

**COMPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE DATOS PARA DETERMINAR LA
SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN LA CUENCA
DE LA QUEBRADA JELLA**

**NANCY MILENA MARCADO MARTÍNEZ
YINA YARUSSA CUESTA MARTÍNEZ**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

**COMPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE DATOS PARA DETERMINAR LA
SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN LA CUENCA
DE LA QUEBRADA JELLA**

**NANCY MILENA MARCADO MARTÍNEZ
YINA YARUSSA CUESTA MARTÍNEZ**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
a título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	16
4. MARCO TEÓRICO	17
4.1. Susceptibilidad a las Amenazas Naturales.....	17
4.1.1 Susceptibilidad a la Amenaza Sísmica	17
4.1.1.1 Sismicidad	18
4.1.1.2. Sismicidad del Departamento del Chocó	18
4.2 Catástrofes	19
4.3 Riesgos Naturales	20
4.4 Cambio Climático.....	20
4.5 Identificación Vulnerabilidad	21
4.6 Identificación tsunamis	22
4.7 Incendios	23
4.8. Antecedentes de la aplicación de sistemas de información geográficos en masa.....	24
4.9. Antecedentes.....	25
4.9.1 Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa, IDEAM, 2012:.....	25
4.9.2 Memoria técnica del mapa de amenaza por movimientos en masa, IGAC – CORANTIOQUIA:.....	25
4.9.3 Comparación entre modelos digitales de elevación obtenidos a partir de imágenes de radar SRTM y cartas topográficas del IGN:	25
4.9.4 Estudios de amenazas por CODECHOCO:	25
4.9.5 Mapa de zonificación preliminar de amenazas naturales urbanas del Esquema de ordenamiento territorial del municipio de Bahía Solano (Marzo, 2005):	27

5. METODOLOGÍA	28
5.1 TIPO DE TRABAJO	28
5.2 AREA DE ESTUDIO	28
5.3 PROCEDIMIENTO	30
5.3.1 Fase 1. Obtención las fuentes de información.	30
5.3.2 Fase 2. Definición de la metodología	30
5.3.3 Fase 3. Evaluar la vulnerabilidad y amenaza para cada fuente de información.....	33
5.3.4 Fase 4. Presentar los mapas de amenaza y vulnerabilidad generados.	33
6. RESULTADOS.....	33
6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	33
Fase 1. Obtención las fuentes de información.	33
Fase 2. Definición de la metodología	37
Fase 3. Evaluación de la vulnerabilidad y amenaza para cada fuente de información.	45
Fase 4. Presentación de mapas de vulnerabilidad y amenaza.	47
7. CONCLUSIONES	52
8. RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores y Rango de Susceptibilidad	31
Tabla 2. Valores y Rango de Amenaza	31
Tabla 3. Valores y Rango de Pendientes.....	31
Tabla 4. Valores y Rango de conflictos de uso	32
Tabla 5. Valores y Rango de geología y geomorfología	32
Tabla 6. Valores y Rango de precipitación	32
Tabla 7. Valores para el mapa de sismos.....	33
Tabla 8. Susceptibilidad - Curvas	45
Tabla 9. Susceptibilidad - DEM.....	45
Tabla 10. Amenaza Curvas	46
Tabla 11. Amenaza DEM	46

Lista de Figuras

Figura 1. Curvas de Nivel digitalizadas	34
Figura 2. TIN generado a partir de curvas de nivel	34
Figura 3. DEM generado curvas de nivel	35
Figura 4. DEM NASA	35
Figura 5. Puntos para comparación de alturas	36
Figura 6. Pendientes generadas por curvas de nivel	37
Figura 7. Pendientes generadas por DEM NASA	37
Figura 8. Susceptibilidad – Curvas de Nivel	45
Figura 9. Susceptibilidad – DEM.....	45
Figura 10. Amenaza – Curvas	46
Figura 11. Amenaza – DEM.....	46

Lista de Mapas

Mapa 1. Localización del Municipio de Bahía solano.....	29
Mapa 1. Geología de la Cuenca de la Quebrada Jella	38
Mapa 2. Geomorfología de la Cuenca de la Quebrada Jella	40
Mapa 3. Conflicto uso del suelo en la Cuenca de la Quebrada Jella	43
Mapa 4. Eventos sísmicos en la Cuenca de la Quebrada Jella	44
Mapa 5. Susceptibilidad por remoción en masa en la Cuenca de la Quebrada Jella - DEM.....	48
Mapa 6. Amenaza por remoción en masa en la Cuenca de la Quebrada Jella – DEM.....	49
Mapa 7. Susceptibilidad por remoción en masa en la Cuenca de la Quebrada Jella – Curvas de Nivel.....	50
Mapa 8. Amenaza por remoción en masa en la Cuenca de la Quebrada Jella – Curvas de Nivel.....	51

AGRADECIMIENTOS

Agradeciendo en primer lugar, a DIOS que fue el principal apoyo y motivador para cada día continuar sin rendirnos, por darnos la sabiduría y de permitir lograr éste proyecto.

A nuestras familias, por apoyarnos en cada decisión y proyecto, nos sentimos más ajenos con la confianza puesta sobre nosotras, pues son nuestros mayores promotores durante éste proceso.

A los ingenieros José Nery Mosquera Hurtado y a Fredy Carabalí Mosquera, por el gran apoyo y colaboración durante el desarrollo del proyecto.

Agradeciendo a la universidad, por habernos permitido formarnos y darnos la oportunidad de emprender nuevos conocimientos.

Agradeciendo a cada uno de los docentes que fueron partícipes de éste proceso universitario, ya sea de manera directa o indirecta, no solo por ayudarnos en gran manera a concluir el desarrollo de ésta tesis, sino por todos los aportes educativos que nos suministraron durante el proceso de estudio.

GLOSARIO

Amenaza: Es la manifestación del peligro. Es un factor de riesgo externo, representado por el peligro latente de que un fenómeno físico de origen natural o antrópico se manifieste produciendo efectos adversos a las personas, a los bienes y al ambiente.

ArcGis: Software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG, compuesto por varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. (Producido y comercializado por ESRI).

ArcMap: Es el componente principal de ArcGIS (ESRI), permite al usuario explorar los datos dentro de un conjunto de datos, simbolizan características en consecuencia, y crear mapas.

ArcToolbox: Conjunto de herramientas de ArcGIS (ESRI), que se emplea para el geoprocesamiento combinar capas de información, manipulación de los datos, definición y transformación de sistemas de coordenadas, y otros.

Arcscan: Herramienta que le permiten convertir imágenes escaneadas en capas de entidades basadas en vectores.

DEM: (Modelo Digital de Elevación) Es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo, estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

Desastres: Situación causada por un fenómeno de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que significa alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y/o el medio ambiente.

Es la situación resultante de la presencia efectiva de un evento, que como consecuencia de la vulnerabilidad de los elementos expuestos causa efectos adversos sobre los mismos.

Un desastre es un hecho natural o provocado por el ser humano que afecta negativamente a la vida, al sustento o a la industria y desemboca con frecuencia en cambios permanentes en las sociedades humanas, en los ecosistemas y en el medio ambiente. (CENAPRED)

Fotogrametría: Es una técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas.

Gestión de riesgo: Es un enfoque estructurado para manejar la incertidumbre relativa a una amenaza, a través de una secuencia de actividades humanas que incluyen evaluación de riesgo, estrategias de desarrollo para manejarlo y mitigación del riesgo utilizando recursos gerenciales.

Riesgo: Es la combinación del peligro y la vulnerabilidad. Probabilidad de que se produzca un daño en las personas, en uno o varios ecosistemas, originado por un fenómeno natural o antropógeno (LGCC, 2012).

Raster: Es una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa una información

Shapefile: Es un formato de almacenamiento de datos vectoriales de Esri para almacenar la ubicación, la forma y los atributos de las entidades geográficas. Se almacena como un conjunto de archivos relacionados y contiene una clase de entidad.

Vulnerabilidad: Es el grado al cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos (IPCC, 2007). Un sistema es vulnerable en la medida en que esté expuesto a un peligro.

RESUMEN

Este proyecto básicamente se orientó en comparar dos fuentes de información o estructuras de datos, debido a la falta de información cartográfica y a la difícil adquisición de imágenes satelitales que contengan suficiente información para la realización de alguna actividad, esto ocurre principalmente por la ubicación geográfica de la zona de estudio, lo cual hace que este lugar esté todo el tiempo nublado, situación que dificulta obtener información de ella.

La comparación de las dos estructuras se realizó mediante la metodología desarrollada por el IDEAM para evaluar la susceptibilidad y amenaza por remoción en masa, así identificar, analizar y evaluar este fenómeno, que posiblemente se pueda presentar en la cuenca del casco urbano de la ciudad de Bahía Solano departamento del Chocó, permitiendo comparar la información obtenida de los modelos de elevación digital, para determinar los sectores con mayor grado a susceptibilidad y amenaza ante el fenómeno natural.

Se observó que la diferencia entre las dos estructuras de datos (raster y vectorial) comparados mediante los modelos de elevación digital uno generado a partir de curvas de nivel y el otro propuesto por la NASA, no son representativas sin embargo la mayor diferencia se presenta en las zonas de media y alta susceptibilidad es decir en las partes donde el terreno es más plano, debido a que el DEM generado por las curvas de nivel a cada 25m está presentado por intervalos o rangos de altitud y el DEM propuesto por la NASA contiene un valor de altitud para cada pixel que conforma el área de estudio, lo que hace que la información por pixel sea más detallada en cuanto a altitud que la generada por las curvas de nivel.

Al comparar la información obtenida para la amenaza por remoción en masa, se evidencian una gran similitud en los datos obtenidos por medio de las dos fuentes de información donde se evidencia una similitud considerable en todos los niveles o rangos en que se clasificó la zona.

Lo cual nos indica que la información generada por el DEM de la NASA puede utilizarse para complementar la información de cartográfica a escala 1:25.000 que hace falta en la cuenca de la Quebrada Jella en el área urbana de Bahía Solano Chocó.

PALABRAS CLAVES: cuenca, DEM, curvas de nivel, susceptibilidad, amenaza.

ABSTRACT

This project basically was aimed to compare two sources of information or data structures, due to lack of cartographic information and the difficult acquisition of satellite images that contain sufficient information to carry out any activity, this is primarily due to the geographical location of the study area, which makes this place is all cloudy weather, situation difficult to obtain information from it.

Comparison of the two structures was performed using the methodology developed by the IDEAM to evaluate the susceptibility and threat landslides and identify, analyze and evaluate this phenomenon, which possibly may arise in the basin of urban city Bahia Solano Choco department, allowing to compare the information obtained from digital elevation models, to determine the sectors with greater susceptibility and threat to the natural phenomenon.

It was noted that the difference between the two data structures (raster and vector) compared using the digital elevation models one generated from contour lines and the other proposed by NASA, are not representative however the biggest difference comes in areas of medium and high susceptibility ie in the parts where the terrain is flatter, because the DEM generated contour lines every 25m is introduced by ranges or altitude ranges and DEM proposed by NASA contains a altitude value for each pixel that forms the study area, which makes the pixel information is more detailed in altitude than that generated by the contour lines.

By comparing the information obtained to the threat by landslides, a great similarity is evident in data obtained by the two sources of information where a considerable similarity is evident at all levels or ranges in the area was classified.

Which it indicates that the information generated by the DEM NASA can be used to supplement information mapping at 1: 25,000 is needed in the basin of the Quebrada Jella in the urban area of Bahia Solano Choco.

KEYWORDS: basin, DEM, contour lines, susceptibility, threat.

INTRODUCCIÓN

Un desastre es un evento natural catastrófico e intensivo que trastorna el funcionamiento de una comunidad y es capaz de generar daños ambientales, de infraestructura y lesiones o incluso la muerte de seres vivos, puede en algunos casos dar lugar a cambios permanentes en la sociedad humana, ecosistemas y medio ambiente.

La probabilidad de ocurrencia de un desastre está determinado por dos factores importantes: Susceptibilidad y Amenaza

Normalmente el hombre interactúa con el medio ambiente y en esa relación al pasar del tiempo este sufre en aumento de susceptibilidad frente a las amenazas de origen natural o generadas por él mismo. Inundaciones, contaminación, incendios forestales - entre otros acontecimientos, provocan grande pérdidas en vidas humanas e infraestructura.

Sumada a esta realidad la falta de información cartográfica en la zona debido a la gran nubosidad que se genera principalmente por la ubicación geográfica de la cuenca, hace que sea necesario el uso de los sistemas de información geográfica para investigar, probar, comparar y utilizar técnicas mediante las cuales se pueda generar la información que hace falta para complementar la cartografía base y generar una descripción grafica de las amenazas y susceptibilidades que se presenten en la cuenca de la quebrada Jella para que así la sociedad pueda usar de manera preventiva los resultados obtenidos.

En el presente trabajo se desarrolla una comparación de diferentes estructuras o fuentes de información mediante la metodológica de susceptibilidad y amenaza desarrollada por el IDEAM, e INGEOMINAS para la evaluación de los fenómenos por remoción de masas, utilizando los sistemas de información geográfica como herramienta principal para determinar si los datos estudiados podrían complementarse unos con otros.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

A la hora de realizar un trabajo, estudio o investigación sobre un tema del cual podemos adquirir varias fuentes de información de datos, se hace necesario definir cuál de estos datos es el más adecuado para la realización de la actividad que queremos desarrollar.

Por ello, teniendo como realizar una comparación utilizando dos fuentes de información diferentes, una derivada de los modelos de elevación como los SRTM (Misión topográfica por radar de la NASA) y la otra por medio de procesos de fotogrametría (Planchas IGAC a escala 1:25.000) para la cuenca de la Quebrada Jella localizada en el municipio de Bahía Solano, donde el gran riesgo de las viviendas es que están construidas a orillas del mar, de los ríos y quebradas y en muchos casos al lado de montañas o zonas con pendientes pronunciadas y desprotegidas que en tiempos de invierno constituyen amenazas para la mayoría de los habitantes del municipio.

Comparación que se realizaría por la difícil adquisición de información por medio de imágenes de satélite y cartografía base, debido a la gran cantidad de nubes que se plantan sobre los suelos de la cuenca, con el fin de generar información que sea útil y permita complementar la base cartográfica de dicha cuenca.

Lo que nos lleva a hacer uso de los sistemas de información geográfica y métodos existentes que permitan identificar y evaluar la susceptibilidad y amenaza de origen natural, que se puedan presentar, permitiendo esto clasificar o zonificar las áreas donde el riesgo sea más alto contemplando los cambios que ha sufrido la tierra por los grandes golpes que se han dado con la extracción de minería, la deforestación y la contaminación ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar las estructuras de datos para la susceptibilidad y amenaza por remoción en masa en la cuenca de la Quebrada Jella.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Procesar los datos existentes para hacer posible su posterior comparación.
- Aplicar la metodología propuesta por el IDEAM para comparar los resultados obtenidos partiendo de cada fuente de información.
- Generar los mapas de susceptibilidad y amenaza para la zona de estudio para ambas estructuras de datos.

