

**IDENTIFICACION DE ZONAS DE AMENAZA PRODUCTO DE LA DISOLUCION
DE ROCAS CON CONTENIDO CALCÁREO EN EL MUNICIPIO DE SAN
VICENTE DE CHUCURÍ - SANTANDER**



**WENDY JAHEL CABALLERO MALAVER
CÓDIGO: 7303539**

Trabajo Final Diplomado S.I.G. Para Optar Por El Título De:

Ingeniera Civil

Tutor:

Geol. M.Sc. CARLOS MARCELO JARAMILLO ECHEVERRY

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA, DICIEMBRE DE 2021**

TABLA DE CONTENIDO

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2.	JUSTIFICACIÓN	6
3.	OBJETIVO GENERAL.....	8
4.	MARCO REFERENCIAL.....	9
4.1	GEOLOGÍA	9
4.2	GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA	10
4.3	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	13
4.4	AMENAZA	14
4.5	ESTUDIOS PREVIOS	15
4.6	GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	18
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	21
6.	RESULTADOS.....	27
7.	IMPACTO	39
8.	CONCLUSIONES	41
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo genético para el desarrollo de dolinas. Fuente: (Heidari <i>et al.</i>, 2011).....	12
Figura 2. Localización del municipio de San Vicente de Chucurí en el territorio colombiano. Fuente: (Información General de San Vicente de Chucurí, n.d.).	19
Figura 3. Imagen del área urbana municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente (San Vicente de Chucurí, Santander, n.d.).	20
Figura 4. Zonificación de la amenaza. Fuente: Autor, 2021	26
Figura 5. Mapa de amenazas según geología municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente: Autor, 2021	28
Figura 6. Mapa de amenazas según Suelos municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente: Autor, 2021	30
Figura 7. Mapa de amenazas según Clima municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente: Autor, 2021	32
Figura 8. Mapa de amenazas según Pendientes municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente: Autor, 2021	34
Figura 9. Mapa de amenazas según Rocas con contenido calcáreo municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente: Autor, 2021	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ponderación de valores para evaluación de la amenaza según características geológicas.....	23
Tabla 2. Ponderación de valores para evaluación de la amenaza según características del suelo.....	23
Tabla 3. Ponderación de valores para evaluación de la amenaza según características climáticas.....	24
Tabla 4. Ponderación de valores para evaluación de la amenaza según características de la pendiente del relieve.	24
Tabla 5. Clasificación de la amenaza por disolución de rocas calcáreas.....	25
Tabla 6. Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos según geología en el municipio de San Vicente de Chucurí.	29
Tabla 7. Categorización sistema vial según IGAC.....	29
Tabla 8. Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos según suelos en el municipio de San Vicente de Chucurí.....	31
Tabla 9. Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos según Clima en el municipio de San Vicente de Chucurí.....	33
Tabla 10.Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos según pendientes en el municipio de San Vicente de Chucurí.....	34
Tabla 11 .Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos en el municipio de San Vicente de Chucurí.....	38

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos calcáreos presentan cambios en sus características físicas y químicas debido al proceso de disolución química que ocurre cuando entra en contacto con el agua. Estos cambios suceden de manera imperceptible en el subsuelo dando lugar al hundimiento repentino del suelo en formas cónicas más conocidas como dolinas que pueden alcanzar profundidades y diámetros que van desde metros hasta kilómetros. Otro fenómeno de riesgo que se puede presentar en estas zonas es el intercambio inmediato de aguas superficiales con aguas subterráneas, generando la contaminación de aguas subterráneas por aguas superficiales que son captadas para el consumo humano.

En Colombia no se han reportado accidentes de este tipo, pero es bien conocido el gran potencial de yacimientos con estas características distribuidos a lo largo del territorio nacional (Vaca et al., 2012), lo que lo convierte en una amenaza inminente para la sociedad. El municipio de San Vicente de Chucurí ubicado en el departamento de Santander se caracteriza geológicamente por tener en sus formaciones geológicas rocas con presencia de carbonato de calcio evidenciado en afloramientos que se exponen sobre las vías rurales de las cabeceras del municipio en inmediaciones de la cordillera oriental, algunas de ellas con litologías como shales con yeso, calizas, lutitas calcáreas y arcillolitas calcáreas. Como resultado de este tipo de suelos se han formado las llamadas dolinas las cuales no

son más que hundimientos intempestivos que ocurren en el suelo gracias a la acción del agua al entrar en contacto con las rocas carbonáticas como se mencionó anteriormente. Una manifestación de lo anterior tiene lugar en la caverna conocida como “Hoyo Malo” con una profundidad de 138 m aproximadamente, en cercanías de los lugares conocidos como “Arenales”, entre “Brisas” y “Puente Murcia” sobre la carretera que de San Vicente conduce a El Carmen. (periodico El Nacional, 1989). Lo anterior es el resultado de los procesos de disolución que ocurren al interior del subsuelo, convirtiendo suelos que un día fueron consolidados, en inestables que terminan en hundimientos repentinos que arrasan con todo lo que los suprayace, como viviendas, cultivos e infraestructura en general.

Como se podrían prevenir este tipo de acontecimientos sin que se vea afectada la población e infraestructura en las comunidades, ¿Es posible predecir la distribución de los suelos con características calcáreas en el municipio de san Vicente de Chucuri?

2. JUSTIFICACIÓN

El conocimiento de la composición de las rocas sobre los cuales se desarrollan las regiones es indispensable para asegurar el bienestar de las mismas, ya que su desconocimiento puede desencadenar situaciones de amenaza para la sociedad, tal es el caso de las zonas donde el subsuelo está compuesto por suelos kársticos que al tener contacto con el agua se genera su solubilidad.

Debido a la condición de sus suelos, el municipio de San Vicente de Chucurí puede verse afectado por las características disolutivas de las rocas carbonatadas; la zona urbana del municipio, las vías de comunicación, los cultivos (capital cacaotera de Colombia) y demás obras de infraestructura existentes o terrenos próximos a desarrollarse, pueden tener problemas de inestabilidad reflejándose con el paso del tiempo, por estar asentados sobre suelos que presentan propiedades físicas y químicas aptas para la presencia de fenómenos de disolución.

Este tipo de rocas requieren de un manejo especial desde el punto de vista social, ingenieril, junto con otras ciencias como la geología, las cuales tienen que ver con cómo y dónde se planifica la infraestructura de los territorios. En cuanto a lo social se requiere de un proceso de adaptación de las comunidades frente a este tipo de fenómenos.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica permitirá conocer la distribución de estos suelos en el municipio y así catalogar el tipo de amenaza (baja, media o alta) según sus atributos y de esta manera obtener un insumo más para la planificación del territorio del municipal, a partir de información existente. Una vez obtenida la zonificación es posible realizar otros estudios detallados como hidrológicos, geotécnicos, geofísicos entre otros que permitan predecir el comportamiento de estos suelos en el tiempo.

3.

4. OBJETIVO GENERAL

Generar un mapa de amenaza por disolución de rocas calcáreas en el municipio de San Vicente de Chucurí – Santander, mediante el procesamiento de la información existente por medio del uso de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica), para identificar las zonas donde existen rocas con presencia de carbonato de calcio.

Objetivos Específicos

- Recopilar toda la información concerniente al estudio de rocas calcáreas en la zona de interés y estudio realizados en otros partes del mundo que involucren dicha problemática.
- Adquisición de la data a procesar en el SIG de los diferentes entes nacionales encargados (IGAC, SGC, IDEAM) relacionada con geología, suelos y clima.
- Proponer una metodología a partir del uso del SIG para evaluar las zonas con rocas con contenido calcáreas.
- Revisar cómo afecta el nivel de amenaza a la población urbana, rural e infraestructura vial del municipio de San Vicente de Chucuri.

5. 4.MARCO REFERENCIAL

A continuación, se presentan algunos conceptos relacionados con los depósitos carbonatados, los SIG, amenaza, estudios relacionados y generalidades del área de estudio.

4.1 Geología

La superficie terrestre está compuesta por dos tercios de agua y un tercio por rocas, esta última está compuesta por tres tipos de rocas, metamórficas, ígneas y sedimentarias. Este último grupo es el que se trata en el presente estudio, “constituye una porción muy pequeña del volumen de la corteza de la tierra, sin embargo son altas las posibilidades de encontrarlas en la superficie, donde tres cuartas partes de las rocas expuestas son sedimentaras” (Escobar, 2014). Su formación ocurre como resultado del transporte, depositación y acumulación de fragmentos de otras rocas o sedimentos, que sufren procesos de precipitación química o por el desarrollo de organismos en condiciones sub-aéreas, o subacuáticas marinas o lacustres.

Según su composición las rocas sedimentarias se clasifican en Rocas carbonatadas las cuales se forman como consecuencia de la precipitación de carbonato en cuencas sedimentarias (calizas o Dolomitas), rocas evaporíticas

(Halita, silvina o Yeso), Rocas silíceas constituidas por sílice (sílex), Rocas fosfatadas constituidas por fosfato de calcio (fosforitas).

Las rocas carbonatadas y evaporíticas desarrollan áreas kársticas las cuales se caracterizan por presentar condiciones hidrológicas y geomorfológicas únicas, como drenajes subterráneos bien desarrollados y geoformas particulares resultado del procesos de disolución (De Waele *et al.*, 2015) que dependen en gran medida del clima y su variabilidad (Frumkin, 2013). Los terrenos kársticos se desarrollan donde la disolución química domina sobre los procesos mecánicos, comúnmente con una porosidad secundaria bien desarrollada (Frumkin, 2013).

4.2 Geomorfología Kárstica

En los ambientes kársticos tanto la geomorfología e hidrología de la superficie y del subsuelo es gobernada en gran parte por la disolución de rocas carbonatadas y/o evaporíticas. La situación más común ocurre cuando las aguas superficiales, acidificadas por el CO₂ del aire y el suelo, diluyen lentamente las rocas carbonatadas filtrándose en profundidad y fluyen en pendientes descendientes en la zona freática (saturada) hacia los puntos de descarga, generalmente manantiales (De Waele *et al.*, 2015). El karst también puede ser el resultado de la disolución química de otros tipos de rocas como halita, yeso y cuarcita.

Existen factores adicionales que influyen en la disolución de las rocas carbonatadas, entre los que es importante indicar el tipo de roca, la temperatura, la estructura y textura, así como las condiciones hidroquímicas.

Los sistemas kársticos se desarrollan de dos formas, exokársticos y endokársticos, los primeros hacen referencia al conjunto de geofomas desarrolladas en la superficie, como resultado de la disolución de la roca (como lapiaz, dolinas, sumideros, simas uvalas, poljes, surgencias, entre otras) (Galvis & Gómez, 2018); por el contrario, los sistemas endokársticos son los que se forman bajo la superficie, manifestándose en cuevas, y cavernas donde se desarrollan diferentes tipos de espeleotemas. En la Figura 1, se presenta el esquema de desarrollo de un sistema genético de dolinas en el subsuelo a) Se observa un vacío kárstico con flujo de agua activo en el subsuelo, b) Inicia la aparición de un arco que se propaga a la superficie a través de los sedimentos, c) Ocurre la propagación del arco de sedimentos y el repentino hundimiento o colapso. (Heidari *et al.*, 2011)

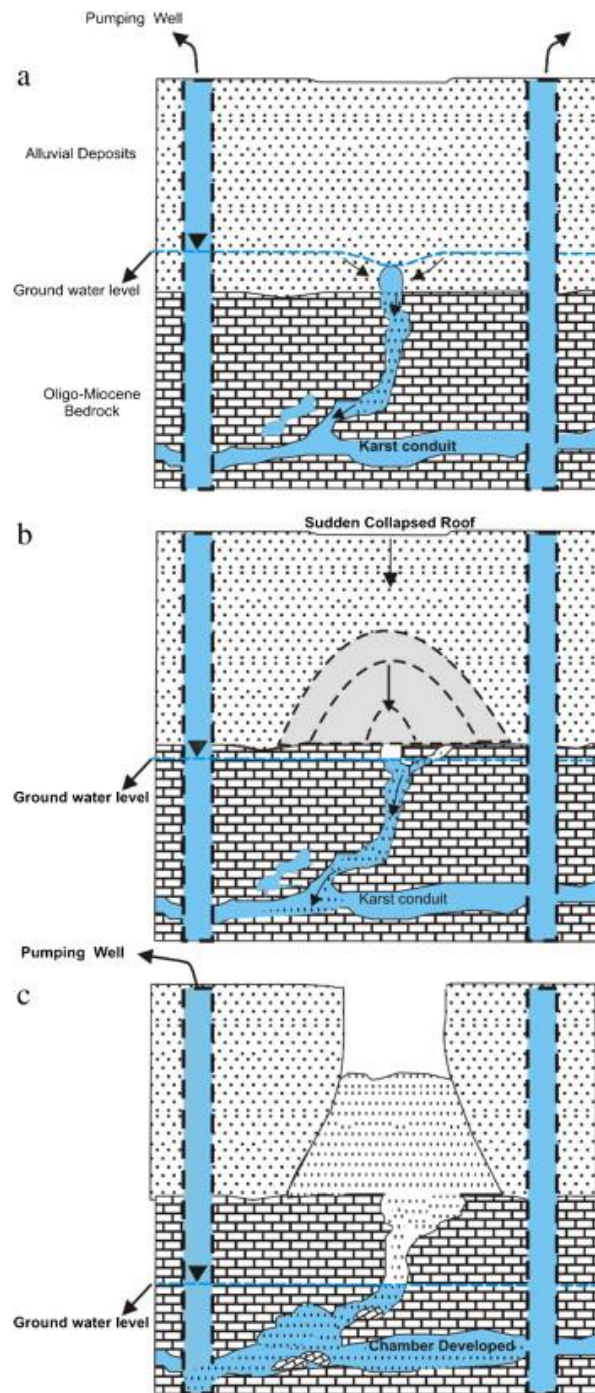


Figura 1. Modelo genético para el desarrollo de dolinas. Fuente: (Heidari *et al.*,

2011)

4.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfica (SIG), es un conjunto de herramientas informáticas y no informáticas, que estudia las relaciones espaciales, patrones y tendencias geográficas, mediante datos que se asocian a una ubicación única. Gran parte de la información que existe en el mundo tiene una georreferenciación, de lo contrario no se podría procesar en un SIG. Los sistemas de información geográfica utilizan diferentes tecnologías, métodos, procesos y técnicas, los cuales tienen múltiples avances a través del tiempo, proporcionando facilidades al sector de la ingeniería, ciencias, planificación urbana, transporte, negocios, agricultura y muchos otros campos.

En el ámbito de la planificación, las herramientas SIG permiten modelar escenarios, soportados en evidencias que suponen impactos relacionados con el clima a nivel local, suelos, pendientes, red hídrica, avenidas torrenciales, remoción en masa, inundación, impactos antropogénicos entre otros (Gintamo *et al.*, 2021). A partir de dicha información, la cual se encuentra georreferenciada, se realiza su procesamiento de acuerdo a los parámetros que rijan el tipo de análisis y así obtener las áreas potencialmente en amenaza, vulnerabilidad o riesgo, resultados que proporcionarán a los responsables de la toma de decisiones información importante para desarrollar medidas efectivas de monitoreo, estudios detallados donde se requiera, que serán insumos para los procesos de

ordenamiento territorial. Lo anterior es posible a partir de información existente que está disponible de forma gratuita en la nube u otras fuentes, otro gran beneficio del uso de dicha herramienta.

4.4 Amenaza

La amenaza es un fenómeno que ocurre de forma natural o por causas antrópicas que pueden colocar en peligro a una comunidad y su entorno.

Los sistemas kársticos se encuentran entre los peligros geológicos más relevantes del karst, sus características disolutivas hacen que sea de difícil predicción el colapso intempestivo de estos elementos, con frecuencia son el principio de graves daños y pérdidas para la sociedad. Los múltiples peligros que plantean los procesos kársticos deben abordarse mediante métodos de investigación específicos que tengan en cuenta sus particularidades (*et al.*, 2015).

Es importante tener en cuenta que las amenazas en las áreas kársticas también se pueden intensificar de forma directa o indirecta por actividades antropogénicas. La ocupación en zonas kársticas aumenta cada vez más, lo cual causa variaciones en dichos sistemas, ocasionando impactos y riesgos con mayor frecuencia.

Detener o revertir esta amenaza es poco probable, llevar a cabo la reducción del riesgo de forma rentable es poco probable pero necesario, se necesitan investigaciones adecuadas y decisiones administrativas, las cuales requieren planificación preventiva y son impopulares.

4.5 Estudios Previos

En Colombia existe un estudio realizado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) llamado “La Caliza en Colombia”(Vaca *et al.*, 2012), en el cual se evalúa los recursos, calidad y potencial provenientes de estos minerales. Otro estudio se realizó para el departamento de Santander en el cual se busca evaluar el potencial kárstico del departamento de Santander (Colombia) (Galvis & Gómez, 2018), en él se especifican las zonas dentro del departamento de Santander en las cuales se puedan desarrollar este tipo de paisajes debido a la presencia de rocas solubles, identificando cuatro unidades karstificables Calizas del Paleozoico, Calizas del Cretácico Inferior 1, Calizas del Cretácico Inferior 2 y Calizas del Cretácico superior.

