detonante sismo se recomienda buscar diferentes metodologías para la aplicación de sismo, puesto que en registros históricos dentro de la cuenca hay poca información y el mapa de la NSR del SGC marca todo como zona sísmica alta, con respecto a lo anterior se debe tener cuidado para el modelamiento de la amenaza.

No hay información digital dentro los consejos municipales de gestión de riesgo y la información física aparentemente es de difícil acceso, de igual manera no existen mapas de susceptibilidad, amenazas y por lo anterior esta investigación dará una noción de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa para la cuenca y para las habitantes del corregimiento de las Mercedes.

12. Recomendaciones

En el momento que se realizó la recopilación y análisis de la información se determina que hay pocas estaciones meteorológicas y los datos no están completos por lo cual hay que tener cuidado en el momento de usarlo para la modelación de la amenaza en un futuro.

Las personas se beneficiarán porque van a aumentar el conocimiento con respecto a su entorno y sabrán que zonas son susceptibles a procesos de remoción en masa.

Se recomienda la aplicación de la metodología heurística solamente en las zonas de difícil acceso para la toma de datos primarios sean de campo o de sensores remotos de alta calidad o de conflicto armado para diferentes partes del territorio colombiano.

Debido a la alta susceptibilidad que presenta la cuenca, se recomienda la reforestación de bosques altos y densos, limpieza de los drenajes, y evitar las quemadas.

Referencias Bibliográficas

- Cantillo Romero, J. (2016). *Revisión de la Aplicación de la Metodología de Amenaza Relativa a Movimientos en Masa del SGC a escala 1:100.000 en la plancha 118 – San Francisco.*
- Congreso de la Republica. (24 de Abril de 2012). *Ley No 1523.* Bogotá.
- Contraloria General , D. (s.f.). *Informe preliminar ambiental de la Gestión de Riesgo y Desastres en los 39 municipios sujetos de control, de la Contraloría General del Departamento Norte de Santander.*
- EL Congreso de Colombia. (1993). *Ley No 99.*
- IGAC. (2016). *Tibú, Municipio del Norte de Santander en donde renacerá la paz.* Obtenido de <https://www.igac.gov.co/es/noticias/tibu-municipio-del-norte-de-santander-en-donde-renacera-la-paz#:~:text=La%20topograf%C3%ADa%20del%20terreno%20es,Tib%C3%BA%2C%20Chiquito%20y%20Nuevo%20Presidente.>
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2004). *Decreto No 1200.*
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2015). *Decreto No 1077.*
- Mora Chincilla, R., Chaves Gamboa, J., & Vasques Fernández, M. (2002). *Zonificación de la suceptibilidad al deslizamiento : Resultados obtenidos para la península de Papagayo mediante la modificación del método Mora - Vahrson.*
- NASA. (s.f.). *Landslide Reporter: Reportero de Deslizamientos de Tierra.*
- OSORIO GÓMEZ, J. C., & OREJUELA CABRERA, J. P. (2008). EL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) Y LA TOMA DE DECISIONES

MULTICRITERIO.EJEMPLO DE APLICACIÓN. *Scientia et Technica*, 247-252.

Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920503044.pdf>

SGC. (2013). *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100000 V 2*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

SGC. (2015). *MEMORIA EXPLICATIVA DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000. PLANCHA 077 - CAMPO DOS*.

SGC. (2016). *Guía Metodológica para estudios de Amenaza, vulnerabilidad y Riesgos por Movimientos en masa*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

SGC. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenazas por movimientos en masa escala 1:25000*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

SNPAD, S. N. (1990). *Directiva Presidencial No 33*.

Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson.