



Universidad Industrial de Santander  
Utilización de herramientas SIG para aplicación de un modelo de amenaza por  
remoción en masa, del área urbana del municipio de Vélez.

# **UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG PARA APLICACIÓN DE UN MODELO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ**

**KELIN YANIDA MARÍN RUIZ  
ANDREA MARCELA VERA GUARIN**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIRÍAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**



Universidad Industrial de Santander  
Utilización de herramientas SIG para aplicación de un modelo de amenaza por  
remoción en masa, del área urbana del municipio de Vélez.

**UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG PARA APLICACIÓN DE UN MODELO  
DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DEL ÁREA URBANA DEL  
MUNICIPIO DE VÉLEZ**

**KELIN YANIDA MARÍN RUIZ**

**ANDREA MARCELA VERA GUARIN**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director**

**WILFREDO DEL TORO RODRÍGEZ**

**Ingeniero Civil, M.Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

## DEDICATORIA

*A Dios el motor de mi vida  
A mis padres Isabel Guarín y Ramiro Vera  
A mi Hermano Yojhan Vera*

**Andrea Vera**

*A Dios por permitirme vivir esta etapa en mi vida  
A mis padres Edilma Ruiz y Heriberto Marín  
A mi linda hermana Amalia, por apoyarme y confiar  
En mí.  
A mi hermano John por estar conmigo*

**Kelin Yanida Marín Ruiz**



## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto logro llegar a su culminación gracias a la participación y colaboración de personas y entidades quienes estuvieron dispuestos a brindarnos su apoyo y acompañamiento durante las diferentes etapas del mismo. Entre ellos:

A nuestro director MSc Wilfredo del Toro por su confianza depositada en nosotras, por su apoyo y dirección de este proyecto.

Al Ingeniero Héctor Torres Ortiz por su colaboración desinteresada y acompañamiento en la elaboración del proyecto.

Al Ingeniero Sandy Yanes por su paciencia y apoyo.

A los Ingenieros Jesús Escalante y Andrés Ulloa por sus enseñanzas y asistencia que fueron el pilar fundamental en el desarrollo de este proyecto.

Al Grupo de investigación de Geomática dirigido por el ingeniero Hernán Porras Díaz, quien nos brindó la información y herramientas necesarias sin las cuales no se hubiera podido completar su realización.

A nuestra escuela de Ingeniería civil y a la Universidad Industrial de Santander.

A Nuestras familias por su amor, compañía y comprensión durante toda la experiencia de obtener con gratitud el título de ingenieras civiles.

Por último, pero no menos importante a Dios, quien hizo posible la culminación de uno de nuestros primeros éxitos.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	17
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
1.3 JUSTIFICACION	19
2. MARCO TEORICO	20
2.1 Amenaza	20
2.1.1 Naturales	20
2.1.2 Antrópicas	20
2.1.3 Socio-naturales	20
2.2 ArcGIS	21
2.3 Herramientas SIG	21
2.4 ModelBuilder	21
2.5 Raster	22
2.6 Reptación	22
2.7 Shapefile	23
2.8 SIG	23
2.9 Tipos de movimientos en masa	24

3. METODOLOGIA	25
3.1 Metodología para el estudio de amenazas por erosión y remoción en masa y vulnerabilidad de la zona urbana y de expansión de Jesús María, Santander	25
3.2 Metodología, análisis y gestión de riesgos naturales	26
3.2.1 Secuencia de acción más común y efectiva	26
3.2.1.1 Mapa de inventario de fenómenos	27
3.2.1.2 Mapa indicativo de amenazas	27
3.3 Metodología de Mora y Vahrson	27
3.3.1 Aplicación de la metodología	28
3.3.1.1 Estimación del índice de susceptibilidad IS.	28
3.1.1.1.1 Factor pendiente del terreno FP	28
3.1.1.1.2 Factor litológico FL	30
3.1.1.1.3 Factor humedad relativa FH	33
3.3.1.2 Factores Externos de Disparo: Precipitación FD	36
3.3.1.3 Mapa de zonas de amenaza relativa	41
3.4 Automatización de la metodología	44
4. BASE DE DATOS	45
4.1. Geología	46
4.2. Uso del Suelo	46
4.3. Pendientes	47
4.4. Imagen en planta del municipio de Vélez	48
4.5. Información complementaria	48



CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFIA	51
ANEXOS	53

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Mapa indicativo del factor pendiente del área urbana del municipio de Vélez	29
Figura 2. Mapa indicativo del factor litológico del área urbana del municipio de Vélez	31
Figura 3 Ilustración del proceso para la elaboración del mapa de humedad relativa del suelo del área urbana del municipio de Vélez	33
Figura 4. Mapa indicativo del factor humedad relativa del suelo del área urbana del municipio de Vélez	34
Figura 5. Ilustración del uso del software SMADA6.0	37
Figura 6. Gráfica de la distribución Gumbel para determinar la precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica Jesús María	38
Figura 7. Mapa de precipitaciones máxima mm/día del área urbana del municipio de Vélez	39
Figura 8. Mapa de zonas de amenaza relativa del área urbana del municipio de Vélez	41
Figura 9. Ejemplo tipo de automatización de la metodología para realización de mapa de pendientes	43

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Inclinação de la pendiente y sus cualificaciones respectivas en el área de trabajo	28
Tabla 2. Composición, textura, tamaño de grano y características físicas y químicas de las rocas	30
Tabla 3. Precipitación media mensual	32
Tabla 4. Valores acumulados de índices de precipitación	33
Tabla 5. Ejemplo tipo de las distribuciones para el cálculo de las precipitaciones máximas mm/día de la estación de Jesús María	36
Tabla 6. Cualificación de precipitación máxima mm/día	38
Tabla 7. Clasificación de susceptibilidad al deslizamiento	42
Tabla 8. Clases de pendientes, Condiciones del terreno y valoración del parámetro	46



## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Fotografías de daños en Vélez	53
Anexo B. Mapa Geológico Detallado Vélez	54
Anexo C. Mapa Geológico General Vélez	55
Anexo D. Mapa Uso de Suelo Vélez	56
Anexo E. Imagen municipio Vélez	57



## RESUMEN

**TITULO** UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG PARA APLICACIÓN DE UN  
MODELO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DEL ÁREA  
URBANA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ\*

**AUTORES:** Andrea Marcela Vera Guarín, andrea.vera.guarin@gmail.com  
Kelin Yanida Marín Ruiz†, kelin.marinruiz@gmail.com

**PALABRAS CLAVE:** Amenaza, remoción en masa, ArcGIS, Vélez, metodología, herramientas  
SIG

## DESCRIPCION

Los movimientos en masa constituyen una de las causas más frecuentes de pérdidas humanas y económicas alrededor del mundo, por lo que la evaluación de la amenaza por movimientos en masa y la capacidad de predecir dichos movimientos ha sido un tema de gran interés para la comunidad científica.

El municipio de Vélez presenta graves problemas de remoción en masa y debido a un fallo de acción popular se obliga al municipio a realizar estudios de geotecnia, geología e hidrología. Ya que esta problemática afecta aproximadamente “más de 550 viviendas en condiciones de deterioro progresivo” según el Secretario de Planeación de este municipio; por tanto, surge la necesidad de realizar un primer análisis que permitan evaluar qué zonas presentan un grado de amenaza alta. Para esto se revisaron algunas metodologías seleccionando y aplicando el método de Mora-Vahrson de acuerdo con la información y problemática existente, en la cabecera municipal y su área de expansión permitiendo observar una clasificación de esta área según el nivel de amenaza que presenta. Para la realización de este análisis se procesó la información obtenida en campo y la existente, generando una base de información que permita a futuro su manejo por medio del software ArcGIS donde se generaron herramientas para la aplicación de la metodología de manera expedita.

---

\* Proyecto de Grado

† Facultad de Ingenierías Fisicomécanicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Wilfredo del Toro Rodríguez

## ABSTRACT

**TITLE** THREAT MODEL BY MASS MOVEMENT APPLIED TO URBAN AREA OF VELEZ TOWNSHIP USING SIG TOOLS\*

**AUTHORS:** Andrea Marcela Vera Guarín, andrea.vera.guarin@gmail.com  
Kelín Yanida Marín Ruiz<sup>†</sup>, kelin.marinruiz@gmail.com

**KEY WORDS:** Threat, mass movements, ArcGIS, Vélez, methodology, tools SIG

## DESCRIPTION

Mass movements are one of the most common causes of human and economic losses around the world, so the threat assessment by mass movements and the ability to predict these movements has been a topic of great interest to the scientific community.

The municipality of Vélez has serious problems of mass movement and due to a legal action, the municipality has to perform geotechnical, geological and hydrological studies. As this problem affects about “ more than 550 homes in progressively deteriorating conditions “ according to the Secretary of Planning in the municipality, an initial analysis is required to assess which areas have a high threat level. For this some methodologies that were reviewed to finally select and apply the method of Mora – Vahrson according to the information and existing problems, in the “cabecera” municipal and its expansion area allowing us to observe a classification of this area according to the level of threat posed. To perform this analysis, the information obtained in the field trip and the existing one were processed, creating a database that lets handling it in the future through the ArcGIS software tools that generated the application of the methodology quickly.