Un aporte importante se evidencio en el estudio de (Kaufmann *. et al.*, 2018) donde identifican las fases o secuencias en las cuales ocurre el colapso de las dolinas o *sinkholes*. La primera fase es la disolución de la roca soluble, formando varias zonas vacías, procesos que puede tardar de 100 a 100.000 años, según el

tipo de roca soluble y las condiciones de frontera hidráulicas y químicas. Una vez dilatado el espacio de la roca este haciendo a la superficie y solo una capa delgada cubre el vacío de la sobrecarga, es en este momento cuando llega el momento álgido de la segunda fase, con el colapso repentino de la capa en un rango corto de tiempo que puede durar de días a meses.

En la investigación realizada por (Heidari, *M et al.*, 2011) en el norte de Hamedan-Irán, se realizaron diferentes estudios (geología estructural, geotécnico e hidrogeológico), para concluir que el ambiente propicio para el desarrollo de las dolinas ocurre en zonas de descarga de aguas subterráneas adyacentes a la base de las calizas kársticas del Oligoceno – Mioceno, y cercanas a zonas de expulsión de gases como el dióxido de carbono.

Otra técnica empleada para mapear la distribución de este tipo de roca en el subsuelo fue la empleada por (Kaufmann et al., 2018), quienes a partir de un estudio geofísico utilizaron la gravedad, imágenes de resistividad eléctrica y radar de penetración en el suelo, y de esta forma llegaron a predecir el flujo de agua debajo de un campo deportivo a unos 50 km de la ciudad de Hamburgo-Alemania, obteniendo un modelo de flujo de agua subterránea simplificado determinando su influencia en las rocas, simulando diferentes escenarios. Un estudio similar lo realizó (Gutiérrez et al., 2019) hacia el noreste de España en el Valle de Sant

Miguel de Campmajor, quienes a partir de imágenes de resistividad eléctrica (ERI) estudiaron las dolinas en un karst de yeso hipogénico, las cuales alcanzan tamaños considerables, allí la roca se encuentra enraizada en cavidades profundas generadas por karstificación hipogénica interestatal.

En Corea del Sur durante la construcción del túnel ferroviario más largo del país, (Song *et al.*, 2012) las múltiples corrientes de agua y colapso de los soportes o bases dieron lugar a la formación de dolinas y hundimientos en la superficie del suelo, lo que conllevó a la caracterización en sitio mediante diversos métodos para identificar las causas de las dolinas y el hundimiento en la superficie. Se emplearon refuerzos del suelo en las zonas con dolinas, a los hundimientos en superficie y a la cavidad interna del túnel. También realizaron análisis de filtración para proporcionar un diseño de drenaje óptimo para la estabilidad a lo largo del tiempo. En Zaragoza España (Galve *et al.*, 2012) la constante ocurrencia de dolinas con diferentes tamaños sobre la carretera conllevó a la simulación de geomallas con diferentes resistencias en un número variable de tramos de carretera, desarrollándose un procedimiento cuantitativo para identificar los diseños de mitigación más adecuados para una carretera construida recientemente en un área con probabilidad alta de ocurrencia de dolinas.

Otra técnica para el estudio de dolinas fue la empleada por (Panno & Luman, 2018), quienes a partir de datos de elevación LIDAR hallaron un patrón de evolución de las dolinas en el tiempo dentro de las cuencas de agua subterránea.

El estudio de (Parise, 2020) describe el origen de las dolinas y los efectos que tienen en la sociedad, vinculándolos con otros peligros como los movimientos en masa en pendientes.

De forma general existen diversos estudios alrededor del mundo enfocados en el estudio de este fenómeno a partir de diferentes técnicas y en diferentes escenarios, donde se combinan ramas como la geología, la geotecnia, geofísica, ingeniería, entre otras, enfocadas en comprender como ocurre este fenómeno y que variables lo controlan. Sin embargo, en Colombia los estudios de los sistemas kársticos se han enfocado en el conocimiento de la distribución con fines extractivos como recurso económico para el desarrollo de los departamentos, sin tenerse en cuenta la posible amenaza que estos puedan representar.

4.6 Generalidades del área de estudio

- **Localización**

En la Figura 2 se encuentra la localización del municipio de San Vicente de Chucurí el cual se encuentra ubicado geográficamente en la parte centro-

occidente del departamento de Santander entre las coordenadas planas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Norte: 1´226.000 a 1´283.000 y Este: 1´036.000 a 1´083.000, provincia de Barrancabermeja a unos 87 kilómetros del lugar conocido como “la renta” que lo comunica con la ciudad de Bucaramanga capital del departamento.

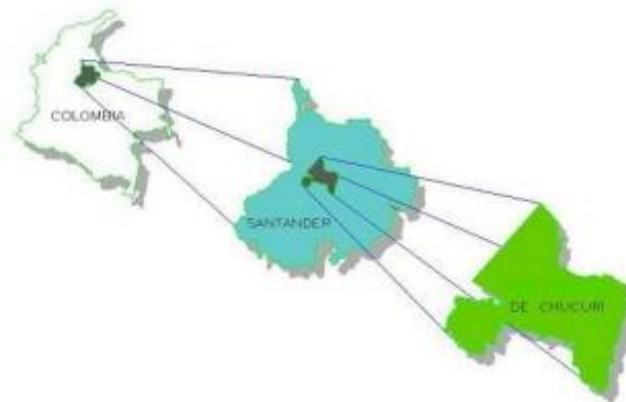


Figura 2. Localización del municipio de San Vicente de Chucurí en el territorio colombiano. Fuente: (Información General de San Vicente de Chucurí, n.d.).

- **Generalidades**

El municipio de San Vicente de Chucurí capital cacaotera y despensa agrícola de Colombia, comprende un área de 1.195 km², de las cuales 1.183,45 Km² pertenecen al área rural, que la conforman 2 corregimientos, 37 veredas, “de estas 13 veredas que cubren 39 sectores y 5.406 predios” (tomado de <https://sites.google.com/site/sanvicentedeChucurímarthautc/>); en cuanto al área

urbana está compuesta por una superficie de 11,966 Km² y cuenta con 31 barrios y 4.102 predios. El municipio tiene una población de 35.232 habitantes en el área rural y urbana, según censo del 2020. En la Figura 3 se aprecia una vista panorámica de una parte del municipio de San Vicente, la cual obedece a una geomorfología plana, en la cual se resaltan zonas de valles aluviales los cuales han sufrido diferentes procesos de sedimentación con aporte de diferentes tipos de sedimentos de la cordillera oriental, suceso característico de la cuenca del Valle Medio del Magdalena.



Figura 3. Imagen del área urbana municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente (San Vicente de Chucurí, Santander, n.d.).

5. DISEÑO METODOLÓGICO

Para la elaboración del mapa de amenaza por disolución de rocas calcáreas en San Vicente de Chucurí Santander se llevaron a cabo las siguientes etapas:

5.1 Primera fase Adquisición de información secundaria: Consistió en recopilación de la información, la cual se obtuvo de diversas fuentes, las principales fueron el Servicio Geológico Colombiano (SGC), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), de donde se obtuvieron las capas geología, suelos, clima y pendientes. También se acudió a otras fuentes como: publicaciones científicas de la revista Elsevier entre los años 2010-2021, tesis de grado de la Universidad Militar Nueva Granda entre los años 2015-2021, Manual de la Universidad Nacional de Colombia del año 2003, periódico Nacional del años 1989 y conocimiento el conocimiento social como gente de la región y Google Earth.

5.2 Segunda fase Selección de Factores condicionantes: Esta fase consistió en la selección de los factores condicionantes, para ello se realizó el procesamiento de la información y generación del mapa de Amenaza por disolución de rocas con contenido calcáreo en el programa ArcGIS, en el cual se delimito el área de influencia, se definió el sistema de coordenadas, ajuste de la base cartográfica al área de estudio, también se elaboró la estructura de los datos en el programa.

Para mayor definición del área de estudio y agilidad de la herramienta se descargó

la imagen satelital de software SAS Planet de uso libre. Se diseñó el modelo y la estructura de los datos, se crearon los shapefiles y geodatabase. Se inició la etapa de diagramación del mapa y se continuó con el procesamiento del modelo de elevación digital y vectorización de la información.

5.3 Tercera fase Selección Factores detonantes: Según la información geológica obtenida se definió que las litologías con características disolutivas son shales con yeso y calizas, según el mapa de suelos las mejores rocas con dichas características son las lutitas calcáreas, calizas, arcillolitas calcáreas, cenizas volcánicas y alteradas.

Una vez definida e identificada la información de geología se clasificaron las litologías de acuerdo a solubilidad dentro las tablas de atributos mediante la herramienta dissolve, de igual forma con la información de suelos, pendientes y clima, y de esta manera se identificaron las áreas con potencial kárstico para la zona de estudio.

Esta información se tabuló relacionando las formaciones geológicas que se encuentran en la tabla 1 y las características de los suelos que se pueden observar en la tabla 2, junto con la litología que contiene cada grupo de datos y la información de pendientes y climatología que se encuentra en las tablas 3 y 4 respectivamente, a los cuales se les asignó una ponderación según la amenaza; 0 corresponde a amenaza nula, 1 amenaza baja, 2 amenaza media y 3 amenaza

alta. Por ultimo en la tabla 5, se presenta el resumen de la ponderación a cada ítem según su grado de amenaza.

Tabla 1. Ponderación de valores para evaluación de la amenaza según características geológicas.

Geología	Nivel amenaza	Amenaza
Shales con yeso, cherts, calizas y arenitas.	3	Alta
Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas	3	Alta
Abanicos aluviales y depósitos coluviales	0	Baja
Arenitas, limolitas y lodolitas con mantos delgados de carbón.	0	Baja
Capas rojas constituidas por arenitas, conglomerados y limolitas.	0	Baja
Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas	0	Baja
Cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas con intercalaciones de lodolitas y conglomerados	0	Baja
Depósitos aluviales y de llanuras aluviales	0	Baja

Fuente: Autor, 2021

Tabla 2. Ponderación de valores para evaluación de la amenaza según características del suelo.

Suelos	Nivel amenaza	Amenaza
Arenisacas, conglomerados y lutitas calcáreas	3	Alta
Areniscas y calizas	3	Alta
Areniscas, arcillolitas calcáreas y no; calizas, lutitas, cenizas volcánicas y alteradas	3	Alta
Areniscas, lutitas, calcáreas o no; calizas, limolitas y cenizas volcánicas	3	Alta
Calizas, areniscas, arcillosas, alternancia de areniscas y arcillas	3	Alta
Lutitas, calizas, areniscas y lutitas calcáreas	3	Alta
Aluviales mixtos	0	Baja
Arcillolitas, lutitas, areniscas y arcillas	0	Baja
Areniscas, limolitas, lutitas, granodiorita, cuarzomonzonita, riolita, esquistos y neis	0	Baja
Filítas, materiales aluviales gruesos y finos	0	Baja

Fuente: Autor, 2021

Tabla 3. Ponderación de valores para evaluación de la amenaza según características climáticas.

Clima	Nivel amenaza	Amenaza
Muy frío, húmedo y muy húmedo	3	Alta
Medio, húmedo y muy húmedo	2	Media
Cálido, húmedo y muy húmedo	1	Baja

Fuente: Autor, 2021.

Tabla 4. Ponderación de valores para evaluación de la amenaza según características de la pendiente del relieve.

Pendientes	Nivel amenaza	Amenaza
d_ Fuertemente inclinada, 13-25%	3	Alta
c_ Moderadamente inclinada, 8-12%	2	Media
a_ Ligeramente plana, 1-3%	1	Baja
b_ Ligeramente inclinada, 4-7%	1	Baja

Fuente: Autor, 2021

Tabla 5. Clasificación de la amenaza por disolución de rocas calcáreas

Geol_crono	Litología	Clima	Pendiente	Area (Ha)	Clasificación de la Amenaza
Shales con yeso, cherts, calizas y arenitas.	Arenisacas, conglomerados y lultitas calcáreas	Muy frío, húmedo y muy húmedo	d_Fuertemente inclinada, 13-25%	3	Alta
Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas	Areniscas y calizas				
	Areniscas, arcillolitas calcáreas y no; calizas, lutitas, cenizas volcánicas y alteradas				
	Areniscas, lutitas, calcáreas o no; calizas, limolitas y cenizas volcánicas				
	Calizas, areniscas, arcillosas, alternancia de areniscas y arcillas				
	Lulitas, calizas, areniscas y lulitas calcáreas				
	Zona urbana	Medio, húmedo y muy húmedo	c_Moderadamente inclinada, 8-12%	2	Media
Abanicos aluviales y depósitos coluviales	Aluviones	Cálido, húmedo y muy húmedo	a_Ligeramente plana, 1-3% b_Ligeramente inclinada, 4-7%	1	Baja
Arcillolitas abigarradas y cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas	Arcillas, areniscas, arenas y cantos				
Arenitas feldespáticas y líticas; arcillolitas, y conglomerados con abundantes líticos de andesitas y dacitas.	Arcillolitas, lutitas, areniscas y arcillas				
Arenitas líticas con intercalaciones de arcillolitas de color gris verdoso y conglomerados	Areniscas, limolitas, lutitas, granodiorita, cuarzomonzonita, riolita, esquistos y neis				
Arenitas, limolitas y lodolitas con mantos delgados de carbón.	Filítas, materiales aluviales gruesos y finos				
Capas rojas constituidas por arenitas, conglomerados y limolitas.	Aluviales mixtos				
Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas					
Cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas con intercalaciones de lodolitas y conglomerados					
Depósitos aluviales y de llanuras aluviales					

Fuente: Autor, 2021

5.4 Cuarta fase Resultados: Una vez obtenida la clasificación de la amenaza y su distribución en el área de estudio según el material con potencial kárstico, se procedió a revisar la localización de centros poblados y vías de comunicación para conocer cómo se ven afectadas y en qué nivel de amenaza se encuentran, como se observa en la figura 4 donde se presenta el diagrama de actividades que se deben realizar para llegar a dicha zonificación la cual permita hacer una toma de decisiones frente al nivel de amenaza (bajo, medio y alto) que se encuentren las zonas (Amenaza *et al.*, n.d.).

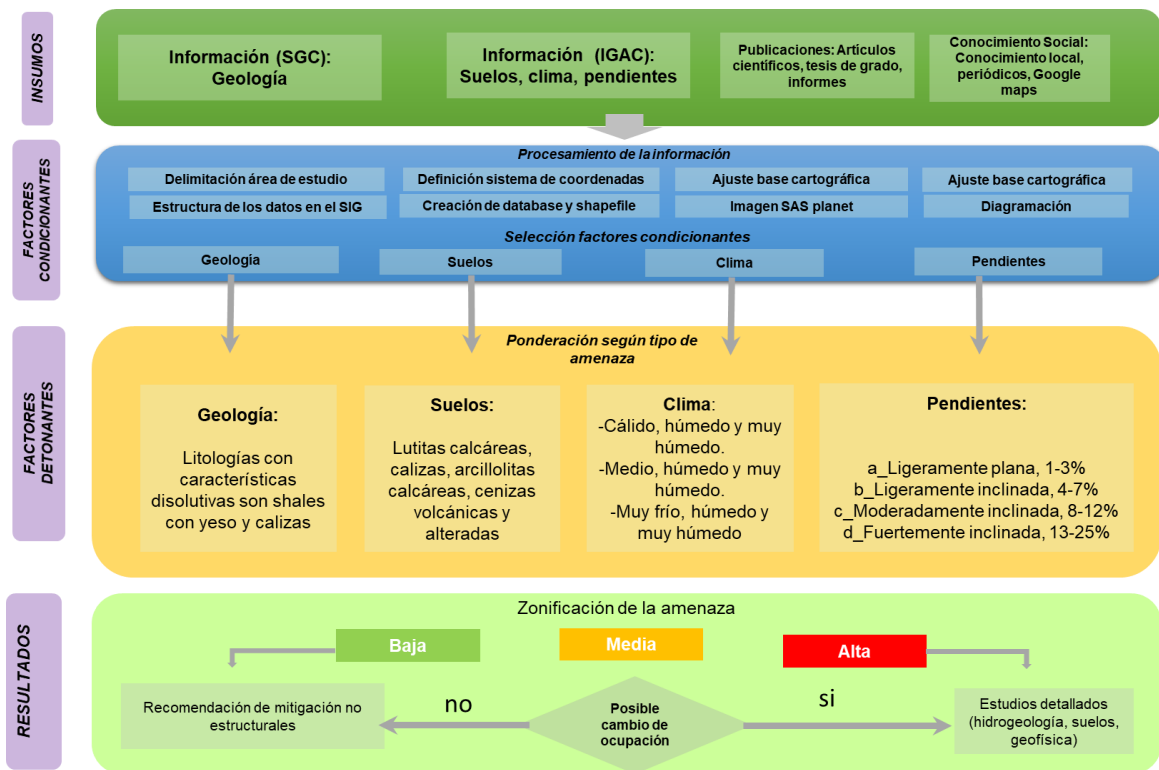


Figura 4. Zonificación de la amenaza. Fuente: Autor, 2021

6. RESULTADOS

A continuación, se presenta la información obtenida durante el desarrollo del trabajo, es decir, los datos que arrojaron las distintas técnicas empleadas y que, al ser procesadas, muestran resultados específicos y gramaticalmente comprensibles para el lector. En el caso de que se hayan utilizado diferentes técnicas o métodos es importante hacer referencia al resultado generado por cada una y mencionar su relación directa con el problema. Los resultados deben ser presentados de forma concreta, pero detallando el proceso cómo se llegó a ellos.

A partir de la representación de las zonas kársticas en el municipio de San Vicente de Chucurí se logró zonificar las zonas kársticas en el municipio, donde se encontró que existe una tendencia en la aparición de suelos kársticos hacia el oriente del área de estudio, donde se exponen las pendientes más altas del área, mientras que, hacia el occidente del área, se tienen zonas llanas, que según la información obtenida corresponde a ambientes de llanuras de inundación. A continuación, se presentan los datos obtenidos en cada insumo a partir de los cuales se obtuvo el mapa de amenaza por disolución de rocas con contenido calcáreo en el municipio de San Vicente de Chucurí.

En la figura 5 se presenta el mapa de amenaza por disolución de rocas calcáreas según el procesamiento de la información geológica, en el cual se observan únicamente dos clases de amenaza, alta y baja, la amenaza alta se ubica al este y

centro del municipio cubriendo el área urbana con un total de 27.803 ha, mientras que la amenaza baja predominantemente se zonificó al oeste con un total de 84.685 ha como se observa en la tabla 6. Las vías localizadas en las áreas de amenaza alta corresponden a las vías tipo 4, 5 y 6 y tipo 3, categorización basada en la tabla 7 del Instituto Nacional de Vías, para el área urbana del municipio.

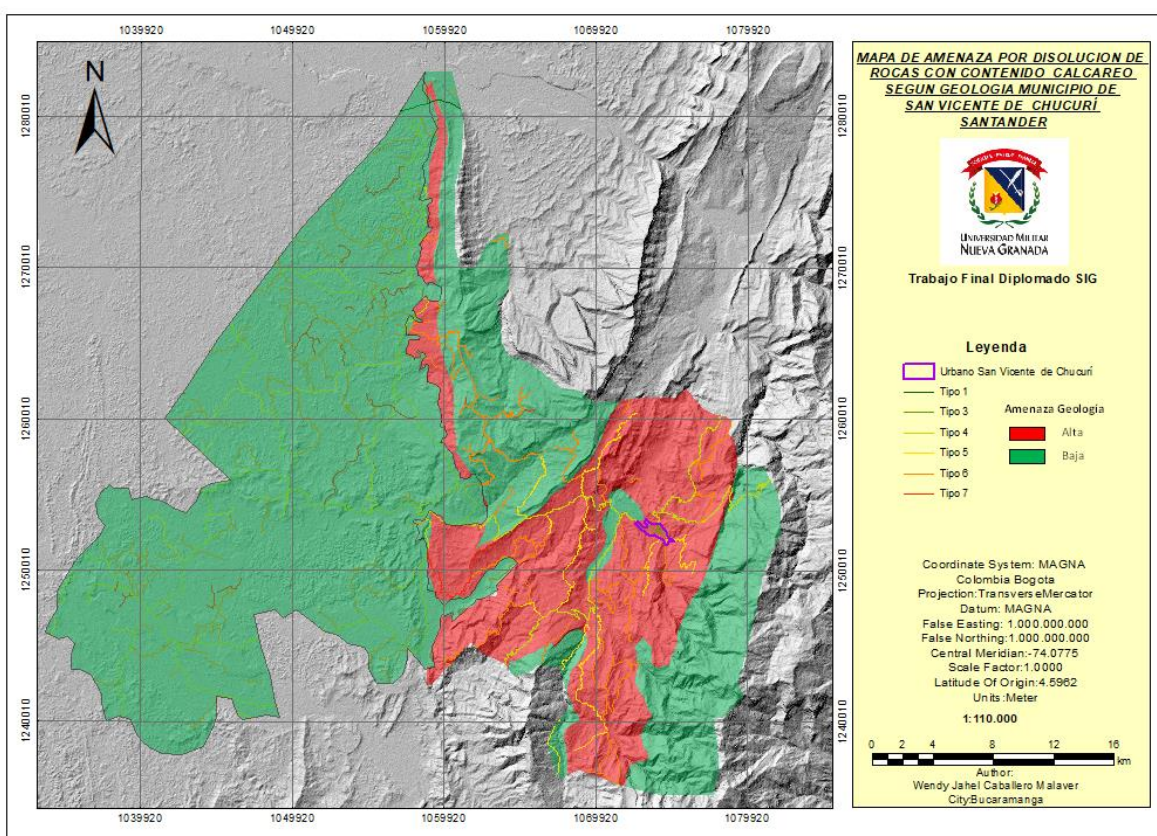


Figura 5. Mapa de amenazas según geología municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente: Autor, 2021

Tabla 6. Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos según geología en el municipio de San Vicente de Chucurí.

Geología	Amenaza	Area (Ha)	Porcentaje (%)
Shales con yeso, cherts, calizas y arenitas.	Alta	27.803	25
Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas			
Abanicos aluviales y depósitos coluviales	Baja	84.685	75
Arcillolitas abigarradas y cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas			
Arenitas feldespáticas y líticas; arcillolitas, y conglomerados con abundantes líticos de andesitas y de			
Arenitas líticas con intercalaciones de arcillolitas de color gris verdoso y conglomerados			
Arenitas, limolitas y lodolitas con mantos delgados de carbón.			
Capas rojas constituidas por arenitas, conglomerados y limolitas.			
Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas			
Cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas con intercalaciones de lodolitas y conglomerados			
Depósitos aluviales y de llanuras aluviales			
TOTAL			

Fuente: Autor, 2021.

Tabla 7. Categorización sistema vial según IGAC

Etiqueta	Codigo	Definicion
Via Tipo 1	1	Vía pavimentada, más de dos carriles para el tráfico vehicular, animal o personas, cuyo ancho excede de 5m
Via Tipo 2	2	Vía Sin Pavimentar, más de dos carriles, para el tráfico vehicular, animal o personas, cuyo ancho excede de 5m.
Via Tipo 3	3	Vía Pavimentada y angosta, Transitable todo el año, cuyo ancho es inferior o igual a 5
Via Tipo 4	4	Vía Sin Pavimentar y angosta, para el tráfico vehicular, animal o personas, cuyo ancho es inferior o igual a 5m.
Via Tipo 5	5	Carreteable transitable en tiempo seco, para el tráfico vehicular, animal o personas
Via Tipo 6	6	Carreteable sin afirmado, para el tráfico vehicular, animal o personas.
Via Tipo 7	7	Camino rural para el tráfico de personas y animales.

Fuente: (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, n.d.) Modificado en

Autor, 2021.

El segundo insumo utilizado para la zonificación fue la información de suelos la cual se procesó obteniéndose la zonificación de la figura 6, donde se obtuvieron los tres tipos de amenaza, alta, media y baja.

