

Grupo de Investigación ISTAR

---

**CIS1310IS06**

**Mapa de Amenaza por Riesgo de Deslizamiento**

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1310IS06>

**NICOLE ANDREA GARCIA RAMOS**



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS

BOGOTÁ, D.C.

**CIS1310IS06**

**Mapa de Amenaza por Riesgo de Deslizamiento**

**Autor:**

Nicole Andrea García Ramos

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO DE  
LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE  
SISTEMAS

**Director**

Javier Francisco López Parra

**Jurados del Trabajo de Grado**

Andrea del Pilar Rueda

Manuel Ocampo Terreros

**Página web del Trabajo de Grado**

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1230IS04>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS

BOGOTÁ, D.C.

Junio, 2013

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS**

**Rector Magnífico**

Joaquín Emilio Sánchez García S.J.

**Decano Académico Facultad de Ingeniería**

Ing. Jorge Luis Sánchez Téllez

**Decano del Medio Universitario Facultad de Ingeniería**

Padre Antonio José Sarmiento Nova S.J.

**Director de la Carrera de Ingeniería de Sistemas**

Ingeniero Germán Alberto Chavarro Flórez

**Director Departamento de Ingeniería de Sistemas**

Ingeniero Rafael Andrés González Rivera

### **Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946**

*“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la justicia”*

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado lo dedico a la persona más importante en mi vida, mi mamá,  
Nancy Alexandra Ramos.

Q.E.P.D

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi maestro y director de trabajo de grado, Ingeniero Javier Francisco López Parra, profesor investigador de la Pontificia Universidad Javeriana, quien me acompañó a lo largo de todo este proceso y me transmitió su sabiduría y pasión por el área de Sistemas de Información Geográfica. Gracias por creerme en mí y permitir que este trabajo de grado saliera adelante.

Al Ingeniero Carlos Eduardo Rodríguez, profesor del departamento de Ingeniería Civil, quien con sus consejerías me orientó con la información necesaria para el desarrollo del trabajo de grado. Gracias por su amable disposición.

A mi familia que con su compañía y apoyo incondicional permitieron que lograra alcanzar mis metas durante este proceso de formación. Particularmente quiero agradecer a mi abuela Alicia Forero, por brindarme su amor y cariño en todo momento.

A mis mejores amigos Carlos Torres, Antonio Jiménez y Andrés Pedraza por su incondicional apoyo, carisma y fiel amistad.

A mis compañeros y colegas, Johan Moreno y Diego Casas por su disposición a resolver mis dudas y estar siempre atentos a brindarme su conocimiento.

A Maida Urrego y Ana Pachón por su constante ayuda.

## **ABSTRACT**

Any process concerning on a disaster prevention and management demand the development of a Geographic Information System according to the potential area. That is why Usme sector for this work represents a case study as a regularly area affected by mass movements.

This document describes the approach, analysis, design, software development and results phases of a hazard threat map of a landslide risk supported by a GIS (Geographic Information System) tools.

## RESUMEN

El presente documento refleja el resultado un trabajo de grado orientado a contribuir a la prevención de desastres a través de la elaboración de un Sistema de Información Geográfica referente a una zona del sector PROSOFI como caso de estudio dentro de la localidad de Usme.

En este documento se describen las etapas de: planteamiento, análisis, diseño y desarrollo de un mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento apoyado en un SIG (Sistema de Información Geográfica) que permite evaluar la amenaza en potencia de la zona a través de un modelo determinístico.

El estudio desarrollado en este trabajo de grado da a conocer la amenaza de riesgo por deslizamiento que afecta la zona de estudio, permitiendo identificar las áreas críticas o de mayor amenaza a la ocurrencia de un evento de remoción en masa.

***Palabras clave:*** *Deslizamientos, Sistemas de Información Geográfica, Susceptibilidad a deslizamientos, Amenazas por deslizamientos, Factor de seguridad y Remoción en masa.*



## **RESUMEN EJECUTIVO**

Con el transcurso de los años los Sistemas de Información Geográfica (también denominados SIG por sus siglas en español) se han posicionado como sistemas de apoyo en la toma de decisiones haciendo uso de un conjunto de procedimientos y herramientas interrelacionadas que permiten capturar, procesar, almacenar y distribuir información geográfica. [6]

En la actualidad, el país cuenta con herramientas SIG que apoyan el tema de desastres naturales pero ninguna herramienta especializada en el tema de amenazas por riesgo de deslizamiento. Algunas entidades como el Fondo de Prevención y atención de desastres (FOPAE) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi ofrecen alternativas web para consultas y servicios de mapas cartográficos.[7]

Gracias a esto, surgió una oportunidad para modelar un mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento que desplegara información correspondiente al fenómeno de remoción en masa.

Las fases desarrolladas dentro del trabajo de grado fueron las siguientes:

1) La recopilación de información disponible en la fase de concepto, 2) El análisis de la información recopilada y la redacción de requerimientos del sistema en la fase de análisis, 3) El diseño del sistema y establecimiento de herramientas para el desarrollo del mismo en la fase de diseño, 4) La construcción e implementación del sistema en la fase de desarrollo, 5) La validación del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento en la fase de validación.

### **1) Fase de concepto**

La primera fase metodológica se basa en el levantamiento y captura de datos a través de diversas fuentes de información.

### **2) Fase de análisis**

En esta fase fueron seleccionados los parámetros más importantes de la información recopilada en la anterior fase. A su vez, se establecieron los requerimientos del Sistema de Información Geográfica.

### **3) Fase de diseño**

En esta fase se definió la arquitectura del sistema y fueron establecidas las herramientas para su desarrollo.

#### **4) Fase de implementación**

En esta fase se llevó a cabo el cargue, edición y acoplamiento de las capas de información georreferenciada para su posterior visualización web.

#### **5) Fase de validación**

En esta fase se aplicó un plan de pruebas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, la confiabilidad de los datos y el cumplimiento de los requerimientos planteados.

Luego de la ejecución de las fases planteadas durante el desarrollo del trabajo de grado, los resultados del mismo dieron solución a la problemática definida, cumpliendo así los objetivos establecidos en la propuesta de trabajo de grado.

En este trabajo se propone la aplicación de un método de evaluación directo bajo una metodología rápida y consistente, que arroje información relevante acorde a los requerimientos concretados con el usuario.

Como caso de estudio se seleccionó un área montañosa urbana en la ciudad de Bogotá, Colombia: La localidad de Usme, la cual se halla en ubicada en el suroriente de la capital. Limita al norte con las localidades de Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe y San Cristóbal, al nororiente con la localidad de San Cristóbal, al oriente con los municipios de Ubáque, Chipaque, Une y Fosca, al occidente con la localidad de Ciudad Bolívar y al sur con la localidad de San Juan de Sumapaz. Su extensión total es de 21.556 hectáreas (216 Km<sup>2</sup>). [4]

Al realizar un estudio sobre las zonas que representan una amenaza potencial por deslizamiento en cada una de las localidades de la capital, la Contraloría de Bogotá determinó que Usme es el área de la ciudad con mayor disposición y exposición al aceleramiento e incremento de los movimientos en masa que afectan la seguridad de los habitantes, la infraestructura urbanística y la de servicios públicos. [2]

El mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento implementado pertenece al grupo de investigación Istar, área de estudio que ha empleado el uso de tecnologías tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la implementación de proyectos sociales en conjunto con PROSOFI (programa social de la facultad de ingeniería).

Por último, este trabajo de grado se convierte en un aporte a la sistematización de servicios a entidades gubernamentales, buscando ser un medio para impulsar el uso de tecnologías SIG en el país en procesos relativos a toma de decisiones.

## INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales han estado presentes en toda la historia de la evolución de nuestro planeta. Hoy en día causan muchos daños referentes a pérdida de vidas humanas, económicas y alteraciones en el ambiente. [1]

En Latinoamérica los fenómenos naturales han provocado la destrucción de poblados, carreteras, tierras y viviendas dejando la evidencia de una creciente vulnerabilidad por parte de la población. (CEPAL, 2000)

Los deslizamientos en Colombia, específicamente en la Localidad de Usme, Bogotá D.C. demuestran el nexo entre la pobreza, degradación ambiental y la vulnerabilidad social.

El estudio desarrollado en este trabajo de grado da a conocer la amenaza de riesgo por deslizamiento que afecta la zona de estudio, permitiendo identificar las áreas críticas o de mayor amenaza a la ocurrencia de un evento de remoción en masa.

Para tal fin se empleó un Sistema de Información Geográfica (SIG) como base para la elaboración de un mapa que evalúa la amenaza potencial ante un deslizamiento.

<b>CONTENIDO</b>
------------------

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>I - DESCRIPCION GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO.....</b>	<b>19</b>
1. OPORTUNIDAD, PROBLEMÁTICA, ANTECEDENTES.....	19
1.1 Descripción del contexto.....	19
1.2 Pregunta generadora.....	20
1.3 Justificación.....	21
1.4 Impacto Esperado.....	21
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	22
2.1 Visión global.....	22
2.2 Objetivo general.....	22
2.3 Metodología Propuesta.....	22
2.4 Fases metodológicas y objetivos específicos.....	22
2.5 Método que se propuso para satisfacer cada fase metodológica.....	22
2.5.1 Fase de Concepto.....	22
2.5.2 Fase de Análisis.....	22
2.5.3 Fase de Diseño.....	22
2.5.4 Fase de Implementación.....	22
2.5.5 Fase de Validación.....	22
<b>II - MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
1. MARCO CONTEXTUAL.....	23
1.1 Trabajos previos.....	23

1.2 Trabajos actuales.....	24
2. MARCO CONCEPTUAL.....	25
2.1 Sistemas de Información Geográfica.....	25
2.2 Gestión del Riesgo.....	28
2.3 Estimación del riesgo por deslizamiento.....	29
2.3.1 Amenaza.....	29
2.3.2 Vulnerabilidad.....	29
2.3.3 Costo.....	29
2.4 Factor de Seguridad.....	29
2.4.1 Cohesión efectiva en la superficie de deslizamiento.....	31
2.4.2 Cohesión por enraizamiento.....	31
2.4.3 Peso unitario de suelo húmedo.....	32
2.4.4 Nivel freático.....	32
2.4.5 Profundidad de superficie de falla.....	32
2.4.6 Inclinação de la pendiente.....	33
2.4.7 Ángulo efectivo de la resistencia a la fricción.....	33
2.4.8 Peso unitario del agua.....	33
2.4.9 Sobrecarga.....	33
2.4.10 Aceleración crítica.....	33
<b>III – DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>	<b>39</b>
1. FASE DE CONCEPTO.....	39
1.1 Recolección de información.....	39
1.2 Selección de fuentes de información.....	40

1.3 Inventario de información.....	40
2. FASE DE ANÁLISIS.....	41
2.1 Selección de atributos relevantes.....	41
2.2 Delimitación de la zona de estudio.....	42
2.3 Formalización de requerimientos.....	43
2.3.3.1. Definición de Requerimientos Funcionales.....	44
2.3.3.2. Definición de Requerimientos No Funcionales.....	47
2.4 Priorización de Requerimientos.....	48
2.5 Modelo de dominio.....	49
3. FASE DE DISEÑO.....	51
3.1 Selección de herramientas.....	51
3.1.1 Sistema de Información Geográfica (SIG) libre.....	52
3.1.1 Sistema de Información Geográfica (SIG) propietario.....	53
3.2 Capacitación en herramientas.....	53
3.3 Descripción de la arquitectura.....	54
3.3.1 Vista lógica.....	55
3.3.2 Vista de procesos.....	56
3.3.3 Vista física.....	57
3.3.4 Vista de desarrollo.....	58
4. FASE DE IMPLEMENTACIÓN.....	59
4.1 Construcción del SIG.....	59
4.1.1 Carga y representación de formas.....	59
4.1.2 Definición de patrones para representación visual.....	59

4.1.4	<i>Definición de orden de las capas</i> .....	60
4.2	<i>Generación del Mapa de Amenaza por Riesgo por Deslizamiento</i> .....	60
4.2.1	<i>Definición de rango de visibilidad</i> .....	60
4.2.2	<i>Definición de transparencia</i> .....	61
4.2.3	<i>Ventanas emergentes</i> .....	61
4.2.4	<i>Definición de consultas</i> .....	62
4.3	<i>Publicación del Mapa de Amenaza por Riesgo por Deslizamiento</i> .....	62
4.3.1	<i>Exportación del mapa</i> .....	62
4.3.2	<i>Configuración de presentación</i> .....	64
4.3.3	<i>Generación de código HTML</i> .....	64
4.3.4	<i>Publicación de mapa mediante código HTML</i> .....	66
5.	<i>FASE DE PRUEBAS</i> .....	67
<b>IV -</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b> .....	<b>71</b>
<b>V -</b>	<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS</b> .....	<b>75</b>
1.	<i>CONCLUSIONES</i> .....	75
2.	<i>RECOMENDACIONES</i> .....	76
3.	<i>TRABAJOS FUTUROS</i> .....	76
<b>VI -</b>	<b>REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>78</b>

## ANEXOS

1. *Inventario de Información*.....
2. *Especificación de Requerimientos*.....
3. *Documento de Arquitectura*.....
4. *Informe de Pruebas*.....



## INDICE TABLAS

1. <i>Tabla No.1- Características físicas típicas del suelo</i> .....	31
2. <i>Tabla No.2- Periodos de retorno y probabilidad de ocurrencia de las lluvias para un periodo de 50 años</i> .....	32
3. <i>Tabla No.3- Requerimientos funcionales de tipo core</i> .....	44
4. <i>Tabla No.4- Requerimientos funcionales de usabilidad</i> .....	45
5. <i>Tabla No.5- Requerimientos funcionales de seguridad, comunicación y administración</i> .....	46
6. <i>Tabla No.6- Requerimientos no funcionales</i> .....	47
7. <i>Tabla No.7- Clasificación de prioridades de los requerimientos</i> .....	48
8. <i>Tabla No.8- Indicador de dificultad de un requerimiento</i> .....	48
9. <i>Tabla No.9- Priorización de requerimientos</i> .....	49
10. <i>Tabla No.10- Prueba cubrimiento</i> .....	51
11. <i>Tabla No.11- Prueba de valores límite</i> .....	51

## INDICE ILUSTRACIONES

<i>1. Ilustración No. 1 - Pirámide de Maslow, Necesidades humanas.....</i>	<i>34</i>
<i>2. Ilustración No. 2 - Ladera antes de un deslizamiento.....</i>	<i>34</i>
<i>3. Ilustración No. 3 - Ladera después de un deslizamiento.....</i>	<i>36</i>
<i>4. Ilustración No. 4 - Proceso SCRUM.....</i>	<i>38</i>
<i>5. Ilustración No. 6 - Delimitación Zona de Estudio.....</i>	<i>42</i>
<i>6. Ilustración No. 5 - Metodología del desarrollo de trabajo.....</i>	<i>50</i>
<i>7. Ilustración No. 7 - Diagrama de Clases.....</i>	<i>54</i>
<i>8. Ilustración No. 8 - Modelo Arquitectural 4+1 .....</i>	<i>56</i>

## **I- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO**

### ***1. OPORTUNIDAD O PROBLEMÁTICA***

#### ***1.1. Descripción del contexto***

En los últimos diez años los movimientos de masa también llamados deslizamientos no sólo han incrementado su manifestación, sino que proporcionalmente han afectado la calidad de vida y estabilidad tanto de las redes de servicios públicos de acueducto, energía y gas como la infraestructura habitacional de la localidad de Usme en Bogotá.

Al realizar un estudio sobre las zonas que representan una amenaza potencial por deslizamiento en cada una de las localidades de la capital, la Contraloría de Bogotá determinó que Usme es el área de la ciudad con mayor disposición y exposición al aceleramiento e incremento de los movimientos en masa que afectan la seguridad de los habitantes, la infraestructura urbanística y la de servicios públicos. [2]

El contralor de Bogotá, Mario Solano Calderón, solicitó al alcalde de Bogotá, Gustavo Francisco Petro, adoptar soluciones para evitar un desastre masivo que comprometa la totalidad de las laderas y los asentamientos que se encuentran en las partes bajas de la localidad. [2]

La problemática evidencia que gran parte de las viviendas construidas en la zona no cumplen con las normas establecidas por planeación distrital. Según estadísticas del DANE de 2005, más del 60 por ciento de las construcciones realizadas en la localidad se encuentran violando la ley 400 de 1997, la cual establece criterios y requisitos mínimos para el diseño de cualquier tipo construcción. [2]

Por otra parte, la vulnerabilidad social se manifiesta de forma directa en esta zona. Bogotá tiene una alta tasa de pobreza asentada en los barrios surorientales de la ciudad. [3]

En la actualidad la Pontificia Universidad Javeriana se encuentra realizando programas de proyección social en la localidad de Usme bajo el nombre de PROSOFI (Programa social de la Facultad de Ingeniería) con el fin de implementar metodologías que contribuyan al beneficio de la comunidad, tales como; gestión integral de riesgo, medio

ambiente y conservación, productividad y empleo, tecnologías de información y comunicación para el desarrollo sostenible, entre otras. [4]

Analizando la amenaza potencial que presenta un deslizamiento en la zona y relacionándolo en conjunto con el programa social de la Pontificia Universidad Javeriana, surge la propuesta de realizar un trabajo de grado que satisfaga las necesidades de identificar la amenaza por riesgo de deslizamiento empleando un Sistemas de Información Geográfica.

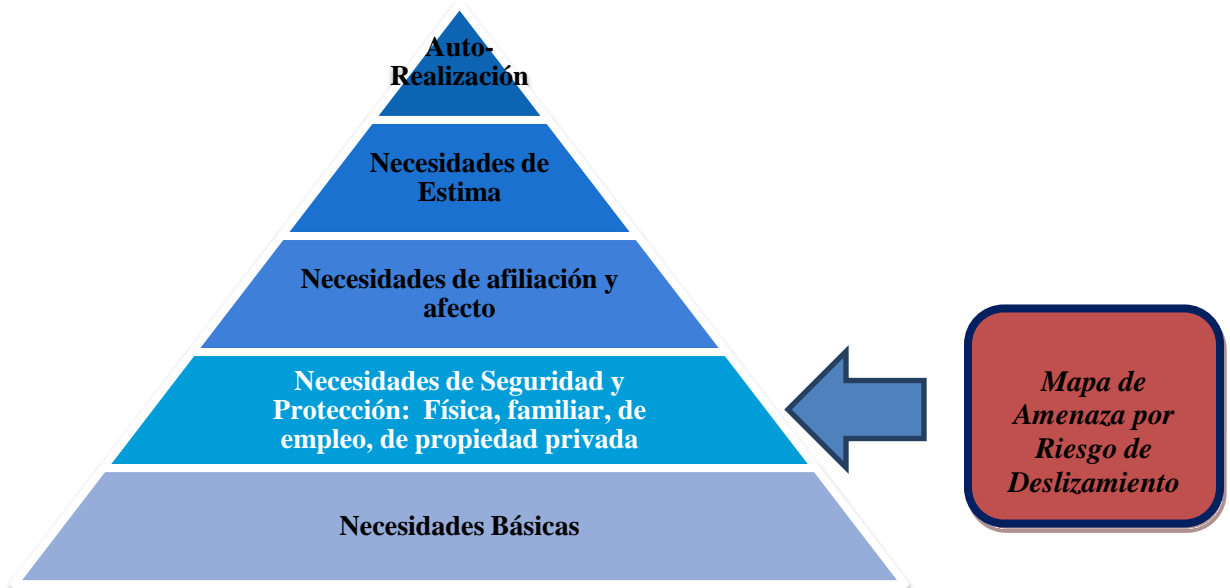
En este contexto los Sistemas de Información Geográfica brindan la oportunidad de apoyar el proceso toma de decisiones principalmente para (sí es posible) prevenir pérdida de vidas humanas y contribuir a un desarrollo local y distrital. [7]

## ***1.2. Formulación***

Teniendo en cuenta la prevención de desastres naturales y las necesidades de una comunidad en particular, se generó la siguiente pregunta:

¿Cómo los SIG (Sistemas de Información Geográfica) pueden apoyar los procesos de toma de decisiones relacionadas con el riesgo de deslizamiento en potencia que hay en la localidad de Usme?