3. JUSTIFICACIÓN

La ubicación geográfica condiciona las características del clima, la calidad de los suelos, el relieve del terreno, la precipitación pluvial, la economía y hasta la vida de pueblos, personas y sus comportamientos.

El departamento del Chocó está ubicado al noroccidente de Colombia, siendo el único en tener límites con los dos océanos, el pacífico y el atlántico lo cual resulta ser bastante beneficioso para surgir hacia el desarrollo económico, comercial, social e industrial.

El Chocó es considerado uno de los departamentos con mayor riqueza en recursos naturales, biodiversidad de especies de plantas y animales, sin embargo todos estos recursos no han sido aprovechados sosteniblemente en pro de las comunidades.

Mirando a el Chocó desde otro punto de vista se puede admirar que está ubicado entre el Océano Pacífico y la cordillera occidental de los Andes, situación que hace que los vientos provenientes del Océano Pacífico que son relativamente más fríos y húmedos que los vientos alisios predominantes del este provenientes del Atlántico y del Caribe. Una vez que los vientos provenientes del Océano Pacífico cruzan la cordillera occidental de los Andes Colombianos, descienden por la cordillera como vientos katabáticos (vientos que descienden de noche). El encuentro de tales vientos del oeste y del este, combinado con los efectos del calentamiento superficial y el ascenso orográfico producen un perfil atmosférico altamente inestable. Esta dinámica causa una fuerte convección profunda (transporte de humedad), asociada a altas cantidades de precipitación a lo largo de la costa Pacífica y al occidente de la cordillera occidental de Colombia. Allí se forman grandes conjuntos de nubes con alta precipitación (complejos convectivos de meso-escala) que se dirigen al interior del país por la costa Pacífica.

Situación que hace necesario tener en cuenta información generada por varias fuentes, compáralas para establecer las diferencias y precisión de cada una de ellas dependiendo de la zona, ya que por la gran cantidad de nubes que se plantan sobre el departamento es muy poca la información a la que se puede acceder por medio de las imágenes satelitales y procesos de fotogrametría.

4. MARCO TEÓRICO

Con el fin de analizar y comparar la vulnerabilidad y amenaza por remoción en masa en la cuenca de la Quebrada Jella, se desea realizar una comparación utilizando dos fuentes de información para verificar las similitudes y diferencias en los resultados obtenidos al aplicar la metodología desarrollada por el IDEAM e INGEOMINAS, la cual se basa en aplicar valores ponderados a las variables para poder determinar el grado o rango de vulnerabilidad y amenaza por el fenómeno de remoción en masa en el área de estudio a fin de propender espacios y mecanismos alternos que le permita a la comunidad realizar planes de emergencia para la prevención de riesgos ante la alta vulnerabilidad en dicha cuenca.

Los resultados de la susceptibilidad a movimientos en masa para la cuenca de la Quebrada Jella se podrán controlar y prevenir procesos que afecten a la población, tales como: erosión, inundaciones, inestabilidad geológica, deforestación, simplificación y fragmentación de ecosistemas; además, estudios que sirvan gran parte para beneficios para la región otorgando especial interés a los recursos hídricos, los aprovechamientos hidroeléctricos, la prevención de desastres y la calidad ambiental.

En el Departamento del Chocó, especialmente en el Municipio de Bahía Solano, debido a las complejas características Geológicas, las diferentes formaciones superficiales y los procesos de geodinámica externa que ocurren en la zona donde están establecidos, se presentan procesos.

Es por ello, que se hace necesario e imprescindible mencionar algunas Amenazas que se presentan en el centro de estudio (MUNICIPIO DE BAHIA SOLANO)

Algunas amenazas naturales que pueden afectar al Municipio de Bahía Solano son:

- Amenaza Sísmica que se puede manifestar en tsunamis y licuación de suelos
- Amenaza por Inundación
- Amenaza por deslizamiento
- Amenazas geo - climáticas

4.1. Susceptibilidad a las Amenazas Naturales

En esta labor, se hace referencia al término susceptibilidad a la amenaza como el área de una región expuesta a un fenómeno natural (ubicación probable de ocurrencia del fenómeno). El alcance de la información presentada se refiere principalmente a las áreas de la región que pueden ser afectadas por sismos (incluyendo licuación y tsunamis), inundaciones y erosión litoral.

4.1.1 Susceptibilidad a la Amenaza Sísmica

4.1.1.1 Sismicidad

La sismicidad hace relación al número o frecuencia de sismos ocurridos en un área determinada.

4.1.1.2. Sismicidad del Departamento del Chocó

Es imprescindible citar, que Colombia está localizada dentro de una de las zonas sísmicamente más activas de la tierra, la cual se denomina anillo circumpacífico y corresponde a los bordes del Océano Pacífico. El emplazamiento tectónico de Colombia es complejo pues en su territorio convergen la placa de Nazca, la placa Suramericana y la placa Caribe principalmente (NSR-98) además del bloque tectónico Panamá – Serranía de Baudó y la miniplaca Norandina. El Municipio de Bahía Solano se encuentra muy cerca de la zona de subducción del borde del Océano Pacífico en una zona de alta complejidad Geogeoestructural, debido a la convergencia en la región de las placas tectónicas antes mencionadas. La concentración de esfuerzos que implican los desplazamientos de estas placas se manifiesta en el fallamiento, plegamiento y alta sismicidad que se presenta en todo el Departamento del Chocó, en especial del fallamiento y plegamiento que se presenta en el Municipio de Bahía Solano y en la zona de Istmina, muy cerca del Municipio la cual es conocida dentro de la geología estructural como la Zona del Cizalla de Istmina.

Los más violentos sismos históricos en Colombia han ocurrido en la zona de subducción a lo largo de la Costa Pacífica y se espera que en el futuro sucedan terremotos similares en esta región, de magnitud mayor de 8.0 (Muñoz, V., 1989).

Las fuentes sismogénicas activas que pueden afectar sísmicamente a la zona del proyecto son principalmente:

- Los eventos sísmicos asociados a la dinámica de la zona de subducción del borde del Océano Pacífico.
- La falla del Atrato
- La falla de Murindó - Atrato
- La falla de Utría o Bahía Solano que pasa a través de la población de Bahía Solano.
- Falla Garrapatas
- Falla Junín - Sambiami
- Sistema de Fallas Cauca-Romeral

De la falla del Río San Juan no se tiene información si es activa.

Colombia y en especial la Región Pacífica se encuentran en una zona de alta actividad tectónica, la cual hay continuos movimientos sísmicos. Dichos movimientos a diferencia de otros fenómenos naturales son prácticamente imprevisibles, por lo tanto el análisis de la susceptibilidad a la Amenaza sísmica no pretende identificar la ocurrencia de un evento sísmico dentro de un escenario

espacio-temporal, sino identificar zonas de interés con más o menos ocurrencia de estos fenómenos de acuerdo con parámetros de magnitud y profundidad en un área de magnitud sísmica reconocida.

En áreas que presenten un historial de movimientos sísmicos debidos a la actividad tectónica (como en el caso de Bahía Solano), se hace indispensable la identificación de las fallas asociadas con dicha actividad (fallas activas). Estas fallas pueden ser identificadas sobre imágenes de sensores remotos, en especial las imágenes de radar.

De acuerdo con los estudios realizados por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) y el Ingeominas, plasmado en el Mapa de Amenaza Sísmica de la NSR-98, la Región Pacífica se encuentra ubicada en su totalidad en la zona de amenaza sísmica alta. Dentro de esta región se encuentra el Municipio de Bahía Solano

4.2 Catástrofes

Para el estudio que se pretende suscitar, se puede identificar que por el grado de amenaza, análisis, de riesgo y la mayor importancia sintetizado en la zona de estudio, para nuestro caso el departamento del Chocó, se encuentra localizado en el Angulo noroccidental de Colombia, es una zona singular por su posición geográfica, donde sus características geológicas, tectónicas, hidrológicas y meteorológicas de esta región forman un sistema geofísico complejo, con un alto riesgo de ocurrencia de catástrofes naturales que surten en el tiempo. La historia del Departamento del Chocó ha sido con una sucesión de catástrofes naturales relacionadas con los movimientos telúricos, la alta pluviosidad, la red hidrológica y las inestabilidades de terreno. El incremento del conocimiento de los desastres naturales se ha llevado a cabo a través de la identificación y caracterización de los desastres ocurridos durante las tres últimas décadas, para obtener mitigación de riesgo. Por lo anterior, se hace necesario citar ocurrencias de fenómenos naturales con consecuencias catastróficas para el país. En 1979 el tsunami de Tumaco causó más de 400 muertos (EM-DAT, 2005). No se había terminado aún con la reconstrucción de Tumaco, cuando en 1983 ocurre el terremoto de Popayán, el cual no solo dejó pérdidas millonarias, sino que también destruyó gran parte arquitectónica de la ciudad. Después de la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985, la cual provocó alrededor de 25.000 muertos (Lowe et al 1985), la destrucción total de armero y pérdidas en Mariquita y Chinchiná, además de la debilitación económica de cuatro departamentos, la cual, el gobierno colombiano decidió tomar una serie de medidas tendientes a proteger la población colombiana frente a los desastres naturales.

De lo anterior, surgió la creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres – DNPAD (Ley 46 de 1988, reglamentada por el decreto ley 919 de 1989); con el Decreto 2546 del 23 de diciembre de 1999, se reestructuró el

Ministerio del Interior cambiándose su denominación por la Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres, que es el nombre actual la DNPAD.

Ahora bien, es conocido que el Departamento del Chocó, posee costas en ambos océanos, donde confluyen una serie de condiciones geográficas y geofísicas las cuales hacen de ésta una de las zonas más vulnerable a fenómenos naturales con alto riesgo de ocurrencia de desastres.

Además de inundaciones, deslizamiento, marejadas, vendavales, tempestades, retroceso del litoral, y la subsidencia de playas, el Chocó está situado en una zona de alta sismicidad, haciendo de los sismos otro riesgo de gran escala en el Departamento.

Los desastres constituyen un problema imperecedero en el Departamento del Chocó, causantes de pérdidas que desequilibran aún más la situación socio-económica del Departamento. Las pérdidas por desastres son función de la distribución espacial de la amenaza, la exposición social y económica y de la vulnerabilidad.

4.3 Riesgos Naturales

Existe una serie de riesgos naturales cuya importancia relativa puede depender del grado de ocurrencia de cada evento, o de su magnitud. Desde el punto de vista del grado de ocurrencia, los riesgos más importantes son, ordenados de mayor a menor importancia: fenómenos hidrometeorológicos (derrumbes, inundaciones), incendios y accidentes por transporte de materias peligrosas. Desde el punto de vista de la magnitud, el riesgo más importante es el sísmico.

Así mismo, se ha desarrollado con base en los estudios sociales sobre los desastres desde la década de 1950, pero con mayor producción durante los últimos veinte años (Mansilla, 1996). Las posturas desarrolladas bajo este enfoque han buscado dar una explicación social de los desastres, ya sea desde el punto de vista de la afectación que sufren las personas y su comportamiento en momentos de emergencia, o desde aquellos cuyo énfasis busca las relaciones entre los desastres y el contexto histórico y social de su causalidad.

4.4 Cambio Climático

Sumado a lo anterior, cabe resaltar que Colombia es un país altamente vulnerable en cuanto a los efectos del cambio climático; las emergencias que se asocian a este factor se observan y se prevén de acuerdo a los asentamientos humanos y los eventos o fenómenos naturales que se den. Si se habla de los respectivos asentamientos humanos, se evidencia que la mayoría de la población se encuentra ubicada en las partes altas de las cordilleras, donde se advierten en los próximos años problemas como la escasez hídrica, la inestabilidad de los suelos, incremento

en la temperatura y cambio en el régimen de lluvias lo que traería como consecuencia deslizamientos, inundaciones o incendios forestales. Ante la problemática ambiental de características globales que produce el cambio climático es indispensable conocer de manera científica los diferentes aspectos relacionados tanto con sus causas como sus efectos, pero principalmente las posibilidades de reducir la vulnerabilidad de las diferentes poblaciones.

Aunado a esto, se resulta que uno de los principales retos que enfrenta actualmente la sociedad es el cambio climático, por lo siendo Colombia uno de los 188 países que la acogieron. Un estudio realizado por Pabón (2003), afirma que: “la prueba más contundente del cambio climático en el territorio colombiano es la reducción de los glaciares de montaña, los cuales en algunos casos han desaparecido y/o los otros se encuentran en un proceso de destrucción continuada, de igual manera Vásquez (2009), argumenta que zonas de vida y fuentes de agua, flora y fauna serán las más afectadas por el cambio climático, al igual que la elevación del nivel del mar.

4.5 Identificación Vulnerabilidad

De otra parte y como resultado de amenazas antrópicas, en dicha zona, sus pobladores se encuentran amenazados y en condiciones de vulnerabilidad, frente a fenómenos como el tráfico de drogas por sus costas y la presencia de actores armados ilegales en su territorio, conflictos entre bandas delincuenciales por el control de las rutas del narcotráfico, entre otras, que se han materializado en desplazamientos y desapariciones forzadas por la violencia, secuestros de locales y turistas, ataque a poblaciones, asesinatos, extorsiones y la vinculación de miembros de las comunidades locales, tanto adultos como menores de edad, a actividades ilícitas.

Ahora bien, teniendo en cuenta que durante el último lustro los fenómenos de variabilidad climática se han presentado con mayor frecuencia y sobretodo, con mayor intensidad, y considerando que el territorio del Choco en especial la del área de estudio establecido desde un principio es susceptible de sufrir eventos o emergencias debido a las amenazas por fenómenos naturales asociados principalmente a la ocurrencia de lluvias o a los niveles elevados de las precipitaciones, y que, igualmente existe una vulnerabilidad muy alta, asociada entre otras a la ocupación del territorio, el cual ha sido desarrollado con una poca planeación, se han generado conflictos sociales que no solo aumentan los riesgos de las comunidades establecidas, sino también del medio ambiente y la infraestructura que las rodea.

Como quiera que van aumentando las emergencias en el territorio, en especial con las temporadas invernales, periódicamente las comunidades se ven afectadas por

factores tales como una mala ubicación de sus viviendas, por su falta de conocimiento al asentarse en zonas de riesgo o amenaza, porque no tienen donde más construir e invaden las rondas de las fuentes hídricas, las playas, o cauces antiguos de los ríos, lo que contribuye a la generación de la problemática asociada a inundaciones y a la ocurrencia de eventos relacionados con dicha problemática; igualmente, existe la necesidad de llevar a cabo labores de refuerzo y retroalimentación de las acciones ya realizadas en el tema de prevención y atención de emergencias, en este caso a las comunidades, teniendo en cuenta las condiciones de vulnerabilidad antes expuestas.