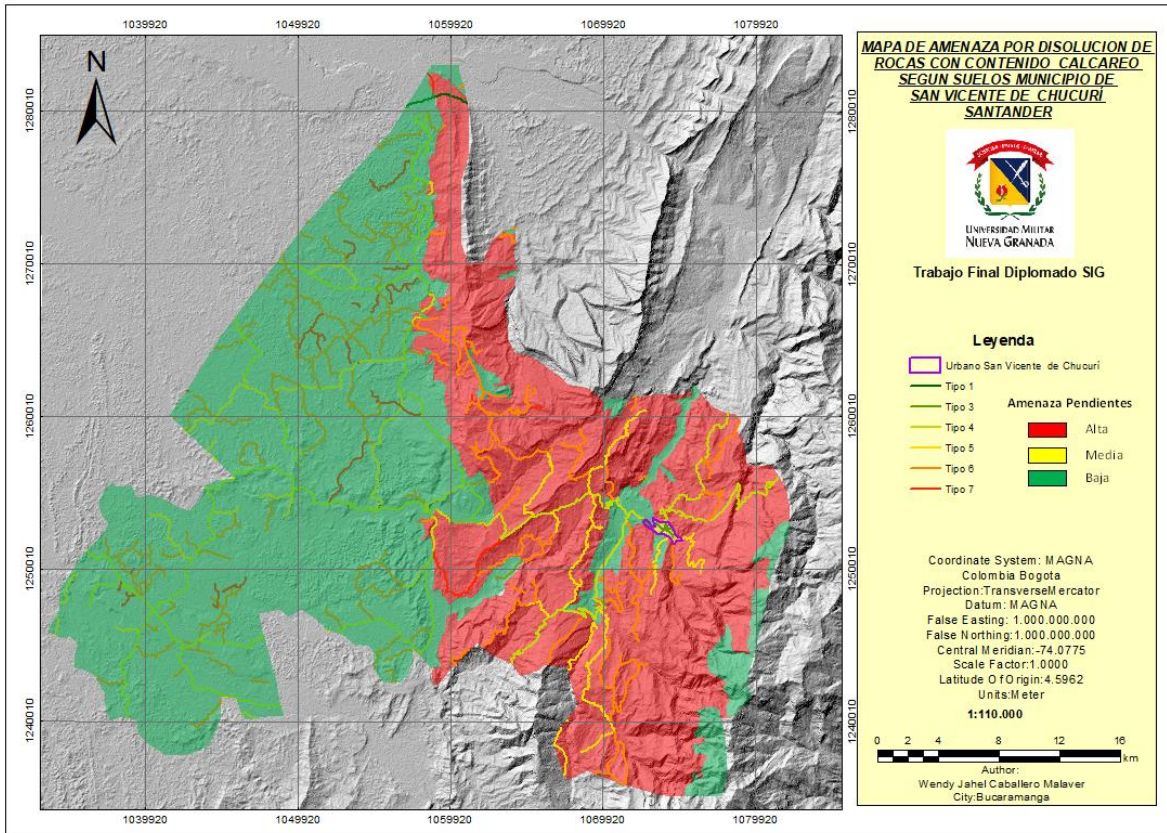


Figura 6. Mapa de amenazas según Suelos municipio de San Vicente de Chucurí.

Fuente: Autor, 2021

La amenaza alta cubre un total de 47.364 ha al este del municipio, mientras que la amenaza baja al oeste del área de estudio cubre la mayor parte del municipio con un total de 64.975 ha. También se puede observar que la amenaza media, siendo

la de menor cubrimiento alcanza un total de 148 ha como se presenta en la tabla 8 y comprende el área urbana del municipio.

Tabla 8. Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos según suelos en el municipio de San Vicente de Chucurí.

Suelos	Amenaza	Area (Ha)	Porcentaje (%)
Arenisacas, conglomerados y lutitas calcáreas	Alta	47.364	42
Arenisacas y calizas			
Arenisacas, arcillolitas calcáreas y no; calizas, lutitas, cenizas volcánicas y alteradas			
Arenisacas, lutitas, calcáreas o no; calizas, limolitas y cenizas volcánicas			
Calizas, arenisacas, arcillosas, alternancia de arenisacas y arcillas			
Lutitas, calizas, arenisacas y lutitas calcáreas			
Zona urbana	Media	148	0,13
Aluviones	Baja	64.975	58
Arcillas, arenisacas, arenas y cantos			
Arcillolitas, lutitas, arenisacas y arcillas			
Arenisacas, limolitas, lutitas, granodiorita, cuarzomonzonita, riolita, esquistos y neis			
Filitas, materiales aluviales gruesos y finos			
Aluviales mixtos			
Llanuras de inundacion			
TOTAL		112487	100

Fuente: Autor, 2021

En la figura 7 se presenta el mapa de amenaza por disolución de rocas calcáreas obtenido a partir de la información de clima.

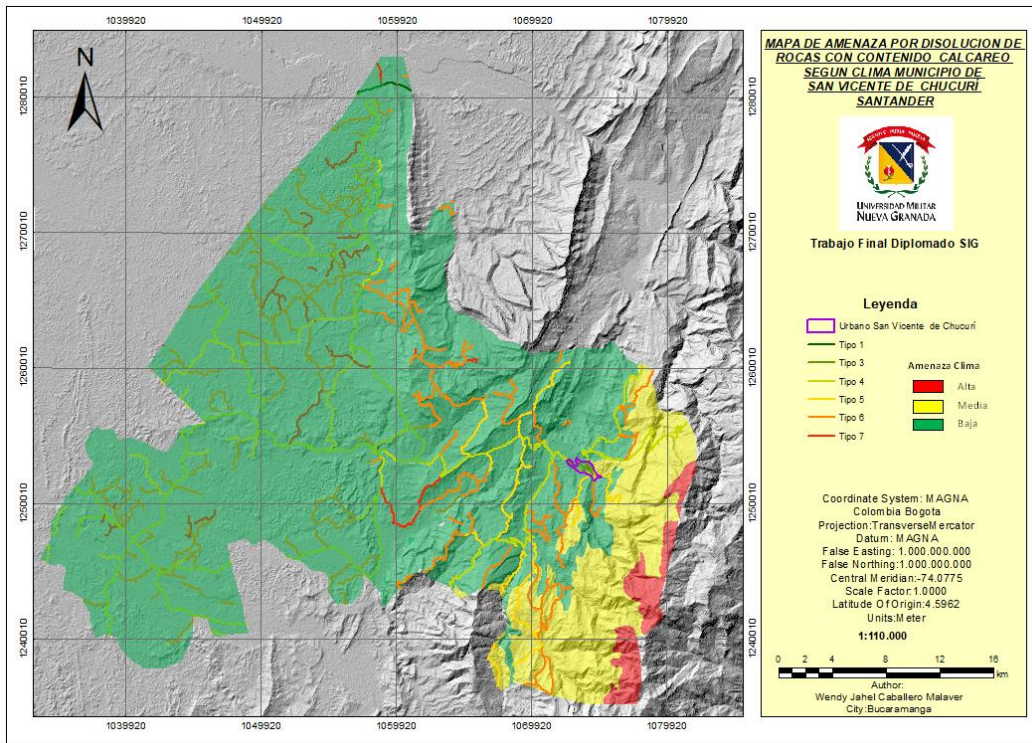


Figura 7. Mapa de amenazas según Clima municipio de San Vicente de Chucurí.

Fuente: Autor, 2021

Se observa que la mayor amenaza ocurre hacia el sur-este del municipio cubriendo un área de 2.582 ha como se puede apreciar la tabla 9, seguido por la amenaza media localizada también hacia el sureste del municipio, cubriendo un total de 14.469 ha. Por último, se presenta la amenaza baja que cubre la mayor parte del municipio y su zona urbana con un total de 95.436 ha.

Tabla 9. Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos según Clima en el municipio de San Vicente de Chucurí.

Clima	Nivel amenaza	Area (Ha)	Porcentaje (%)
Muy frío, húmedo y muy húmedo	Alta	2.582	2
Medio, húmedo y muy húmedo	Media	14.469	13
Cálido, húmedo y muy húmedo	Baja	95.436	85
TOTAL		112.487	100

Fuente: Autor, 2021

En la figura 8 se muestra el mapa con el insumo de pendientes para el área estudiada, en él se observa gran cubrimiento de amenaza baja que corresponde a pendientes planas a ligeramente inclinadas de centro a este del municipio, cubriendo un área de 59,4 ha como se indica en la tabla 10, seguido por la amenaza alta que se distribuye de centro a este del municipio incluida el área urbana, con área total de 45.78 ha. Por último y en menor proporción se presenta la amenaza media con pendientes moderadamente inclinadas en un área de 7,074 ha.