---

\* Project of Grade

<sup>†</sup> Faculty engineering Physical Mechanical Engineering Civil Director Wilfredo del Toro Rodríguez

## INTRODUCCIÓN

El Municipio de Vélez se encuentra ubicado al suroccidente del Departamento de Santander, a 231 kilómetros de la ciudad de Bucaramanga, formando parte de la provincia de Vélez. Las características del suelo de este municipio se encuentran relacionadas con los componentes vegetales, climáticos, geomorfológicos y geotécnicos.

Actualmente en Vélez se está presentando un problema de creep o reptación que cada vez se hace más evidente, tanto en el casco urbano como rural generando deterioro de la infraestructura y un riesgo para la población (Ver Anexo 1 Fotografías Vélez). Este movimiento lento de la superficie está relacionado con procesos de variación de humedad en el suelo, alteraciones en el mismo, así como el impacto causado por la lluvia con las oleadas invernales de los últimos años, que han afectado seriamente este municipio.

En la planificación y/o búsqueda de soluciones a problemas de desarrollo urbano o en el aprovechamiento de recursos naturales, los mapas de amenaza son instrumentos imprescindibles para la realización de dichas tareas puesto que contribuyen a que las sociedades sean menos vulnerables ante posibles desastres.

Por las circunstancias mencionadas nace la inquietud por recopilar la información existente y la obtenida en campo, estructurándola para usar herramientas tipo SIG que permitan la aplicación de un modelo de amenaza por remoción en masa en el área urbana del municipio de Vélez, y determinar así, qué zonas están más propensas a ser impactadas por este fenómeno.

## 1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

### 4.5. OBJETIVO GENERAL

Utilización de herramientas SIG para aplicación de un modelo de amenaza por remoción en masa, del casco urbano y su área de expansión del municipio de Vélez.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar la información existente y la obtenida en campo por el equipo de la Universidad Industrial de Santander.
- Estructurar la información espacial y alfanumérica existente y la capturada en campo requerida para el cálculo de la amenaza.
- Revisar las metodologías existentes para el análisis de la amenaza por remoción en masa y seleccionar la metodología de acuerdo a la problemática particular del municipio de Vélez y la disponibilidad de información temática existente.
- Aplicar las herramientas de análisis espacial para la determinación del nivel de amenaza por remoción en masa.

#### 4.5. JUSTIFICACION

Debido a que los movimientos en masa causan grandes pérdidas tanto humanas como económicas y el crecimiento de la población conlleva a la extensión de los territorios, es necesario evaluar la amenaza por movimientos en masa para tener un control de las zonas donde se encuentran realizadas obras de infraestructura o donde se pretendan realizar las mismas. Por esto es de vital importancia estudiar la amenaza existente en el municipio de Vélez, ya que este municipio presenta graves problemas por fenómenos de remoción en masa.

Esta propuesta basada en la utilización de herramientas SIG pretende recopilar y procesar la información del estado actual de Vélez para que pueda ser usada y complementada en la realización de estudios más profundos con el propósito de prever desastres y buscar soluciones adecuadas para contrarrestar la situación actual y las que se puedan presentar en el futuro.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Amenaza <sup>1</sup>

Las amenazas se definen como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por el hombre, con la capacidad de generar daños o pérdidas en un lugar y momento determinado.

Estas pueden ser:

2.1.1 Naturales. Que hacen referencia a los fenómenos de formación y transformación del planeta y se caracterizan porque el ser humano no puede incidir ni en su ocurrencia ni en su magnitud, y teóricamente tampoco en su control; se subdividen en geológicas como sismos, erupciones volcánicas y tsunamis; hidrológicas como inundaciones y avalanchas; y *climáticas* como huracanes, tormentas y sequías

2.1.2 Antrópicas. Hacen referencia a desequilibrios generados por la actividad humana Se refieren a la polución, contaminación química, uso de tecnologías inadecuadas, enfermedades infecciosas, accidentes industriales o guerras.

2.1.3 Socio-naturales. Hace referencia a fenómenos amenazantes derivados de la degradación ambiental, la cual actúa como catalizador de procesos naturales, haciendo que estos se presenten con mayor recurrencia o con mayor intensidad. Por ejemplo la deforestación generada por uso inadecuado del territorio (social) que junto con las lluvias (natural) incrementa el riesgo de deslizamientos.

---

<sup>1</sup> Tomado de, Guía Ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel municipal

## 2.2 ArcGIS<sup>2</sup>

Es el nombre de un conjunto de productos software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI. Se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.

Como sistema de información, **ArcGIS** es accesible desde clientes desktop, navegadores web, y terminales móviles que se conectan a servidores de departamento, corporativos o con arquitecturas de computación en la nube (*Cloud Computing*).

## 2.3 Herramientas SIG

Permiten realizar análisis de datos alfanuméricos asociados a un componente espacial y/o realizar operaciones sobre imágenes existentes, los cuales se ofrecen como una herramienta que permite facilitar la toma de decisiones del gestor.

## 2.4 ModelBuilder<sup>3</sup>

Es una aplicación que se utiliza para crear, editar y administrar modelos. Los modelos son flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geo-procesamiento y suministran la salida de una herramienta a otra herramienta como entrada. ModelBuilder también se puede considerar un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo.

ModelBuilder es muy útil para construir y ejecutar flujos de trabajo sencillos, pero también proporciona métodos avanzados para ampliar la funcionalidad de ArcGIS, ya que permite crear y compartir los modelos a modo de herramienta.

---

<sup>2</sup> Disponible en <http://www.esri.es/es/productos/arcgis/>

<sup>3</sup> Disponible en <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//002w000000100000>

## 2.5 Raster<sup>4</sup>

Consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los raster son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

Los datos almacenados en formato ráster representan fenómenos del mundo real:

- Los datos temáticos (también conocidos como discretos) representan entidades como, por ejemplo, el uso del suelo o los datos del suelo.
- Los datos continuos representan fenómenos como la temperatura o elevación, o datos espectrales, entre ellos imágenes de satélite y fotografías aéreas.

Los rústeres temáticos y continuos se pueden visualizar en el mapa en forma de capas de datos junto con otros datos geográficos, pero a menudo se utilizan como datos de origen para el análisis espacial con la extensión ArcGIS Spatial Analyst. Los rústeres de imágenes suelen utilizarse como atributos en tablas: pueden visualizarse con datos geográficos y se utilizan para transmitir información adicional acerca de las entidades geográficas de mapas.

## 2.6 Reptación<sup>5</sup>

Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional cuando se asocia a cambios climáticos, o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

---

<sup>4</sup> Disponible en <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009t00000002000000>

<sup>5</sup> Tomado de, Proyecto Multinacional Andino, "Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas", Publicación Geológica Multinacional.

## 2.7 Shapefile<sup>6</sup>

Un shapefile es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Las entidades geográficas de un shapefile se pueden representar por medio de puntos, líneas o polígonos (áreas).

Todos los archivos con la extensión .txt, .asc, .csv, o .tab aparecen en ArcCatalog como archivos de texto por defecto. Sin embargo, en el cuadro de diálogo Opciones, puede elegir cuáles de estos tipos de archivo se deben representar como archivos de texto y cuáles no se deben mostrar en el árbol de Catálogo. Cuando los archivos de texto contienen valores delimitados por comas o tabuladores, puede ver su contenido en la vista de tabla de ArcCatalog y vincularlos a entidades geográficas. Los archivos de texto se pueden eliminar, pero su contenido son de solo lectura en ArcCatalog.

## 2.8 SIG<sup>7</sup>

Permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica. Esto quiere decir que en un solo mapa el sistema muestra la distribución de recursos, edificios, poblaciones, entre otros datos de los municipios, departamentos, regiones o todo un país. Este es un conjunto que mezcla hardware, software y datos geográficos, y los muestra en una representación gráfica. Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada.

Los usuarios pueden editar los mapas, trabajar por capas y manipular la información que almacena el sistema para obtener resultados específicos o generales de una consulta. Encuentran respuestas como qué hay en un lugar, dónde sucedió un hecho, qué cambios ha habido, qué camino tomar o qué

---

<sup>6</sup> Disponible en <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//005600000002000000>

<sup>7</sup> Disponible en <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>

construcciones cercanas se encuentran. Por ejemplo en SI-GEO, el Sistema de Información Geográfica del Sector Educativo, una persona puede revisar las escuelas de su municipio y además ver los hospitales que están cerca, las montañas, las explotaciones mineras, los ríos, entre otros datos.

Este tipo de sistemas sirve especialmente para dar solución a problemas o preguntas sobre planificación, gestión y distribución territorial o de recursos. Son utilizados en investigaciones científicas, en arqueología, estudios ambientales, cartografía, sociología, historia, marketing y logística, entre otros campos.

Todos los sistemas de información geográfica y los resultados de las búsquedas en estos dependen de la calidad y cantidad de información suministrada en su base de datos.

## **2.9 Tipos de movimientos en masa<sup>8</sup>**

En la actualidad una forma de categorizar los tipos de movimientos en masa según SUAREZ, J. (1998) es en ocho principales grupos: caídas, flujos, deslizamientos, volcamientos, propagación lateral, hundimientos, reptación, movimientos complejos y avalanchas.

---

<sup>8</sup> Tomado de SUAREZ JAIME, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Capítulo 1

### 3. METODOLOGIA

Uno de los primeros pasos en la gestión del riesgo por remoción en masa es la determinación de las zonas de amenaza. Para esto existen una serie de modelos, cada cual con un nivel de complejidad y detalle diferentes, cuya selección dependerá del tipo y calidad de datos disponibles en cada región, así como de utilidad de la información generada para la toma de las decisiones.