A continuación se presenta la **ilustración No. 1** donde se halla ubicada la formulación de la problemática según la pirámide de necesidades humanas de Maslow:



***Ilustración No. 1 - Pirámide de Maslow, Necesidades humanas***

### ***1.3. Justificación***

El desarrollo de cualquier actividad del hombre conlleva la necesaria ocupación de un espacio geográfico, no en todos los casos el apropiado. Este trabajo de grado busca orientar a las personas sobre la disposición de ocupar un territorio en condiciones no adecuadas para residir. [5]

Se plantea la elaboración de este trabajo de grado cómo aporte a planeación territorial, en el cuál se busca promover el crecimiento de los asentamientos humanos hacia sitios que contengan condiciones de urbanización más apropiadas y seguras para vivir, impactando de manera directa al sector gubernamental al cual le compete emitir y aplicar las normas que regulen la construcción de viviendas en lugares no aptos para habitar. [5]

Los Sistemas de Información Geográfica apoyan los procesos de toma de decisiones, desde muchas perspectivas. En este caso de estudio se analizará la amenaza por riesgo de deslizamiento en el sector. [3]

Este trabajo de grado ve la oportunidad tanto de contribuir con el crecimiento de las tecnologías SIG en el país, como también de aportar evidencia oportuna que pueda mejorar la calidad de vida de la población vulnerable. [3]

### ***1.4. Impacto esperado por el proyecto***

La población a impactar de manera directa son los habitantes de las zonas con alto riesgo de amenaza por deslizamiento, así como también los son las entidades de gobierno que participan en el proceso de toma de decisiones.

Después de conocer los resultados obtenidos del trabajo de grado, el impacto involucra a los organismos de poder, incentivando la implementación de acciones preventivas necesarias para evitar consecuencias desastrosas tales como la pérdida de vidas humanas.

El trabajo de grado colabora en conjunto con el proyecto que se está desarrollando en la maestría de Ingeniería Civil sobre el tópico de deslizamientos y el programa de proyección social (PROSOFI) con el que cuenta la Universidad Javeriana, los cuales buscan implementar metodologías que contribuyan al beneficio de la comunidad. El impacto esperado en el aspecto social conforme al entorno de la localidad, es brindar fundamentalmente soporte al área de gestión integral de riesgo, ayudando a la población afectada del sector a identificar los lugares que representan una amenaza ante un riesgo por deslizamiento.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **2.1. Objetivo general**

Diseñar un Sistema de Información Geográfica para determinar y evaluar áreas de amenaza potencial por riesgo de deslizamiento en el sector PROSOFI de la localidad de Usme.

### **2.2. Fases metodológicas y objetivos específicos**

#### **2.2.1 Fase de Conceptualización**

- Identificar conceptos y fuentes de información especializada en el campo de estudio.

#### **2.2.2 Fase de Análisis de requerimientos**

- Analizar los requerimientos de información con base a la amenaza potencial del área en estudio.
- Analizar la información recopilada de la anterior fase para identificar variables relevantes para la construcción del Sistema de Información Geográfica.

#### **2.2.3 Fase de Diseño del Sistema de Información Geográfica**

- Diseñar un Sistema de Información que permita registrar la probabilidad local de amenaza por riesgo de deslizamiento.

#### **2.2.4 Fase de Implementación del Sistema de Información Geográfica**

- Implementar la construcción de un Sistema de Información Geográfica que genere un mapa de amenaza por riesgos de deslizamiento.

#### **2.2.5 Fase de Validación**

- Validar el SIG con los requerimientos de información planteados en la segunda fase metodológica.
- Realizar revisiones de un experto en el área.

## II - MARCO TEÓRICO

### 1. MARCO CONTEXTUAL

Con el objetivo de presentar un panorama global a los trabajos que se han llevado a cabo tanto en el campo internacional como en el nacional, se presenta un resumen de los principales avances relacionados con el tópico de Sistemas de Información Geográfica.

#### 1.1. Trabajos Previos

En 1999 se desarrollaron importantes trabajos en el campo de los Sistemas de Información Geográfica. A continuación se presentan cuatro ejemplos desarrollados en: Colombia, España, China y El Salvador.

A principios del año 1999 se estableció un convenio por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Cultura y la Ciencia (UNESCO, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo principal fue el de fortalecer la capacidad financiera en los países latinoamericanos en campos relacionados con el uso de la información geográfica y desarrollo de metodologías participativas para la producción de conocimiento relacionado con la zonificación de riesgos, posteriormente, generando un impacto clave en la toma de decisiones por parte de las entidades gubernamentales de cada país para la reducción de los desastres. (ONU 1999)

Dos años más tarde, en el 2001, se planteó una propuesta abordada por el francés Daniel Delaunay, que aplicaba la tecnología SIG al análisis demográfico de los habitantes de Bogotá. Este trabajo resulta interesante ya que aporta fundamentos conceptuales relevantes de información geográfica implementados en la construcción de una base de datos georreferenciada que integraba elementos demográficos de la ciudad de Bogotá, Colombia. [5]

Por el mismo año, se generó en España un proyecto bajo una metodología que evaluaba la peligrosidad de deslizamientos inducidos por terremotos a escala regional, mediante un modelo de regresión logística, considerando como variable dependiente la probabilidad del deslizamiento modelizada por una función discreta con valores entre 0 - 1 y como variables independientes distintos factores que podían intervenir en la susceptibilidad del talud al deslizamiento. [7]

La metodología se implementó en un Sistema de Información Geográfica donde se tenían almacenadas las distintas capas de información que posteriormente se acoplaron

entre sí y representaban la susceptibilidad ante un evento de remoción en masa en la región. [7]

Otro de los proyectos que resulta interesante, fue una aplicación desarrollada en El Salvador, donde se evaluaron escenarios calibrando los modelos de peligrosidad junto con información necesaria para definir tanto la susceptibilidad de deslizamiento como la función detonante del mismo. Estos datos se integraron en un Sistema de Información Geográfica empleando el algoritmo de krigging, que generó como resultado las capas geográficas con los parámetros independientes del modelo digital, logrando así, identificar las variables con mayor influencia en la peligrosidad ante un evento de remoción en masa. [8]

En el 2006, fue desarrollado en Xiao Jiang, una provincia China, un SIG que compilaba dos métodos de análisis sobre deslizamientos. Por un lado, un método probabilístico que lograba una zonificación de las áreas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos mediante la evaluación de los factores causantes y el inventario de dichos parámetros. Por otro lado, un método que se basaba su análisis determinístico en información obtenida del grado de estabilidad de las laderas a partir de los parámetros mecánicos del suelo. Lo que finalmente condujo a generar un modelo del comportamiento de las laderas bajo diferentes regímenes de precipitación. [3]

## ***1.2. Trabajos recientes***

A continuación se describen tres trabajos importantes en Venezuela, Rumania y Gran Canaria evidenciando la importancia que los diversos países están dando al tema de prevención y atención de desastres por deslizamientos.

Este proyecto iniciado el año pasado propone un método indirecto de evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos integrando factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, algunos extraídos a partir del análisis de imágenes de satélite multiespectrales y multitemporales, y técnicas de evaluación multicriterio basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de pesos de factores. Este método se ha aplicado a la depresión del Barranco de Tirajana en Gran Canaria, que está cubierto en su mayor parte por depósitos derivados de grandes deslizamientos principalmente traslacionales y rotacionales. [9]

El método permite evaluar cuantitativamente la consistencia en la asignación de pesos lo que reduce la subjetividad inherente a ésta que es típica en los métodos de indexación. Dicho método se considera especialmente útil para la evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos a escalas intermedias (1:25.000 y 1:50.000) en zonas donde no existen datos geotécnicos o apenas existen. [9]



Otro trabajo reciente que se realizó en Venezuela propuso la aplicación de un método indirecto rápido y consistente, que permite una pronta respuesta a requerimientos de mapeo de susceptibilidad y vulnerabilidad de un área potencial de deslizamientos. La técnica aplica el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA).

La evaluación de susceptibilidad y amenaza por deslizamiento ejecutada en este análisis, se realiza bajo los procedimientos de Evaluación MultiCriterio (EMC). Por un lado, realizando la descripción general de los procesos de deslizamientos en el área de estudio y por otro, generando el modelamiento de la sensibilidad y amenaza latente por deslizamientos en el área. [10]

Este trabajo es relevante ya que los modelos de probabilísticos de fenómenos naturales como los deslizamientos, se basan en combinaciones lineales de distintas situaciones y características de variación de parámetros del suelo. [11]

A su vez, en Rumania se trabajó en un SIG que gestionaba un mapa de riesgos por deslizamiento. En este proyecto se tuvo en cuenta tanto los factores desencadenantes más importantes ante un deslizamiento, como también los asentamientos y la infraestructura que se vería afectada por los mismos. Logrando así, la base para la elaboración de un mapa que cuantificaba las posibles pérdidas (costo) asociadas con este tipo de eventos de remoción en masa. [12]

Este proyecto resulta relevante ya que emplea una serie de modelos cualitativos y cuantitativos dispuestos para el cálculo de riesgos por deslizamiento y mapas de susceptibilidad empleando el coeficiente de riesgo, la neutralidad de redes, la regresión logística y los modelos de lógica difusa. [12]

## ***2. MARCO CONCEPTUAL***

Con el fin de clarificar conceptos y proponer significados a los principales elementos que se disponen durante el desarrollo del presente trabajo de grado. Se realiza un acercamiento a temas referentes a Sistemas de Información geográfica, estimación de riesgo, amenaza por deslizamiento, eventos de remoción en masa y factor de seguridad, entre otros. En esta sección se busca brindar un soporte teórico sobre el cual se fundamenta el trabajo de grado.

### ***2.1. Sistemas de Información Geográfica***

A continuación se aborda la definición de Sistema Información Geográfica y su funcionalidad.

A nivel general, los SIG son sistemas computacionales que permiten gestionar información geográfica facilitando la combinación e integración de múltiples cartografías, manejadas como capas superpuestas de datos que se observan simultáneamente como características de un mismo espacio para la generación de información relevante. [5]

Un SIG permite ingresar, recoger, editar, almacenar, administrar, recuperar, integrar, manipular, analizar, mostrar y modelar capas de datos geográficos y datos de unidades referenciadas espacialmente, usando las herramientas de análisis geográfico para producir información interpretable y útil frecuentemente aplicada a la toma de decisiones. (Naciones Unidas, 1997, Walker y Miller 1990, artículo citado en ERDAS IMAGINE, 2000, pág. 384).

Aproximándose a una definición más formal, un SIG es un complejo sistema de procesamiento de datos que tiene como fin la producción de información espacial útil en variados campos del conocimiento. Este tipo de sistemas pueden servir para la elaboración de mapas, modelos espaciales y datos estandarizados que faciliten el procesamiento de la información. [13]

En Colombia se han implementado SIG en tópicos como el manejo de recursos naturales y los procesos de Ordenamiento Territorial (POT).

### ***2.1.1. Subsistemas de Información Geográfica***

Los sistemas de información geográfica se componen de cuatro grandes grupos de subsistemas [8]:

#### ***2.1.1.1. Subsistema de Entrada***

El sub sistema de entrada comprende todos los procesos relacionados con la gestión de información capturada necesaria para abordar un problema en particular o describir una situación o evento. Este subsistema debe considerar tanto los datos espaciales como los no espaciales. Los datos espaciales son aquellos que se derivan de mapas, planos, fotografías aéreas, imágenes de satélite o levantamientos topográficos o geodésicos y describen las características cuantitativas de un objeto geográfico.

Este subsistema se encarga de resolver los aspectos técnicos relativos a la conversión de datos en formato analógico (papel) a formato digital, considerando una estructura adecuada para realizar procesos posteriores de análisis y modelación. [14]

- ***La Georreferenciación***

Es el posicionamiento en el que se define la localización de un objeto espacial (representado mediante punto, vector, área, volumen) en un sistema de coordenadas determinado.

Este proceso es utilizado frecuentemente en los Sistemas de Información Geográfica. La georreferenciación posee una definición aplicada a la existencia de los objetos en un espacio físico, mediante el establecimiento de relaciones entre las imágenes raster o vector aplicados sobre una proyección geográfica o sobre un sistema de coordenadas.[14]

### ***2.1.1.2. Subsistema de Almacenamiento***

Es el subsistema que permite el almacenamiento, ordenamiento y recuperación de datos. Este proceso se realiza en forma paralela con el de captura. La organización de la información (para su almacenamiento) se realiza con ayuda de manejadores de bases de datos (SMBD, por sus siglas en español) que permiten manipular datos digitales.[15]

La información espacial se almacena en diferentes estructuras que procesan los datos espaciales a manera de puntos, redes, líneas, polígonos y áreas a las cuales se les otorgan valores que pueden ser georreferenciados. [16]

- ***GeoDataBase***

La esencia de un SIG está constituida por una base de datos geográfica. Esta es, una colección de datos acerca de objetos localizados en una determinada área de interés. Una base de datos geográfica posee un conjunto de procedimientos que permiten hacer un mantenimiento tanto de la documentación como de la administración. Los objetos geográficos dentro de una GeoDataBase son organizados por temas de información o capas de información también llamadas niveles. [17]

### ***2.1.1.3. Subsistema de Análisis y Diseño***

Existen muchos tipos de análisis en SIG cómo los son: el análisis espacial, el análisis de proximidad, el análisis de redes y el análisis en tercera dimensión, entre otros. El éxito de cada uno de estos análisis recae en la calidad y preparación de la información a ser analizada. Se requiere de una correcta conceptualización de las tareas de análisis previas a su ejecución. [19]

Los Sistemas de Información Geográfica permiten procesar simultáneamente diferentes variables, simular procesos, monitorear áreas bajo riegos naturales y

amenazas ecológicas, determinando áreas para la construcción de viviendas, vías de transporte, acueducto, entre otros. Un SIG puede analizar variados tipos de información, por ejemplo: datos estadísticos, fotografías aéreas, imágenes de satélite y datos espaciales. [13]

La integración de mapas en el pasado se limitaba esencialmente a la superposición de capas. Los análisis se realizaban por medio de una operación aritmética de suma y resta. Hoy, a partir de la organización de la información en proyectos de SIG, dos o más mapas pueden ser relacionados a través de distintas funciones lógicas y matemáticas. Los cálculos de: longitud, área, perímetro e intersecciones entre distintas unidades geográficas pueden ser realizados con precisión. [20]

#### ***2.1.1.4. Subsistema de salida***

Es el subsistema que comprende la presentación de los datos y el despliegue de resultados derivados del subsistema de análisis y diseño. La salida de datos corresponde a un despliegue gráfico.

Gracias a los SIG es posible visualizar datos en forma espacial manejando información georreferenciada para su análisis y posterior diseño. Una vez ingresados los datos y establecidas las respectivas bases de las capas, el beneficio primario que provee un SIG es visualizar la información procesada, capa por capa, a manera de mapas de presentación. [5]

## ***2.2. Gestión del riesgo***

Antes de conocer el método de estimar riesgos es preciso entender el concepto de gestión de riesgo. Éste se puede definir como el proceso estratégico para que los actores sociales implicados en la dinámica de un territorio, puedan concertar el contexto, las capacidades y los recursos que se dispondrán de forma preventiva y correctiva para llegar a niveles aceptables de seguridad humana (Leonelli, 2000).

Cómo tal, la gestión del riesgo es el arte de unir fuerzas en función de el desarrollo humano sostenible, actuando sobre las causas y factores detonantes del riesgo, con la finalidad ante todo de preservar la vida (PRODESAMH, 2000).

### ***2.2.1. Estimación del riesgo por deslizamiento***

La estimación del riesgo se realiza de manera cuantitativa a partir de las pérdidas provistas para diferentes magnitudes de amenaza. El riesgo por deslizamiento se determina como la afectación a los predios alcanzados por el flujo de tierra y se estima

con base en el número de personas potencialmente afectadas al año por este tipo de eventos. [21]

Para calcular el riesgo se requiere de la identificación de los elementos expuestos en la zona potencialmente afectada por el flujo. Para cada tipo de elemento expuesto se debe evaluar el daño potencial a partir de la vulnerabilidad física y posteriormente cuantificar su costo de reposición. [22]

El riesgo se calcula con la expresión descrita en la **ecuación No.1**:

$$R = H \times V \times C$$

### *Ecuación No. 1- Estimación del Riesgo*

En la relación anteriormente descrita, el valor H alude a la probabilidad de ocurrencia anual de un flujo de una magnitud dada. En otras palabras, la amenaza es la probabilidad de que un área en particular resulte afectada por alguna manifestación destructiva. [22]

La variable V representa la vulnerabilidad y es el componente de orden social determinante de las condiciones que propician los desastres; alude a la predisposición intrínseca de verse afectado o ser susceptible de experimentar una pérdida ante una amenaza a partir de un conjunto de condiciones o características que inciden en la posibilidad de las comunidades de manejar una situación de desastre (Anderson y Woodrow, 1989, citados por Gomáriz, 1999). Esta vulnerabilidad es expresada como el porcentaje de daño esperado para una magnitud de amenaza. [22]

Por último, la variable C representa el costo de reposición de los elementos expuestos. Este costo alude a cualquier elemento económico (capital, inversión y capacidad productiva) expuesto a un evento destructivo. [13]

### **2.2.2. Factor de Seguridad**

El factor de seguridad también llamado el coeficiente de seguridad es un factor que se utiliza en ingeniería para sobredimensionar los cálculos teóricos. [23]

La evaluación del grado de estabilidad de cada rebanada de tierra se realiza aplicando el concepto del Factor de Seguridad, definido como el cociente entre fuerzas a favor y en contra del deslizamiento. [24]

Según el ingeniero Carlos Rodríguez un experto en el área, una ecuación que permite relacionar parámetros se puede expresar como se describe en la **ecuación No. 2**:

$$\Phi = \frac{c' * b * \sec(\beta) + ((\gamma * b * h * \cos(\beta)) (u * b * \sin(\beta))) * \tan(\phi')}{b * h * \gamma * \sin(\beta)} \quad [1]$$

$$\Phi = \frac{c'}{\gamma * h} * \frac{1}{\sin(\beta) * \cos(\beta)} + \left[ \frac{1}{\tan(\beta)} - \frac{u}{\gamma * h} * \frac{1}{\sin(\beta) * \cos(\beta)} \right] * \tan(\phi') \quad [2]$$

$$\Phi = \frac{c'}{\gamma * h} * \frac{1}{\sin(\beta) * \cos(\beta)} + \left[ 1 - \frac{r * u}{\cos^2(\beta)} \right] * \frac{\tan(\phi')}{\tan(\beta)} \quad [3]$$

$$\Phi = \frac{c'}{\gamma * h} * A + B * \frac{\tan(\phi')}{\tan(\beta)} \quad [4]$$

### ***Ecuación No. 2- Estimación del Factor de Seguridad***

En donde cada parámetro de la **ecuación No. 2** representa:

- $c'$  = Cohesión efectiva (Pa= N/m<sup>2</sup>).
- $\gamma$  = Peso unitario del suelo (N/m<sup>3</sup>).
- $m = z_w/z$  (Adimensional).
- $w$  = Peso unitario del agua (N/m<sup>3</sup>).
- $z$  = Profundidad de la falla bajo la superficie (m).
- $z_w$  = Altura del nivel freático sobre la falla (m).
- $\beta$  = Inclinación de la pendiente (°).
- $\phi'$  = Angulo efectivo de la resistencia a la fricción (°)

### 2.2.2.1. Cohesión efectiva en la superficie de deslizamiento ( $C_z$ )

Este parámetro es importante independientemente de la naturaleza del sub suelo, ya que corresponde al comportamiento a largo plazo del terreno. [23]

La resistencia al corte puede ser distinta en cada uno de los diferentes niveles del terreno. Este parámetro de resistencia puede ser considerado como una variable dependiente del estado de tensión del terreno. [23]

Tipo de Suelo	$\gamma$ ( $T/m^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	$C$ ( $T/m^2$ )
<b>Bloques y Bolos Suelos</b>	1.70	35-40	-
<b>Grava</b>	1.70	37.5	-
<b>Grava Arenosa</b>	1.90		
<b>Arena Compacta</b>	1.90	32.5-35	
<b>Arena SemiCompacta</b>	1.80	30-32.5	-
<b>Arena Suelta</b>	1.70	27.5-30	
<b>Limo Firme</b>	2.0	27.5	1-5
<b>Limo</b>	1.9	25	1-5
<b>Limo Blando</b>	1.8	22.5	1-2.5
<b>Marga Arena Rígida</b>	2.20	30	20-70
<b>Arcilla Arenosa Firme</b>	1.90	25	10-20
<b>Arcilla Media</b>	1.80	20	5-10
<b>Arcilla Blanda</b>	1.70	17.5	2-5
<b>Fango Blando Arcilloso</b>	1.40	15	1-2
<b>Suelo Orgánico</b>	1.10	10-15	-

*Tabla No.1 - Características físicas típicas del suelo*

### 2.2.2.2. Cohesión por enraizamiento ( $C_r$ )

Esta variable resulta de una asignación de parámetros de enraizamiento a la capa de uso y cobertura, que corresponden a una profundidad estimada según el tipo de cobertura ( $Z_r$ ) y a una cohesión por enraizamiento ( $C_r$ ). La cohesión por enraizamiento está en función de la profundidad estimada según el tipo de cobertura ( $Z_r$ ) y la profundidad de superficie de falla ( $Z$ ).

### **2.2.2.3. *Peso Unitario del suelo húmedo ( $\gamma$ )***

La identificación de un suelo húmedo, cómo húmedo, depende de sus propiedades de manipulación y ausencia de características propias del suelo seco. Las propiedades del suelo suelen ser descritas según el contenido de humedad. El peso del suelo húmedo contiene agua retenida que puede ceder con succiones de menos de 15 bares, pero inferiores a 0.01 bar. Esta escala de peso puede ser dividida entre suelo ligeramente húmedo o suelo muy húmedo. [25]

En la mayoría de escenarios este parámetro es determinado por el geotecnista.

### **2.2.2.4. *Nivel Freático ( $Z_w$ )***

En las expresiones del Factor de Seguridad, el término que define la presión de poros es función de la profundidad del nivel freático y del régimen de flujo que se presenta en el talud. El nivel freático se determina mediante una interpolación de datos de campo recopilados por especialistas en el área. [26]

### **2.2.2.5. *Profundidad de superficie de falla ( $Z$ )***

Para definir este parámetro es indispensable contar con los espesores del suelo, de tal manera que al obtener los valores  $Z$  (algunos provenientes de las unidades superficiales y otros estimados de los tipos de laderas) mediante ensayos geofísicos de las diferentes capas de suelo bajo y el terreno natural, se pueda identificar la presencia de diferentes materiales bajo la superficie de la ladera. Este resultado ayuda al geotecnista a modelar la falla de la ladera con mayor precisión que un supuesto basado en las observaciones de campo. La profundidad de superficie de falla es calculada para cada periodo de retorno de la lluvia. [27]

<b>Periodo de retorno lluvia</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>
5	0.999
10	0.995
25	0.870
50	0.636
70	0.513
90	0.428
100	0.395

***Tabla No.2 -Periodos de retorno y probabilidad de ocurrencia para un periodo de 50 años***



### **2.2.2.6. *Inclinación de la pendiente***

La pendiente de un talud se llama gradiente y representa la variación de distancia vertical o de altura en una distancia horizontal dada y también la variación de distancia horizontal o de altura en una distancia vertical dada.[28]

El ángulo vertical es formado por la pendiente y una línea recta horizontal.[28]

La inclinación de la pendiente se puede expresar en grados, como la medida del ángulo vertical formado por la pendiente y el plano horizontal o también en forma de porcentaje como una variación de altura expresada en metros dada en una distancia horizontal. [28]

### **2.2.2.7. *Ángulo efectivo de la resistencia a la fricción***

Es una propiedad geotécnica, la presión de hundimiento se puede expresar en términos de tensiones totales, en cuyo caso la resistencia al corte del terreno vendrá representada por un ángulo efectivo de rozamiento ( $f_k = f'$ ). Para determinar la resistencia de hundimiento a largo plazo, se utiliza el ángulo de rozamiento efectivo deducido de los ensayos de laboratorio. [23]

### **2.2.2.8. *Peso unitario del agua***

El peso unitario del agua corresponde a 9.8 gravedades. En general, el peso específico de una sustancia es su peso por unidad de volumen es decir (Agua a  $4\text{ }^{\circ}\text{C} = 9.8\text{ kN/m}^3$ ). [29]

### **2.2.2.9. *Sobrecarga(q)***

Resulta de una asignación de parámetros de peso que soporta, según el tipo de uso y cobertura. [28]

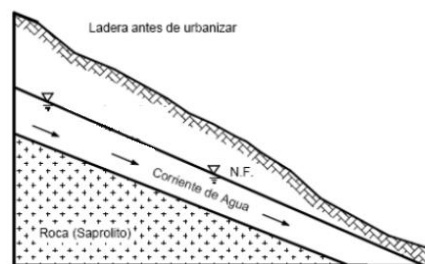
### **2.2.2.10. *Aceleración crítica***

Durante un deslizamiento, las ondas pasan a través del talud generando un campo de aceleraciones  $a(t)$  que impone una fuerza adicional sobre la masa  $m$  del deslizamiento potencial. Durante el tiempo  $t$  del fuerte movimiento, se induce una fuerza cambiante y que incrementa la carga hacia abajo del talud. Si esta fuerza es bastante grande, la carga total hacia abajo puede exceder la máxima resistencia provocando que el talud sufra un deslizamiento. [30]

Se expresa este nivel de movimiento del suelo en términos de una aceleración crítica  $A_c$ , y representa la aceleración que multiplicada por la masa es igual a la diferencia entre la máxima resistencia y la carga gravitacional. [30]

La aceleración crítica es pues, la mínima aceleración del suelo requerida para superar la máxima resistencia del talud deslizante ( $FS=1$ ).

Para que se produzca un deslizamiento en una pendiente particular, la aceleración del suelo debe exceder la aceleración crítica  $A_c$  para un intervalo de tiempo finito. Generalmente se usa la aceleración crítica como una medida numérica de la estabilidad del talud. [30]



*Ilustración No.2 - Ladera antes de un deslizamiento*

La ladera que se encontraba en equilibrio antes de la construcción de viviendas, se convierte en una potencial amenaza ante un riesgo por deslizamiento.



*Ilustración No.3 - Ladera después de un deslizamiento*

## 2.3. Aspectos de Ingeniería de Software

### 2.3.1. Metodología de desarrollo de software

Las metodologías de desarrollo software son un conjunto de procedimientos, técnicas y herramientas que deben seguirse para implementar software. [31]

Una metodología está compuesta por: la división de un proyecto en etapas, las tareas que se llevan a cabo en cada etapa, las restricciones que deben aplicarse en cada proceso y la determinación de cómo se realizará el control y la gestión de desarrollo de software.[32]

### ***2.3.2. Ciclo de vida del software***

El término ciclo de vida del software describe las etapas del desarrollo de un producto o servicio de software. El propósito del ciclo de vida es definir las distintas fases que se requieren para obtener como resultado un producto o servicio funcional que salga al encuentro de las necesidades del cliente.[33]

### ***2.3.3. Modelos de ciclo de vida***

Los modelos de ciclo de vida reflejan las etapas de desarrollo involucradas en la producción del producto o servicio, de manera que la ejecución de todas las etapas conduzca al resultado esperado.

#### ***2.3.3.1. SCRUM***

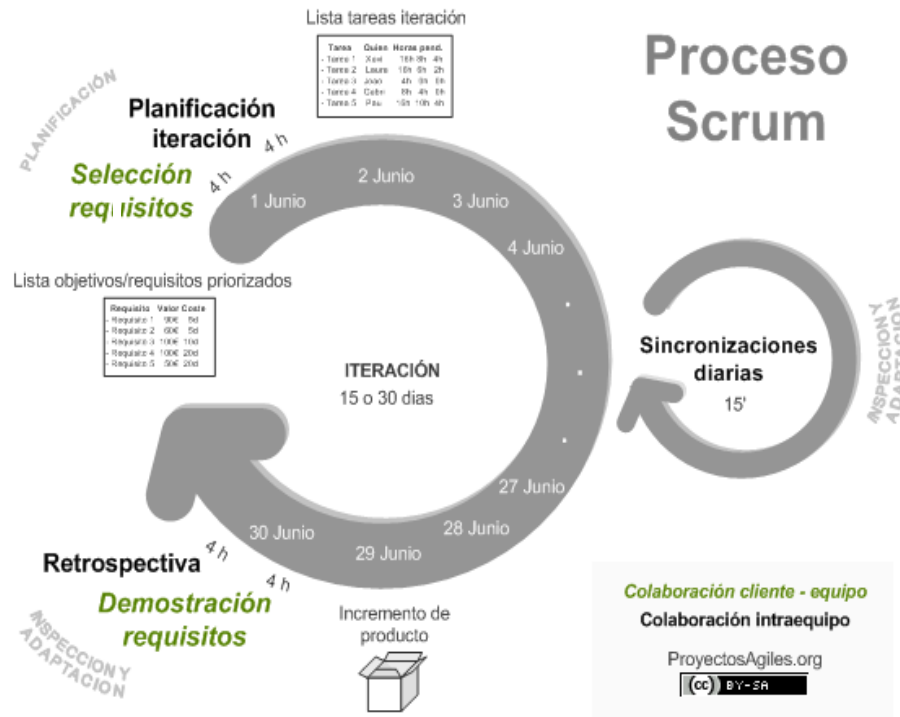
SCRUM es un metodología de desarrollo en la que se aplican de manera regular un conjunto de buenas prácticas para trabajar en equipo y obtener el mejor resultado posible de un proyecto. [34]

En SCRUM se realizan entregas parciales y regulares del producto, priorizadas por el beneficio que aportan al receptor del proyecto como se puede evidenciar en la [sección 3.2.2.4 denominada “Priorización de requerimientos”](#). Por ello, SCRUM está especialmente indicado para proyectos en entornos complejos, donde se necesita obtener resultados orientado a desarrollos de forma ágil, donde la flexibilidad de diseño y la productividad son fundamentales. [35]

SCRUM también se utiliza para abordar y resolver problemas cuando las entregas se alargan demasiado, los costes se disparan, la calidad no es aceptable o cuando se quiere trabajar utilizando un proceso especializado en el desarrollo de producto. [35]

#### ***2.3.3.1.1. El proceso de SCRUM***

En SCRUM un proyecto se ejecuta en bloques temporales cortos. Cada iteración tiene que proporcionar un resultado progresivo, buscando así, una mejora del producto o servicio final que ha será entregado al cliente. [34]



**Ilustración No.4 - Proceso SCRUM**

El proceso parte de la lista de requerimientos priorizada del producto, que actúa como plan de revisiones. En esta lista el desarrollador prioriza los requerimientos que quedan repartidos en entregas semanales.

**2.3.4. Herramientas para el Diseño de Sistemas de Información**

Apoyan el proceso de formular las características que el sistema de información debe tener para satisfacer los requerimientos levantados durante la fase de análisis: [36]

**2.3.4.1. Herramientas de especificación**

Apoyan el proceso de formular las características que debe tener una aplicación, tales como entradas, salidas, procesamiento y especificaciones de control. Muchas herramientas incluyen funciones para crear especificaciones de datos.

**2.3.4.2. Herramientas para presentación**

Se utilizan para desplegar información, mensajes sobre medios terminales como pantallas, informes, folletos, entre otros, que son de utilidad para algún usuario final.

### ***2.3.4.3. Herramientas para diseño de Software***

Apoyan el proceso de formular modelos de Software, incluyendo procedimientos y controles, así como la documentación correspondiente de los diagramas.

### ***2.3.4.4. Herramientas para el desarrollo de Sistemas***

Estas herramientas ayudan a trasladar los diseños en aplicaciones funcionales.

### ***2.3.4.5. Herramientas para pruebas***

Apoyan la fase de validación de un sistema. Incluyen facilidades para examinar la correcta operación del sistema, así como el grado de perfección alcanzado en comparación con las expectativas.

## ***2.3.5. Sistemas de apoyo para la toma de decisiones***

Entre los tipos de sistemas que apoyan el proceso de toma de decisiones se identifican los siguientes: [37]

### ***2.3.5.1. Sistemas de Soporte para la Toma de Decisiones Individuales***

Estos sistemas buscan apoyar la toma de decisiones mediante la generación y evaluación sistemática de las diferentes alternativas o escenarios de decisión de un usuario. Los sistemas individuales aportan las bases de conocimiento que se integran a una serie de reglas para que el usuario las consulte y apoyen su toma de decisiones.

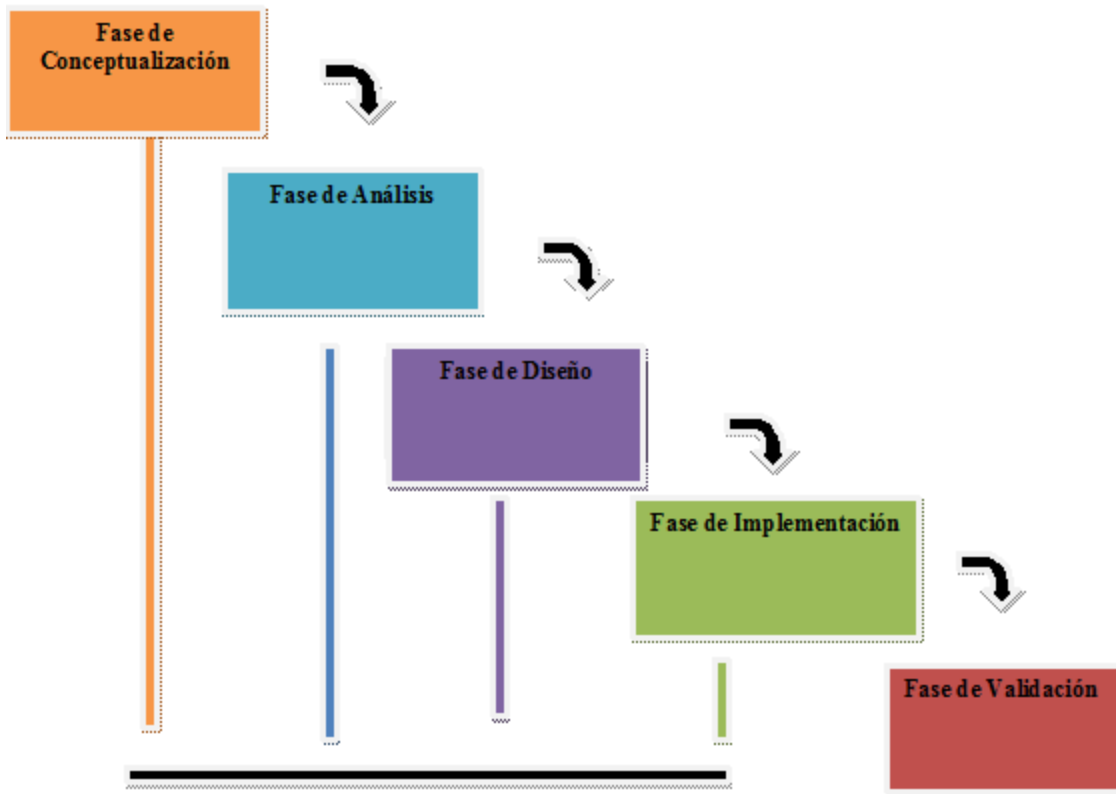
### ***2.3.5.2. Sistemas de Soporte para la Toma de Decisiones de Grupo***

Estos sistemas cubren el objetivo de lograr la participación de un grupo de personas durante la toma de decisiones en ambientes de consenso, apoyando decisiones simultáneas.

### III – DESARROLLO DEL TRABAJO

Para alcanzar los objetivos propuestos se buscó implementar una metodología que pudiera cumplir satisfactoriamente con las entregas programadas en el trabajo de grado. La metodología a seguir durante el desarrollo del trabajo de grado fue SCRUM.

A continuación se presentan en la **Ilustración No. 5** las fases o etapas implicadas en el desarrollo del trabajo de grado.



*Ilustración No.5 - Metodología del desarrollo de trabajo*

Se contempló esta metodología ya que se enfoca en iteraciones rápidas y prototipos de trabajo que se producen de forma ágil y mejorada. Dentro de otras ventajas identificadas de esta metodología se encuentra el aumento de velocidad en la fase de implementación, la flexibilidad de diseño y la facilidad de comprobar el progreso del trabajo dado a que las reuniones frecuentes son parte del mismo proceso. [34]

### ***3.1. FASE DE CONCEPTO***

#### **Duración:**

2 semanas (21/01/2013 – 30/01/2013)

#### **Descripción:**

Para llevar a cabo el objetivo de exploración y análisis de requerimientos de información, relacionados con la amenaza de riesgo por deslizamiento en la zona de estudio, se empleó la primera fase de la metodología planteada, la cual se basa en el levantamiento de información.

Para asegurar la calidad de los documentos, se realizaron revisiones semanales donde se presentaban al director de trabajo de grado los avances realizados según el cronograma propuesto en la [\*Sección 4.1 contenido en el documento: “Propuesta de Trabajo de Grado”\*](#)

#### **Desarrollo:**

##### ***3.1.1. Recolección de información***

Esta actividad consistió en una búsqueda exhaustiva de información referente al tema de Sistemas de Información Geográfica (SIG), riesgos por deslizamientos y amenaza por remoción en masa.

Se acudió a diversas fuentes como medio de búsqueda para recolectar la información de interés necesaria en la definición de un SIG. Con el fin de facilitar el levantamiento y la definición formal de los requerimientos del sistema, se usaron fuentes de diversos tipos, principalmente:

- Libros
- Artículos
- Entrevistas
- Trabajos de Grado
- Páginas de Internet

### ***3.1.2. Selección de fuentes de información***

Esta actividad se llevó a cabo en un conjunto de reuniones programadas con el Ingeniero Carlos Eduardo Rodríguez, profesor de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana, quien con su experiencia, recomendó seleccionar la metodología de desarrollo acorde al tipo de datos obtenidos de la exploración de campo, realizada por los estudiantes de maestría de Ingeniería Civil.

A su vez, en esta actividad fue relevante identificar los organismos gubernamentales que gestionan información referente al tema de riesgos y planeación territorial. Dentro del marco institucional colombiano se identificaron las siguientes entidades gubernamentales:

- Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE)
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi
- Catastro
- Oficina de Planificación Territorial

### ***3.1.3. Inventario de información***

Posterior a la obtención de los datos, se organizaron las variables en un conjunto de entidades relacionadas entre sí. Para ello, fue clave definir los parámetros conocidos para el factor de seguridad. Entendiendo el factor de seguridad cómo el coeficiente que se utiliza en ingeniería para sobredimensionar los cálculos teóricos bajo una situación o evento determinado. Se definió el factor de seguridad con la siguiente relación matemática:

$$\Phi = \frac{c * b * \sec(\beta) + ((\gamma * b * h * \cos(\beta)) (u * b * \sin(\beta))) * \tan(\phi)}{b * \gamma * \sin(\beta)}$$

#### ***Ecuación No. 2 – Factor de Seguridad***

Cabe mencionar que esta fase se desarrolló mediante una búsqueda de información de los principales proyectos realizados con Sistemas de Información Geográfica (SIG) en temas referentes a riesgo por deslizamiento, como primer ítem de búsqueda.

La exploración principalmente se realizó a través de las bases de datos de la Pontificia Universidad Javeriana y de internet. El resultado de la búsqueda conllevó a encontrar antecedentes de cómo habían sido atacados los problemas en los proyectos SIG encontrados. [3]



## **3.2. FASE DE ANÁLISIS**

### **Duración:**

3 semanas (1/02/2013 – 21/02/2013)

### **Descripción:**

Una vez organizada la información que se adquirió en la fase de concepto, fue importante, desarrollar el segundo objetivo del trabajo de grado, el cual consiste en analizar la información encontrada, identificando el modelo de almacenamiento de datos que se iba a emplear. Para ello, se efectuó la segunda fase de la metodología, en la cual se buscó analizar y describir cuales eran los requerimientos necesarios para el diseño e implementación del Sistema de Información Geográfica.

### **3.2.1. Realización del estado del arte**

En esta actividad se investigó y elaboró el estado del arte que permitiera determinar cómo ha sido abordado el tema de Sistemas de Información Geográfica en el país. Para ello, se identificaron conceptos relevantes para el trabajo de grado como lo son: remoción en masa, riesgo, amenaza y estimación de factor de seguridad.

A continuación se describe brevemente el resultado del estado de arte:

- **Sistemas de información geográficos aplicados a la amenaza por riesgo de deslizamiento:** En la [sección 2.1](#), se muestran los principales resultados de la búsqueda, en donde se describe las funciones de los SIG en el manejo de riesgos naturales. Adicionalmente se realizó una descarga de algunos proyectos de SIG, para conocer su funcionamiento, sus conexiones y el manejo de variables.
- **Riesgo:** En la [sección 2.2](#), se describe el riesgo como la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. Como tal, la vulnerabilidad y la amenaza por separado no representan un peligro, pero si se juntan estos dos factores se ocasiona un riesgo.

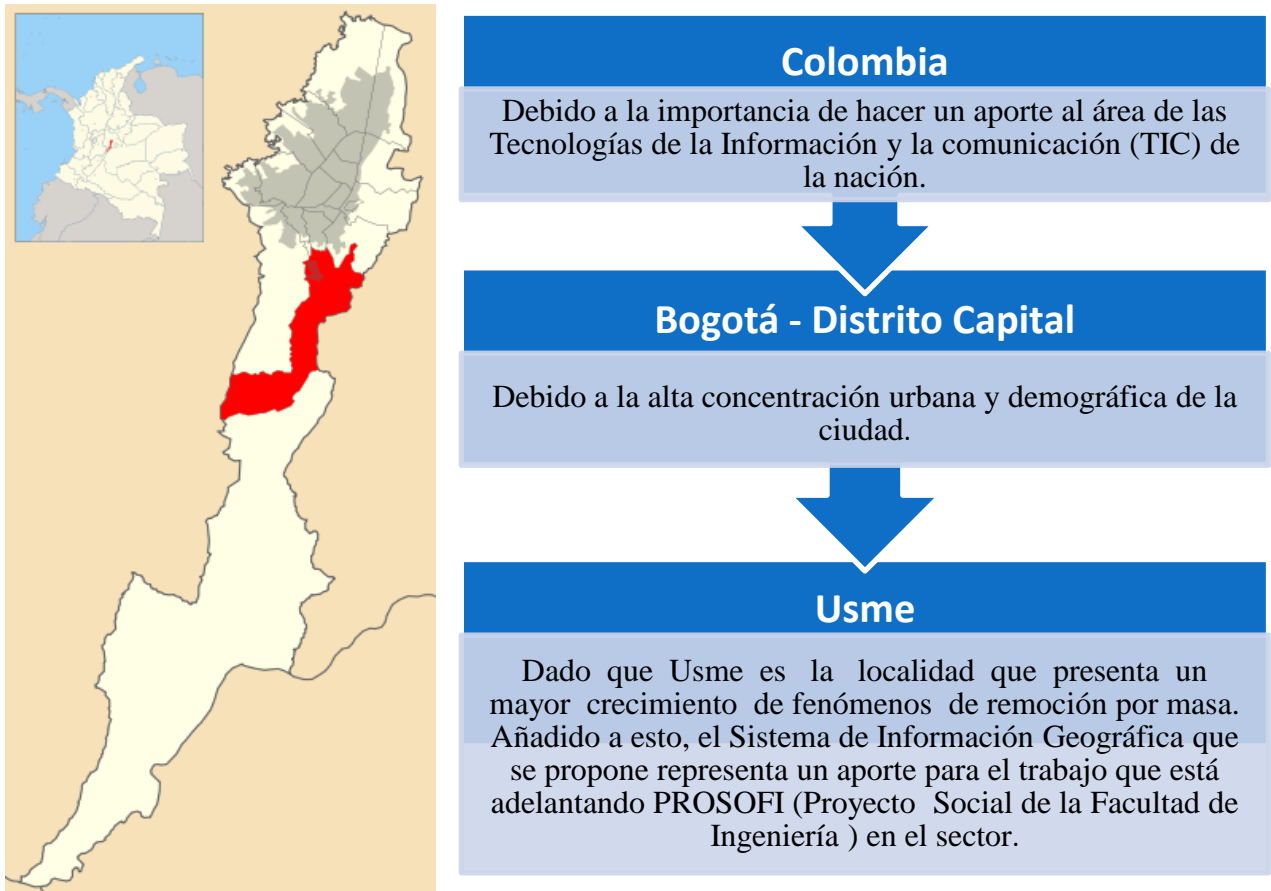
Como resultado importante de la búsqueda, no se encontró algún SIG especializado que manejara el tema de amenaza por riesgo de deslizamiento en el país.

- **Estimación de amenaza:** En la [sección 2.3](#), se describen los conceptos fundamentales del área de geología. Como resultado, se identificó el factor de seguridad usado para la clasificación de la amenaza de riesgo por deslizamiento en la zona de estudio.

- **Efectos de un deslizamiento:** Se describe en la [sección 2.4](#), los elementos más importantes que se deben tener en cuenta para el análisis de la amenaza generada por un deslizamiento. Como resultado importante de la investigación se obtuvo una metodología para la estimación de la amenaza por riesgo de deslizamiento, donde se mezclan los contenidos principales de las secciones anteriores.

### 3.2.2. Delimitación de la zona de estudio

Partiendo de la selección de atributos relevantes, en esta actividad se llevó a cabo una delimitación de la zona de estudio, haciendo uso de la investigación del fenómeno de remoción en masa, específicamente del tópico de deslizamientos. Se estableció y justificó por tanto la zona de interés como:



#### *Ilustración No.6 - Delimitación Zona de Estudio*

En la [sección 1.1 del apartado I Marco teórico](#) se encuentra el detalle de la zona de estudio elegida y los factores tenidos en cuenta para la delimitación de la misma.

### **3.2.2.1. Formalización de requerimientos**

Posterior a la definición de actores y su funcionalidad dentro del sistema. Se procedió a describir formalmente los requerimientos, la totalidad de los mismos se encuentra consignada en las siguientes tablas: **Tabla No. 4 (Requerimientos Funcionales del core)**, **Tabla No. 5 (Requerimientos Funcionales de seguridad, comunicación y administración)** y **Tabla No. 6 (Requerimientos No Funcionales)**.

Para el desarrollo de esta actividad fue esencial la construcción del documento de especificación de requerimientos encontrado en el [anexo denominado “Especificación de Requerimientos.doc”](#), en el cual se describen las funcionalidades y restricciones que debe tener el Sistema de Información Geográfica al momento de ser diseñado e implementado.

Por último, se planteó el conjunto de requerimientos tanto funcionales (FR) cómo no funcionales (NFR) del Sistema de Información Geográfica.

### **3.2.2.2. Requerimientos Funcionales**

Se realizó una categorización de los Requerimientos Funcionales teniendo en cuenta la funcionalidad que cumplen dentro del sistema bajo las siguientes categorías:

- Funcionalidad
- Usabilidad
- Seguridad
- Comunicación
- Administración

Cod	Requerimiento	Justificación
<b>Core</b>		
R01	El sistema debe desplegar al usuario el factor de seguridad por unidad de área geográfica, utilizando el mecanismo de falla planar.	Es relevante que el usuario conozca este tipo de información (Factor de seguridad) de una zona ya que este determina la estabilidad de un talud cuando ocurra un evento de deslizamiento.
R02	El sistema debe desplegar la amenaza por riesgo de deslizamiento en una zona utilizando la ecuación de carga sísmica.	Es relevante que el usuario conozca este tipo de información (Amenaza por riesgo de deslizamiento) de una zona para que este identifique que lugares representan una amenaza potencial ante un deslizamiento.
R03	El sistema debe desplegar al usuario las siguientes capas: Curvas de nivel, Divisorias de Agua, Unidades litológicas, Drenaje, Senderos, Casas, Lotes, Manzanas, Rio y Barrios PROSOFI.	El usuario debe poder visualizar las capas en el mapa amenaza por riesgo de deslizamiento.  Capas innecesarias pueden generar ruido en el Sistema de Información Geográfica.
R04	El sistema debe superponer al mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento un mapa de cartografía urbana provisto por Google Earth , Google Maps o Bing Maps.	Es necesario que se sobrepongan estas capas para que el usuario ubique espacialmente el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento dentro de un mapa cartográfico de uso estándar.
R05	El sistema debe desplegar al usuario la capa de curvas de nivel dentro del Sistema de Información Geográfica (SIG)	Es relevante que el usuario pueda identificar y visualizar la capa de curvas de nivel.
R06	El sistema debe desplegar al usuario la capa de Unidades Litológicas dentro del Sistema de Información Geográfica (SIG)	Es relevante que el usuario pueda identificar y visualizar la capa de Unidades Litológicas y las propiedades (Phi y espesor) de la misma.
R07	El sistema debe mostrar con colores la amenaza por riesgo de deslizamiento de tipo Alto, Medio, Bajo de una zona.	Es necesario identificar la amenaza de riesgo por deslizamiento con colores para que un usuario posea una interpretación visual del mapa.  Diferenciando con colores el tipo de amenaza.

**Tabla No. 3 – Requerimientos funcionales de tipo Core.**

Cod	Requerimiento	Justificación
<b>Usabilidad</b>		
R08	El sistema debe permitir al usuario hacer Zoom In en el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.	Es importante revelar mayor detalle según el interés del usuario en la zona de estudio.
R09	El sistema debe permitir al usuario hacer Zoom Out en el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.	Es importante revelar mayor cantidad de formas abarcando un mayor espacio sin tanto detalle, según el interés del usuario en la zona de estudio.
R10	El sistema debe permitir al usuario mover el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento hacia el occidente geográfico.	Es importante que el usuario pueda desplazarse a través del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento para localizar algún punto de su interés sobre un determinado objeto geográfico.
R11	El sistema debe permitir al usuario mover el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento hacia el oriente geográfico.	Es importante que el usuario pueda desplazarse a través del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento para localizar algún punto de su interés sobre un determinado objeto geográfico.
R12	El sistema debe permitir al usuario mover el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento hacia el norte geográfico.	Es importante que el usuario pueda desplazarse a través del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento para localizar algún punto de su interés sobre un determinado objeto geográfico.
R13	El sistema debe permitir al usuario mover el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento hacia el sur geográfico.	Es importante que el usuario pueda desplazarse a través del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento para localizar algún punto de su interés sobre un determinado objeto geográfico.
R14	El sistema debe permitir al usuario localizar una zona de amenaza por riesgo de deslizamiento dentro del mapa de cartografía urbana.	Es necesario que el usuario pueda ubicar una zona de amenaza dentro del mapa urbano base.
R15	El sistema debe mostrar al usuario las convenciones usadas en el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento	Es necesario establecer convenciones que definan el significado de los símbolos usados, para que el usuario pueda dar una mayor interpretación al mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.

**Tabla No. 4 – Requerimientos funcionales de usabilidad.**

Cod	Requerimiento	
<b>Seguridad</b>		
R16	El sistema debe autenticar que la clave ingresada por el administrador coincida con la clave almacenada en la base de datos.	Se debe autenticar la clave para asegurar un acceso, consistencia y manejo de información adecuado, asegurando integridad en los datos.
<b>Comunicación</b>		
R17	El sistema debe poder ser accedido online por el usuario.	Es necesario que el usuario acceda a través de algún navegador web al mapa de amenaza por riesgo por deslizamiento.
R18	El sistema debe realizar la comunicación entre el usuario y el servidor a través de una red LAN.	Es necesario que exista una comunicación entre el cliente y el servidor
<b>Administración</b>		
R19	El sistema debe permitir al administrador cargar la capa de curvas de nivel en el Sistema de Información Geográfica (SIG).	Es necesario disponer de la capa de curvas de nivel cargada en el mapa de amenaza de riesgo por deslizamiento para representar los intervalos de altura que son equidistantes sobre el plano de referencia.
R20	El sistema debe permitir al administrador cargar la capa de Unidades Litológicas en el Sistema de Información Geográfica (SIG).	Es necesario disponer de la capa de Unidades Litológicas cargada en el mapa de amenaza de riesgo por deslizamiento para identificar la distribución del tipo suelo en la zona de estudio y sus características.
R21	El sistema debe permitir al administrador cargar la capa de Divisorias de Agua en el Sistema de Información Geográfica (SIG).	Es necesario disponer de la capa de Divisorias de Agua cargada en el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento para que el usuario identifique visualmente el límite entre cuencas hidrográficas.
R22	El sistema debe permitir al administrador crear perfiles (administrador, usuario).	Es necesario administrar permisos para manipular la información del Sistema de Información Geográfica y así asegurar la consistencia de la aplicación.

**Tabla No. 5 – Requerimientos funcionales de seguridad, comunicación y admon.**

### 3.2.2.3. *Requerimientos No Funcionales*

Se realizó una categorización de los requerimientos no funcionales teniendo en cuenta su funcionalidad dentro del sistema:

- Diseño
- Interfaz de Usuario
- Hardware
- Desempeño
- Documentación

Cod	Especificación del Requerimiento
<b>Diseño</b>	
N01	El sistema debe ser implementado con una arquitectura 4+1.
<b>Desempeño</b>	
N03	El sistema debe permitir a un usuario conectarse a un servidor en un tiempo máximo 15 segundos.
<b>Interfaz Gráfica</b>	
N04	La pantalla del inicio debe mantener una resolución de 1024x768.
N05	El sistema debe tener una interfaz gráfica basada en WIX.
N06	El sistema debe manejar la interfaz gráfica en lenguaje español.
<b>Hardware</b>	
N07	El sistema debe usar como dispositivos de entrada el teclado y el mouse.
N08	El sistema debe usar como dispositivo de salida el monitor.
<b>Software</b>	
N09	El sistema debe poder ejecutarse computadores con las siguientes especificaciones: RAM de 1 GB y procesador de 2 núcleos de 1Ghz.
N10	El sistema debe poder ejecutarse usando el sistema operativo como mínimo Windows Xp o versiones posteriores.
<b>Documentación</b>	
N11	El sistema debe venir acompañado de un manual de usuario escrito en español.

***Tabla No. 6 - Requerimientos No funcionales***

### 3.2.2.4. Priorización de Requerimientos

En esta actividad se realizó la priorización de requerimientos. Lo que permitió identificar los requerimientos de alto impacto y darles una mayor prelación al momento de implementarlos. La distribución de los requerimientos es realizada a partir de las funciones del SIG (previamente definidas en las [secciones 2.3.4.1 y 2.3.4.2 del Apartado III](#)), de modo que cada requerimiento fue clasificado según la funcionalidad del sistema. De igual manera, se empleó el siguiente esquema de prioridad de requerimientos representado en la **Tabla No. 6** a partir del cual se estableció la importancia que cada requerimiento tenía en la fase de implementación del producto, es decir, del Sistema de Información Geográfica.

Identificador de Prioridad	Descripción
<b>Alta</b>	Requerimiento que debe ser implementado en su totalidad.
<b>Media</b>	Requerimiento importante para ser implementado que sirve como soporte para los requerimientos de alta prioridad.
<b>Baja</b>	Requerimiento no vital para la entrega del producto.

**Tabla No. 7 - Clasificación de prioridades de requerimientos**

Al asignar las prioridades a los requerimientos se tuvo en cuenta la dependencia entre estos, las restricciones del sistema y el tiempo de implementación. Se optó por utilizar el método de Wieggers, que consiste en calcular una prioridad (Asignando a cada atributo un valor entre 1 y 9) para cada requerimiento en base al beneficio para el usuario, el tiempo de implementación y el riesgo técnico. De la siguiente manera:

El rango comprendido entre 1–3: prioridad Baja, rango entre 4–6: prioridad Media y Rango entre 7–9: prioridad Alta.

De esta forma se obtuvo una prioridad y una dificultad para cada requerimiento.