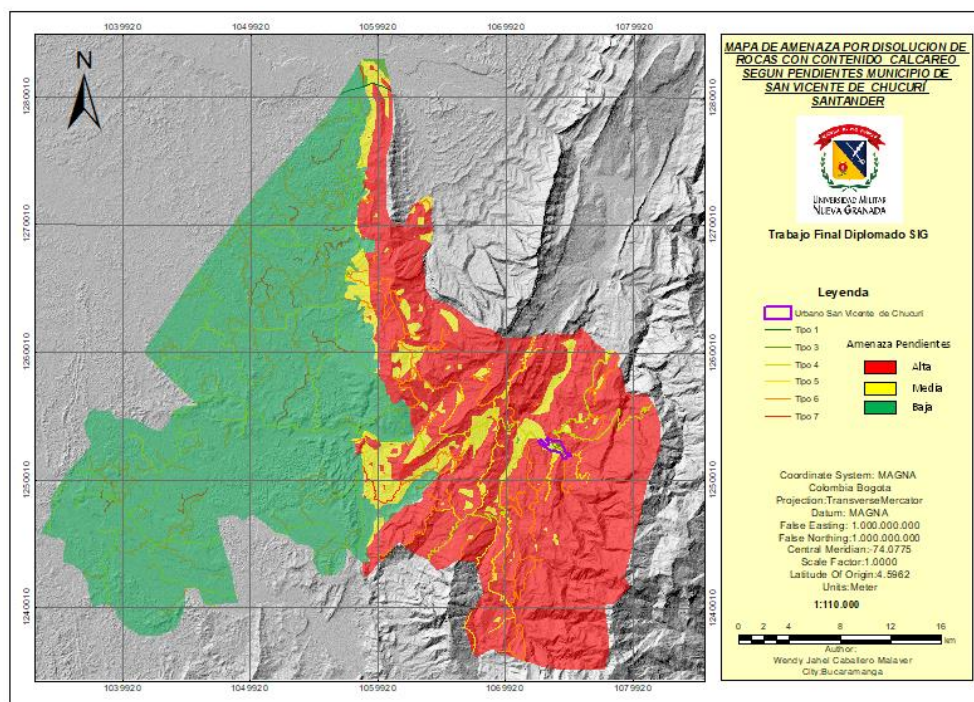


Figura 8. Mapa de amenazas según Pendientes municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente: Autor, 2021

Tabla 10. Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos según pendientes en el municipio de San Vicente de Chucurí.

Pendientes	Nivel amenaza	Area (Ha)	Porcentaje (%)
d_ Fuertemente inclinada, 13-25%	Alta	45.788	41
c_ Moderadamente inclinada, 8-12%	Media	7.075	6
a_ Ligeramente plana, 1-3%	Baja	59.450	53
b_ Ligeramente inclinada, 4-7%			
TOTAL		112.313	100

Fuente: Autor, 2021

A continuación, se presente el resultado del mapa de amenaza por disolución de rocas con contenido calcáreo en el municipio de San Vicente de Chucurí el cual se

refleja en la figura 9, el cual se obtuvo a partir del insumo de Geología, suelos, clima y pendientes.

En el mapa se pueden observar las tres clases de amenaza, alta media y baja, las cuales se distribuyeron de la siguiente forma; la amenaza baja se distribuye hacia la parte oeste y sureste del municipio con un área de 86.323 ha como se observa en la tabla 10, siendo la mayor distribución en el área de estudio y en la cual se encuentra la zona urbana. Continuando por la amenaza media con un total de 19.743 ha distribuida hacia la parte centro norte del municipio y por último y en menor proporción se encuentra la amenaza alta con un área total de 6.421 ha distribuida hacia la parte sureste del municipio y orientada con la dirección noreste de la cordillera oriental donde se encuentran ubicadas las veredas Pamplona, Guane, Primavera, Pradera, Centro, Santa Inés, Chanchón y La Esperanza.

En cuanto a las vías principales, se encuentra constituida sobre la zona de amenaza la vía tipo VI que desde el casco urbano del municipio conduce al municipio de Zapatóca sobre las veredas Chanchón y Santa Inés. Existen otras vías interveredales que se encuentran sobre la zona de amenaza, están son las vías Tipo 5 y Tipo 6 hacia el sur del municipio sobre las veredas Pamplona y Guadales.

En cuanto a la red hídrica llama la atención que en la zona este del municipio con amenaza alta, no presenta una cantidad de drenajes representativos como lo sugieren diferentes estudios donde la hidrología del área va de la mano con la disolución kárstica. Para el área de estudio los drenajes aparecen en las zonas bajas de la pendiente finalizando el perímetro de amenaza, no obstante, en la zona sur donde aparece la mancha roja, veredas Pamplona y Guaduales existe una abundante red de drenajes factor que llama la atención ya que convierte estas zonas, en escenarios propicios para la disolución del material kárstico a pesar que sean redes superficiales y no subterráneas como lo sugieren diversos estudios.

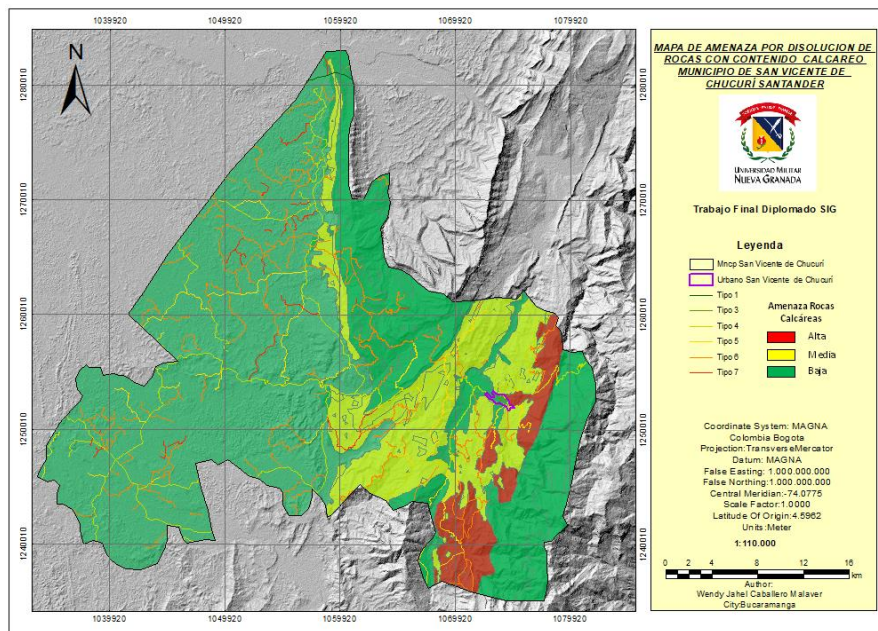


Figura 9. Mapa de amenazas según Rocas con contenido calcáreo municipio de San Vicente de Chucurí. Fuente: Autor, 2021

En la tabla 11 se presenta un resumen de los insumos geología, suelos, clima y pendientes con los cuales se obtuvo el mapa de amenaza, junto con cada una de sus características que dieron lugar a los niveles de amenaza, Alta, Media, Baja, y su extensión en el área de estudio en metros cuadrados y en ha.

Geol_crono	Litología	Clima	Pendiente	Area (Ha)	Clasificación de la Amenaza	Porcentaje (%)
Shales con yeso, cherts, calizas y arenitas. Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas	Areniscas, conglomerados y lutitas calcáreas Areniscas y calizas Areniscas, arcillolitas calcáreas y no; calizas, lutitas, cenizas volcánicas y alteradas Areniscas, lutitas, calcáreas o no; calizas, limolitas y cenizas volcánicas Calizas, areniscas, arcillosas, alternancia de areniscas y arcillas Lutitas, calizas, areniscas y lutitas calcáreas	Muy frío, húmedo y muy húmedo	d_Fuertemente inclinada, 13-25%	6.421	Alta	5,71
	Zona urbana	Medio, húmedo y muy húmedo	c_Moderadamente inclinada, 8-12%	19.743	Media	17,55
Abanicos aluviales y depósitos coluviales Arcillolitas abigarradas y cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas Arenitas feldespáticas y líticas; arcillolitas, y conglomerados con abundantes líticos de andesitas y da Arenitas líticas con intercalaciones de arcillolitas de color gris verdoso y conglomerados Arenitas, limolitas y lodolitas con mantos delgados de carbón. Capas rojas constituidas por arenitas, conglomerados y limolitas. Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas Cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas con intercalaciones de lodolitas y conglomerados Depósitos aluviales y de llanuras aluviales	Aluviones Arcillas, areniscas, arenas y cantos Arcillolitas, lutitas, areniscas y arcillas Areniscas, limolitas, lutitas, granodiorita, cuarzomonzonita, riolita, esquistos y neis Filitas, materiales aluviales gruesos y finos Aluviales mixtos	Cálido, húmedo y muy húmedo	a_Ligeramente plana, 1-3% b_Ligeramente inclinada, 4-7%	86.323	Baja	76,74

Tabla 11 .Descripción y áreas de la amenaza por disolución de suelos kársticos en el municipio de San Vicente de Chucurí.

Fuente: Autor, 2021

7. IMPACTO

De acuerdo con las características geológicas del municipio de San Vicente de Chucurí y por tener suelos cuya composición puede presentar este tipo de fenómenos, se puede concluir que probablemente existan diversos sumideros, dolinas, sistemas de cavernas o terrenos próximos a colapsar.

El estudio de estos fenómenos a partir de la utilización de información existente procesada en un SIG, permitió identificar y zonificar la distribución de estos suelos por los cuales atraviesan vías de comunicación, el casco urbano, viviendas rurales o futuros proyectos de infraestructura del municipio, representando un valioso insumo para futuras estrategias de planificación, mitigación de amenazas y factores que pudieran generar contaminación de aguas subterráneas que proveen al municipio. A partir de dicha zonificación será posible realizar diferentes tipos de estudios específicos que predigan el colapso de estos suelos en el tiempo, También se podrá conocer el potencial de este tipo de mineral en el subsuelo y perfilarlo como una posible fuente de explotación como recurso económico para la región.