Se revisaron tres metodologías mencionadas a continuación para el análisis de amenaza por remoción en masa y se decidió usar la metodología de Mora Vahrson de acuerdo, con la información temática existente y la problemática del municipio.

#### **3.1 Metodología para el estudio de amenazas por erosión y remoción en masa y vulnerabilidad de la zona urbana y de expansión de Jesús María, Santander<sup>9</sup>**

Se basa en la aplicación de un método Explícito Empírico. (CASTRO MARIN, Eduardo, 2001). Consiste en una planeación cronológica en las que se incluye una documentación preliminar, los estudios locales y mapas índices con los cuales se accede a la zonificación del área de amenaza.

El procedimiento geológico contiene una cartografía de factores detonantes por fenómenos de remoción en masa incluyendo, geología, morfodinámica, uso de suelo y mediante puntajes ponderados según la condición del terreno, asignados a cada factor, se deben superponer las variables presentadas anteriormente para obtener como resultado el mapa de amenazas donde se identifican los niveles de

---

<sup>9</sup> Tomado de, Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en masa. Guía Metodológica

intensidad que presentan los procesos en la zona, mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} AMENAZA = & \textit{Zonificación Geotécnica} + \textit{Pendientes} + \textit{Formas} + \textit{Geomorfología} \\ & + \textit{Morfodinámica} + \textit{Favorabilidad Pendiente} \\ & + \textit{Afloramientos Agua superficial} \end{aligned}$$

Además del análisis geológico, se debe realizar un estudio del comportamiento de las estructuras ante la acción que ejercen las fuerzas naturales, de manera que, con esta información se abra paso al análisis de vulnerabilidad relativa, por medio del cual es posible indicar los niveles de riesgo en la zona.

### **3.2 Metodología, análisis y gestión de riesgos naturales**

Conlleva etapas de información y elaboración de mapas e informes. Esta metodología plantea trabajar con la base topográfica existente en el país a escala 1:50 000 para trasladar todas las observaciones y análisis de fenómenos peligrosos a planos o mapas hasta un nivel de detalle permitido a esta escala (mapas indicativos de amenaza).

#### **3.2.1 Secuencia de acción más común y efectiva**

Se definen las necesidades con las autoridades municipales en coordinación, según la superficie del municipio, necesidades logísticas, evaluación de peligros potenciales. Se identifica el tipo de información requerida. Incluye mapas topográficos, hidrología, hidráulica, fotos aéreas, uso de suelo, sismicidad, infraestructura y meteorología. Luego, se debe observar el área en detalle con el objetivo de encontrar evidencias que permitan definir límites, tipología de los fenómenos y grado de actividad en las zonas afectadas.

La estimación de probabilidades de ocurrencia de los eventos puede ser basada en la experiencia del especialista y las evidencias de actividad e intensidad del fenómeno.

Finalmente se generan dos tipos de mapas sujetos a la información disponible, en donde se aconseja utilizar una escala 1: 50 000:

#### 3.2.1.1 Mapa de inventario de fenómenos

Su objetivo es señalar la existencia de fenómenos o procesos de zonas susceptibles de ser escenario de un evento catastrófico. En su contenido se encuentra la delimitación lo más precisa posible de los fenómenos naturales, de franjas de inundación y de llanuras de aluvionamiento, además de indicar frentes generadores de derrumbes y deslizamientos. También, la indicación aproximada de los lugares donde el cauce del río presenta estrangulación, áreas con material no consolidado.

#### 3.2.1.2 Mapa indicativo de amenazas<sup>10</sup>

Su objetivo es indicar el grado de peligro de los diferentes fenómenos naturales identificados así como su evolución a través del tiempo. En su contenido delimita lo más preciso posible las zonas de amenaza alta, media y baja; además la ubicación de sitios críticos para finalmente zonificar el territorio.

### 3.3 Metodología de Mora y Vahrson

La metodología aplicada en este proyecto de investigación es desarrollada por Mora y Vahrson en Costa Rica (1994), puesto que según los datos que se requieren para su aplicación, es la que más se ajusta a la información existente. El

---

<sup>10</sup> Tomado de, Instrumentos de apoyo para el Análisis y la Gestión de riesgos naturales

análisis se realiza en una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (ArcMap).

Esta metodología utiliza factores intrínsecos considerados como críticos para la ocurrencia de deslizamientos, los cuales son: relieve, litología y humedad del suelo, además se incorpora la precipitación máxima absoluta en 24 horas [mm/día] como factor de disparo, utilizando la información de estaciones meteorológicas en los alrededores del área de estudio, cuyos datos fueron proporcionados por el IDEAM. Esta metodología incluye originalmente un factor adicional de disparo denominado Actividad Sísmica, sin embargo, esta variable no fue utilizada en este proyecto.

Para su aplicación fue necesario realizar una conversión de datos: vector a raster, así como una reclasificación de las fuentes y la realización de un cálculo final.

### 3.3.1 Aplicación de la metodología

#### 3.3.1.1 Estimación del índice de susceptibilidad IS.

Se aplica mediante la combinación de parámetros, los cuales se obtienen de la observación y medición de factores intrínsecos y su distribución espacial. Dichos parámetros reflejan los factores que conducen a la inestabilidad de la ladera, tales como litología, el contenido de humedad del suelo y el grado de pendiente de la ladera; con estos parámetros se determina un grado de susceptibilidad por elementos pasivos.

##### 3.1.1.1.1 Factor pendiente del terreno FP

El mapa de pendientes es una capa en formato raster derivado del Modelo Digital de elevación, el cual es la representación de las altitudes del terreno equivalente en grados. Se utilizaron curvas de nivel a escala 1:25 000 con un intervalo de

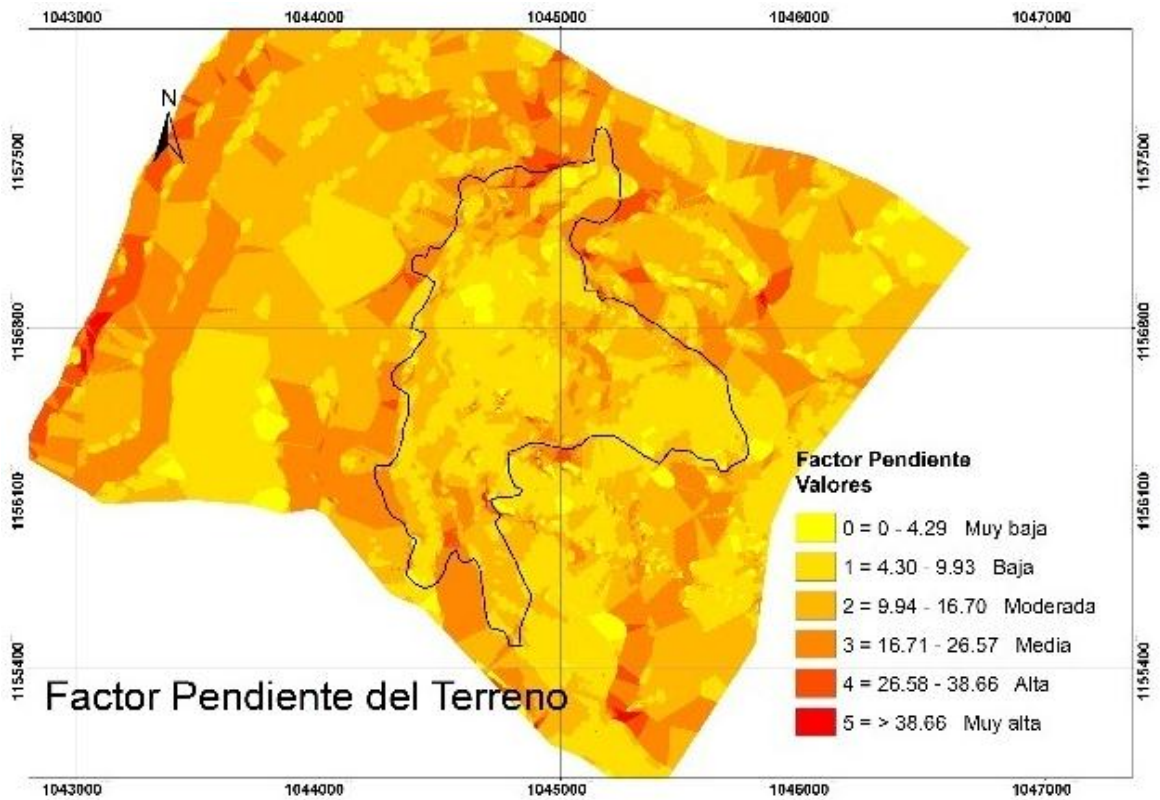
cinco (5) metros obtenidos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Los valores de pendiente varían entre 0° y 38° asignándole rangos y un peso relativo a cada clase. La resolución espacial del mapa es de un (1) metro, cubriendo el área urbana del municipio de Vélez.