Identificador	Descripción
<b>Alta</b>	Alta complejidad al momento de implementar el requerimiento. Necesita de investigación para hacer uso de nuevas características poco conocidas por el desarrollador.
<b>Media</b>	Se necesita de tiempo para la implementación del requerimiento pero el desarrollador conoce las herramientas para realizarlo.
<b>Baja</b>	El requerimiento rápido de implementar.

**Tabla No.8 - Indicador de dificultad de un requerimiento**



Código de Requerimiento	Encargado	Prioridad (1 a 9)	Aprobado
R01	ING	9	Si
R02	ING	9	Si
R03	ING	9	Si
R04	ING	7	Si
R05	ING, ARQ	5	Si
R06	ING, ARQ	9	Si
R07	ING, ARQ	9	Si
R08	ING, ARQ	5	Si
R09	ING, ARQ	5	Si
R10	ARQ	3	Si
R11	ARQ	3	Si
R12	ARQ	3	Si
R13	ARQ	3	Si
R14	ARQ	8	Si
R15	ARQ	5	Si
R16	ARQ	4	Si
R17	ARQ	9	Si
R18	ARQ	9	Si
R19	ARQ	9	Si
R20	ARQ	9	Si
R21	ARQ	9	Si
R22	ARQ	2	Si

Bajo impacto    Impacto medio    Alto impacto

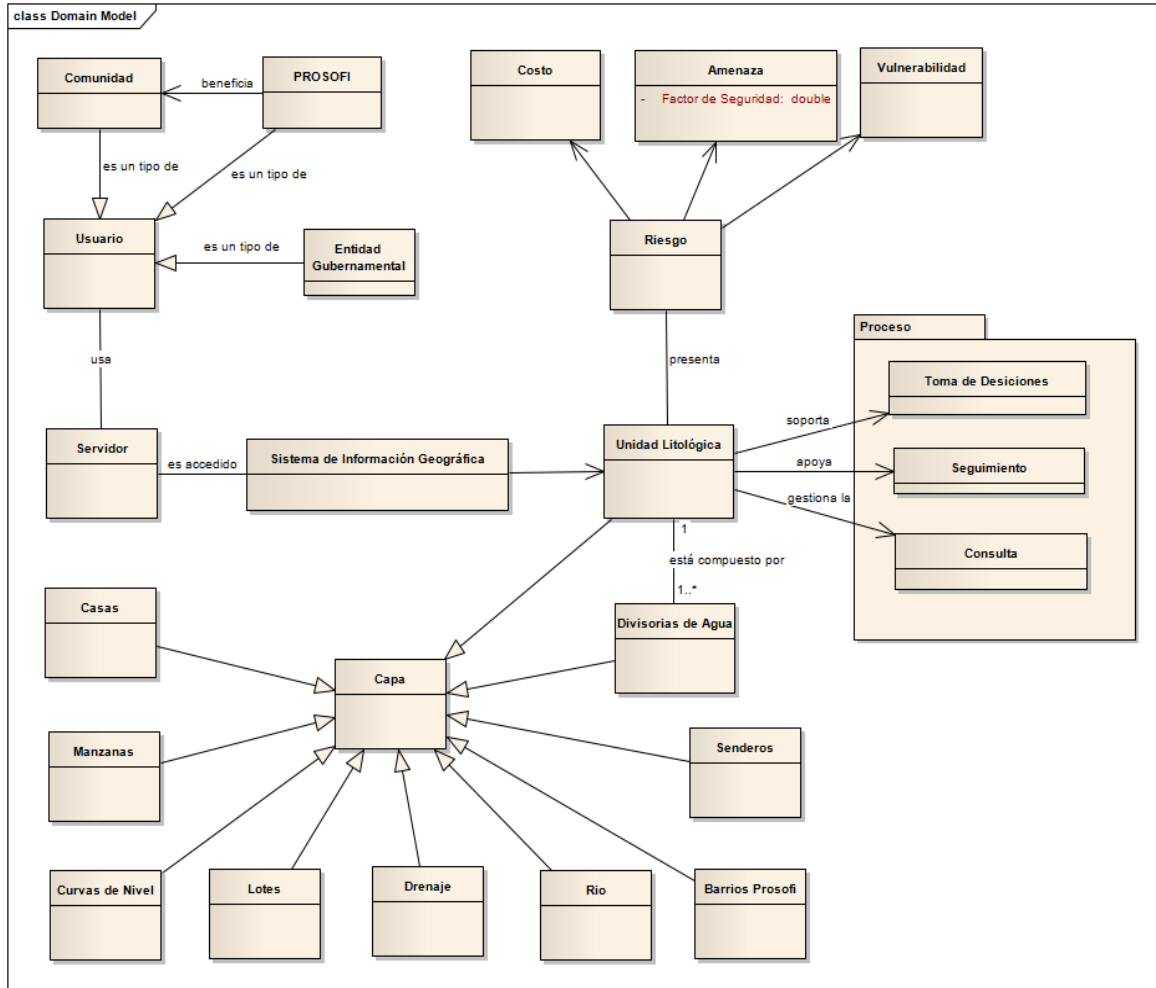
**Tabla No 9 - Priorización de requerimientos**

Los resultados arrojados por la priorización de los requerimientos funcionales se observan en la **tabla No. 8**, en resumen el trabajo de grado posee 9 requerimientos de alta prioridad, 6 de prioridad media y 11 de baja prioridad. Para observar el detalle de la priorización ver [anexo Especificación de Requerimientos](#).

### 3.2.2.5. Modelo de dominio

La parte final de la fase de análisis consistió en la elaboración del modelo de dominio, artefacto de análisis que mediante la síntesis de varios diagramas representó los conceptos propios de la solución al problema.

En el modelo de dominio se identificó que el SIG (Sistema de Información Geográfica) es el eje central del sistema y es soportado por un equipo de cómputo (PC). Posee 6 capas (Capa litológica, Capa de Curvas de nivel, Capa de lotes, Capa de Manzanas, Capa de Unidades Litológicas, Capa de Divisoria de Agua) distintas de información detallada que proveen conocimiento encaminado a la gestión de procesos relacionados con la toma de decisiones, el seguimiento de objetos geográficos y las consultas de información. En adición, se observa en la **ilustración No. 7** que el usuario puede ser de tipo PROSOFI, organismo gubernamental o comunidad, y hace uso del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.



*Ilustración No.7 - Diagrama de Clases*

### 3.3. FASE DE DISEÑO

#### **Duración:**

4 semanas (21/02/2013 – 15/03/2013)

#### **Desarrollo:**

El diseño general del Sistema de Información Geográfica se construyó teniendo en cuenta la implementación de los requerimientos definidos en la fase anterior, buscando satisfacer el tercer objetivo propuesto en la [sección 1.2.3](#).

En la fase de diseño se generó la arquitectura del Sistema de Información Geográfica, de modo tal que se obtuviera un diseño o prototipo del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.

#### **3.3.1. Selección de herramientas**

Esta actividad consistió en un levantamiento de información centrada en el análisis de factibilidad. En el mercado de software existe una cantidad considerable de herramientas para la construcción de un SIG. Las funcionalidades de cada herramienta varían entre una y otra, pero como tal, su núcleo de trabajo es muy similar.

Iniciando esta actividad, la clasificación se redujo a la elección entre herramientas SIG libres o herramientas SIG propietarias, las ventajas y desventajas.

#### **3.3.2. Elección del Software Sistema de Información Geográfica**

A continuación se presenta un cuadro comparativo entre dos herramientas SIG (ArcGis y GeoMedia) evaluando aspectos como lo son; el análisis espacial, la interoperabilidad con otras fuentes de datos, el rendimiento, la documentación de procesos y el soporte a usuario, entre otros.

Aspecto Evaluado	ArcGis	GeoMedia	Conclusion
Análisis Espacial	100%	80%	El análisis espacial es una de las funcionalidades más importantes de un SIG a la hora de generar información, pues es el que permite distinguir un SIG de un CAD. ArcGis destaca en capacidades de análisis y en facilidades de soporte hacia el usuario.

Capacidad Raster	100%	90%	ArcGis demuestra superioridad ante Geomedia frente a las capacidades relativas al filtraje y manipulación de datos gracias a su extensión raster.
Interoperabilidad con diferentes fuentes de datos	90%	80%	ArcGis es el SIG que más interoperabilidad ofrece con su gran capacidad para leer y escribir en diferentes fuentes de datos las capacidades de exportar datos a formatos CAD como DWG. GeoMedia se destaca en sus estándares OGC y en el acoplamiento de información a la hora de usar Oracle como base de datos.
Rendimiento	80%	100%	GeoMedia es más rápido que ArcGis representando gráficamente las capas y transportando datos de una capa a una base de datos o viceversa. Por otra parte, Geomedia destaca en la estabilidad de procesos y velocidad al realizar análisis espaciales.
Capacidad de Personalización	80%	100%	Geomedia permite geocodificar la coordenada Z y conservarla al realizar exportaciones a otros formatos, junto con la posibilidad de realizar extrusiones de polígonos a volumetrías.
Documentación Soporte	100%	100%	En cuanto al soporte proporcionado al usuario de cada herramienta, los dos SIG son equivalentes.

**Tabla No. 10- Ventajas de ArcGis**

Luego de analizar las ventajas y desventajas de cada una de las herramientas de software, es necesario tener en cuenta las características generales del trabajo de grado, descritas a continuación:

- Tiempo de desarrollo reducido.
- Tiempo para capacitación del personal escaso.
- Plan de requerimientos específicos.
- Bajo presupuesto de desarrollo.

Teniendo en cuenta estas características, la elección que se considero más viable para este trabajo de grado fue un SIG propietario, dado que ofrece un mayor soporte de usuario junto con un amplio espectro de funcionalidades, adicionalmente, se tuvo en cuenta la interoperabilidad provista con otros sistemas operativos lo que permitiría la visualización web del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento. Se tuvo en cuenta

el hecho que los usuarios se conectan directamente a Bing Map de la aplicación web creadas.

La herramienta SIG elegida para el desarrollo del trabajo de grado fue ArcGIS Desktop (que incluye ArcMap, ArcScene, ArcAdministrator y ArcCatalog), ya que entre las herramientas propietarias es la que tiene mayor trayectoria en el campo de los SIG y las mejores referencias de soporte entre los expertos del campo. El alto costo de la licencia podía ser solucionado haciendo uso de licencias académicas.

Otra ventaja de ArcGIS es que el modelo de datos soporta objetos con relaciones y comportamientos diferentes, por lo que es altamente integrable con gestores de bases de datos como Oracle o SQL Server.

Por cuestiones de acoplamiento y escalabilidad (debido a que pertenecen a la misma empresa, Esri) se eligieron las herramientas web ArcGIS Online y ArcGIS Explorer Online para la visualización web del mapa.

### ***3.3.2.1. Capacitación en herramientas***

Esta actividad consistió en hacer uso de los medios disponibles para el aprendizaje de las herramientas de desarrollo seleccionadas en la anterior actividad, entre estos se encuentran:

- Soporte de servicio Esri al usuario
- Foros ArcGIS
- Tutoriales

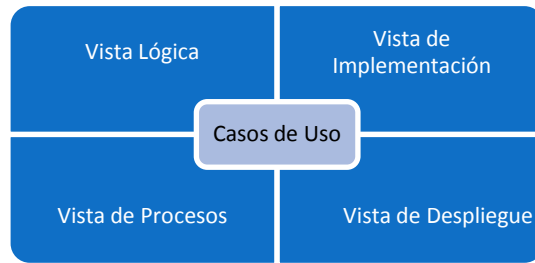
Se desarrollaron las guías de inicio rápido, disponibles en la página de recursos de Esri. Éstas brindaron un primer acercamiento a la interfaz gráfica, funciones y operabilidad de la herramienta de software.

Posterior a la realización de las guías se siguieron los tutoriales de Esri, de esta forma se conoció con más profundidad la herramienta y detalles útiles para la fase de implementación del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.

### ***3.3.2.2. Descripción de la arquitectura***

Esta actividad fue clave en la consecución del trabajo de grado debido a que el diseño elaborado en esta fase, se implementó posteriormente.

Se escogió el modelo arquitectural base para la elaboración de un diseño de software detallado, el modelo de vistas 4+1 fue el indicado para estructurar el trabajo de grado (**Ver ilustración No. 8**).



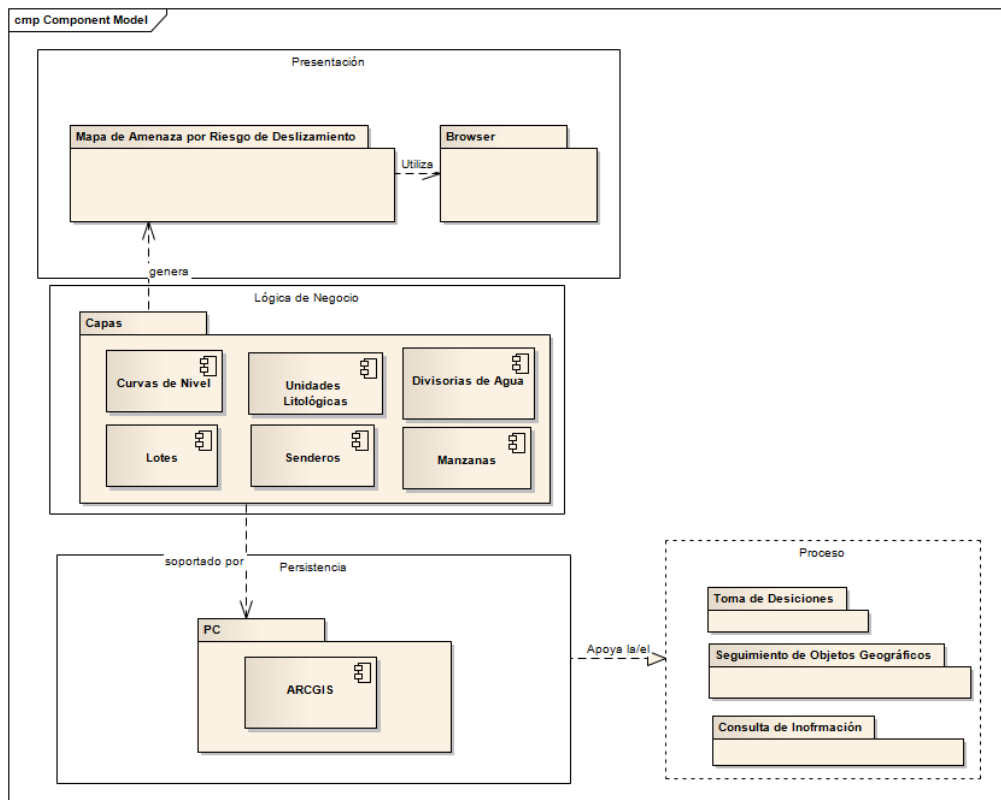
**Ilustración No. 8 - Modelo Arquitectural 4+1**

El modelo de arquitectura 4+1 fue adaptado para el desarrollo del trabajo de grado, debido a la visualización web presente en la etapa final de la implementación. Los casos de uso fueron generados a partir del levantamiento de requerimientos realizado en la fase de análisis.

### 3.3.2.3. Vista lógica

Esta vista se centró en los servicios que provee el SIG al usuario, que se encuentran especificados en los requerimientos funcionales de la [sección 3.2.3.1](#).

El diseño contiene las abstracción clave del problema definido en la [sección 1.2](#).



### ***Ilustración No. 9 - Vista lógica***

Como se puede observar en la ilustración No. 9, los componentes del sistema se ubican en tres capas distintas:

- **Capa de Persistencia**

Corresponde a las máquinas en donde se encuentran localizados los componentes. En la **ilustración No. 9** se aprecia que existe un servidor encargado de almacenar los datos del sistema en una Geo base de datos relacional. A su vez, existe un cliente que a través de un navegador accede a la aplicación web provista por el servidor.

- **Capa de Lógica de negocio**

En esta capa se encuentran las entidades que proveen la funcionalidad del sistema. Entre estas entidades encontramos la capa de curvas de nivel, la capa de unidades litológicas, la capa de divisorias de agua, la capa de lotes, la capa de manzanas, la capa de casas, la capa de drenaje, la capa de senderos y la capa de quebradas. Estas capas poseen el core sobre el cual el Sistema de Información Geográfica está construido.

- **Capa de Presentación:**

Esta capa se encarga de generar la interfaz gráfica de usuario, a través de la cual el usuario puede acceder y visualizar el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.

Una vez explícitas las funciones de cada una de las capas, se procede a describir los elementos que conforman el sistem. El diagrama cuenta con los siguientes componentes:

- **Usuario**

Actor del Sistema de Información Geográfica que accede e interactua con el mapa de amenaza de riesgos por deslizamiento.

- **Componente WEB**

Encargado del ser intermediario entre el usuario y el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.

- **Componente Control y Administracion de Usuarios**

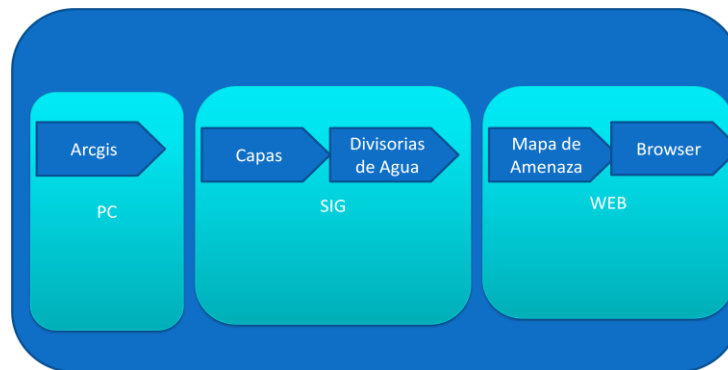
Encargado de controlar las acciones referentes a los roles de administrador y usuario.

- **BDMS**

Base de datos donde están persistidos los datos georreferenciados de la localidad de Usme.

### 3.3.2.4. *Vista de procesos*

Esta vista se centró en los procesos realizados por el sistema, en qué orden se llevaron a cabo y como se relacionaron entre sí, para ello, se puede apreciar la **ilustración No. 10**.



***Ilustración No. 10 - Vista de Procesos***

Dentro de esta vista, se definieron 3 procesos clave descritos a continuación:

- **Proceso 1**

Empleando el software especializado en manejo de información geográfica ArcGIS instalado en el equipo de cómputo (PC) se cargan las capas de datos SIG.

- **Proceso 2**

El Sistema de Información Geográfica acopla las capas, desplegando la información de las siguientes capas: curvas de nivel, unidades litológicas, divisorias de agua, manzanas, senderos, río, quebradas, lotes y casas.

En este proceso se crean dos archivos fuente shapefile, el primero representa la capa de unidades litológicas para ello se dibujaron virtualmente los polígonos con las unidades y se adicionaron los atributos relevantes a la entidad, el segundo archivo representa la capa de divisorias de agua, para ello se dibujaron virtualmente los polígonos trazados en el mapa análogo del sector PROSOFI de la localidad de Usme. Posteriormente se generó el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.