4.6 Identificación tsunamis

De lo citado y dada la ubicación del municipio de Bahía Solano cercana a la zona de subducción de las fallas tectónicas de Nazca y Suramericana y consecuentemente a su alto grado de sismicidad, la probabilidad de que se materialice la amenaza de Tsunamis, es alta. Zona de subducción que se extiende desde el sur de Chile hasta Centroamérica y en su comportamiento sísmico esta segmentada. Los eventos grandes que han afectado a Colombia, en el presente siglo, se originaron en un tramo que va desde esmeraldas en el Ecuador hasta Buenaventura (Keheller, 1972). En cambio de la parte norte, constituida en su mayor parte por el departamento del Chocó no se conocen hasta ahora grandes sismos Tsunamigénicos. El terremoto del 31 de enero de 1906 es considerado como el evento característico del segmento colombo – ecuatoriano; así como el Municipio se encuentra muy cerca de la zona de subducción del borde del Océano Pacífico en una zona de alta complejidad, debido a la concurrencia en la región de las placas tectónicas de Nazca y Suramericana. La tasa de convergencia entre estas placas es de 4-8 cm. por año, el ángulo de subducción es de unos 15° cerca de Quibdó, y la placa Nazca se encuentra a unos 40 Km. de profundidad.

La información de los registros sísmicos asociados a la actividad de la Falla Bahía Solano no son suficientes para calibrar sus parámetros de sismicidad; no obstante, su posición muy cercana a la zona de subducción, su longitud y los sismos de Bahía Solano permiten asignarle una magnitud última posible de 7.0 en la escala Ms (Estudio General de la Amenaza Sísmica de Colombia Comité AIS 300 – Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica).

A ese respecto, ligado a los tsunamis, terremotos e inundaciones está la amenaza por “*Licuación de Suelos*”, que consiste en un proceso que generalmente ocurre en arenas finas, arenas limosas y limos no plásticos, saturados, que tienden a densificarse cuando son sometidas a cargas cíclicas. En Bahía Solano los terrenos susceptibles a licuarse están constituidos de suelos aluviales de las llanuras de inundación de los ríos Valle y Jella, y de formaciones deltaicas, inter-mareales, litorales y pantanosas (Velásquez y otros, 1996).

4.7 Incendios

En concordancia con lo anterior, la Ley 1523 del 24 de abril 2012, por el cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres, establece en su Artículo 31. Las CARS *“como integrantes del sistema nacional de gestión del riesgo, además de las funciones establecidas por la Ley 99 de 1993 y la Ley 388 de 1997 o las leyes que las modifiquen. Apoyarán a las entidades territoriales de su jurisdicción ambiental en todos los estudios necesarios para el conocimiento y la reducción de riesgo y los integran a los planes de ordenamiento de cuencas, de gestión ambiental, de ordenamiento territorial y de desarrollo”...*

El Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios Forestales y rehabilitación de Áreas Afectadas, año 2002, con la finalidad principal de proteger los bosques y ecosistemas, así como la de prevenir las emergencias y desastres que se ocasionen en forma indirecta o directa, hace un diagnóstico sobre el origen de los incendios forestales en el país, estos son causados casi en su totalidad por la actividad humana; unas veces por el descuido y falta de previsión y otras por necesidades económicas y culturales o por causas de violencia.

El Documento CONPES 3146 de 2001, cita que es responsabilidad y facultad de las CAR como autoridades ambientales y entidades directoras técnicas de los procesos de protección ambiental, el dirigir, orientar, implementar y desarrollar programas de prevención y control de incendios forestales y recuperación de áreas afectadas, en conjunto con los consejos municipales y departamentales de gestión del riesgo de desastre, las organizaciones de la Sociedad Civil, Gremios y Empresas de sus respectivas jurisdicciones y comunidad.

Ley 388 de 1997, establece los determinantes generales de los planes de ordenamiento territorial relacionados con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales. Siendo relevante que en los planes básicos y esquemas de ordenamiento este plasmada la necesidad de priorizar la gestión del riesgo por amenazas naturales y antrópicas.

Estas actividades se encuentran articuladas en el Plan Nacional de Desarrollo y de Inversiones del Gobierno Nacional *“Prosperidad para todos”*, con el objetivo de construir equidad social, Capítulo VI. Sostenibilidad ambiental y prevención del riesgo, como estrategias para *la gestión del riesgo de pérdida de biodiversidad y sus servicios ecosistémicos*

Igualmente el Programa Protección en Incendios Forestales del Plan Nacional de Desarrollo Forestal, contiene cuatro programas, entre los cuales se encuentra *“Educación e Información pública”*, en el marco del cual se consideró el

Subprograma de Entrenamiento para la Prevención y Atención de Incendios Forestales, con el que se pretende fortalecer la cooperación entre las autoridades encargadas del tema, las comunidades locales y habitantes en general, donde las autoridades ambientales deberán incorporar un componente eficaz de capacitación y entrenamiento en materia de detección, información y manejo de los incendios forestales.

4.8. Antecedentes de la aplicación de sistemas de información geográficos en masa.

Después de una búsqueda eficaz, sobre la implementación de los SIG, se obtuvo que la evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos dentro de un SIG, integra factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de pesos de factores y clases. Se propone un método indirecto de evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos dentro de un SIG, que integra factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, algunos de ellos extraídos a partir del análisis de imágenes de satélites, y técnicas de evaluación multicriterio, basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de pesos de factores y clases. El método permite evaluar cuantitativamente la consistencia en la asignación de pesos, con lo que se reduce la subjetividad inherente a ésta, que es típica de los métodos de indexación. Dicho método se considera especialmente útil para la evaluación de la susceptibilidad a escalas intermedias (1:25.000 y 1:50.000) en zonas donde apenas existen datos geotécnicos e hidrogeológicos, para nuestro caso relativamente; y en las que además no es factible realizar muestreos estadísticos adecuados (Hervas, 2001). Existen diversos métodos de evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos a través de SIG. Soeters y van Westen (1996), Aleotti y Chowdhury (1999) y Guzzetti et al. (1999), entre otros autores, proporcionan una amplia visión de los más utilizados, entre los que se incluyen principalmente los estadísticos, determinísticos, de indexación y de evaluación directa de la susceptibilidad. La aplicabilidad de cada método a una zona determinada depende sobre todo de las características y extensión de dicha zona, del tipo y extensión de los deslizamientos existentes, de los datos geotécnicos e hidrogeológicos disponibles y de la escala de trabajo (Hervas, 2001). Para la cartografía regional de susceptibilidad, a escalas intermedias, del orden de 1:25.000 y 1:50.000, frecuentemente no se dispone de suficientes datos que permitan el uso de métodos determinísticos, siendo éstos además poco apropiados para tales escalas. El uso de métodos estadísticos, generalmente más adecuados en estos casos, conlleva a un gran esfuerzo de recolección de datos. Cabe anotar que estos últimos no son aplicables en zonas donde predominan los deslizamientos respecto a las áreas estables. Por otra parte, el empleo de métodos tanto de evaluación directa de la susceptibilidad como de evaluación indirecta, mediante el uso de índices, implica generalmente una gran

subjetividad, por lo que los criterios de evaluación son difícilmente extrapolables a otras zonas. Una aplicación más adecuada de los métodos de evaluación indirecta requiere la utilización de algún procedimiento que disminuya la subjetividad en la asignación de pesos o que normalice analíticamente el criterio con el que éstos se asignan a los diferentes factores condicionantes de deslizamientos considerados (Hervas, 2001).

4.9. Antecedentes

4.9.1 Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa, IDEAM, 2012:

Que se basa principalmente en combinar los factores de análisis mediante el uso de puntajes ponderados, la suma de los puntajes de todas las variables da como resultado un mapa de valores numéricos el que es dividido en rangos para definir zonas con distintos niveles de amenaza.

Para la generación de dicho mapa, en primera instancia se obtuvo el mapa de susceptibilidad del terreno, posteriormente se incluyeron los factores detonantes de precipitación y sismicidad.

4.9.2 Memoria técnica del mapa de amenaza por movimientos en masa, IGAC – CORANTIOQUIA:

Documento que se origina dentro del marco del proyecto estimación y elaboración cartográfica de amenazas por inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa con el uso de tecnologías geoespaciales. Fase II Zona Oriental Jurisdicción de CORANTIOQUIA, el cual tuvo como objetivo generar el mapa de amenaza relativa del terreno a los movimientos en masa en la zona de estudio y para ello utilizaron el método explícito empírico (INGEOMINAS-CVC, 2001) o heurístico (INGEOMINAS, 2012).

4.9.3 Comparación entre modelos digitales de elevación obtenidos a partir de imágenes de radar SRTM y cartas topográficas del IGN:

Escrito por, Mario Jesús Galván, Carlos Ariel Bonzano, Guillermo Enrique Mas del instituto INTA EEA San Luis de Argentina, el cual tenía por objetivo mostrar la utilidad de las imágenes de radar SRTM como alternativa a las cartas topográficas del IGN, comparando los modelos digitales de elevación obtenidos a partir de ambas fuentes.

4.9.4 Estudios de amenazas por CODECHOCO:

La corporación para el desarrollo sostenible del Chocó CODECHOCÓ, (CODECHOCÓ, 2012), desarrollo, con base en la metodología desarrollada por el IDEAM, la CVC y la Escuela Colombiana de Ingeniería un estudio que propuso generar información base y temática, que permitiera estimar zonas inundables,

sirviera de fuente para determinar fenómenos de remoción por masas para 8 municipios en el departamento del Chocó.

Este estudio permitió:

- Realizar los mapas de susceptibilidad y amenaza para los municipios de Atrato, Bajo Baudó, Carmen de Darién, El litoral del San Juan, Lloró, Medio Baudó, Quibdó y Riosucio mediante la aplicación de la Guía “evaluación de Riesgos por fenómenos de remoción en masa” adoptada para el departamento del Chocó.
- Determinar mediante el modelo de elevación digital del Terreno utilizado generado por la NASA de resolución 30m las curvas de inundación dado que la dinámica de los regímenes de lluvias y la dinámica hidrológica presentes en las cuencas del departamento.
- Afinar la información base suministrada por el IGAC a escala 1:100.000 de las inundaciones a nivel nacional, a escala de mejor detalle y corroborada con información en campo.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

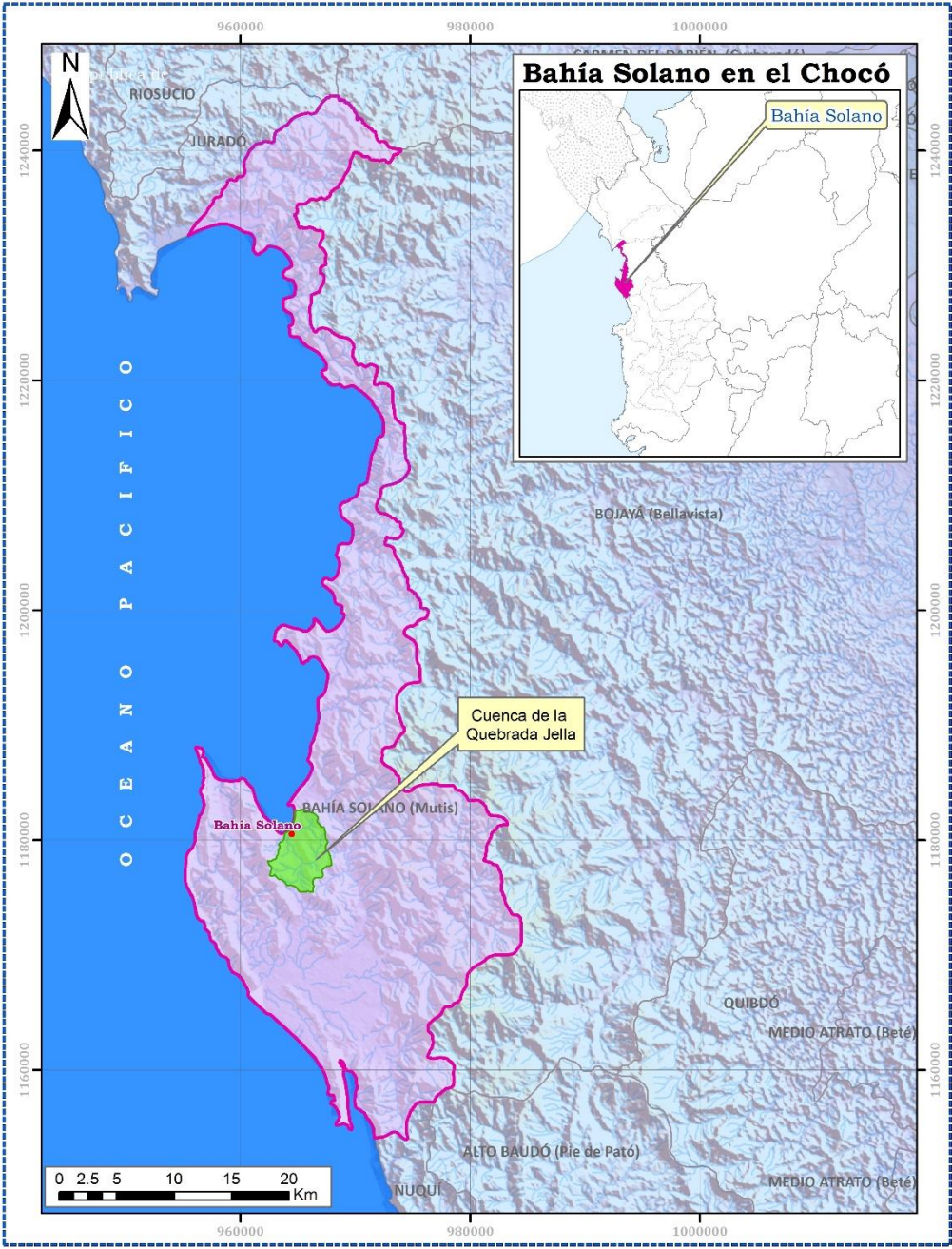
Este trabajo es de tipo descriptivo comparativo, puesto que el desarrollo de este describirá los procesos observados para cada una de las fuentes de información las cuales serán comparadas para determinar diferencias y confiabilidad entre las fuentes de información.

5.2 AREA DE ESTUDIO

El proyecto se desarrollará para la Cuenca de la Quebrada Jalla, ubicada en el municipio de Bahía Solano en el departamento del Chocó.

Esta extensión de tierra ubicada al norte del pacífico chocoano, limita al Norte con el Municipio de Jurado y Riosucio. Al Sur con el Municipio de Nuquí. Al Occidente con el Océano Pacífico y al Oriente con el Municipio de Bojayá y se encuentra a cinco (5) metros promedio sobre el nivel del mar y a 178 kilómetros de Quibdó, con una temperatura media de 28° C, clima húmedo tropical, humedad relativa comprendida entre el 80 y el 90% y una precipitación pluvial de 7500 mm anuales. Con cobertura geográfica de 742 kilómetros cuadrados; está integrado por los corregimientos del Valle, Cupica, Huina, Huaca, Mecana y Nabugá y las veredas de Tebada, Abegá, Chirichirito, Juan Tejada, Paridera, Playa de Potes, Cocalito, Playa de los Cuestas, y Playa de Nabugá, entre las más importantes.