En la Tabla 1 se asignan los criterios de clasificación según Mora y Vahrson

**Tabla 1.** Inclinación de la pendiente y sus cualificaciones respectivas en el área de trabajo

Valor de Pendiente (m/Km <sup>2</sup> )	Equivalente en grados	Cualificación	Factor Sr
0 – 75	0 – 4,29	muy baja	0
76 – 175	4,30 – 9,93	baja	1
176 – 300	9,94 – 16,70	moderada	2
301 – 500	16,71 – 26,57	media	3
501 – 800	26,58 – 38,66	alta	4
> 800	>38,66	muy alta	5
Fuente: Proyecto de Mitigación de Georriesgos en Centroamérica			

**Figura 1.** Mapa indicativo del factor pendiente del área urbana del municipio de Vélez



**Fuente:** Autores

Los factores en color rojo indican las zonas con pendientes fuertes, áreas que son favorables a posibles deslizamientos

### 3.1.1.1.2 Factor litológico FL

Para el cálculo de este factor fue necesario contar con mapas digitales geológicos que se obtuvieron mediante la captación de información por parte un grupo de geología, transformando a formato raster, usando el software ArcGIS. En su base

de datos se clasificó el tipo de roca, asignando factores de peso iguales a dos (2) y tres (3) con base en lo observado por los geólogos.

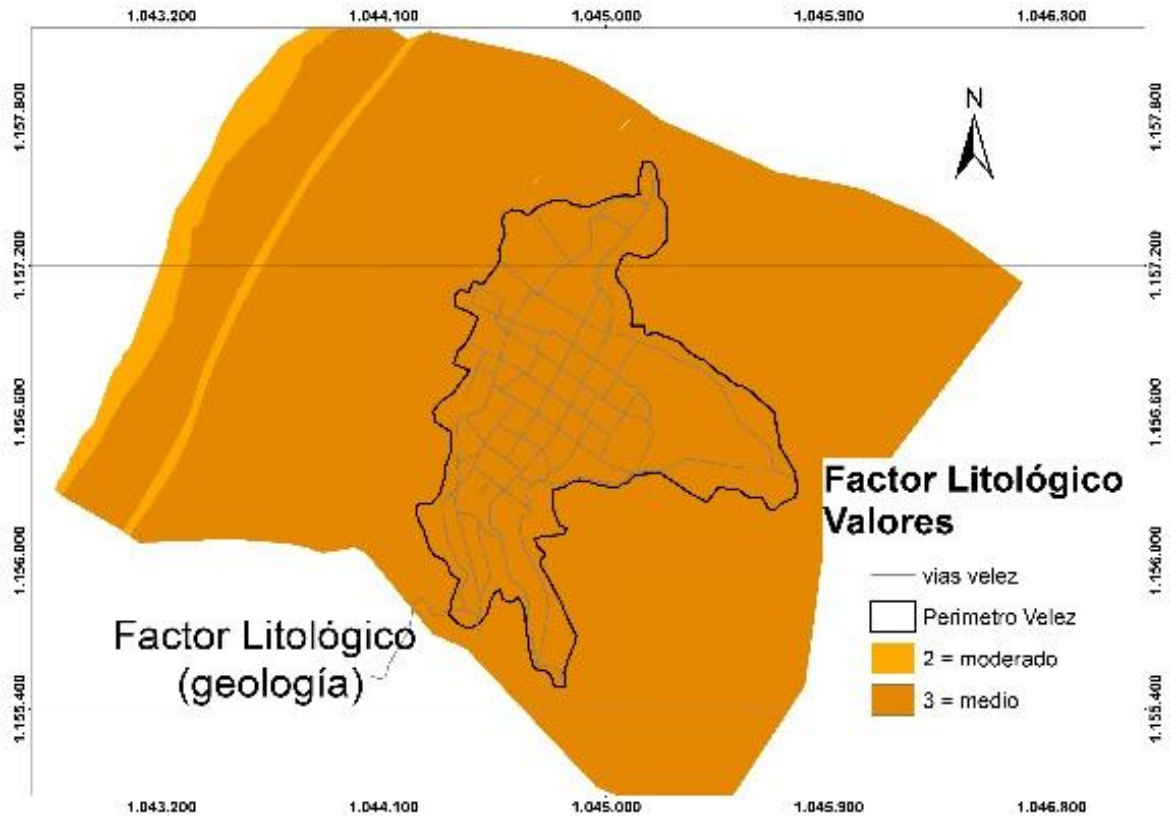
En la Tabla 2 se asignan los criterios de clasificación según Mora y Vahrson

**Tabla 2.** Composición, textura, tamaño de grano y características físicas y químicas de las rocas

Litología	Cualificación	Factor SI
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo Calizas duras. Características físicas mecánicas: materiales sanos con poco o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas, sin relleno	Bajo	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, o fisuradas, Rocas intrusivas, calizas duras Características físico mecánicas: resistencia al corte medio elevado.	Moderado	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas ignibritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana o fuertemente alteradas, niveles freáticos relativamente altos.	Medio	3
Aluviones fluvio- lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados.	Muy alto	5

Fuente: Proyecto de Mitigación de Georiesgos en Centroamérica

**Figura 2.** Mapa indicativo del factor litológico del área urbana del municipio de Vélez



**Fuente:** Autores

Este mapa presenta dos tipos de cualificaciones: moderado y medio, pues la zona de estudio es un área pequeña y su litología es casi homogénea.

### 3.1.1.1.3 Factor humedad relativa FH

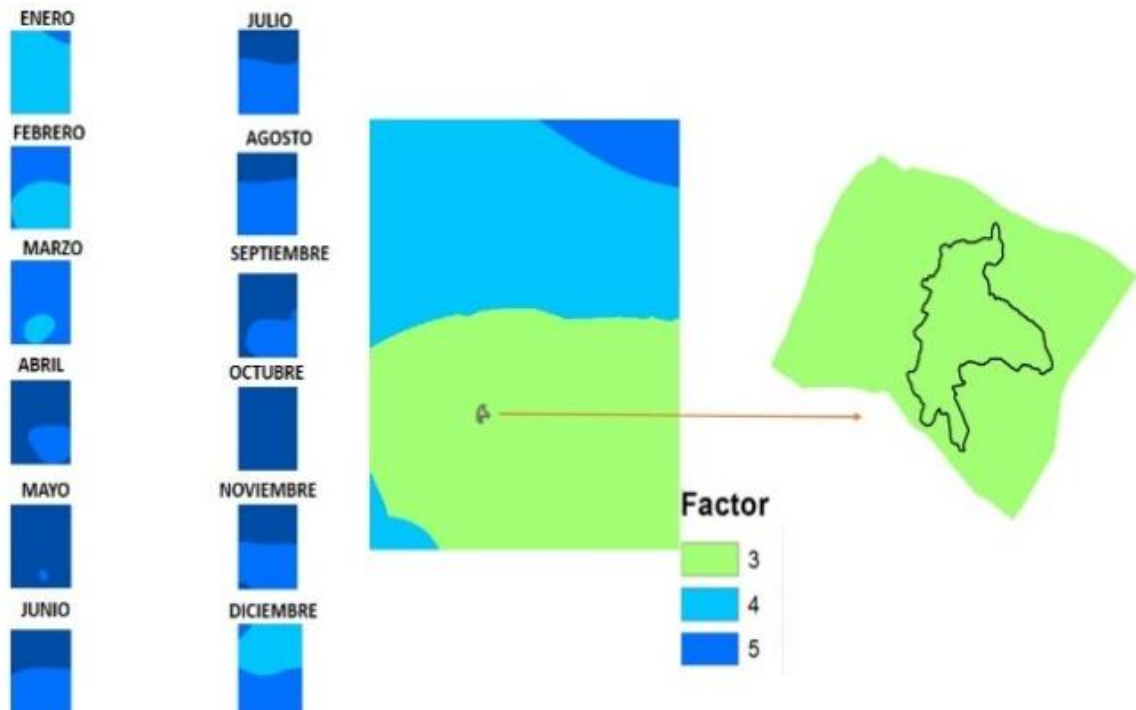
Este mapa se realizó en formato tipo raster obtenido de la información de precipitaciones del IDEAM, utilizando once (11) estaciones aledañas al municipio de Vélez para un periodo aproximado de 30 años y mediante el cálculo de la precipitación promedio por mes, se generó un mapa de interpolación para cada uno de los meses del año, dándole a cada mapa obtenido los valores mostrados en la Tabla 3 y asignando los criterios de clasificación según Mora y Vahrson

**Tabla 3.** Precipitación media mensual

<b>Precipitación media mensual (mm/mes)</b>	<b>Valor asignado</b>
< 125	0
125 – 250	1
> 250	2
Fuente: Proyecto de Mitigación de Georriesgos en Centroamérica	

Una vez asignados los valores en cada uno de los 12 mapas según la precipitación media mensual que se presentó, se realizó la suma de los mismos para obtener un mapa de humedad relativa del suelo con valores acumulados de índices de precipitación, donde posteriormente se clasificó de la siguiente manera, según el criterio de la metodología.