Las investigaciones acerca de este fenómeno se han realizado en diferentes partes del mundo demostrando la importancia de tener mayor conocimiento de

este tipo de eventos propios de los sistemas Kársticos, como los factores desencadenantes y la evolución de los hundimientos y donde es más probable que estos ocurran, y con ellos tener más control y planificación entre las eventualidades que puedan generar dichos eventos. En la llanura de Hamedan-Irán (Heidari *et al*, 2011), hacia el norte de Alemania en un pequeño pueblo de Hamburgo a partir de datos geofísicos se logró predecir la evolución a largo plazo de los sumideros en el subsuelo, también se especuló sobre el inicio repentino del colapso del sumidero como resultado del cambio de las condiciones de los límites hidráulicos (Kaufmann et al., 2018).

Los anteriores son algunos ejemplos de los impactos a nivel mundial obtenidos a partir de la investigación de este fenómeno. Aunque en Colombia no se han reportado accidentes de gran magnitud, llama la atención que gran parte del territorio nacional está cubierto por estos sistemas kársticos.

8. CONCLUSIONES

A partir de la investigación realizada en el presente estudio se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El uso de los SIG para procesar información existente en el análisis de identificación de zonas con suelos calcáreos con probabilidad de disolución, resulta ser de gran utilidad, ya que además de utilizar información de libre acceso, permite tener una noción de la distribución de los materiales en el subsuelo.
- Se identificaron tres tipos de amenaza por disolución de rocas calcáreas, alta media y baja, la primera tiene un cubrimiento total de 6 ha que corresponden a 5% del total del área, la amenaza media cubre un área de 20 ha que corresponden a un 18% del área y por último la amenaza baja con la mayor proporción corresponde a 86 ha equivalentes a 77% del área total.
- La red vial del municipio según el instituto Geográfico Agustín Codazzi, corresponde a vías tipo 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 (Tabla 7), de estas las que presentan mayor afectación por las características de sus suelos son las tipo 4, 5 y 6. La vía tipo 4 es la arteria de comunicación con el municipio de Zapatoca (este) con una amenaza media en algunos segmentos, mientras

que las vías tipo 5 y 6 son vías interveredales que conectan la cabecera del municipio con las veredas Pamplona y Guamales y corresponden a una amenaza alta.

- A pesar que la amenaza alta se presenta en diversos sectores, llama la atención el área localizada en la zona sur del municipio, en las veredas Pamplona y Guamales. Esta zona de acuerdo a la cartografía reportada por el IGAC, presenta gran cantidad de drenajes superficiales que, aunque no son subterráneos, el factor permeabilidad al cual están expuestos estos suelos puede activar la disolución del karst. Por lo anterior, se recomienda realizar estudios hidrogeológicos y geotécnicos donde se puedan evaluar las condiciones del subsuelo y si existen afectaciones por dicho fenómeno
- La utilidad de la información representada en el mapa de amenaza por disolución de rocas con contenido calcáreo resulta ser un gran insumo para estudios de planificación del municipio, siendo este tipo de amenaza imperceptible ante el ojo humano y no catalogada en los requerimientos de riesgo para la formulación de los POT o PBOT municipales solicitados por La Corporación de La Meseta de Bucaramanga (CDMB) y de la corporación Autónoma Regional de Santander (CAS). Entre los estudios de riesgo únicamente clasifican las amenazas por movimiento en masa, estudios de amenaza por inundación, avenidas torrenciales y riesgo tecnológico.

- La zona urbana del municipio de San Vicente de Chucurí presenta amenaza baja en casi toda su extensión, solo un pequeño porcentaje hacia el sureste del municipio presenta amenaza media. De los corregimientos anexos al municipio; Puente Murcia, Llana Fria, Pozo Nutria, Albania y Yarima todos presentan amenaza baja excepto Puente Murcia que presenta amenaza Media, indicando que las zonas pobladas del municipio no presentan amenaza Alta

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amenaza, P. E. D. E., Por, Y. R., & En, M. (n.d.). *Guía metodológica*.

De Waele, J., Gutierrez, F., & Audra, P. (2015). Karst geomorphology: from hydrological functioning to palaeoenvironmental reconstructions.

Geomorphology, 229, 1–2.

<https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2014.09.023>

Escobar, G. D. (2014). *Ciudad de Manizales y Nevado del Ruiz al fondo. Colombia*

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS GONZALO DUQUE

ESCOBAR UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES

MANIZALES, 2003 CONTENIDO MANUALGEO.

www.galeon.com/manualgeo/<http://www.galeon.com/manualgeo/><http://www.galeon.com/manualgeo/>

[://www.bdigital.unal.edu.co/1572/](http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/)

Frumkin, A. (2013). 6.1 New Developments of Karst Geomorphology Concepts.

Treatise on Geomorphology, 6, 1–13. [https://doi.org/10.1016/B978-0-12-](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00112-3)

[374739-6.00112-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00112-3)

Galve, J. P., Gutiérrez, F., Guerrero, J., Alonso, J., & Diego, I. (2012). Application

of risk, cost–benefit and acceptability analyses to identify the most appropriate

geosynthetic solution to mitigate sinkhole damage on roads. *Engineering*

Geology, 145–146, 65–77. <https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2012.07.002>

Galvis-Gómez, M. A. (2018). *Mapa del potencial kárstico del departamento de*

Santander. 14.

- Gintamo, T. T., Mengistu, H., & Kanyerere, T. (2021). GIS-based modelling of climate variability impacts on groundwater quality: Cape Flats aquifer, Cape Town, South Africa. *Groundwater for Sustainable Development*, 15, 100663. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2021.100663>
- Gutiérrez, F., Fabregat, I., Roqué, C., Carbonel, D., Zarroca, M., Linares, R., Yechieli, Y., García-Arnay, Á., & Sevil, J. (2019). Sinkholes in hypogene versus epigene karst systems, illustrated with the hypogene gypsum karst of the Sant Miquel de Campmajor Valley, NE Spain. *Geomorphology*, 328, 57–78. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2018.12.003>
- Heidari, M., Khanlari, G. R., Taleb Beydokhti, A. R., & Momeni, A. A. (2011). The formation of cover collapse sinkholes in North of Hamedan, Iran. *Geomorphology*, 132(3–4), 76–86. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2011.04.025>
- Información general de San Vicente de Chucurí*. (n.d.). Alcaldía del municipio. Retrieved September 16, 2021, from http://www.sanvicentede-chucuri-santander.gov.co/informacion_general.shtml
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI*. (n.d.). Retrieved October 7, 2021, from <https://www.igac.gov.co/>
- Kaufmann, G., Romanov, D., Tippelt, T., Vienken, T., Werban, U., Dietrich, P., Mai, F., & Börner, F. (2018). Mapping and modelling of collapse sinkholes in soluble rock: The Münsterdorf site, northern Germany. *Journal of Applied*

- Geophysics*, 154, 64–80. <https://doi.org/10.1016/J.JAPPGEO.2018.04.021>
- Panno, S. V., & Luman, D. E. (2018). Characterization of cover-collapse sinkhole morphology on a groundwater basin-wide scale using lidar elevation data: A new conceptual model for sinkhole evolution. *Geomorphology*, 318, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.05.013>
- Parise, M. (2020). Sinkholes, Subsidence and Related Mass Movements. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818234-5.00029-8>
- periodico El Nacional. (1989). *Hoyo Malo, un testimonio de la violencia paramilitar*. Mayo 11 de 1989. http://www.archivodelosddhh.gov.co/saia_release1/almacenamiento/APROBADO/2018-11-12/497191/anexos/1_1542076248.pdf
- San Vicente de Chucurí, Santander*. (n.d.). Retrieved November 29, 2021, from <https://www.radionacional.co/cultura/viaje-al-corazon-de-san-vicente-de-chucuri>
- Song, K. II, Cho, G. C., & Chang, S. B. (2012). Identification, remediation, and analysis of karst sinkholes in the longest railroad tunnel in South Korea. *Engineering Geology*, 135–136, 92–105. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.02.018>
- Vaca, M. T. G. R. T., Gómez, I. V., Ríos, L. D. M., & Ruber, Luis Enrique Farfán Flórez Lady Patricia Rodríguez, D. G. (2012). *La caliza en Colombia*.

<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Caliza-en-Colombia-geologia.PDF>