Mapa 1. Localización del Municipio de Bahía solano



Diagramado: Autoras

5.3 PROCEDIMIENTO

5.3.1 Fase 1. Obtención las fuentes de información.

Para iniciar el desarrollo del proyecto se obtuvo el modelo digital del terreno de la NASA con resolución de 30mts y las planchas cartográficas a escala 1:25.000. (IGAC) por medio de la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó – CODECHOCO.

Los mapas temáticos (geología, geomorfología, conflicto de uso, precipitación y sismos con sus respectivos valores ponderados de acuerdo a la metodología) se obtuvieron por colaboración del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico

5.3.2 Fase 2. Definición de la metodología

La metodología a utilizar es la desarrollada en la guía metodológica del INGEOMINAS en compañía con la Corporación Autónoma del Valle del Cauca CVC, generada por los autores Castro M. E., Valencia N. A., Ojeda J. M., Muñoz F. C., Fonseca G. S. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería en el año 2001. (INGEOMINAS-CVC, 2001).

En la cual definen una serie de variables dependientes tales como: geología, geomorfología, conflictos de usos, eventos de precipitación y sismos que al ser analizadas y geoprocesadas permiten estimar la susceptibilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa de la zona de estudio.

Para la valoración de la susceptibilidad se usará como variable independiente el mapa de pendientes generado a partir del modelo de elevación digital y las curvas de nivel, en vez de la información morfométrica debido a que no se encontraron datos sobre esta.

La fórmula para estimar la susceptibilidad es la siguiente:

$$\text{MSusceptibilidad} = (\text{MP} \cup \text{MCU} \cup \text{MG} \cup \text{MGeo})$$

Donde,

MSusceptibilidad = Mapa de Susceptibilidad

MP = Mapa de Pendientes

MCU = Mapa de Conflictos de Uso

MG = Mapa de Geología

MGeo = Mapa de Geomorfología

La susceptibilidad se obtiene mediante la suma de la ponderación de los valores de los mapas anteriormente nombrados.

Tabla 1. Valores y Rango de Susceptibilidad

Valor	Rango	Susceptibilidad	Color
1	1 – 3	Baja	Verde
4	4- 6	Media	Amarillo
5	7 – 10	Alta	Anaranjado
6	11 – 14	Muy alta	Rojo

Fuente: CODECHOCO, 2012

La amenaza se estimará utilizando el mapa de susceptibilidad unido con el de precipitación anual y el de eventos sísmicos.

$$MAmenaza = (Msusceptibilidad \cup MPrec \cup MS)$$

Donde,

MAmenaza = Mapa de Amenaza

MPre = Mapa de Precipitación

MS = Mapa de Sismos

Tabla 2. Valores y Rango de Amenaza

Valor	Rango	Amenaza	Color
1	6 –10	Baja	Verde
4	11 – 14	Media	Amarillo
5	15 – 18	Alta	Anaranjado
6	19 – 22	Muy alta	Rojo

Fuente: CODECHOCO, 2012

A continuación se definen los valores ponderados para cada uno de los mapas temáticos, los cuales fueron facilitados por el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico.

Mapa de pendientes:

Tabla 3. Valores y Rango de Pendientes

Ítem	Rango	Valor
1	< 5	1
2	5 - 15	2
3	16 – 30	3
4	31 - 45	4
5	> 45	5

Fuente: CODECHOCO, 2012

Mapa de conflictos de uso:

Tabla 4. Valores y Rango de conflictos de uso

Ítem	Descripción	Valor
1	Sin conflicto o mínimo	1
2	Moderado	2
3	Con Conflicto de Uso	3

Fuente: CODECHOCO, 2012

Mapa de geología y geomorfología

Tabla 5. Valores y Rango de geología y geomorfología

Ítem	Descripción	Valor
1	Menor tendencia a Inundación	1
2	Tendencia Normal a Inundación	2
3	Mayor tendencia a Inundación	3

Para el dato de precipitación se utilizó el mapa de Isoyetas generado para el departamento del chocó y se extrajo el mapa de la zona de estudio. Con base en las estadísticas de los valores máximos y mínimos de las estaciones se tomaron los rangos de precipitaciones descritos en la siguiente tabla.

Tabla 6. Valores y Rango de precipitación

Ítem	Rango	Descripción	Valor
1	0 – 2000	Muy Bajo	1
2	2000 – 5000	Bajo – Medio	2
3	5000 – 8000	Medio – Alto	3
4	> 8000	Muy Alto	4

Fuente: CODECHOCO, 2012

La información sísmica se tomó del proyecto El Andén Pacífico de Colombia en el cual se interpretaron imágenes de radar INTERA a escala 1:100.000, se delimitaron las Unidades de Relieve. La amenaza sísmica es el factor de mayor peligro. Históricamente se han presentado sismos de magnitud >8, con efectos colaterales como tsunamis, licuación, enjambres de deslizamientos y avenidas torrenciales, que pueden ser más peligrosos que la misma vibración sísmica.

Tabla 7. Valores para el mapa de sismos

Ítem	Categoría	Valor
1	Alto	4
2	Bajo	2
3	Medio	3
4	Mínimo	1

Fuente: CODECHOCO, 2012

5.3.3 Fase 3. Evaluar la vulnerabilidad y amenaza para cada fuente de información.

- **Actividad 1.** Desarrollar los procesos geoespaciales para determinar las áreas con riesgo en la zona de estudio.
- **Actividad 2.** Clasificar o zonificar las áreas por grado de amenaza de riesgo.

5.3.4 Fase 4. Presentar los mapas de amenaza y vulnerabilidad generados.

- **Actividad 1.** Clasificar o zonificar las áreas por grado de amenaza de riesgo.

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

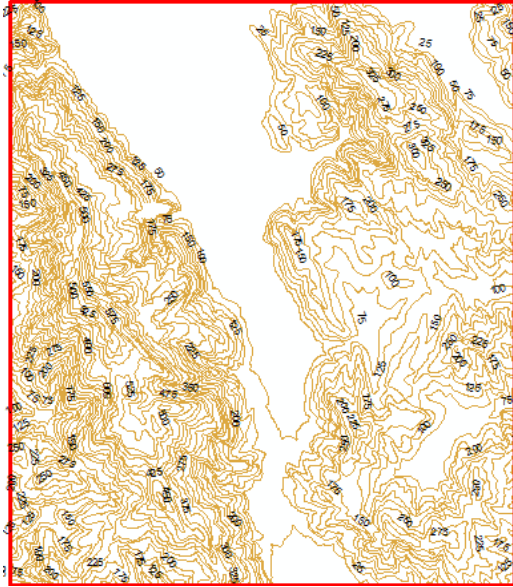
Se logró realizar un análisis comparativo de vulnerabilidad y amenaza de remoción en masa para la cuenca que cubre el casco urbano de la ciudad de Bahía Solano. Lo cual nos permitió conocer en términos de hectáreas las zonas de la cuenca que se encuentran en alto grado de susceptibilidad y amenaza por el fenómeno de remoción en masa.

A continuación se describe el desarrollo del proyecto en fases.

Fase 1. Obtención las fuentes de información.

Adquiridas las planchas se digitalizaron las curvas de nivel cada 25 metros y fueron digitalizadas con ayuda de la herramienta ArcScan, de ArcGIS la cual permite la vectorización automática de archivos raster.

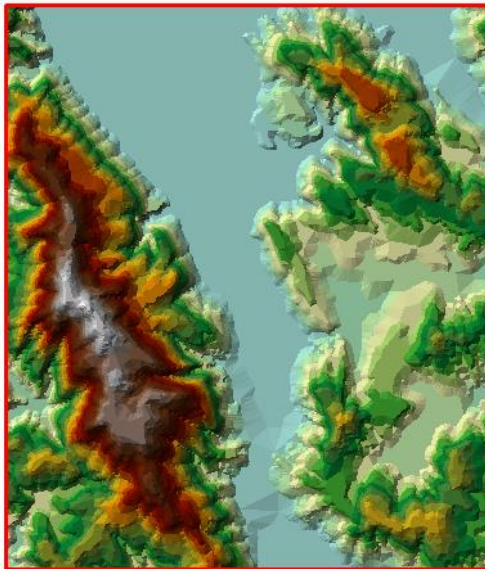
Figura 1. Curvas de Nivel digitalizadas



Fuente: Autoras

Para nivelar las fuentes de información se interpolaron las curvas de nivel para obtener un TIN (Red de triangulación Irregular).

Figura 2. TIN generado a partir de curvas de nivel



Fuente: Autoras

A partir del TIN se generó el modelo de elevación digital. A este punto ya se tienen los dos DEM.

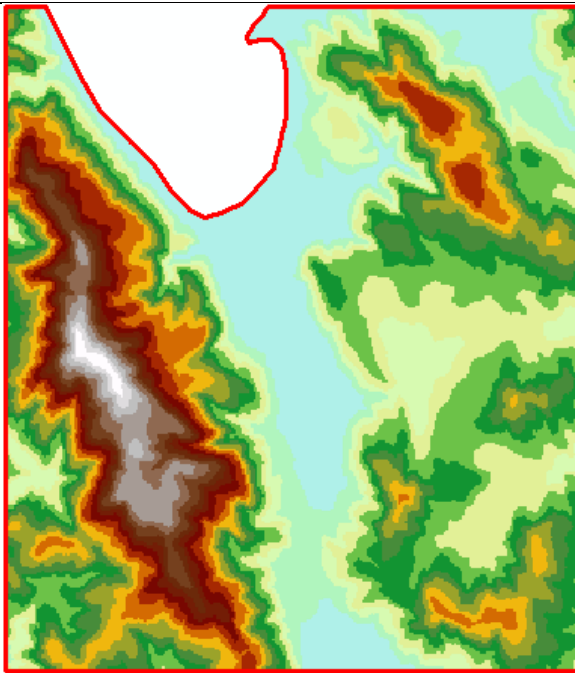


Figura 3. DEM generado curvas de nivel

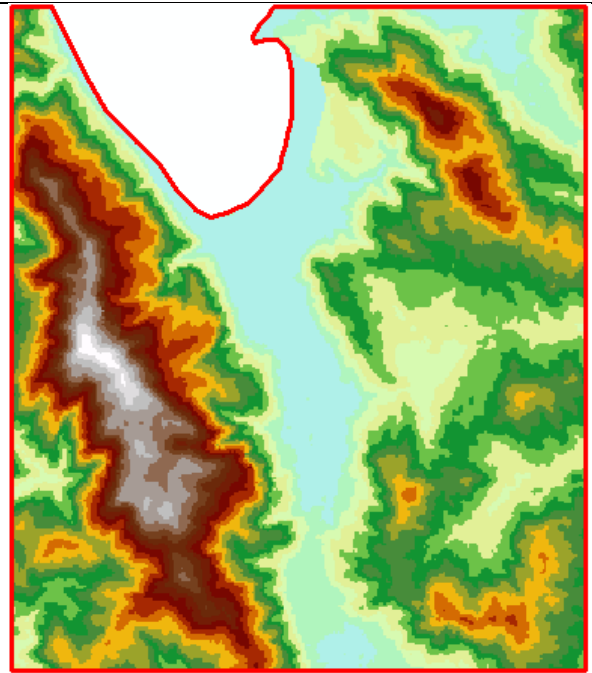


Figura 4. DEM NASA

Leyenda

25 - 30	300.00000001 - 330
30.00000001 - 60	330.00000001 - 360
60.00000001 - 90	360.00000001 - 390
90.00000001 - 120	390.00000001 - 420
120.00000001 - 150	420.00000001 - 450
150.00000001 - 180	450.00000001 - 480
180.00000001 - 210	480.00000001 - 510
210.00000001 - 240	510.00000001 - 540
240.00000001 - 270	540.00000001 - 570
270.00000001 - 300	570.00000001 - 600

Leyenda

0 - 30	300.00000001 - 330
30.00000001 - 60	330.00000001 - 360
60.00000001 - 90	360.00000001 - 390
90.00000001 - 120	390.00000001 - 420
120.00000001 - 150	420.00000001 - 450
150.00000001 - 180	450.00000001 - 480
180.00000001 - 210	480.00000001 - 510
210.00000001 - 240	510.00000001 - 540
240.00000001 - 270	540.00000001 - 570
270.00000001 - 300	570.00000001 - 600

Luego se procedió a realizar una comparación descriptiva de esos dos modelos. Para ello se dispersaron 183 puntos en el área de estudio con el fin de comparar principalmente la diferencia en cuanto a altura en cada uno de los modelos.

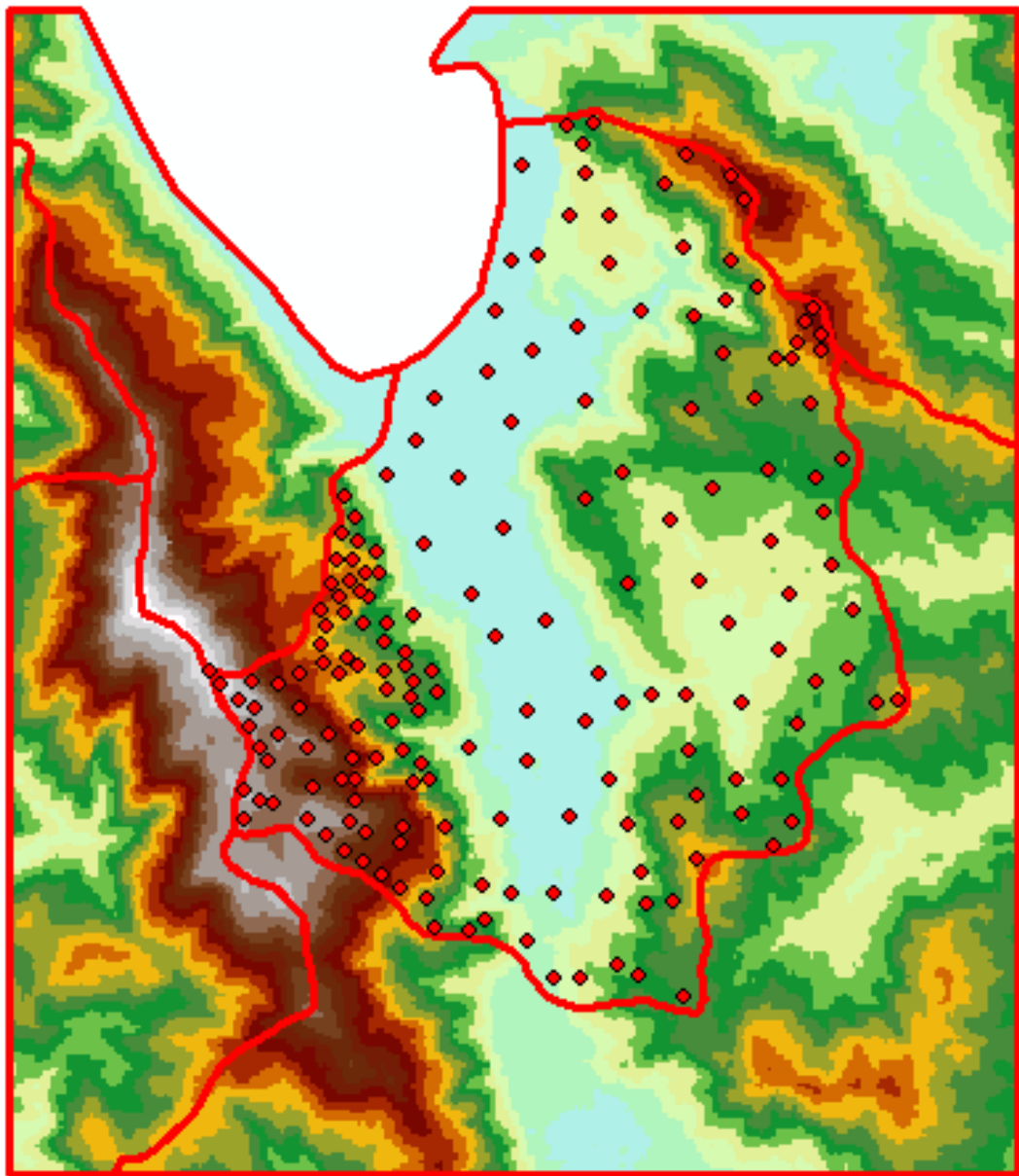


Figura 5. Puntos para comparación de alturas

Mostrando notoriamente que la mayor diferencia en cuando a las alturas entre los dos modelos se presenta en las zonas más bajas debido a que el DEM generado por las curvas de nivel proviene de una estructura de datos vectoriales mientras el DEM de la NASA contiene información de elevación en cada pixel que conforma el área de estudio.