**Figura 3** Ilustración del proceso para la elaboración del mapa de humedad relativa del suelo del área urbana del municipio de Vélez



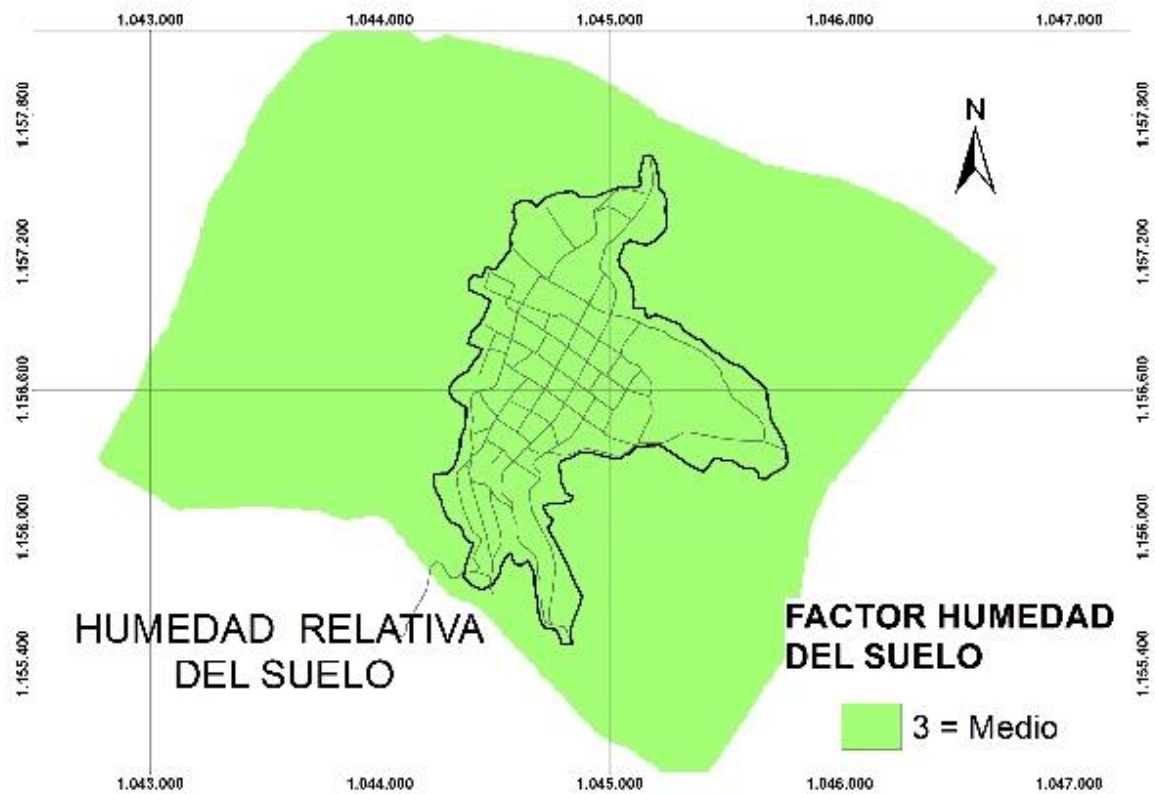
Fuente: Autores

**Tabla 4.**Valores acumulados de índices de precipitación

Valor acumulado de índices de precipitación	Cualificación	Factor Sh
0 – 4	Muy baja	1
05-Sep	Bajo	2
Oct-14	Medio	3
15 – 19	Alto	4
20 – 24	Muy alto	5

Fuente: Proyecto de Mitigación de Georriesgos en Centroamérica

**Figura 4.** Mapa indicativo del factor humedad relativa del suelo del área urbana del municipio de Vélez.



**Fuente:** Autores

El resultado es un mapa indicativo del factor de humedad relativa del suelo, donde se obtuvo un factor de tres (3) de cualificación media pues el valor acumulado de los índices de precipitación es de 10, esto se debe a que las estaciones meteorológicas usadas para la realización de las isoyetas se encuentran ubicadas en una zona distante a la estudiada; por otra parte, por tratarse de un área pequeña, en relación con las distancias entre estaciones, no se evidencian

diferencias apreciables entre los valores de precipitación en la cabecera municipal y sus zonas vecinas, obteniéndose un único valor para todo el área.

Una vez obtenidos los tres mapas de factores intrínsecos, se procedió a la estimación del índice de susceptibilidad ante deslizamientos, en función de las características propias del terreno, mediante el producto de los mismos.

$$IS = FP * FL * FH$$

### 3.3.1.2 Factores Externos de Disparo: Precipitación FD

Luego de realizar la multiplicación de los factores intrínsecos, se requiere el mapa de precipitación como factor desencadenante ante los posibles deslizamientos. Este mapa en formato raster es la representación de las precipitaciones máximas en 24 horas en la zona de estudio. Se utilizó la base de datos existente de precipitación del IDEAM de once (11) estaciones meteorológicas vecinas.

Posteriormente, se halló la predicción para un periodo de retorno de 10 años usando el software SMADA 6.0 de uso libre. Este software es un paquete de hidrología completa incluido como una serie de archivos ejecutables independientes. Estos programas trabajan juntos para permitir la generación y distribución estadística de Gumbel, Log Pearson y Pearson.<sup>11</sup>

Para este mapa se utilizó la distribución estadística con menor desviación puesto que es la que más se ajusta a la curva

---

<sup>11</sup>Disponible  
<https://ucfrainfall.pbworks.com/w/page/49689488/SMADA%20Software%20and%20SMADA%20Files>

en,

En la Tabla 5. Se muestra un ejemplo tipo de las distribuciones, para la estación de Jesús María

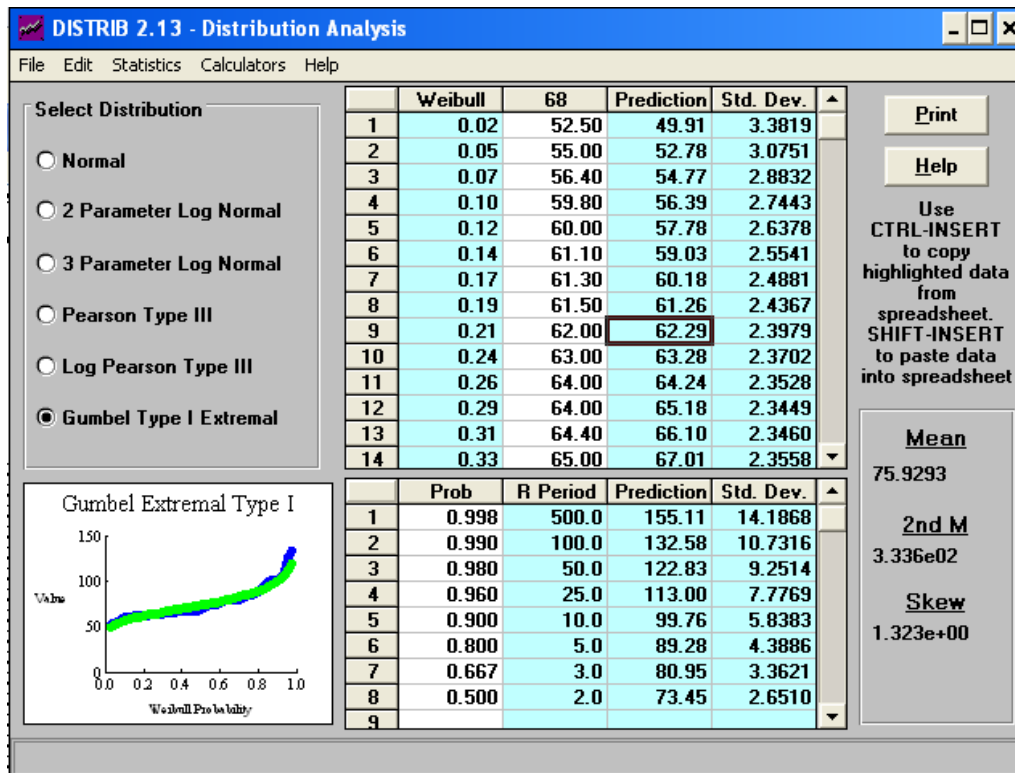
**Tabla 5.** Ejemplo tipo de las distribuciones para el cálculo de las precipitaciones máximas mm/día de la estación de Jesús María

<b>ESTACION METEOROLOGICA JESUS MARIA</b>						
	<b>GUMBEL TIPO I</b>		<b>Log Pearson III</b>		<b>Pearson III</b>	
<b>TR</b>	<b>PREDI- CCION mm/día</b>	<b>DESV ESTAN</b>	<b>PREDI- CCION mm/día</b>	<b>DESV ESTAN</b>	<b>PREDI- CCION mm/día</b>	<b>DESV ESTAN</b>
500	<b>155,11</b>	14,19	160,97	31,05	167,18	37,1
100	<b>132,58</b>	10,73	134,4	17,52	139,25	21,71
50	<b>122,83</b>	9,25	123,57	13,06	127,34	16,04
25	<b>113</b>	7,77	112,99	9,4	115,48	11,18
10	<b>99,76</b>	5,83	99,14	5,79	99,78	6,61
5	89,28	4,38	88,44	4,04	87,76	5,09
3	80,95	3,36	80,07	3,24	78,68	4,59
2	73,45	2,62	72,64	2,76	71,11	3,78