- **Proceso 3**

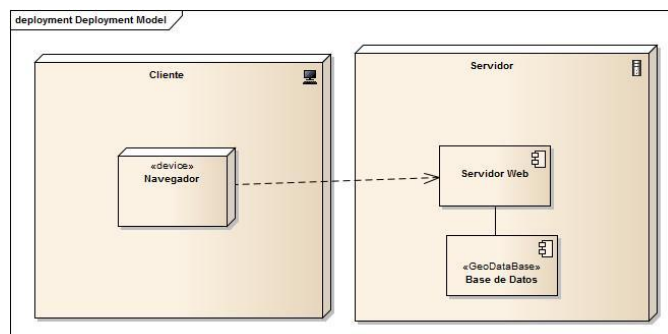


El SIG presenta al usuario el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento el cual es accedido a través de un navegador de internet o browser.

### 3.3.2.5. Vista física

Esta vista se centró en la distribución de los componentes de software en los nodos de hardware. El Sistema de Información Geográfica generado solo emplea una interfaz gráfica de usuario, lo que permitió separar toda la lógica de negocio para ubicarla en el SIG. El modelo cliente-servidor fue acoplado al Sistema de Información Geográfica y la presentación Web del mismo.

En la **ilustración No. 11** se representan los nodos o componentes del Sistema de Información Geográfica.



**Ilustración No. 11- Vista Física**

#### Cliente

- Navegador de internet (Browser)

Es la aplicación que se ejecuta por parte del cliente la cual permite el acceso y visualización de archivos en lenguaje HTML.

- Aplicaciones externas

Estas aplicaciones son ajenas al componente cliente pero son necesarias para complementar su funcionalidad. Ejemplos de este tipo de aplicaciones pueden ser los plugins de Java que ayudan a la correcta visualización del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.

#### Servidor

- Servidor web

Permite la transmisión de datos en lenguaje HTML por medio del protocolo HTTP. La información transmitida incluye todas las formas y datos del mapa generado por el SIG. Este servicio es prestado de forma gratuita por Wix.

- Servidor de datos

Almacena los datos los datos en una Geo base de datos relacional para su posterior gestión y administración.

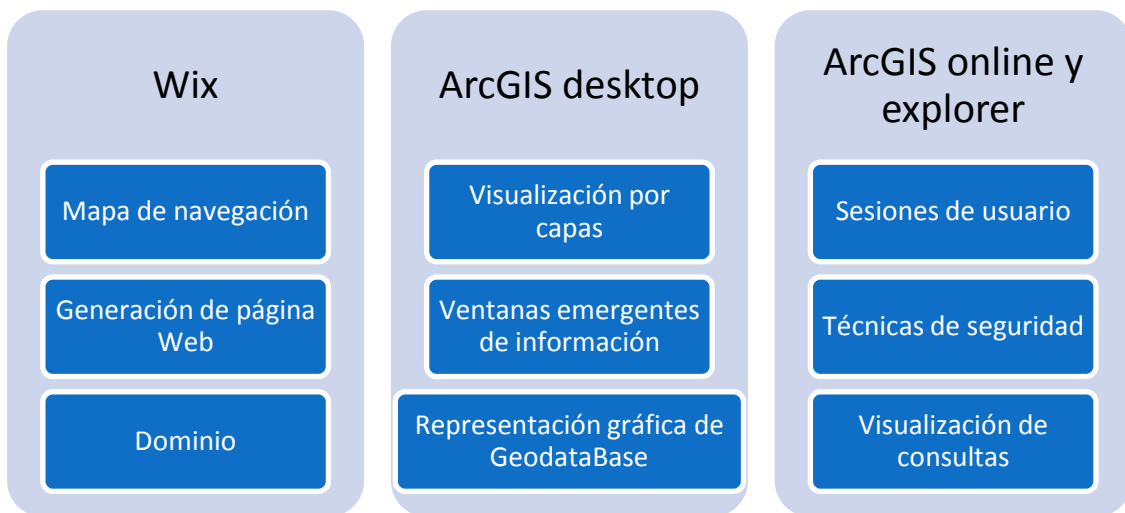
### **3.3.2.6. Vista de desarrollo**

El propósito en la vista de desarrollo fue apreciar la estructura del Sistema de Información Geográfica.

Esta vista se centró en la distribución de los módulos de software en la fase de implementación. Para este trabajo de grado, las herramientas de desarrollo se convirtieron en contenedores de funciones de software, por lo que se definieron diferentes tipos:

- Wix
- ArcGIS Online
- ArcGIS Explorer Online

Como se puede apreciar en la **ilustración No. 12**, las funciones o módulos de software fueron asignados a su contenedor correspondiente.



*Ilustración No. 12 - Vista de desarrollo*

Posterior a la culminación del objetivo de la fase de diseño, se continuó con la fase de implementación de la metodología propuesta.

### ***3.4. FASE DE IMPLEMENTACIÓN***

#### **Duración:**

5 semanas (21/03/2013 - 02/05/2013)

#### **Descripción:**

En esta fase se llevó a cabo el cargue de capas, edición de polígonos y acoplamiento de información georreferenciada con ayuda de la herramienta de software ArcGis, con el fin de la posterior visualización y publicación del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento mediante ArcGIS Online y ArcGIS Explorer Online.

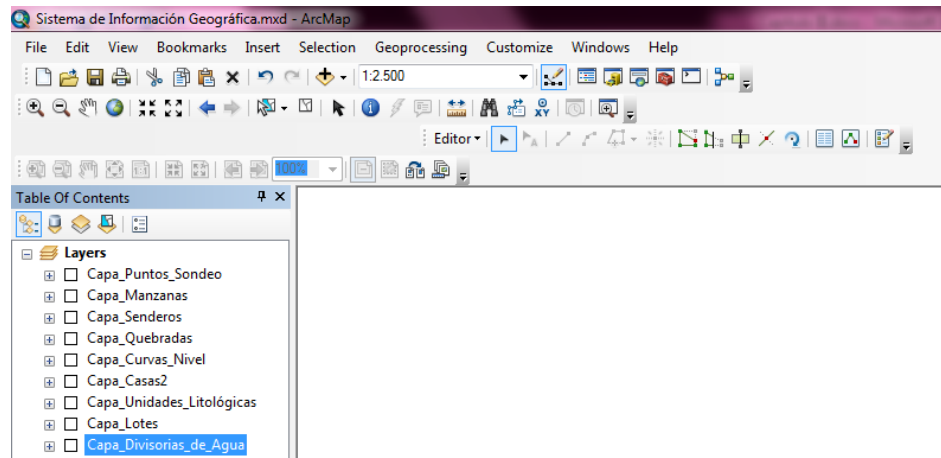
#### ***3.4.1. Construcción del SIG***

##### ***3.4.1.1. Carga y normalización de objetos geográficos***

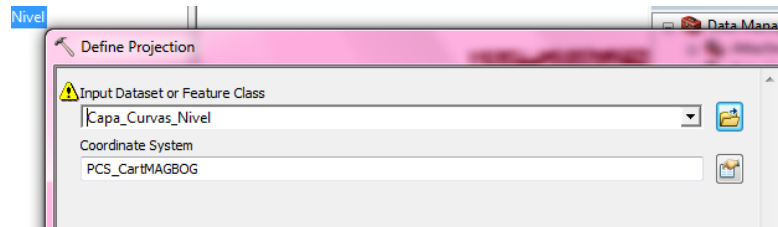
Esta actividad consistió en cargar cada una de las capas de información obtenidas de PROSOFI. Para ello fue necesario conectar la carpeta donde se encontraban localizadas las capas con la herramienta ArcCatalog.

Los valores contenidos en los mapas originales tenían variadas unidades de medida y proyecciones espaciales, por esta razón, se requirió normalizar los valores a una misma proyección cartográfica.

La proyección cartográfica definida para las capas cargadas al Sistema de Información Geográfica fue CARTBOG, dado que la zona de estudio se encuentra dentro de los límites geográficos de la ciudad de Bogotá, Colombia.



*Ilustración No.13- Creación de capas*



*Ilustración No. 14- Conversión Proyección Cartográfica*

### ***3.4.1.2. Definición de patrones para representación visual con capas existentes***

En esta actividad se identificaron los factores característicos por cada una de las 8 capas, para así, determinar cómo cada uno de estos podía ser representado gráficamente.

Para cada patrón se creó una leyenda que describiría su significado o valor.

### ***3.4.1.3. Edición de Capas***

Para editar las capas en ArcGis se usó el menú editor de la barra superior de herramientas ToolBox. El menú posee un cuadro de diálogo que aparece cuando se comienza a editar la capa. Para la edición de capas se emplearon las siguientes funciones desplegadas en el cuadro de dialogo representado en **la ilustración No. 15**.



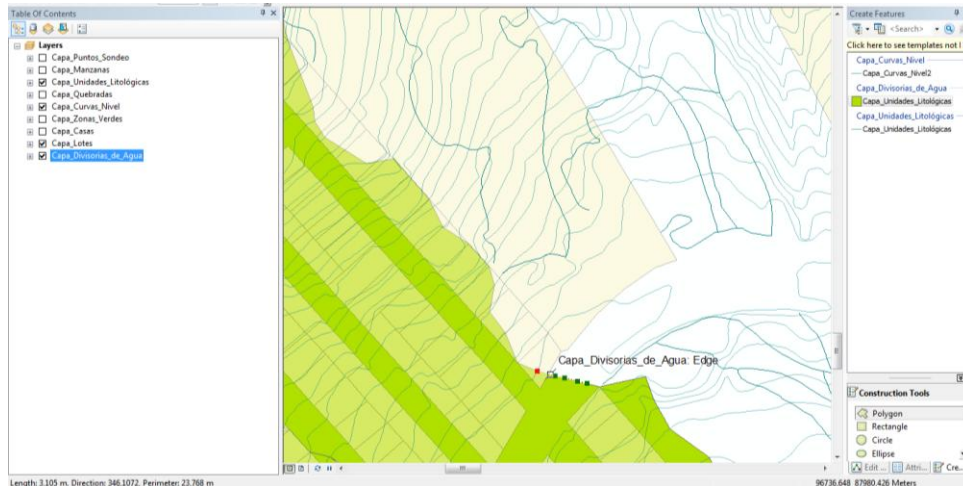
**Ilustración No. 15- Barra Editor**

Las principales funciones empleadas fueron: crear polígono, seleccionar polígono, agregar punto polígono, eliminar punto polígono y eliminar polígono.

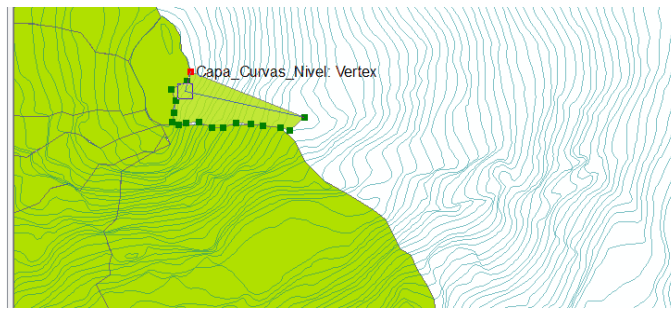
### 3.4.1.4. Creación de polígonos

En esta actividad fue necesario crear y definir manualmente tanto la capa de unidades litológicas como la capa de divisorias de agua en la herramienta ArcMap. Para ello, se trazó una serie de puntos consecutivos que formaban un polígono, este proceso se repitió hasta obtener todo un conjunto de figuras.

Posteriormente se acoplaron entre sí las capas de unidades litológicas y divisorias de agua. Los polígonos de la capa de divisorias de agua que sobrepasaran el límite definido en la capa de unidades litológicas (*Ver anexo denominado “Inventario de información”*) serían eliminados o editados según correspondiera el caso para que al sobrelaparse las capas se representara solo la información del área de interés en efecto.



**Ilustración No. 16- Creación Polígonos en la Capa Unidades Litológicas**



***Ilustración No. 17- Creación Polígonos en la Capa Divisorias de Agua***

### ***3.4.2. Generación del Sistema de Información Geográfica***

#### ***3.4.2.1. Definición del orden de las capas***

Un aspecto que se tuvo en cuenta a la hora de implementar el Sistema de Información Geográfica fue el orden de las capas, puesto que dicho orden incidía directamente en el diseño del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento. Fue relevante llevar a cabo esta definición ya que las capas que se encontraban en la parte superior se superponían y podían llegar a tapar los contenidos de capas inferiores.

Como tal, ésta actividad consistió en definir cuál capa iba sobre la otra capa. Se repitió este proceso por todas las capas del SIG y de esta manera se estableció el orden de la siguiente forma:

- Capa de Divisorias de Agua
- Capa de Unidades Litológicas
- Capa de Casas
- Capa de Lotes
- Capa de Curvas de Nivel
- Capa de Manzanas
- Capa de Senderos
- Capa de Rio
- Capa de Drenaje

#### ***3.4.2.2. Definición de rango de visibilidad***

El detalle que posee una capa de datos geográficos permite que esta pueda ser representada solo a ciertas escalas, por lo que en determinados niveles de acercamiento,

la herramienta puede visualizar erróneamente las formas, por ello fue necesario definir los rangos de visibilidad por cada una de las capas a la escala adecuada.



***Ilustración No. 18- Ventana de dialogo, Rango de Visibilidad***

### ***3.4.2.3. Definición de la transparencia***

Una vez definida la capa base que iba debajo de las demás capas, se evidenció la necesidad de definir un porcentaje de transparencia para algunas capas, con el fin de no perder de vista la información relevante de aquellas capas que quedaban cubiertas. Para el caso específico del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento a las capas les fueron asignadas las siguientes transparencias:

- Capa de Unidades Litológicas: 40%
- Capa de Divisorias de Agua: 28%
- Capa de Casas: 50%
- Capa de Lotes: 0%
- Capa de Manzanas : 0%
- Capa de Curvas de Nivel: 0%
- Capa de Senderos: 0%
- Capa de Rio: 0%
- Capa de Drenaje: 0%

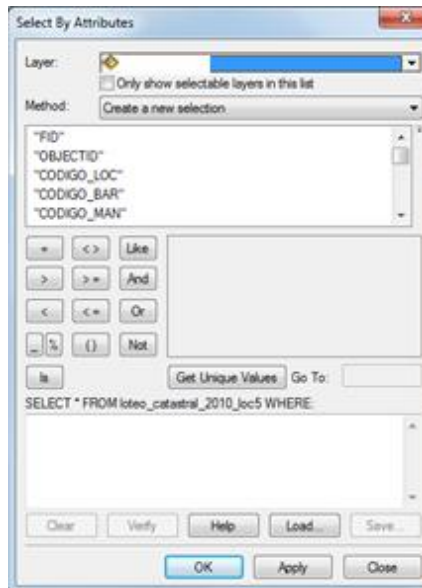
### ***3.4.2.4. Ventanas emergentes***

Las ventanas emergentes proveen una función importante para la comunicación con el usuario, en ellas se muestran los atributos de mayor interés para el usuario como lo son: el factor de seguridad, el phi, el sigma y el tipo de amenaza. Luego de haber realizado la selección de los mismos, estos fueron especificados en la aplicación SIG para ser desplegados al usuario.

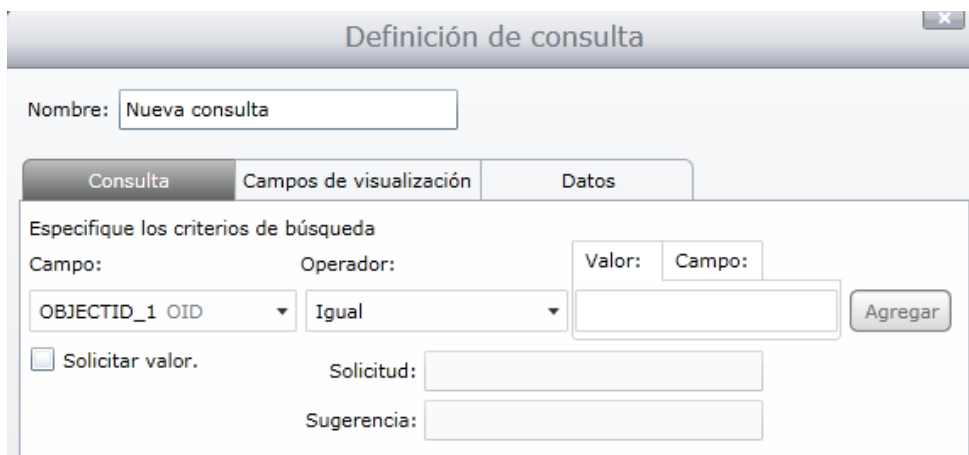
### 3.4.2.5. Definición de consultas

La definición de consultas fue realizada haciendo uso del lenguaje SQL, dado que la base de datos se encuentra directamente relacionada con la del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento, siendo posible hacer una selección de atributos en cualquiera de las capas.

Para realizar la labor de consultas se empleó ArcGIS Explorer Online, como se aprecia en la **ilustración No. 21**.



*Ilustración No.20- Definición de consultas ArcGIS desktop*



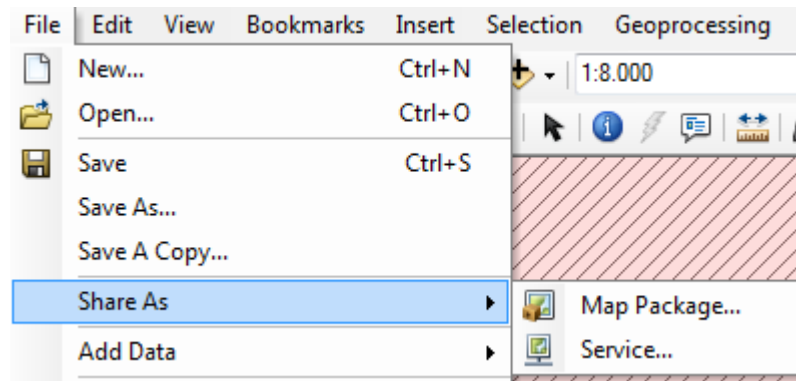


### ***Ilustración No.21 -Definición de consultas ArcGIS Explorer Online***

Publicación del Mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento

#### ***3.4.2.6. Exportación del mapa***

Luego de establecer los aspectos de presentación del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento. El Sistema de Información Geográfica fue exportado al servidor web de ArcGIS Online.



***Ilustración No.23- Exportar mapa***

#### ***3.4.2.7. Configuración de presentación***

En la etapa posterior a la migración del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento hacia la web, se llevó a cabo la configuración detallada de la presentación del mapa.

La interfaz gráfica de usuario contiene una gran cantidad de detalles, algunos de ellos configurados a continuación:

- Barra de escala
- Botones de Zoom out y Zoom in
- Leyenda (Convenciones)
- Título de la página web
- Visualización de Capas
- Imprimir
- Mapa base
- Opciones de medición

Para la configuración de las funciones anteriormente descritas fue posible modificar el código fuente e ir actualizando la presentación preliminar del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento, creando así por cada iteración una versión mejorada del Sistema de Información Geográfica.

### 3.4.2.8. Generación de código HTML

Posterior a la configuración de los detalles de presentación del Sistema de Información Geográfico se generó el código HTML, este permitió la portabilidad del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento a un dominio web. Como se aprecia en la **ilustración No. 24**, ArcGIS Online posee la opción de generar el código al igual que ArcGIS Explorer Online (ver **ilustración No 25**).