A partir de los dos DEM se realiza un mapa de pendientes con cada uno de ellos, observándose a simple vista la gran diferencia entre los dos modelos fuentes de información.

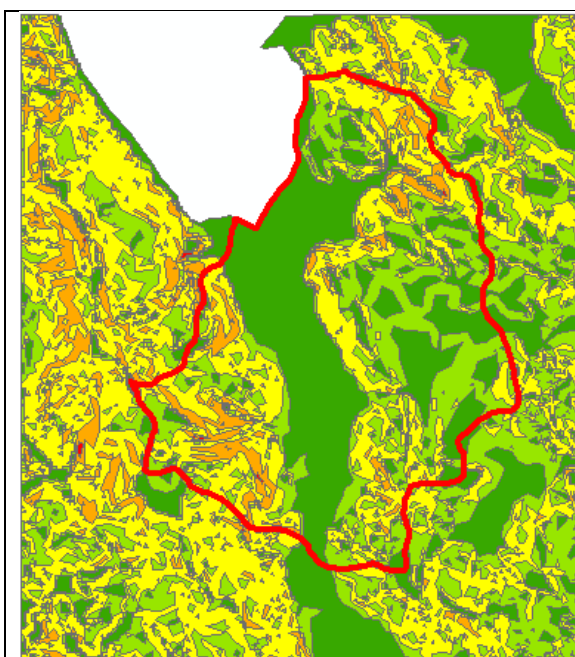


Figura 6. Pendientes generadas por curvas de nivel

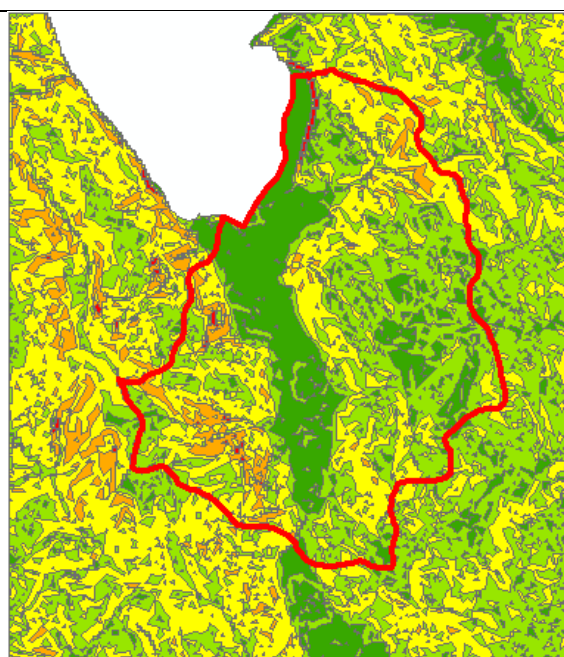


Figura 7. Pendientes generadas por DEM NASA

PENDIENTES - CURVAS		
RANGO	Area_Ha	%
<5	876	37.01
5 - 15	657	27.75
15 - 30	660	27.90
30 - 45	172	7.25
>45	2	0.08
	2,367	100.0

PENDIENTES - DEM		
RANGO	Area_Ha	%
<5	580	24.5
5 - 15	940	39.7
15 - 30	707	29.8
30 - 45	128	5.4
>45	12	0.5
	2,367	100.0

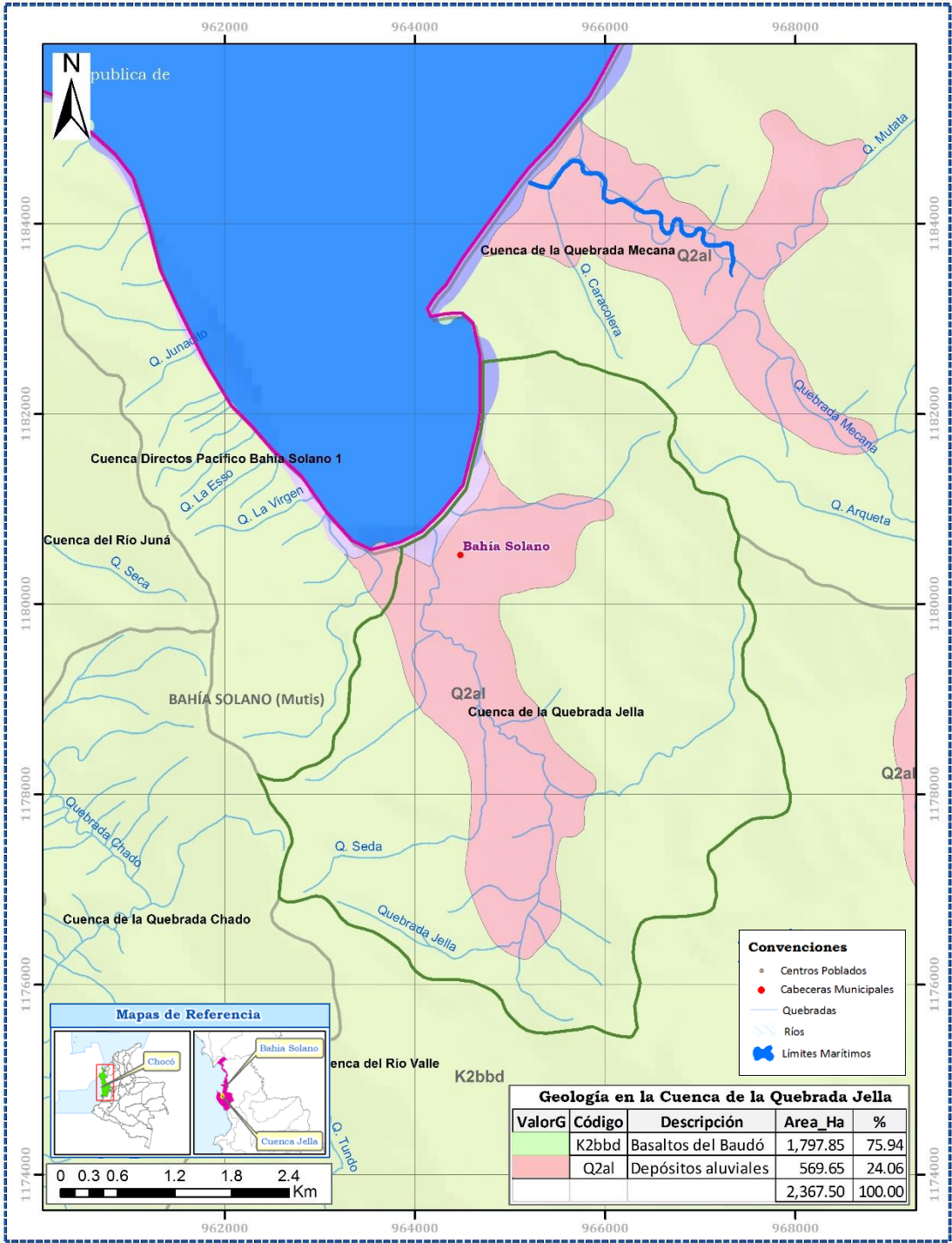
Analizando los mapas de pendientes generados para cada uno de los datos, se pueden evidenciar similitudes tanto en la forma para cada uno de los rangos de pendientes y en los porcentajes de cada área, esto dado que el modelo de elevación digital está creado a partir de una estructura de datos vectorial constituida por curvas de nivel (Líneas) que pasan por las zonas representadas separadas por intervalos constantes de altitud y el DEM de la NASA que representa un modelo de datos raster basado en localizaciones espaciales a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable, es decir, que cada celda o pixel que conforma la imagen tiene un valor para la variable a tratar.

Fase 2. Definición de la metodología

De acuerdo a la metodología utilizada para el área de estudio se obtuvo la información presentada a continuación por mapa.

Geología: Para la cuenca de la quebrada Jella se describen 2 formaciones geológicas, a continuación se representan en el mapa de Geología.

Mapa 1. Geología de la Cuenca de la Quebrada Jella



Diagramado: Autoras

K2bbd = Basaltos del Baudó: La unidad presenta excelentes afloramientos, casi continuos, en los acantilados a lo largo de los casi 200 Km de costa entre cabo Corrientes y Panamá, desde las planchas 89 Ciénaga La Honda al norte hasta la 202 Pilizá al sur; así como en los ríos y quebradas que drenan la vertiente occidental de la serranía del Baudó. Las vertientes, en general, muestran saprolitos espesos donde se hace difícil distinguir la roca original, a no ser por su descomposición típica a suelos arcillosos rojizos (Cossio, 2002 b).

Esta unidad se encuentra constituida por basaltos, algunos de ellos amigdalares, lavas almohadilladas, diabasas, andesitas, brechas, aglomerados, tobas y, ocasionalmente, gabros intensamente alterados y deformados e intercalaciones de rocas sedimentarias con fuerte buzamiento, principalmente limolitas, areniscas y chert; además INGEOMINAS (1988) y GEOTEC (1988), reportan cuerpos ultramáficos y sedimentitos tobáceas.

Q2al = Depósitos aluviales: representan el aporte detrítico proveniente tanto de la erosión de los suelos, como del material desprendido en las laderas de los valles estrechos y en V que caracterizan las vertientes de los ríos en la cordillera Occidental. Siendo el más extenso y en formación actual el asociado al río Atrato.

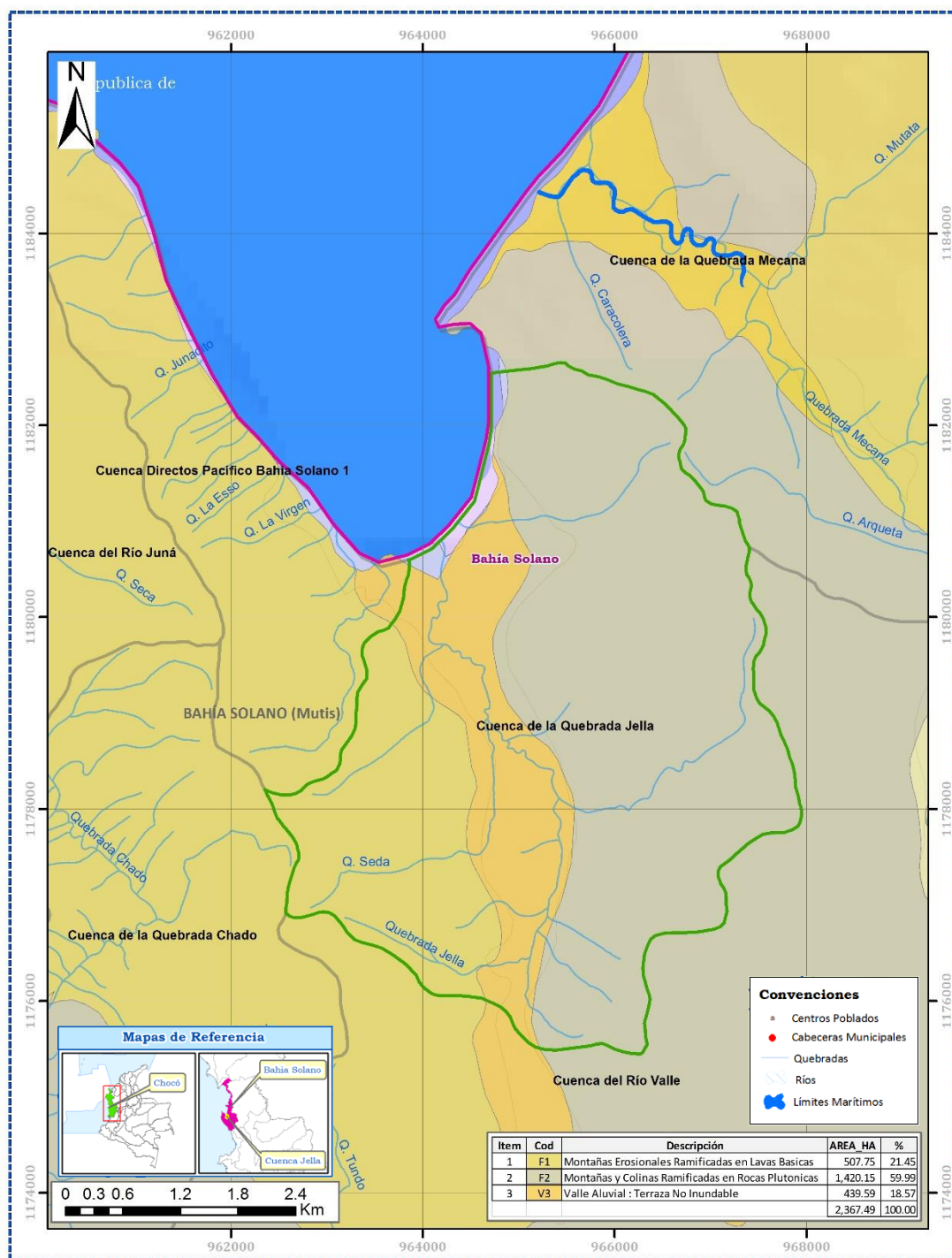
Carecen de litificación y son de carácter detrítico, polimícticos, no consolidados, mal seleccionados y con clastos de formas redondeadas a aplanadas. Su granulometría es variable, predominando gravas-arenas en los diques y arcillas-limos en los bajos. Son comunes las estratificaciones lenticulares, gradada y cruzada.

Composicionalmente, dominan los clastos de rocas constitutivas de las cordilleras y serranías, tales como ígneas plutónicas (granitos, cuarzodioritas, gabros, monzonitas), volcánicas (basaltos, diabasas y andesitas), sedimentarias y metasedimentarias (chert, limolitas, calizas) y cuarzo en diferentes proporciones, en una matriz de arena gruesa o gravas medias a finas no cohesivas.