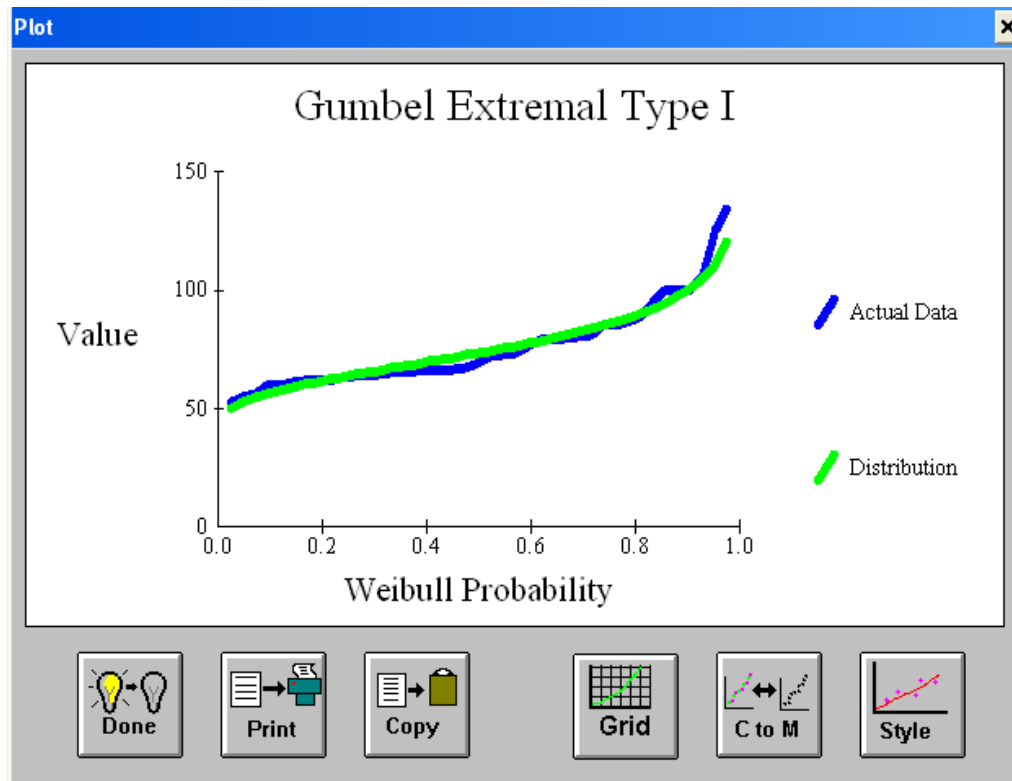
Fuente: Autores

En la figura 5 y Figura 6. Se ilustra el uso del software SMADA 6.0 para la estación meteorológica Jesús María

**Figura 5.** Ilustración del uso del software SMADA6.0



**Figura 6.** Gráfica de la distribución Gumbel para determinar la precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica Jesús María



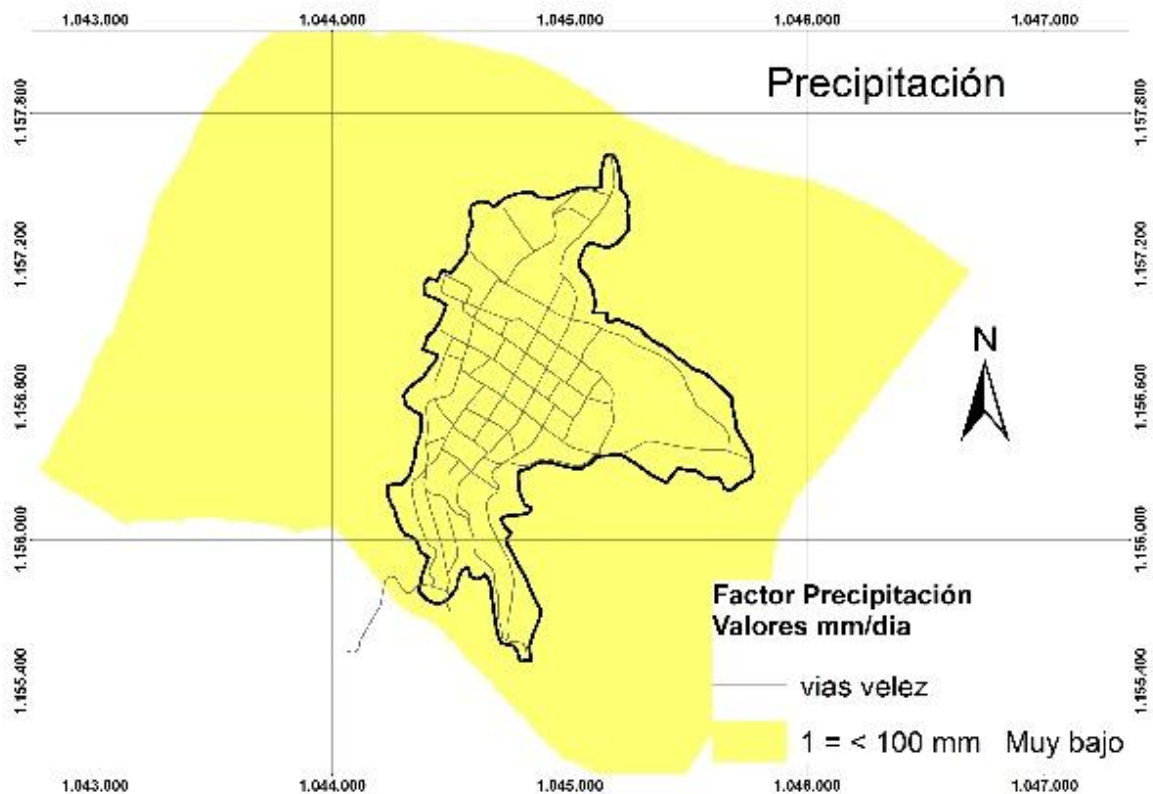
Con los resultados de este software se generó una interpolación entre las estaciones, obteniendo un raster y clasificándolo según Mora Vahrson de la siguiente manera.

**Tabla 6.** Cualificación de precipitación máxima mm/día

Precipitación máxima mm/día	Cualificación	Factor Tp
<100	Muy bajo	1
101 – 200	Bajo	2
201 – 300	Medio	3
301 – 400	Alto	4
> 400	Muy alto	5

Fuente: Proyecto de Mitigación de Georiesgos en Centroamérica

**Figura 7.** Mapa de precipitaciones máxima mm/día del área urbana del municipio de Vélez



**Fuente:** Autores

Se obtuvieron de las isoyetas precipitaciones menores a 100 mm/día, alrededor de 1200 mm anuales, con factor de uno (1) y cualificación muy bajo, pero se debe aclarar que estas precipitaciones son hasta el año 2000 y para los últimos años se han presentado aumentos, además de no tenerse en cuenta el año 2010 donde se dieron precipitaciones atípicas.

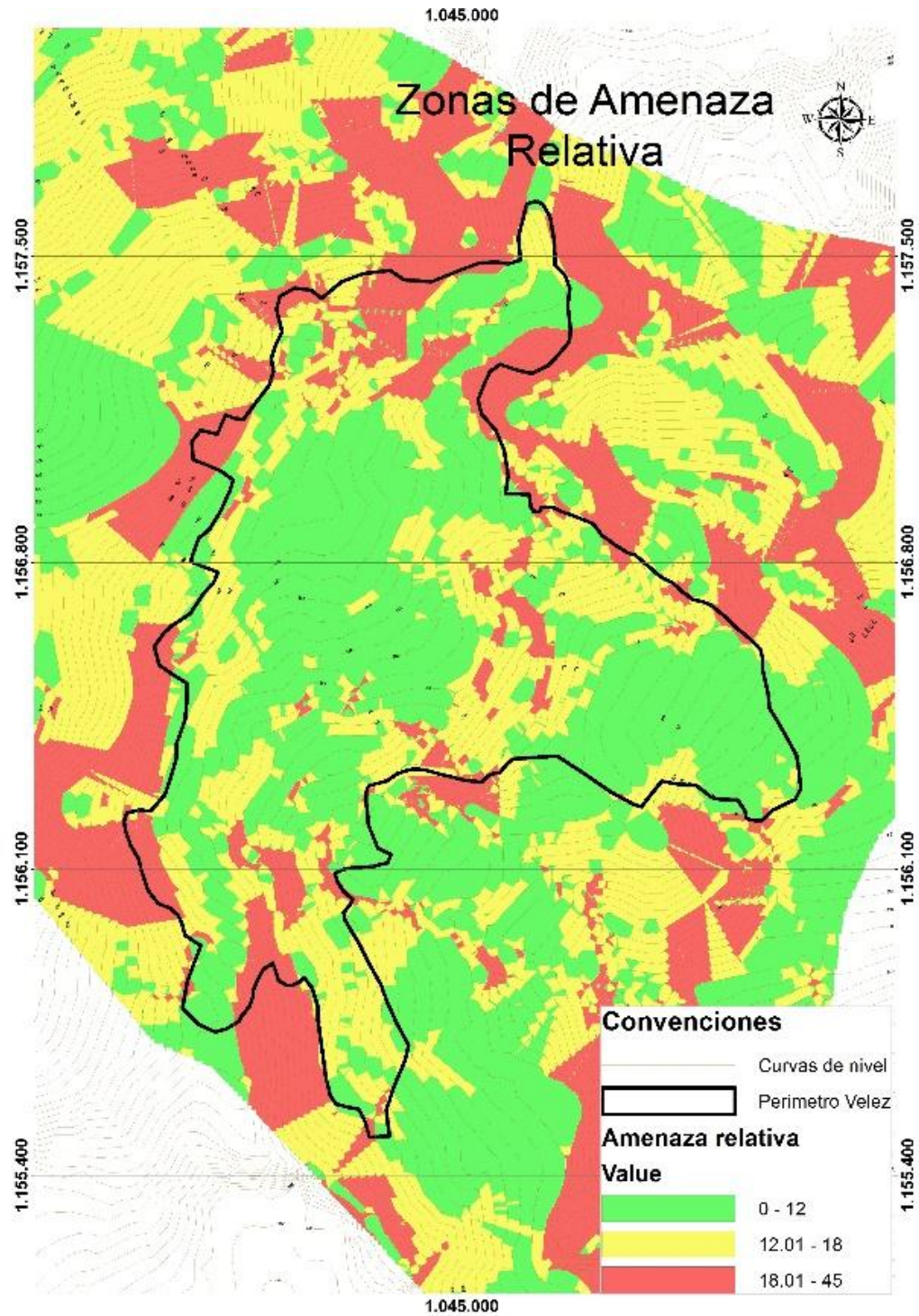
Se observó un solo valor de clasificación al igual que los resultados obtenidos en el factor de humedad relativa del suelo por las mismas razones expuestas en el caso del factor d humedad.