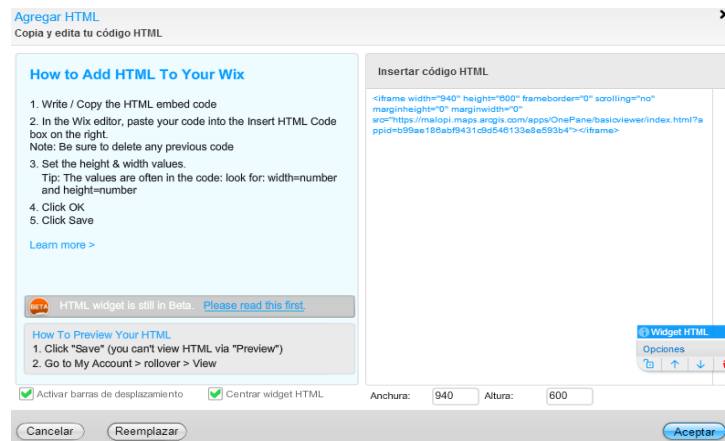


**Ilustración No. 24- Código HTML ArcGIS Online**

### 3.4.2.9. Publicación de mapa mediante código HTML

La última actividad realizada en la fase de implementación, fue la publicación del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento mediante el código HTML. Para ello, se usó una plataforma de creación gratuita de sitios web denominada Wix.

En la cual, se elaboró y diseñó el contexto principal de la página web y posteriormente se creó un widget HTML que permitiera insertar el código generado por ArcGIS Online.



*Ilustración No.26 - Widget HTML*

Como se observa en la **ilustración No. 26**, la plataforma Wix solicitó la inserción del código HTML y la definición de un tamaño de ventana para la interfaz gráfica de usuario pudiendo así realizar la publicación de la aplicación.

Finaliza la última actividad de la fase metodológica de desarrollo con la publicación exitosa del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.

## 5. FASE DE VALIDACIÓN

### Duración:

2 semanas (02/05/2013 -16/05/2013)

### Descripción:

Se desarrolló la última fase de la metodología, la cual consistió en la validación del Sistema de Información Geográfica.

Una vez obtenido el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento, se ejecutaron pruebas de usabilidad, las cuales, tenían como objetivo determinar si se había cumplido con las especificaciones del sistema requeridas por el usuario.

Por otro lado, se buscó comprobar que el trabajo de grado cumpliera con las expectativas de predicción de amenaza por riesgo de deslizamiento validando esto con un experto en el área.

Se recolectaron los siguientes comentarios de acuerdo a las pruebas practicadas al Sistema de Información Geográfica:

- **El SIG es útil:** Este comentario resulta valioso, puesto que afirma que el Sistema de Información Geográfico diseñado cumple con su objetivo, viendo resultados útiles para el tema prevención y mitigación de desastres en el país.
- **Manejo de variables:** Este comentario nace para futuras investigaciones, ya que se propone agregar al Sistema de Información Geográfica el manejo de escenarios drenado y no drenado.
- **Realización SIG vía web:** Hoy en día el internet se ha convertido en un recurso indispensable, por ello, se identifica la posibilidad de manejar los Sistemas de Información Geográfica sobre la web, con el fin, por un lado de acceder a la información desde cualquier parte del mundo y por otro, integrabilidad con otros sistemas.

El sistema arrojado por la fase de implementación fue validado en primera instancia por pruebas generales bajo los siguientes parámetros:

- Actividades
- Métodos o herramientas
- Informe de resultados

Las pruebas fueron realizadas siguiendo el manual de usuario de la aplicación que se puede encontrar como documento anexo denominado “[Manual de Usuario](#)”.

ACTIVIDADES	1. Se accedió al Sistema de Información Geográfica 2. En la aplicación, se evaluaron cada uno de los requerimientos funcionales descritos en la <a href="#"><u>sección 3.2.4</u></a> 3. Se analizó la operatividad del conjunto de funciones y requisitos del sistema.
MÉTODOS O HERRAMIENTAS	La prueba se llevó a cabo de manera manual considerando el reducido tamaño de la zona seleccionada como caso de estudio.

<p><b>INFORME DE RESULTADOS</b></p>	<p>La prueba arrojó los siguientes resultados:</p> <p>Todas las funciones de la aplicación se ejecutan correctamente</p> <p>Las funciones presentan un mayor detalle frente a los trabajos previos en el área en cuanto a complejidad, debido a la especificidad de la información provista al usuario.</p> <p>Luego de aplicar las pruebas por cada función. Los valores de la información resultante son los contemplados dentro del rango de aceptación.</p> <p>Las consultas de información provistas por el Sistema de Información Geográfica arrojan un resultado con los datos solicitados por el usuario. A nivel general las pruebas arrojaron resultados satisfactorios.</p>
-------------------------------------	--

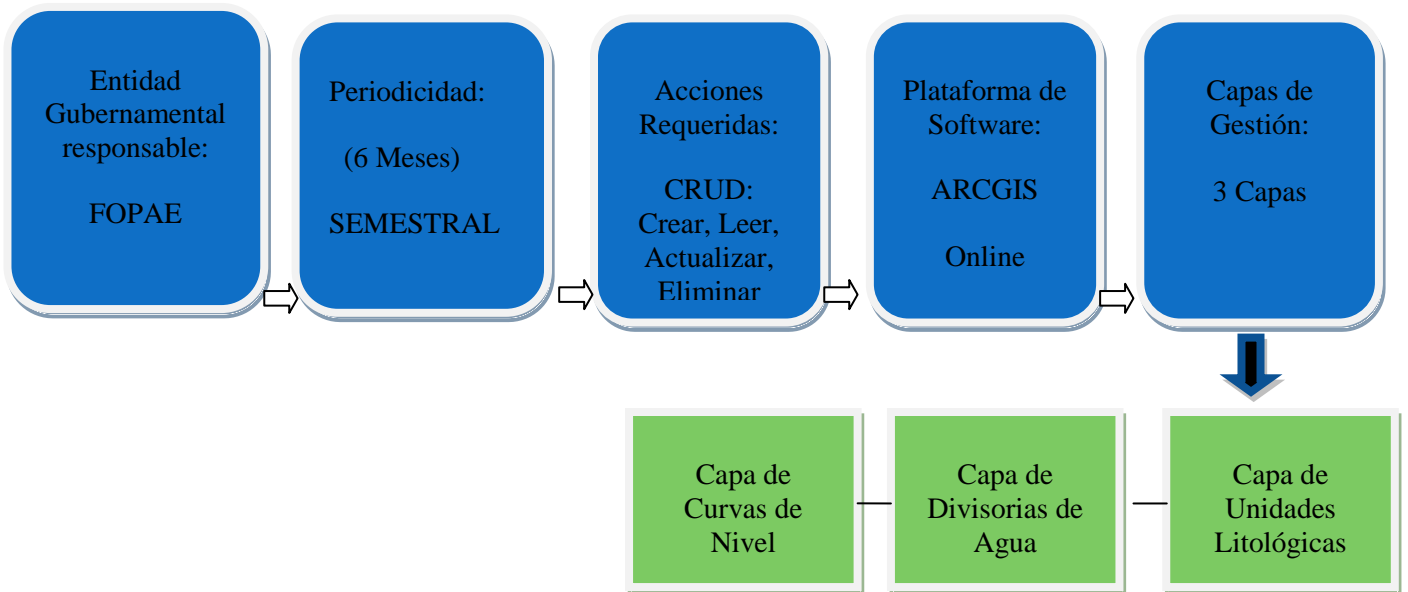
**Tabla No.10- Prueba Cubrimiento**

<p><b>ACTIVIDADES</b></p>	<p>1.Se analizó en forma general el Sistema de Información Geográfica.</p> <p>2.Se definieron situaciones de prueba (típicas, extremas y atípicas)</p> <p>3.Se examinó el comportamiento para cada una de las situaciones definidas.</p>
<p><b>MÉTODOS O HERRAMIENTAS</b></p>	<p>La prueba se llevó a cabo de manera manual considerando el reducido tamaño de la zona seleccionada como caso de estudio</p>
	<p>La prueba arrojó los siguientes resultados:</p> <p>El acceso y visualización del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento en promedio no tarda más de aprox. 15 segundos,</p>

<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<p>dependiendo de la máquina desde la cual se acceda.</p> <p>La interfaz gráfica de usuario resulta intuitiva para el usuario.</p> <p>La interfaz gráfica responde exitosamente frente al tiempo de carga referente al ISP (Proveedor de servicios de internet) y el ancho de banda.</p> <p>Las leyendas por cada capa aportan la información necesaria para el entendimiento particular del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento.</p>
------------------------------	---

**Tabla No. 11- Prueba de valores límite**

Luego de realizar las pruebas de cubrimiento y valores límite, fue relevante concretar la gestión de actualización y mantenimiento del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento como se puede apreciar en la **ilustración No.27** .



**Ilustración No.27 - Gestión de Actualización y Mantenimiento del SIG**

Se prevé que la gestión de mantenimiento se realice por parte del FOPAE, institución gubernamental encargada de prevenir y manejar los riesgos dentro del país. Se sugiere que la actualización del SIG se realice aproximadamente cada seis meses para mantener el sistema actualizado con valores reales.

Haciendo uso de la herramienta ArcMap se puede actualizar o editar la información de las capas de unidades litológicas, divisorias de agua y curvas de nivel.

## IV- ANÁLISIS DE RESULTADOS

La aplicación desarrollada puede ser consultada en el enlace disponible de la página del trabajo de grado <http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1310IS06/>.

Los resultados observados en cada una de las fases de desarrollo del proyecto, pueden ser catalogados en 3 tipos:

- Funcionales
- Informativos
- De navegabilidad

Respecto a los resultados funcionales la aplicación permite al usuario elegir las capas a desplegar en pantalla, permite cambiar el mapa base y permite medir tanto líneas como polígonos en distintas unidades de medida.

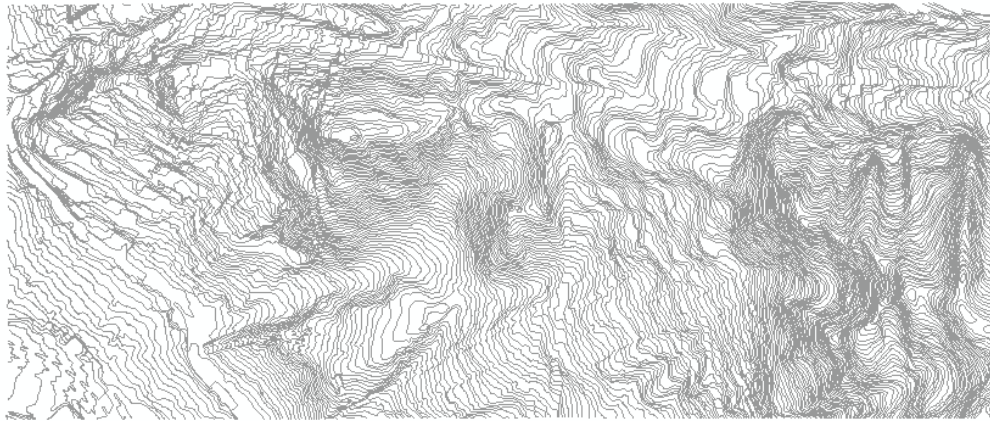
Respecto a los resultados informativos, a partir de las consultas dispuestas o de la exploración manual por parte del usuario, se obtiene información relevante de cualquiera de las ocho capas, ésta, es desplegada en ventanas emergentes que muestran los parámetros configurados (como el tipo de amenaza, el factor de seguridad, la unidad litológica, el espesor, entre otros). A su vez, por cada capa se dispone una leyenda o conjunto de convenciones que se encuentra disponible para el correcto entendimiento del mapa.

En cuanto a los resultados de la navegabilidad se encuentran los elementos como los botones de zoom, el movimiento en cualquier sentido dentro del mapa y una barra de escala para apoyar el rango de visión del usuario.

A continuación se describen los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de las fases metodológicas descritas en el tercer capítulo denominado “Desarrollo de trabajo de grado” :

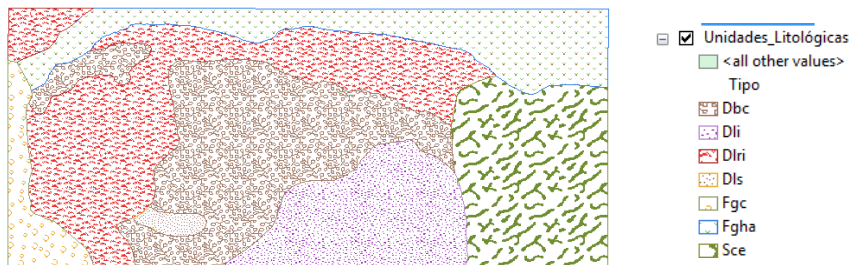
Dentro de las capas usadas para obtener el mapa se creó manualmente la capa de divisorias de agua. Esta capa se generó a partir de la capa de curvas de nivel (**ver Ilustración No. 29**) sobre la cual el cuál personal de Ingeniería Civil dibujó los drenajes y las divisorias de agua pertenecientes al área de estudio, para posteriormente trazar los polígonos a un formato un digital.

Como se aprecia en la **ilustración No. 29** inicialmente los polígonos de esta capa se encuentran bajo un mismo color, dado que no se habían sobrelapado con las otras capas geográficas, ni se había hallado el factor de seguridad por unidad litológica.



**Ilustración No. 29- Capa de Curvas de Nivel**

Otra de las capas dibujadas manualmente, fue la capa unidades litológicas la cual representa los distintos tipo de suelo (Fgha, Sce, Dlri, Dli, Dbc) basándose en las características litológicas del terreno, como se aprecia en la **ilustración No. 30**.



**Ilustración No.30- Capa Unidades Litológicas**

Como se resultado se obtuvo el mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento que se puede apreciar en la **ilustración No.31**. En él, se identificó con colores las áreas con mayor y menor amenaza ante un evento de remoción en masa.

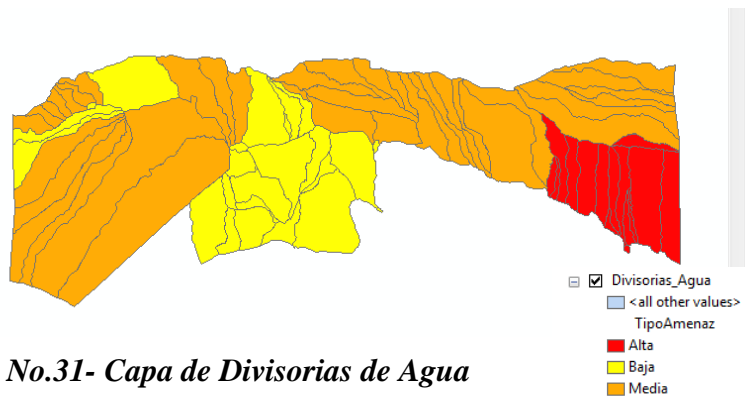
Las áreas dentro del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento que aparecen de color rojo representan para la comunidad áreas con una amenaza de tipo alta, por lo cual se identifica la necesidad de prevenir a la población vulnerable sobre el riesgo que corre al permanecer en el área.



Las áreas dentro del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento que aparecen de color naranja representan la amenaza de tipo medio, por lo que se considera adecuado informar a los habitantes sobre el riesgo moderado inherente al área en que residen. Al identificar un tipo de amenaza media ante un evento de remoción en masa se debe concientizar a población sobre las áreas que podrían verse afectadas ante un evento de remoción en masa.

Las áreas dentro del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento que aparecen de color amarillo representan la amenaza considerada de tipo bajo, lo cual implica que la zona o área (respecto al tópico de desastres, específicamente de deslizamientos) cumple con los requisitos mínimos para habitar. Es decir, que la probabilidad que la población residente del área se vea fuertemente afectada por un evento de deslizamiento es relativamente poca en comparación a las áreas con amenaza alta.

Es relevante identificar las zonas de amenaza baja para incentivar a la población vulnerable que se encuentra localizada en zonas evaluadas con tipo de amenaza alta o media para desplazarse a un lugar con mejores condiciones para residir y habitar.



**Ilustración No.31- Capa de Divisorias de Agua**

Según los resultados obtenidos del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento, el peor escenario lo afrontan los barrios Compostela II y Compostela III puesto que se encuentran en una zona de amenaza considerada de tipo alta. Si se ocasionara un deslizamiento la población que reside en el sector se vería gravemente afectada.

Como se puede apreciar en la ilustración No. 32, el factor de seguridad varía por cada divisoria de agua, ya que los parámetros ( $\phi$ ,  $c$ ,  $c'$ , entre otros) se calculan por cada uno de los límites de cuencas hidrográficas.

PARÁMETROS	
$c$	0.11 (Ton/m <sup>2</sup> )
$c$	1.14 Kpa
$\phi$	32.91 Grados

**Ilustración No.32- Factor de Seguridad**

## V- CONCLUSIONES, Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.

### 5.1. Conclusiones

Como conclusiones de este trabajo de grado se puede afirmar:

- Se halló una problemática social y se evidenció la necesidad de generar un mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento dado que la zona de estudio carecía de información y no se habían realizado estudios anteriores a profundidad del tópico de deslizamientos. [6]
- Se comprobó que los Sistemas de Información Geográficos contribuyen a la toma de decisiones relacionadas con la prevención y mitigación de desastres, Al evidenciar el problema planteado en el trabajo de grado en la sección 1.2, se buscó concientizar a la población vulnerable de la necesidad de desplazarse a un lugar más seguro para residir y evitar posteriores complicaciones ante una eventual catástrofe generada por un deslizamiento. [3]
- Se puede manifestar que el Sistema de Información Geográfico diseñado es una herramienta que aún tiene trabajo por complementar y gracias a su funcionalidad, se pueden realizar estudios a profundidad aplicados a las ciencias naturales, donde se puedan describir otros tipos de variables y escenarios.
- El trabajo de grado desarrollado reafirma el apoyo a los procesos de consulta de información georreferenciada. Se hizo uso de un conjunto de capas de información de distinta índole que mediante herramientas de tecnología relacionadas permitió generar un mapa de fácil entendimiento con información enriquecida.
- El mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento beneficia a la comunidad, evitando que la misma sea víctima de un evento de remoción en masa.
- El trabajo de grado ratifica que se deben seguir implementando los Sistemas de Información Geográfica en el ámbito web buscando el desarrollo de proyectos

en pro de la comunidad, esto, debido a la aceptación y masificación que un SIG puede tener dentro de la ciudad de Bogotá D.C.

- Los criterios o parámetros computados en el Sistema de Información Geográfica diseñado dependieron en gran medida de la información provista y de su procesamiento desarrollado por el departamento de Ingeniería Civil.
- La aplicación de una metodología ágil es recomendable para este tipo de análisis y diseño de Sistemas de Información Geográfica debido a que permite al usuario la manipulación de distintas coberturas cartográficas relativas al problema planteado y finalmente la obtención de un resultado que cumpla con los requerimientos establecidos. [34]

## ***5.2. Recomendaciones***

Para trabajos en la misma área temática de SIG recomiendo aprovechar el amplio espectro de herramientas, las facilidades brindadas por la Universidad para llevar a cabo convenios académicos y sobre todo, recomiendo tener en cuenta la cantidad de problemas de índole social que podrían hallar una solución aplicando este tipo de tecnologías.