La mayor parte de estos depósitos aluviales son del Holoceno y su espesor está en aumento debido a la depositación actual, a lo largo de los canales de flujo y zonas alledañas sometidas a inundaciones periódicas.

Geomorfología: Para la cuenca de la quebrada Jella se describen 3 formaciones geomorfológicas, a continuación se representan en el mapa.

Mapa 2. Geomorfología de la Cuenca de la Quebrada Jella



Diagramado: Autoras

F1 - Montañas Erosionales Ramificadas en Lavas Basicas: El solevantamiento del llamado Arco de Baudó parece haber determinado un basculamiento y suaves

plegamientos de la secuencia sedimentaria del río Atrato, así como el afloramiento hacia el occidente, de las lavas submarinas del basamento, las cuales empezaron entonces a sufrir los efectos de la denudación. Por esto, las montañas modeladas sobre los basaltos son las que cubren una mayor superficie detrás del paisaje identificado con el símbolo (S2).

En la serranía del Baudó el paisaje se extiende más allá de la frontera con Panamá; continúa al sur hasta unos kilómetros abajo de Cabo Corrientes, determinando en la mayor parte de su recorrido una línea de costa abrupta, labrada por los agentes de denudación marina, con entrantes y salientes, llámense cabos, puntas, bahías y ensenadas.

Hacia el interior, las montañas de crestas ramificadas alcanzan desniveles hasta de unos 1.000 m; están surcadas por una red de drenaje subdendrítica a subparalela de mediana densidad e incisión media a baja, a menudo con cierto control estructural determinado por varios sistemas de fracturas.

Aun cuando es muy difícil la accesibilidad a la zona del Darién, no ha permitido hacer suficientes observaciones en el terreno sobre las características de los mantos de meteorización, pero es de esperarse que bajo las condiciones climáticas imperantes hoy en día, éstos deben alcanzar un considerable espesor, más aún si se tiene en cuenta la densa cobertura de bosque que reduce considerablemente los efectos de la erosión y los procesos de remoción en masa en la región.

En la serranía del Darién, las montañas desarrolladas en basaltos se localizan principalmente hacia la cumbre tanto en territorio panameño, como en territorio colombiano, particularmente hacia las pequeñas serranías que se extienden entre las poblaciones de Acandí y Zapzurro.

Las características geomorfológicas son muy similares a las descritas para las unidades de la serranía del Baudó; sus elevaciones no sobrepasan los 500 metros. n. metros, pero en el lado panameño alcanzan a superar los 1000 m y cubren una mayor superficie del área.

F2 - Montañas y Colinas Ramificadas en Rocas Plutónicas: Este paisaje se encuentra localizado exclusivamente en la serranía del Baudó, en donde ocurren en pequeñas unidades dispersas como: el cerro Quía, de aspecto cupular; las del curso medio del río Salaquí, al norte de la Punta de Cabo Marzo, Bahía Solano hacia el sur y este, y la zona del sector norte del cerro Coquí, cuya morfología es de tipo alomado-colinado, con escaso desnivel y una intensa disección. La litología de los cerros con aspecto de cúpula corresponde a gabros, en tanto que las lomas y colinas parecen ser de peridotitas, materiales a partir de los cuales suelen generarse suelos fértiles, con cobertura vegetal densa y exuberante.

La escasa extensión y la discontinuidad del paisaje, lo hacen muy poco destacado en comparación con los paisajes que le circundan.

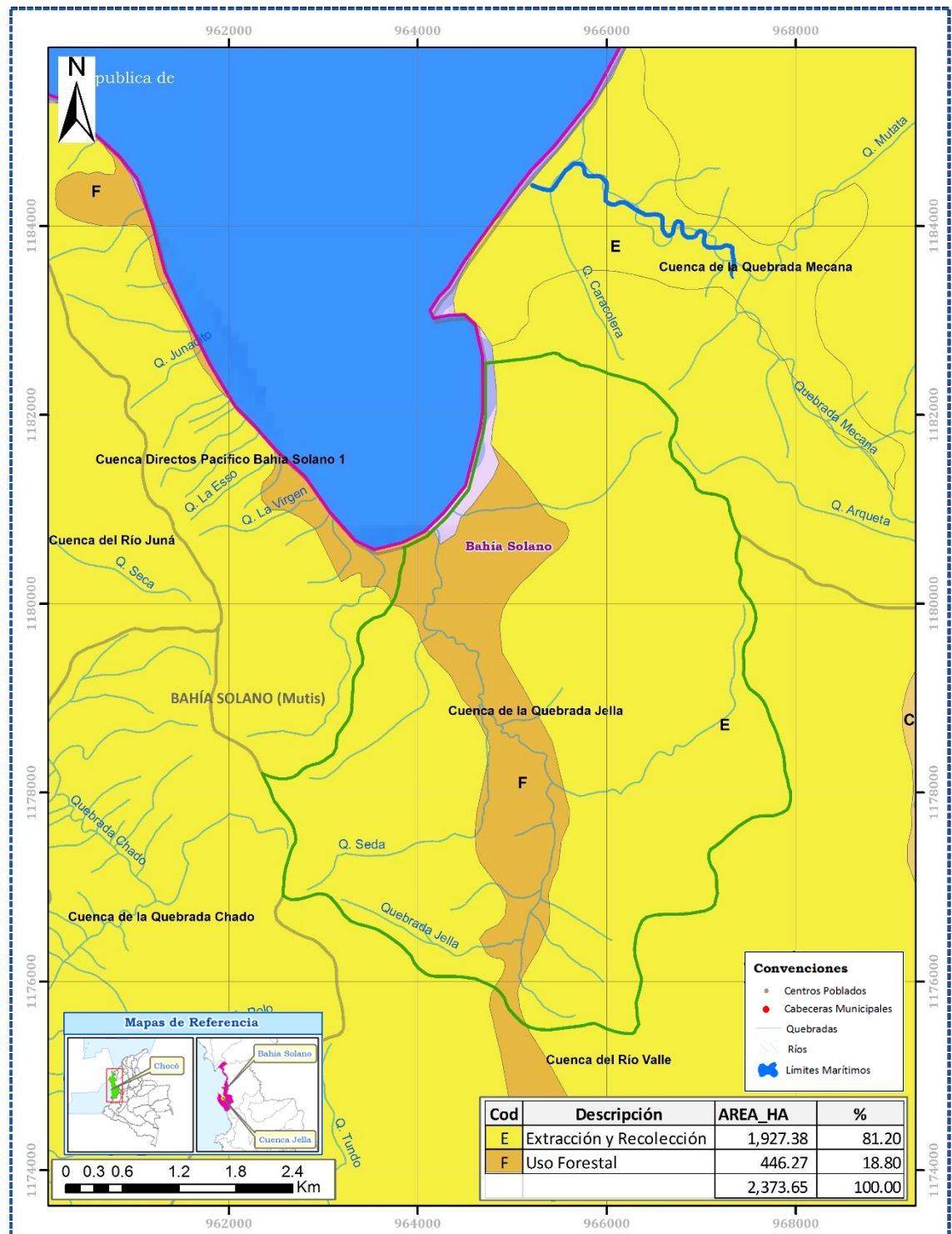
V3 - Valle Aluvial : Terraza No Inundable: las terrazas son geoformas que también hacen parte de los valles aluviales, dentro de los cuales ocupan posiciones más altas que el plano inundable, siendo por ello menos susceptibles a las inundaciones periódicas, pero no exentas de los encharcamientos por lluvias. Además, los sedimentos son más antiguos, sin posibilidad de rejuvenecerse por nuevos aportes, sino más bien con tendencia a seguir su curso normal de alteración y el nuevo desarrollo de suelos.

Al igual que en los planos de inundación, la naturaleza de los aluviones de las terrazas está ligada a las características litológicas de las cuencas hidrográficas drenadas. Entonces, basta con aplicar lo escrito atrás para los siguientes valles que incluyen terrazas, para entender la homogeneidad o heterogeneidad de sus materiales constituyentes: cursos superiores de los ríos Salaquí, Opogodó y Napipí; ríos Juradó y Baudó, incluyendo para el último los cursos abandonados de Urodó y Tauró. En todos se reconocieron extensas terrazas bajas, probablemente de edad subactual (Holoceno Superior), con sedimentos francos o finos y arcillosos de composición básica (Figura 2.10).

Dada la densa cobertura de bosque que sustentan y la escasa actividad antrópica, es probable que actualmente correspondan a unidades geomorfológicamente estables.

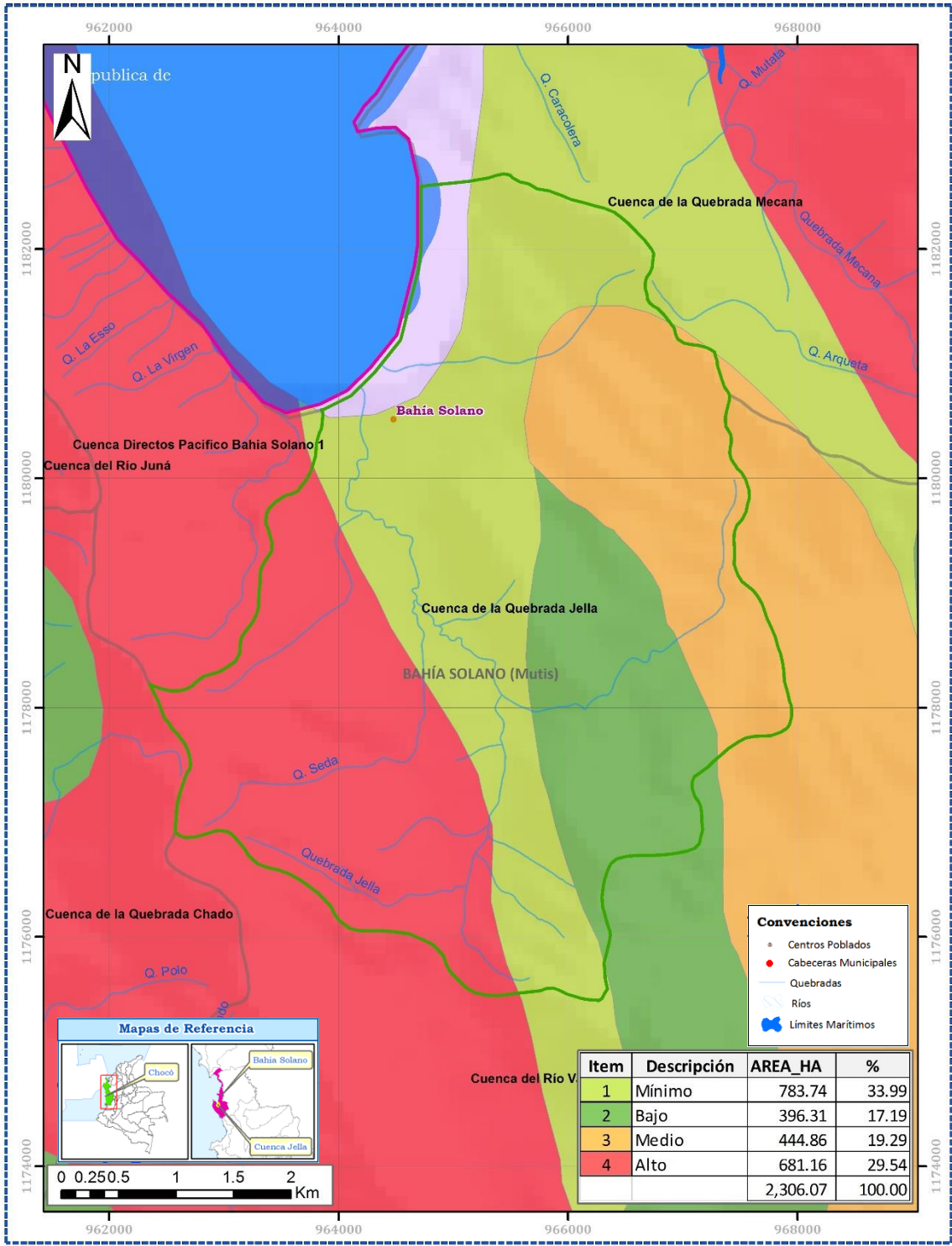
Además de la terraza baja de la margen derecha del río Tolo, en la región del Darién chocoano se reconocieron terrazas más antiguas y algo disectadas, entre los ríos Cuti y Cuque, cuya superficie es bastante reducida y sus sedimentos más alterados, rojizos y arcillosos, tal vez más lixiviados que las restantes terrazas. En este sector el bosque ha sido substituido por pastos que soportan una ganadería extensiva.

Mapa 3. Conflicto uso del suelo en la Cuenca de la Quebrada Jella



Diagramado: Autoras

Mapa 4. Eventos sísmicos en la Cuenca de la Quebrada Jella



Diagramado: Autoras

Fase 3. Evaluación de la vulnerabilidad y amenaza para cada fuente de información.