### **3.3.1.3 Mapa de zonas de amenaza relativa**

Luego de estimar el índice de susceptibilidad IS y el factor de disparo FD se realiza el producto de estos dos mapas para obtener el nivel de amenaza relativa.

$$\textit{Amenaza Relativa (AR)} = \textit{IS} * \textit{FD}$$

**Figura 8.** Mapa de zonas de amenaza relativa del área urbana del municipio de Vélez



Fuente: Autores

Los resultados obtenidos de la combinación de los cuatro factores no están establecidos en la metodología en una escala de valores única, ya que dependen de las características y condiciones del área estudiada. Por ello, se decidió dividir el rango de valores obtenidos, para el área de estudio, en tres clases de amenaza y se asignaron los calificativos mostrados en la Tabla 7. Este representa los diferentes niveles de amenaza relativa y no la amenaza absoluta.

**Tabla 7.** Clasificación de susceptibilidad al deslizamiento

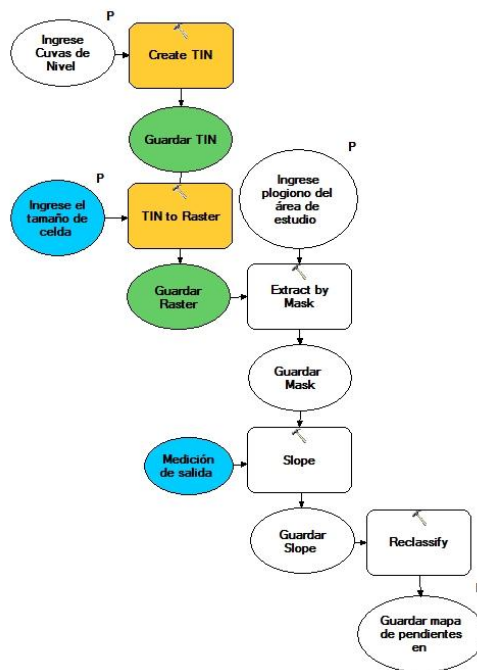
Clase	Calificativo de aceptabilidad al deslizamiento	Características
I	Baja – Verde	Sectores estables que se requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructuras de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de media a alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.
	Media – Amarillo	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, etc. Recomendado para usos urbanos de baja densidad.
III	Alta – Rojo	Probabilidad de deslizamiento alta (<50%) en caso de sismos de magnitud importantes y lluvias de intensidad alta. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector.
Fuente: Autores		

Esta clasificación relativa depende directamente de la influencia que tengan las diferentes condiciones examinadas en nuestra zona de estudio. En este caso la zona que se estudió presenta un área pequeña, por tanto el factor con más peso para determinar la amenaza fue el del terreno.

### 3.4 Automatización de la metodología

Una vez aplicado el procedimiento de la metodología se decidió automatizar los procesos internos que se deben realizar para la obtención de los mapas tipo raster y para las operaciones de los mismos, creando herramientas con ModelBuilder. Un ejemplo de ella se muestra en la Figura 9 ya que si se quieren obtener diferentes parámetros para optimizar la información, se pueden realizar variaciones, como por ejemplo, ingresar unas curvas de nivel mejoradas para así optimizar los resultados de las zonas que presenten amenaza.

**Figura 9.** Ejemplo tipo de automatización de la metodología para realización de mapa de pendientes



Fuente: Autores

## 4. BASE DE DATOS

Junto a la aplicación de la metodología, se generó una base de datos con la información recopilada de forma estructurada en una Personal Geodatabase. Esta contiene los diferentes mapas procesados y cartografía básica. También se estructuró la información por carpetas de acuerdo al tipo de archivo. Los mapas que se realizaron se encuentran en coordenadas MAGNA COLOMBIA BOGOTA. Los mapas existentes y la información son:

### 4.1. Geología

Mediante la captación de información por parte de los estudiantes de Geología, se digitalizó un mapa geológico detallado y un mapa geológico general usando el software ArcGIS en una escala 1:5000 (Ver Anexo 2. Mapa Geológico Detallado Vélez, Ver Anexo 3. Mapa Geológico General Vélez).

El ambiente geológico del municipio lo conforma la Formación Paja (Kip), que corresponde en la base a lutitas y limolitas grises oscuras a negras con delgadas intercalaciones de areniscas arcillosas. Su parte media se compone por lutitas grises con intercalaciones de areniscas, arcillolitas calcáreas y calizas. En su tope se compone de lutita gris clara a oscura, micáceas, inter-estratificada con areniscas arcillosas de grano fino.

La formación Tablazo corresponde a una sucesión de calizas grises a negras, con niveles superpuestos de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de arenisca gris de grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas.

## 4.2. Uso del Suelo

La determinación de la cobertura fue realizada teniendo en cuenta como referencia la estandarización de la información de cobertura de suelo, estructura de datos, símbolos y colores realizada por la CRC (2011) a cargo de los estudiantes de geología, la cual se digitalizó obteniendo así un mapa de Uso de Suelo (Ver Anexo 4. Mapa Uso de Suelo Vélez) donde se logran identificar la siguiente clasificación:

- Bosque natural denso: Comprende la vegetación del bosque natural existente en el municipio de Vélez con poca manipulación humana que se concentra en las zonas altas y bajas del municipio. Este contribuye a la regulación del ciclo hidrológico en grandes áreas.
- Bosque natural fragmentado con pastos y cultivos: Este ha sido intervenido por la acción humana presentando zonas mixtas de especies pertenecientes a bosques primarios y pastos naturales; de esta zona la comunidad obtiene productos como la leña.
- Zona urbana: Corresponde a la cabecera municipal y las construcciones aledañas de diferentes usos.
- Cultivos: Se presentan principalmente tres tipos de cultivos: ají, plátano y maíz.
- Misceláneo de pastos y espacios naturales: Representado por matorrales de porte bajo, potreros y grama natural.

### 4.3. Pendientes

Para realizar este mapa temático, se contó con un shape de curvas de nivel de la plancha 1: 25 000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi como se mencionó anteriormente

La información de pendientes es útil para definir la actividad de la erosión y los movimientos en masa.

**Tabla 8.** Clases de pendientes, Condiciones del terreno y valoración del parámetro

Clase de pendientes		Condiciones del terreno	Color	Valor de $S_p$
[°]	[%]			
<5	0-7	Planicie, sin denudación apreciable.	Verde oscuro	1
		Pendiente muy baja, peligro de erosión.		
5-15	7-30	Pendiente baja, peligro severo de erosión.	Verde claro	2
		Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo.		
15-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.	Amarillo	3
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible.	Naranja	4
>55	>140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada.	Rojo	5

Fuente: Modificado de Mora, R. et al., 2002. P. 3.



#### **4.4. Imagen en planta del municipio de Vélez**

Se cuenta con una imagen capturada por medio aéreo por el grupo de Investigación GEOMÁTICA en la zona de estudio (Ver Anexo 5. Imagen municipio Vélez).

#### **4.5. Información complementaria**

Fue necesario digitalizar las vías de acceso al municipio, las vías de la cabecera municipal, la cabecera municipal y las quebradas que atraviesan el municipio, para complementar la información. También se cuenta con una cartografía base ya existente.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología de Mora y Varshon, ilustrados en el mapa de zonas de amenaza relativa del área urbana del municipio de Vélez, indican las áreas más susceptibles a deslizamientos. Estos resultados se muestran coherentes con lo observado en campo ya que concuerdan con las zonas que presentan mayor afectación por problemas de remoción en masa y que ya han sido referenciadas por las autoridades.

Aunque los resultados obtenidos se consideran dentro de un nivel aceptable, se considera que el uso de las curvas de nivel de la plancha 1:25 000 del IGAC no produjo una interpolación de buena calidad, por lo tanto, es necesario optar por usar una topografía más detallada de la zona en estudio, para mejorar los resultados en el análisis de la amenaza por remoción en masa final que se realice.

El producto logrado es una ilustración inicial de las zonas que están siendo afectadas, con el propósito de que en un futuro se logre captar información de mejor calidad y más detallada, que permita aplicar la metodología de una manera más ajustada en el análisis de amenaza por remoción en masa, donde se tengan en cuenta otros factores importantes, como por ejemplo, las propiedades mecánicas de los suelos, para definir con mayor exactitud las zonas inestables.



## RECOMENDACIONES

Es de suma importancia que la administración del municipio de Vélez y el Comité Local de Prevención de Desastres junto con las demás entidades competentes, gestionen recursos necesarios para elaborar los estudios pertinentes de análisis de amenaza, para de esta manera poder mitigar los problemas de movimientos en masa en este municipio.

## BIBLIOGRAFIA

MILLÁN LÓPEZ, JAVIER ANTONIO, Guía Ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel municipal, Primera edición, Bogotá Agosto 2005.

ArcGis. [En línea] <http://www.arcgis.com/features/features.html> [citado 10 de octubre de 2013].

Herramientas SIG. [En línea] Disponible: <http://www.todosig.es/programas-sig.html> [citado 5 octubre 2013].

MODELBUILDER. [En línea]  
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//002w00000001000000> [citado 21 octubre de 2013]

RASTER. [En línea]  
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009t00000002000000> [citado 7 octubre de 2013]

Proyecto Multinacional Andino, “Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas”, Publicación Geológica Multinacional, vol. No. 4, 2007, página 154

Shapefile. [En línea]  
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//005600000002000000> [citado 8 octubre 2013].

SIG [En línea] <http://www.mineduccion.gov.co/1621/article-190610.html>. [citado 5 octubre 2013].



CASTRO MARIN, Eduardo, Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en masa. Guía Metodológica., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá DC, 2001.

Software SMADA 6.0. [En línea]  
<https://ucfrainfall.pbworks.com/w/page/49689488/SMADA%20Software%20and%20SMADA%20Files> [citado 21 octubre de 2013]

Instrumentos de apoyo para el Análisis y la Gestión de riesgos naturales, EDISA, Managua, Agosto 2002

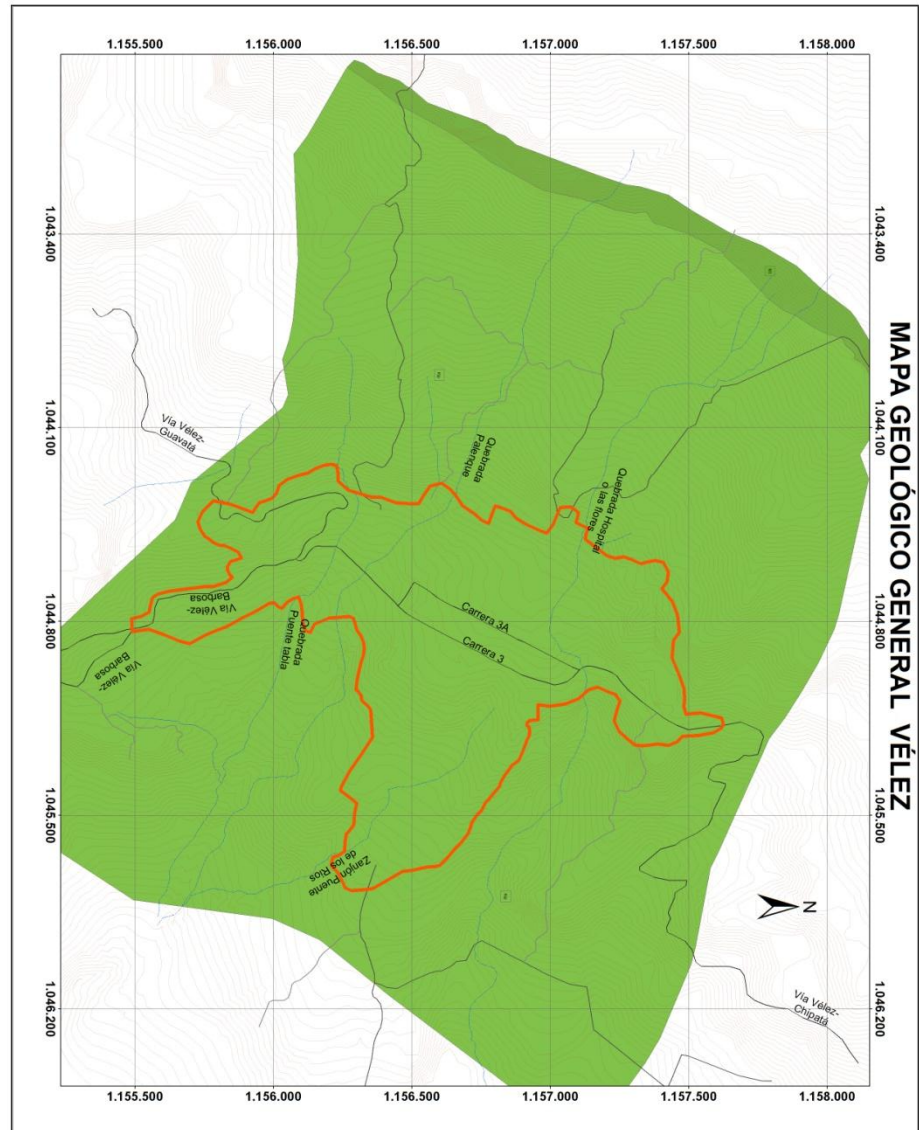
## ANEXOS

### Anexo A. Fotografías de daños en Vélez





### Anexo C. Mapa Geológico General Vélez



**LEYENDA GEOLOGICA**

**Kip**  
 FORMACIÓN PAJA  
 Lutita negra, blanca  
 en capas delgadas

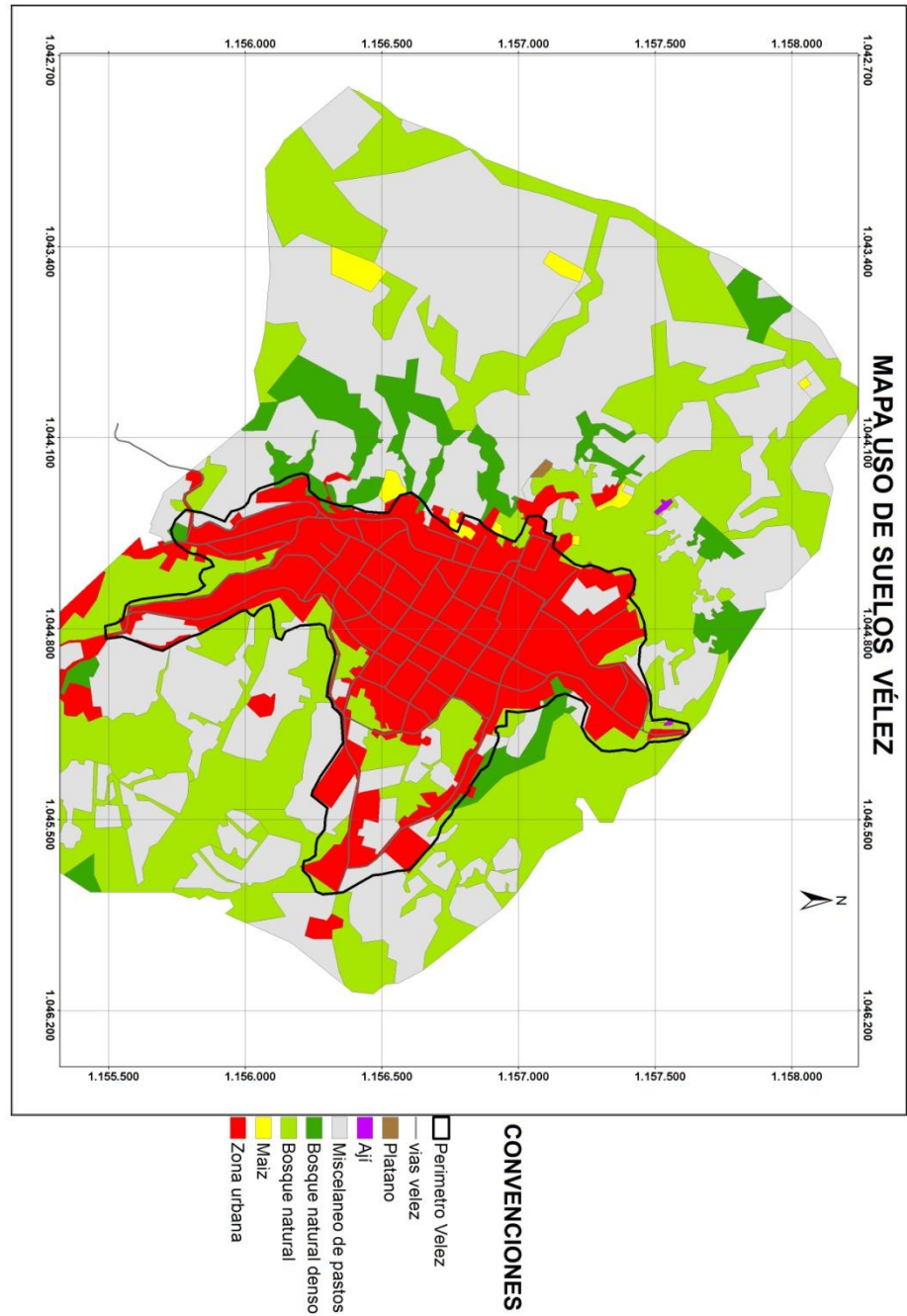
**Kit**  
 FORMACIÓN TABLAZO  
 Caliza gris arenosa a arcillosa,  
 fosilifera arenosa de grano fino  
 y lutita gris

**CONVENCIONES**

Perimetro Vélez  
 Caminos  
 Vías terciarias  
 Vías principales  
 quebradas  
 curvas\_5m\_ suavizadas

**geología**  
 Formación Paja  
 Formación Tablazo

### Anexo D. Mapa Uso de Suelo Vélez



### Anexo E. Imagen municipio Vélez