Figura 8. Susceptibilidad – Curvas de Nivel

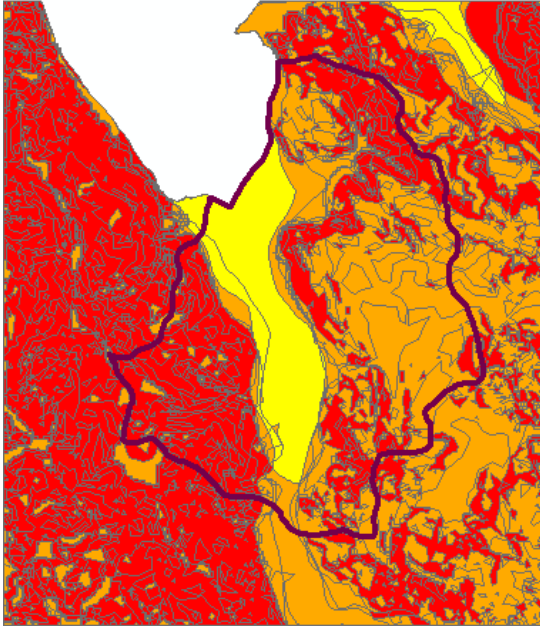


Figura 9. Susceptibilidad – DEM

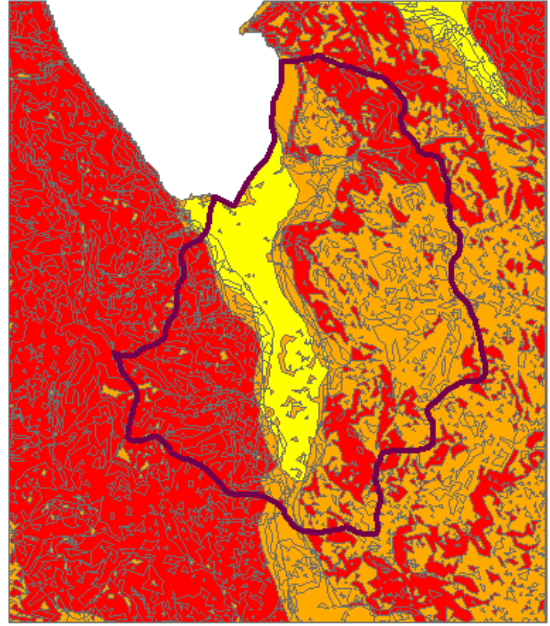
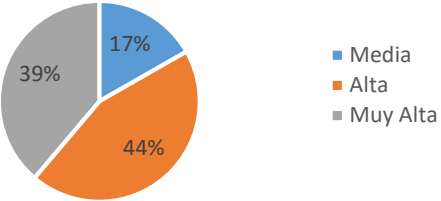
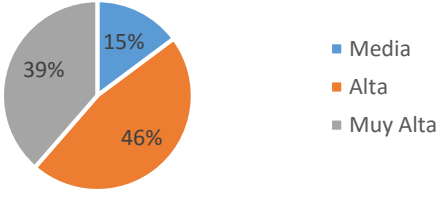
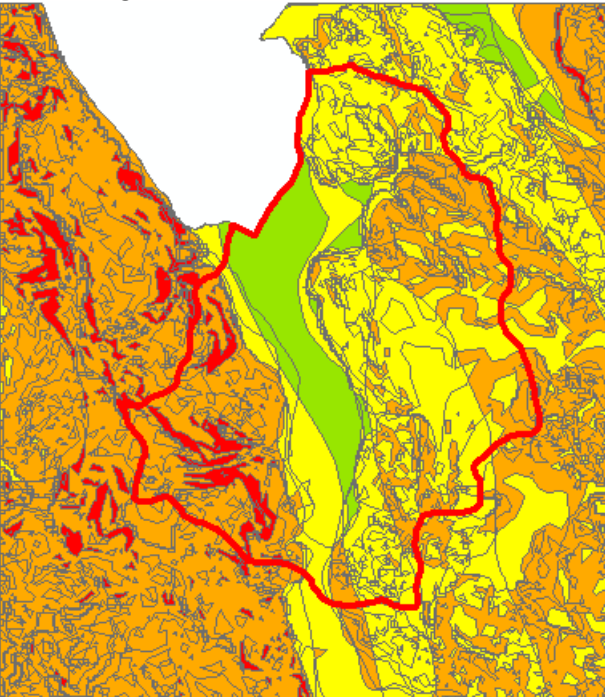
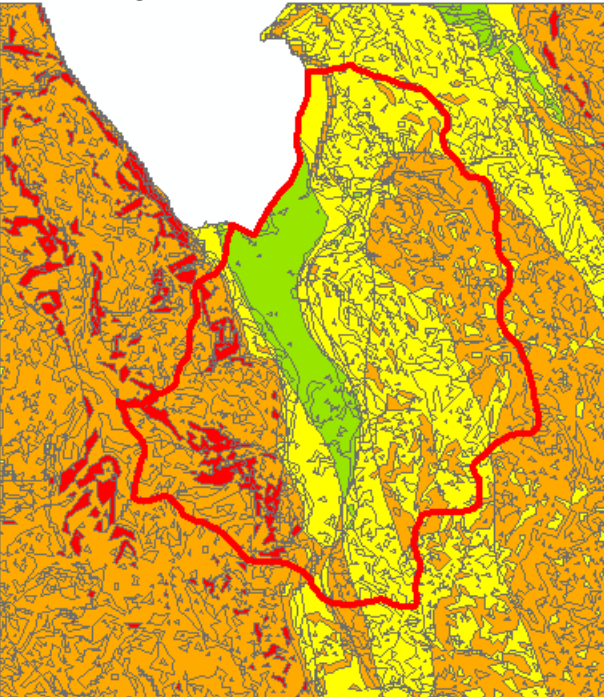


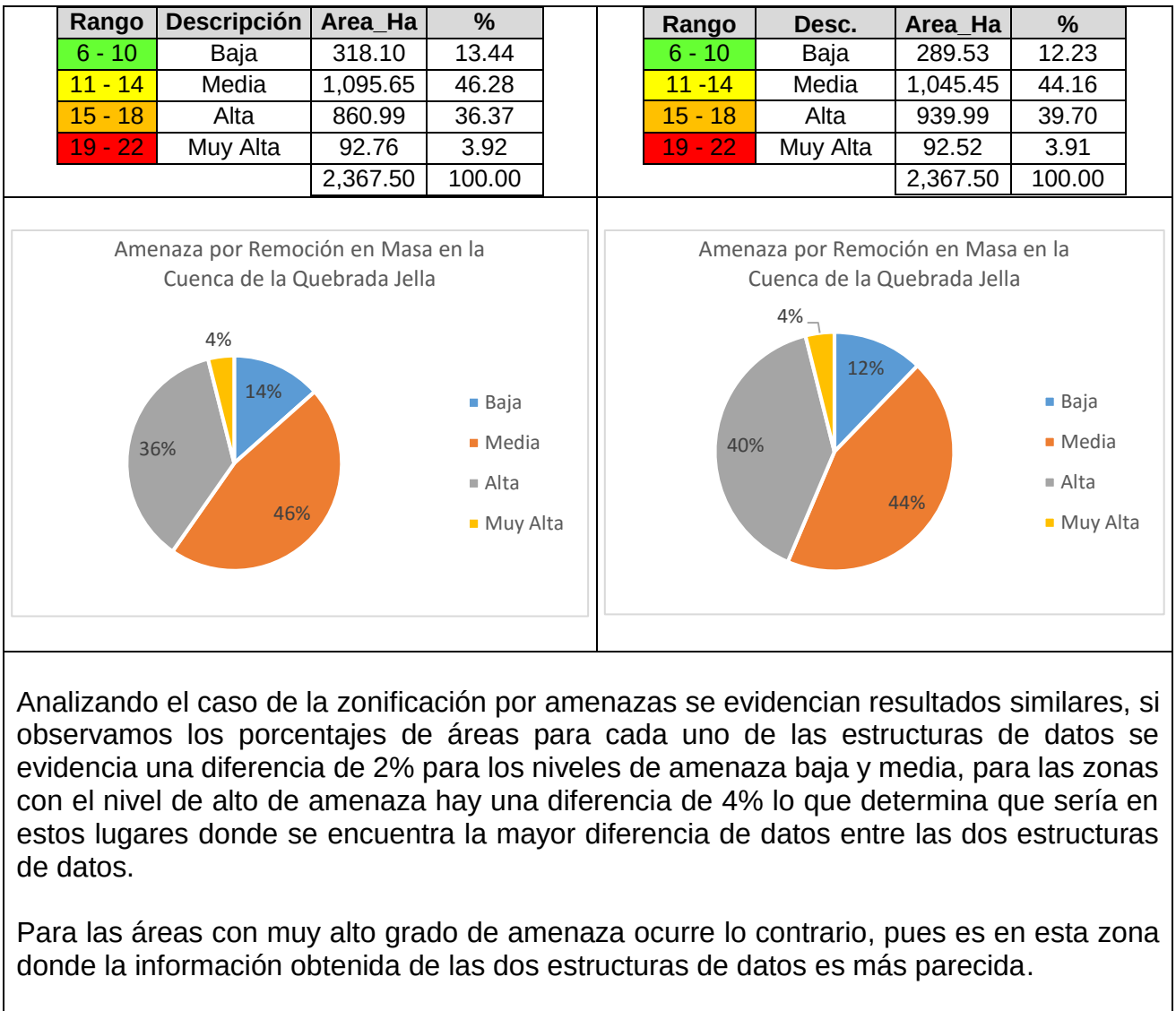
Tabla 8. Susceptibilidad - Curvas

Rango	Desc.	Area_Ha	%
4 - 6	Media	396.49	16.75
7 -10	Alta	1,051.99	44.43
11 - 15	Muy Alta	919.02	38.82
		2,367.50	100.00

Tabla 9. Susceptibilidad - DEM

Rango	Desc.	Area_Ha	%
4 – 6	Media	350.57	14.81
7 – 10	Alta	1,102.94	46.59
11 – 15	Muy Alta	913.98	38.61
		2,367.50	100.00

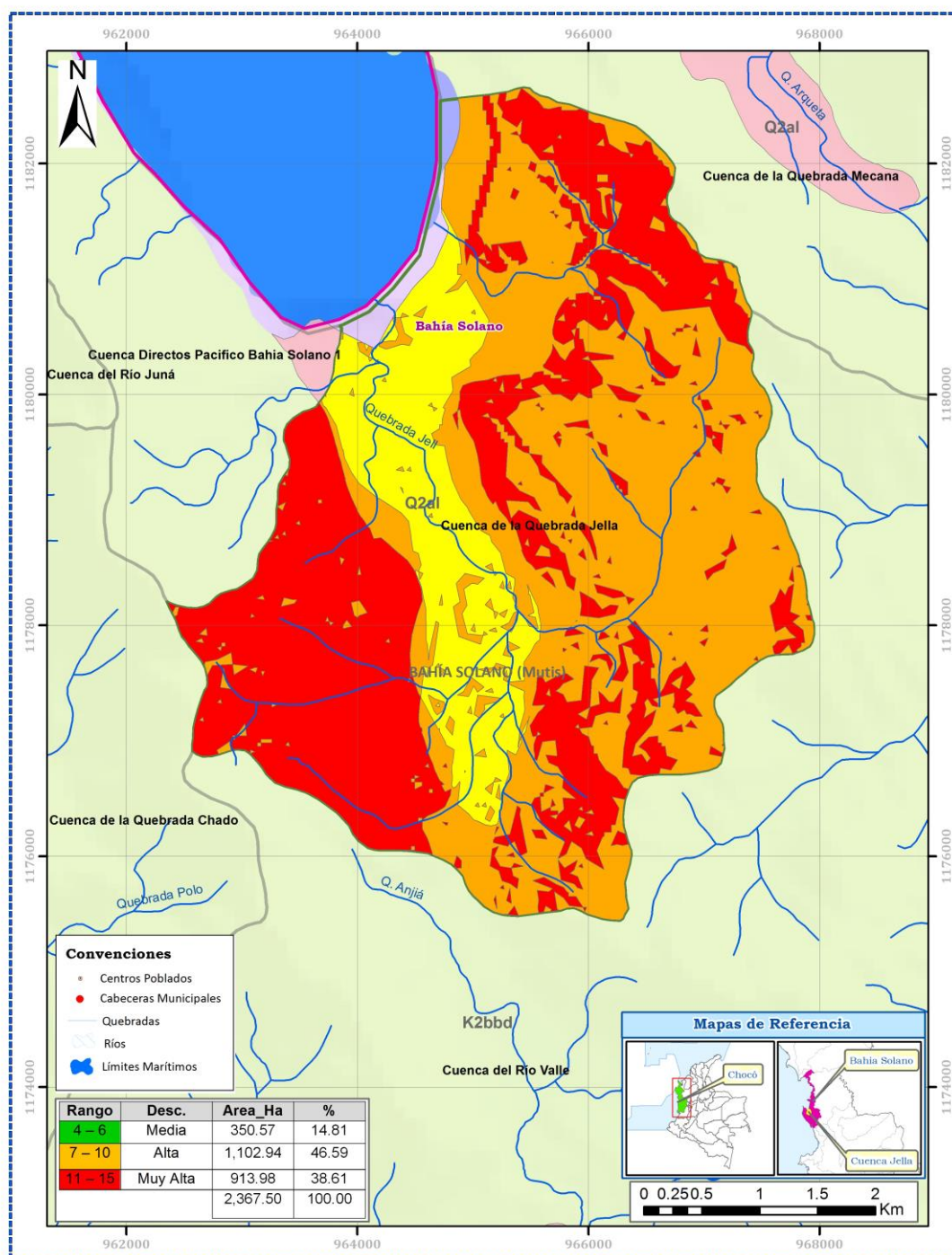
Susceptibilidad por Remoción en masa en la Cuenca de la Quebrada Jella  ■ Media ■ Alta ■ Muy Alta Grafico. Susceptibilidad Curvas de Nivel	Susceptibilidad por Remoción en Masa en la Cuenca de la Quebrada Jella  ■ Media ■ Alta ■ Muy Alta Grafico. Susceptibilidad DEM
Como se puede observar en los mapas, tablas y en el grafico al generar información con las dos estructuras de datos se evidencia gran similitud en las zonas de medio y alta grado de susceptibilidad con una diferencia del 2%, en las zonas de muy alta susceptibilidad por el fenómeno de remoción en masa se presentan aún más similares, lo que indica que los datos obtenidos mediante las dos estructuras de datos son mucho más semejantes.	
Figura 10. Amenaza – Curvas 	Figura 11. Amenaza – DEM 
Tabla 10. Amenaza Curvas	Tabla 11. Amenaza DEM



Fase 4. Presentación de mapas de vulnerabilidad y amenaza.

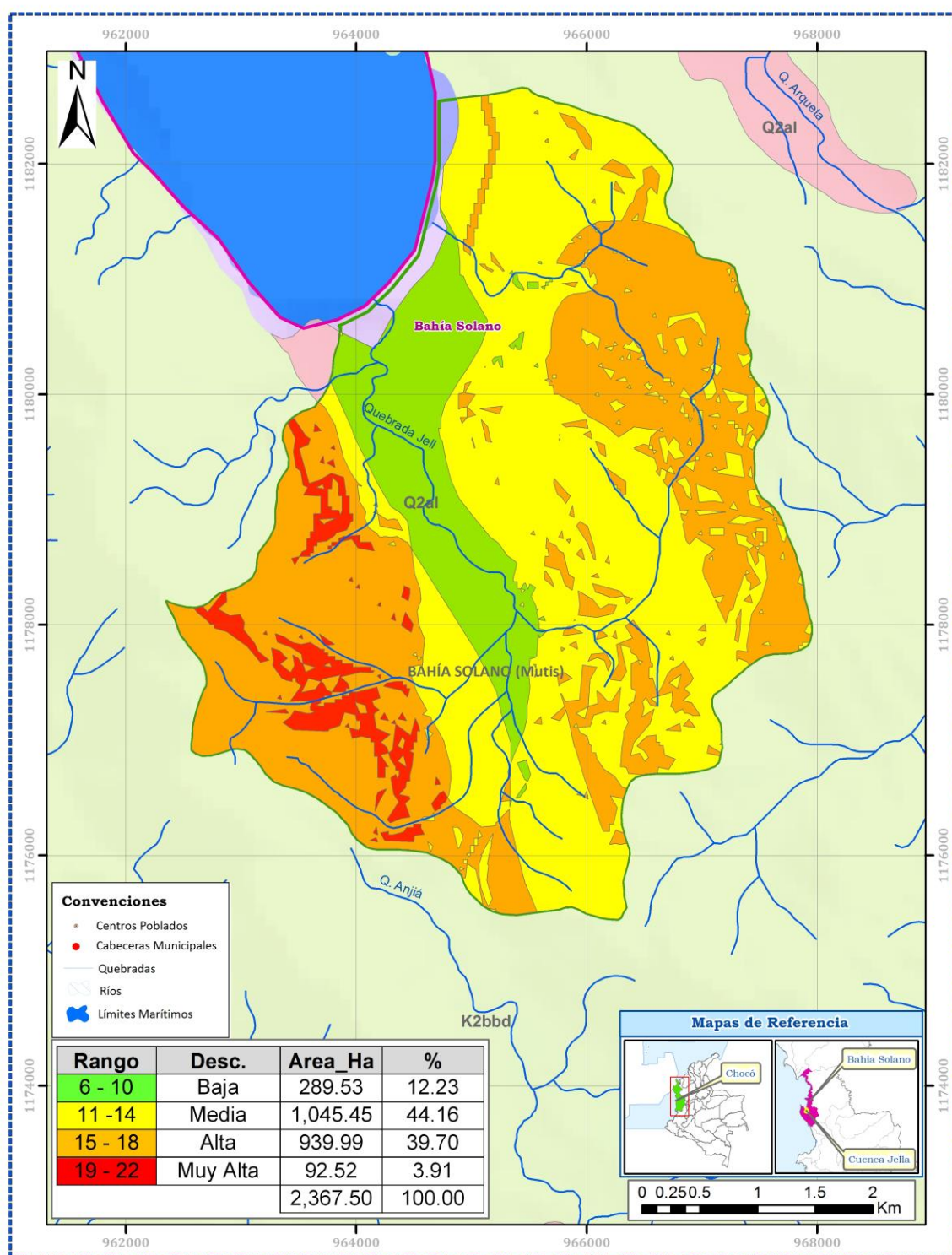
Luego de realizar los cruces entre mapas, descritos en la metodología para determinar la susceptibilidad y amenaza por remoción en masa en la zona de la cuenca de la quebrada Jella en Bahía Solano, utilizando las herramientas para geoprocetos brindadas por ArcGis 10.2, pudimos representar gráficamente los resultados obtenidos mediante los mapas que se muestran a continuación:

Mapa 5. Susceptibilidad por remoción en masa en la Cuenca de la Quebrada Jella - DEM



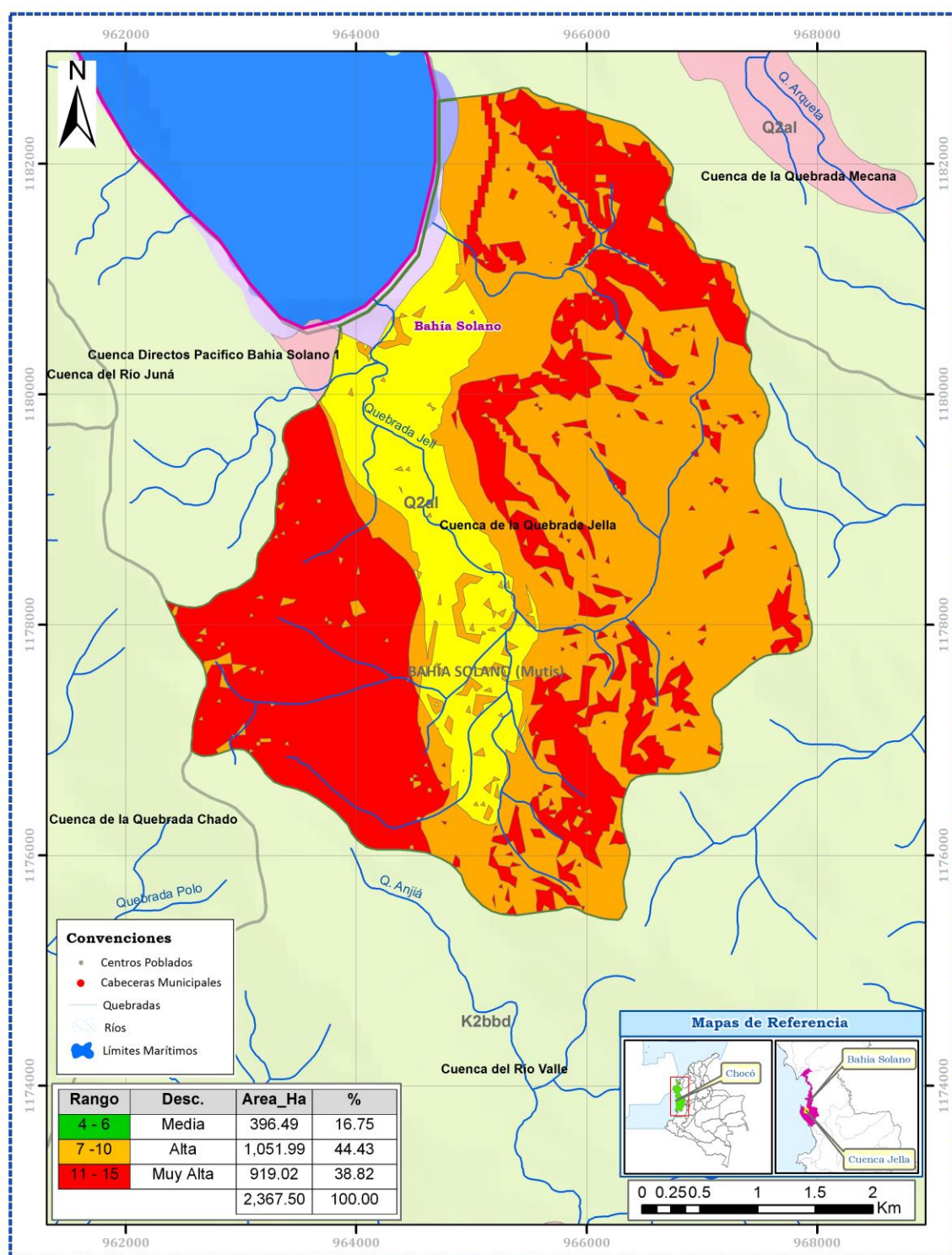
Diagramado: Autoras

Mapa 6. Amenaza por remoción en masa en la Cuenca de la Quebrada Jella – DEM



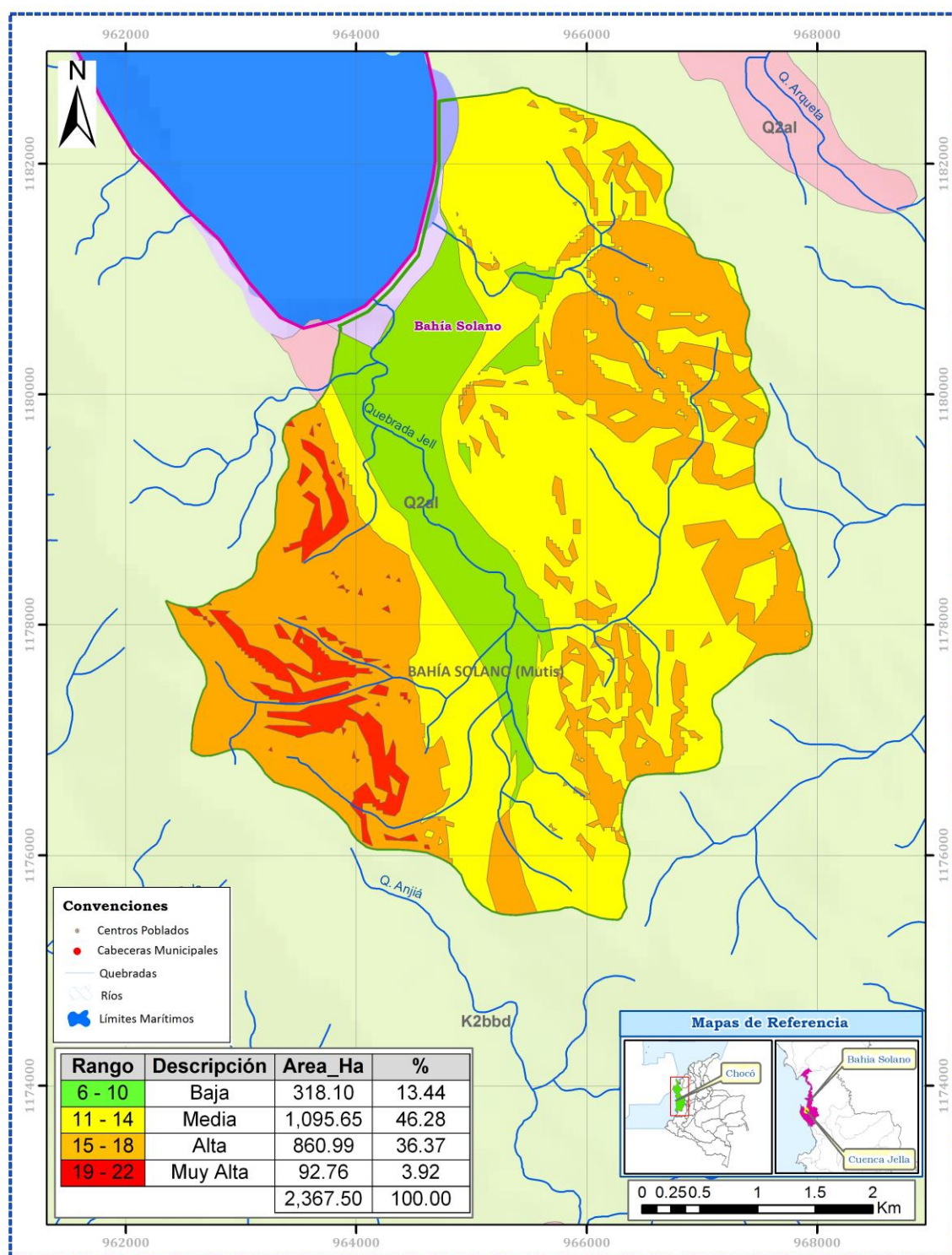
Diagramado: Autoras

Mapa 7. Susceptibilidad por remoción en masa en la Cuenca de la Quebrada Jella – Curvas de Nivel



Diagramado: Autoras

**Mapa 8. Amenaza por remoción en masa en la Cuenca de la Quebrada Jella –
Curvas de Nivel**



Diagramado: Autoras

7. CONCLUSIONES

- Se realizó la representación de la susceptibilidad y amenaza por remoción en masa en la cuenca de la quebrada Jella, utilizando el método de ponderación de parámetros, desarrollado por el IDEAM e INGEOMINAS, para lo cual se clasificó el nivel de susceptibilidad y amenaza apartir de dos fuentes de información, así: la primera obedece a las curvas de nivel digitalizadas de las planchas cartográficas a escala 1:25.000 y la segunda al modelo de elevación digital de la NASA con resolución de 30mts.

Mediante el uso de este tipo de metodologías, es posible generar alertas tempranas para esta zona, mediante el seguimiento a cada una de las variables, especialmente realizando un cálculo detallado de la relación precipitación, sismicidad, puesto que es posible generar varios escenarios de amenaza para diferentes valores de precipitación.

Se determinó que para este tipo de metodología, todas las variables utilizadas son significativas, en relación a la ocurrencia de deslizamientos, ya que son las variables básicas definidas por el IDEAM e INGEOMINAS, para la determinación de zonas susceptibles y amenazadas por remoción en masa.

Los sistemas de información geográfica son herramientas muy útiles que en el desarrollo de este proyecto no sirvieron para realizar geoprocesos, definir métodos, realizar análisis de información y lo más importante en este caso, nos ayudaron a determinar si la información que se genera por diferentes fuentes de información pueden ser complementarias unas de otras.

Se corroboró que la fuente de información basada en la digitalización de las curvas de nivel en comparación con el DEM de la NASA, presentan un gran similitud en cuanto a la susceptibilidad y la amenaza lo cual nos indica que la información adquirida por medio del DEM de la NASA puede complementar la cartografía base que falta en la zona.

8. RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta éste estudio base, a fin de propender espacios y mecanismos alternos que le permita a la comunidad realizar planes de emergencia para la prevención de riesgos ante la alta vulnerabilidad en dicha cuenca.
- El modelo de elevación digital con resolución de 30metros de la NASA pueden utilizarse en las zonas donde la cartografía base generada por el IGAC a escala 1:25.000 es bastante incompleta debido en gran parte a la cantidad de nubes que se plantan sobre el pacifico colombiano.
- Utilizar esta investigación como base para generar nuevas investigaciones que contengan salidas de campo para capturar las coordenadas del sitio donde ocurren los eventos con un GPS y en lo posible tomar registros fotográficos para corroborar la precisión y veracidad de los resultados obtenidos para cada fuente de información.
- Aplicar la estructura de datos raster y vectorial a otras metodologías para evaluar la vulnerabilidad y amenazas por cualquier otro fenómeno natural y establecer diferencias entre los resultados generados por cada una de las estructuras de datos.
- Fortalecer el nivel de la capacidad de respuesta de las entidades territoriales organismos de socorro, líderes locales, organizaciones comunitarias, comunidades indígenas, entidades públicas y privadas, fuerzas militares y de policía, en la gestión integral del riesgo, no solo en la zona de estudio sino en el Departamento del Choco.
- Fortalecimiento de mesas interinstitucionales del Control de Riesgo, de carácter nacional de y tal manera que se puedan realizar visitas técnicas de inspección ocular a los sitios críticos en la zona de estudio, donde se identifica la alta situación de riesgo presente en el sector, con el fin de que se tomen las acciones necesarias.
- Realización de talleres de Reducción de Riesgo de Desastre RRD, (en Colombia es un tema nuevo con los cambio de normatividad), lo que se pretende es formar personal con carácter de instructores que faciliten el aprendizaje sobre RRD con el fin de asesorar y acompañar a la entidades publica, privadas, Concejos municipales y departamentales de gestión del riesgo; al igual se capacite, sensibilice y eduque a la comunidad en general sobre el tema.

BIBLIOGRAFÍA

Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó "CODECHOCO", (Cartografía Base)

Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa, Instituto de Hidrología meteorología y estudios ambientales IDEAM, 2012

INGEOMINAS-CVC. Evaluación de riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa. Guía Metodológica. Autores Castro M. E., Valencia N. A., Ojeda J. M., Muñoz F. C., Fonseca G. S. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Julio 2001

Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, Servicio Geológico Colombiano, MINMINAS

Investigación integral del andén pacífico colombiano. Tomo 1. Geología, IGAC e INGEOMINAS

Investigación integral del andén pacífico colombiano. Tomo II. Geomorfología, IGAC e INGEOMINAS

Investigación integral del andén pacífico colombiano. Tomo IV Amenazas Naturales, IGAC e INGEOMINAS

Agenda interna para la productividad y la competitividad, Documento Regional de Chocó, Departamento nacional de planeación DNP, 2007

Esquema de ordenamiento territorial municipio de Bahía Solano (2004-2016) departamento del choco, Documento Diagnóstico

Julián Fdo. Henao E., URL:
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/elchorrodelchoco/elchorrodelchoco.html>

Instrumentos de apoyo para el ANÁLISIS Y LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES, Guía para el especialista. URL:
<http://www.snet.gob.sv/Riesgo/GuiaMetodologica.pdf>

Varnes, (1984), (p.122)

URL: http://www.academia.edu/8600804/YELENA_HERNANDEZ_ATENCIA_LOW_VERSION

Capítulo 2, El Modelo Digital de Elevaciones, Ángel Manuel Feliciano, URL:
<http://www6.uniovi.es/~feli/Introducci%c3%b3nEn>

Memoria técnica del mapa de amenaza por movimientos en masa, Centro de Investigación y Desarrollo CIAF, IGAC – CORANTIOQUIA, Agosto 2014