Además, recomiendo seguir con el avance y publicación de servicios vía web, ya que se demostró la facilidad que se brinda a los usuarios de manejar una aplicación sin requerimientos de software propietario instalados en el computador desde el cual acceden.

## ***5.3. Trabajos futuros***

A futuro sería satisfactorio que el trabajo de grado pueda ser ampliado y completado para su uso en otras localidades de la ciudad de Bogotá D.C. , y si es posible, ampliarlo a otros departamentos, para así convertirlo en una herramienta gubernamental especializada en el tópico de deslizamientos.

Se puede continuar analizando la amenaza por riesgo de deslizamiento de tal modo que se logren ir acoplando datos relevantes al Sistema de Información Geográfico desarrollado en este trabajo de grado y así enriqueciéndolo más.

Al ser un Sistema de Información Geográfico se pueden albergar diversas capas de datos, la idea a futuro, es poder integrar el estudio de las otras líneas vitales de ciencias naturales, con la actualmente desarrollada, para generar un Sistema de Información Geográfico integral que pueda proveer mapas y a futuro pueda ser mostrado ante las entidades públicas para apoyar procesos de toma de decisiones y realización de

acciones preventivas, todo esto, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población residente en la zona.

A futuro, el SIG puede ser ampliado con información de zonas de edificabilidad, vistas en 3D y mejoramiento integral de barrios, lo cual resultaría útil ayudar en la organización y gestión de información llevada a cabo por las entidades de gobierno como por ejemplo lo es la Secretaría Distrital de Planeación.

Adicional a esto, como se establece en las recomendaciones, el ámbito social presenta variadas oportunidades para el desarrollo de proyectos en pro y beneficio de la comunidad, especialmente en el sector PROSOFI.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Periódico El tiempo, Abril 2011, Crónica: “Deslizamientos en la Localidad de Usme”.

*[http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW\\_NOTA\\_INTERIOR-9210520.html](http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-9210520.html)*

[2] Revista el Espectador, Junio 2011, Artículo: “Usme, la localidad con mayor incremento de derrumbes de tierra”- Junio de 2011.

*<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/articulo-278668-usme-localidad-mayor-incremento-de-derrumbes-de-tierra>*

[3] Propuesta de Trabajo de grado James García, Pontificia Universidad Javeriana

[4] DANE, Bogotá, Colombia 2010, “Como vamos Bogotá”, Fundación Corona.

*<http://veeduriadistrital.gov.co/es/grupo/g303/ATT1236011013-1.pdf>*

[5] Angélica Reyna, “El uso de los sistemas de información geográfica (SIG) en el análisis demográfico de situaciones de desastre” .

*[http://www.eclac.org/publicaciones/xml/8/27108/lcg2300-P\\_6.pdf](http://www.eclac.org/publicaciones/xml/8/27108/lcg2300-P_6.pdf)*

[6] PROSOFI, Programa social y empresarial universitario, Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia.

*[http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/pla\\_facultad/Prosofi](http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/pla_facultad/Prosofi)*

[7] Maria José Garcia Rodríguez, Universidad de Alcalá. “Metodologías para la evacuación de peligrosidad a los deslizamientos inducidos por terremotos”.

*[http://redgeomática.rediris.es/andes/htmls/pdf/Tesis\\_MJGR\\_2009.pdf](http://redgeomática.rediris.es/andes/htmls/pdf/Tesis_MJGR_2009.pdf)*

[8] García Rodríguez, M. J. Morillo, M.C., Benito, B. “Evaluación de la Peligrosidad de Deslizamientos de laderas empleando Técnicas de Regresión Logística Hazard Assessment of earthquake triggered landslides using logistic regression techniques” .

*[http://oa.upm.es/3501/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_55139.pdf](http://oa.upm.es/3501/1/INVE_MEM_2008_55139.pdf)*

[9] Research Centre, European Commission, 21020 Ispra (VA), V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables Madrid, 27 - 30 Noviembre 2001 “Evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos mediante el uso conjunto de SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio, aplicación al barranco de Tijana (Gran Canaria)”.

[http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/landslides/Documents/Hervas\\_Barredo\\_2001\\_Madrid.pdf](http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/landslides/Documents/Hervas_Barredo_2001_Madrid.pdf)

[10] Roa José Gregorio Á. ,Venezuela. 17 de Enero del 2006. “Aproximación al Mapa de Susceptibilidad y Amenazas por Deslizamientos de la Ciudad de Trujillo, Venezuela”.

<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/17651/2/articulo8.pdf>

[11] Oswaldo Padilla. Laboratorio de Geomática. “Análisis y modelamiento de susceptibilidad a deslizamientos mediante SIG y geoestadísticas en las parroquias de Papallacta y Cuyuja , cantón de quijos”. Sangoquí Ecuador.

[http://ideespe.espe.edu.ec/uploads/datos\\_fundamentales/AMSDSIGGPPCCQ.pdf](http://ideespe.espe.edu.ec/uploads/datos_fundamentales/AMSDSIGGPPCCQ.pdf)

[12] CI, “SIG sobre Mapa de Riesgos de Deslizamiento de Rumania, Cartografía”. 2005

[http://www.cartografia.cl/beta/index.php?option=com\\_content&view=article&id=124:sig-sobre-mapa-de-riesgos-de-deslizamiento-de-rumania&catid=49:sig&Itemid=157](http://www.cartografia.cl/beta/index.php?option=com_content&view=article&id=124:sig-sobre-mapa-de-riesgos-de-deslizamiento-de-rumania&catid=49:sig&Itemid=157)

[13] Biblioteca Luis Ángel Arango del Banco de la República, Artículo: “Sistemas de Información Geográfica.

<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/geografia/geo42.htm>

[14] María Evangelina Chávez, Área disciplinar, “Geografía Introducción al concepto de geolocalización”. Escritorio Docente.

[http://escritoriocentres.educ.ar/datos/Introduccion\\_geolocalizacion\\_google\\_earth.html](http://escritoriocentres.educ.ar/datos/Introduccion_geolocalizacion_google_earth.html)

[15] Ing, Álvaro Puentes Molina, “Introducción a los Sistemas de Información Geográfica”.

<http://www.slideshare.net/AlvaroPuentesMolina/00-gis-introduccion>

[16] Maria Cecilia Rubí, Artículo: “Sistemas de Información Geográfica”.

<http://www.scribd.com/doc/41260028/SISTEMA-DE-INFORMACION-GEOGRAFICA>

[17] Universidad de Piura, Perú, CAPÍTULO I, Libro: “Los sistemas Información Geográfica”.

*[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_143\\_147\\_95\\_1333.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_143_147_95_1333.pdf)*

[18] Que hace un Sig con la información, Universidad Nacional, Facultad de Ingeniería civil

*<http://www.unal.edu.co/siamac/sig/publica/SIG1.pdf>*

[19] Juan Carlos Valdés Quintero, Slides: “Introducción a los SIG”, Especialización en geoinformática y medio ambiente.

*[http://antares.udea.edu.co/descargas/Juan/SIG\\_INER/U%20de%20A\\_SIG\\_SESION\\_1\\_Introduccion.pdf](http://antares.udea.edu.co/descargas/Juan/SIG_INER/U%20de%20A_SIG_SESION_1_Introduccion.pdf)*

[20] Isaías Pixtún, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, departamento de Ingeniería Civil , Aplicación de SIG en la integración de estudios de vulnerabilidad sísmica, estructural en Guatemala .

*[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2817\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2817_C.pdf)*

[21] Miguel M. Piattini, “Concepción y Diseño de Bases de Datos”, (Referido por Galeano, 1997).

[22] Secretaria Distrital de Medio Ambiente, Convenio 544.

*<http://www.ensode.net/pdf-crack.jsf>*

[23] Universidad Nacional de Educación a Distancia, Manual: “Modelos de referencia para el cálculo de cimentaciones y elementos de contención”.

*[http://www.uned.es/dpto-icf/mecanica\\_del\\_suelo\\_y\\_cimentaciones/images/mecansueloycimentaciones\\_anejoA.pdf](http://www.uned.es/dpto-icf/mecanica_del_suelo_y_cimentaciones/images/mecansueloycimentaciones_anejoA.pdf)*

[24] Luis Bañón Biasquéz, Artículo; “Estabilidad de Taludes”.

*[http://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_%20carreteras/02010301.pdf](http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010301.pdf)*

[25] Sección de Ingeniería, Geological Society Professional, Artículo: “Suelos residuales tropicales”.

*[http://www.academia.edu/1313528/SUELOS\\_RESIDUALES\\_TROPICALES](http://www.academia.edu/1313528/SUELOS_RESIDUALES_TROPICALES)*

[26] Alba Liliana Martínez Zárata y Armando Pobeda Beltrán, 2008, Convenio 554: “Sistemas de información geográfica para la información geográfica para la determinación de zonas de riesgo por flujos de inundaciones en la cuenca”.

*<https://www.dropbox.com/sh/k5cb5lfdwugv43b/wD-pQJcMkS/Capitulo%204%20MARCO%20TEORICO.pdf>*

[27] Instituto Nacional de defensa civil : “Estudios y evaluación de riesgos , manual básico para la estimación”, Lima - Perú, 2006

*[http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319\\_contenido.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319_contenido.pdf)*

[28] Colección FAO, Volumen 21/1, “Medición de ángulos verticales y de pendientes”.

*[ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6707s/x6707s04.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x6707s04.htm)*

[29] SE-C Cimientos, Sección 6.3.3.2.3: “Deslizamientos”

*[http://www.uhu.es/josemiguel.davila/misficheros/08%20CTE\\_Parte202\\_DB\\_SE-C\\_20\\_marzo\\_2006-2\\_Paginas79a160.pdf](http://www.uhu.es/josemiguel.davila/misficheros/08%20CTE_Parte202_DB_SE-C_20_marzo_2006-2_Paginas79a160.pdf)*

[30] Tesis Doctorals en Xarxa, trabajo de grado: “Peligrosidad de deslizamientos activados por terremotos”.

*<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6225/04CAPITULO6.pdf;jsessionid=8EC EB33865BD109582CD52AD3186FAD6.tdx2?sequence=5>*

[31] Universidad Nacional de La Plata, Capítulo 3, Libro: “La Ingeniería de Software”

[32] Michael Feathers, Prentice Hall, Libro: “El ciclo de vida de un sistema de información”.

*<http://elvex.ugr.es/idbis/db/docs/lifecycle.pdf>*

[33] Ciclo de vida del software, Sistema de Información Kioskea

*<http://es.kioskea.net/contents/223-ciclo-de-vida-del-software>*

[34] Proyecto ágiles.org , “¿Qué es SCRUM?”.

*<http://www.proyectosagiles.org/que-es-scrum>*

[35] Jose Salcido, Instituto tecnológico de Sonora, Artículo: “¿Qué es SCRUM?”



***<http://www.slideshare.net/jose152/scrum-calidad>***

[36] Pedro Concepción Nova, República Dominicana, Artículo: “Planificación de proyectos de software”.

***<http://www.e-mas.co.cl/categorias/informatica/analisisyd.htm>***

[37] Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, “Sistemas de apoyo para la toma de decisiones”

***<http://repositorio.upse.edu.ec:8080/bitstream/123456789/17/1/dss%20gdss.docx>***

[38] FOPAE, Enero 2010, Artículo: “Los deslizamientos”.

***<http://www.fopae.gov.co/portal/page/portal/fopae/remocion/queHacer.pdf>***

[39] Biblioteca Virtual Luis Ángel Arango, Sección Geografía, Tópico: “Sistemas de Información Geográfica”.

***<http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/geografia/geo42.htm>***

[40] Victor Nariño, Consultoría de software, 30 de Noviembre de 2011. Artículo: “Que es SCRUM”.

***<http://www.optimus-software.com/noticias/2011/11/30/ventajas-del-scrum/>***

[41] Portal de GeoInformación, CONABIO, Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad, Méjico, 2012.

***<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>***

[42] García Rodríguez, M.J., Benito, B. , Malpica, J. A. , Geodesia y Cartografía, “Evaluación de la peligrosidad a los deslizamientos empleando técnicas de regresión logística”, Universidad Politécnica de Madrid.

***[http://redgeomatica.rediris.es/sismo/pdf/pub\\_052.pdf](http://redgeomatica.rediris.es/sismo/pdf/pub_052.pdf)***

[43] Geospacial, “Comparación entre Geomedia y ArcGIS”, 2008.

***<http://geofumadas.com/entre-geomedia-y-gvsig/>***

[44] Informe CEPAL, “El uso de los sistemas de información geográfica (SIG) en el análisis demográfico de situaciones de desastre”.

***[http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/27108/lcg2300-P\\_6.pdf](http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/27108/lcg2300-P_6.pdf)***

[45] Diccionario DicLib, definición de Coeficiente de Seguridad

[http://www.diclib.com/coeficiente%20de%20seguridad/show/es/es\\_wiki\\_10/30466](http://www.diclib.com/coeficiente%20de%20seguridad/show/es/es_wiki_10/30466)

[46] J. M Hodgson , Barcelona, España- Libro: “Muestreo y descripción de suelos”.

[http://books.google.com.co/books?id=Gge-HNCUwXYC&pg=PA57&lpg=PA57&dq=Peso++del+suelo+h%C3%BAmado&source=bl&ots=9aobUIz\\_d9&sig=gnR0-cBy3DB-baCBpplt95uCjbl&hl=es&sa=X&ei=hL0qUemUNIEk8AT9iIDwDg&sqi=2&ved=0CEwQ6AEwBg#v=onepage&q=Peso%20%20del%20suelo%20h%C3%BAmado&f=false](http://books.google.com.co/books?id=Gge-HNCUwXYC&pg=PA57&lpg=PA57&dq=Peso++del+suelo+h%C3%BAmado&source=bl&ots=9aobUIz_d9&sig=gnR0-cBy3DB-baCBpplt95uCjbl&hl=es&sa=X&ei=hL0qUemUNIEk8AT9iIDwDg&sqi=2&ved=0CEwQ6AEwBg#v=onepage&q=Peso%20%20del%20suelo%20h%C3%BAmado&f=false)

[47] Álvaro J. González G., Ingeniero Civil U.N., M.Sc., Escuela Colombiana de Ingeniería, V Encuentro de suelos y estructuras, 2009, Paper : “Factores de Seguridad”.

<http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/FACTORES-DE-SEGURIDAD-BASICOS-E-INDIRECTOS-AJGG2.pdf>

[48] Aplicación del método de Newmark para el estudio de los movimientos de ladera activados por terremotos en Andorra, VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables - Valencia, 21-24 de Junio de 2005.

[http://www.igc.cat/pdf/pubtec/2005\\_2006/2005\\_figueras\\_etal\\_aplicacion.pdf](http://www.igc.cat/pdf/pubtec/2005_2006/2005_figueras_etal_aplicacion.pdf)

[49] Lizzete Gabriela Hermosa, Marco Javier Avilés, Oswaldo Padilla Almeida, “Análisis y modelamiento de susceptibilidad a deslizamientos mediante Sistemas de Información Geográfica y Geoestadística en Cantón-Quijos, El Salvador”.

[http://geogra.uah.es/1\\_cong\\_honduras/docs/ponencias\\_pdf/ponen3\\_pdf/P3\\_5/P3\\_5-ANALISIS\\_MODELAM.pdf](http://geogra.uah.es/1_cong_honduras/docs/ponencias_pdf/ponen3_pdf/P3_5/P3_5-ANALISIS_MODELAM.pdf)

[50] Carlos Eduardo Estupiñán, “Sistema de Información Geográfica sobre Mapa de Riesgos de Deslizamiento de Rumania”, 31 Agosto de 2010.

[http://www.cartografia.cl/beta/index.php?option=com\\_content&view=article&id=124:sig-sobre-mapa-de-riesgos-de-deslizamiento-de-rumania&catid=49:sig&Itemid=157](http://www.cartografia.cl/beta/index.php?option=com_content&view=article&id=124:sig-sobre-mapa-de-riesgos-de-deslizamiento-de-rumania&catid=49:sig&Itemid=157)

[51] Oficina de Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres, “¿Qué es el riesgo?”

<http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page9-spa.pdf>

[52] Roa José Gregorio Á., Venezuela. 17 de Enero del 2006. “Aproximación al Mapa de Susceptibilidad y Amenazas por Deslizamientos de la Ciudad de Trujillo, Venezuela”.

<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/17651/2/articulo8.pdf>

[53] Cees van Westen International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, The Netherlands, “Uso de los SIG en el mapeo de deslizamientos”

***<http://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Presentaciones%20Powerpoint/04%20Amenaza%20por%20Deslizamientos/Us%20de%20SIG%20en%20el%20mapeo%20de%20Deslizamientos.pdf>***

[54] Arquitecto Ramón Hernández Moreno - Arquitecto Alberto Espinosa Zertuche, “Importancia de los Sistemas de Información Geográfica”.

***<http://seia.guanajuato.gob.mx/panel/document/phpver.php?Id=1221>***

## **ANEXOS**

ANEXO 1. INVENTARIO DE INFORMACIÓN

ANEXO 2. ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE (SRS)

ANEXO 3. DOCUMENTO DE LA ARQUITECTURA DE SOFTWARE (SAD)

ANEXO 4. INFORME DE PRUEBAS

ANEXO 2

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES

(Licencia de uso)

Bogotá, D.C., 7-02-2014

Señores

Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.

Pontificia Universidad Javeriana

Cuidad

Los suscritos:

Nicole Andrea García Ramos

, con C.C. No

1.072.661.1112

En mi (nuestra) calidad de autor (es) exclusivo (s) de la obra titulada:

Mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento

(por favor señale con una "x" las opciones que apliquen)

Tesis doctoral

Trabajo de grado

Premio o distinción:

Si

No

cual:

presentado y aprobado en el año

\_\_\_\_\_

, por medio del presente escrito autorizo

(autorizamos) a la Pontificia Universidad Javeriana para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mi (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autorizan a la Pontificia Universidad Javeriana, a los usuarios de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J., así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado un convenio, son:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la sala de tesis y trabajos de grado de la Biblioteca.	X	
2. La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca)	X	
3. La consulta electrónica - on line (a través del catálogo Biblos y el Repositorio Institucional)	X	
4. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer	X	
5. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet	X	
6. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previo convenio perfeccionado con la Pontificia Universidad Javeriana para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

De manera complementaria, garantizo (garantizamos) en mi (nuestra) calidad de estudiante (s) y por ende autor (es) exclusivo (s), que la Tesis o Trabajo de Grado en cuestión, es producto de mi (nuestra) plena autoría, de mi (nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy (somos) el (los) único (s) titular (es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Pontificia Universidad Javeriana por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Pontificia Universidad Javeriana está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA: Información Confidencial:**

Esta Tesis o Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de una investigación que se adelanta y cuyos

resultados finales no se han publicado.

Si

No

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

NOMBRE COMPLETO	No. del documento de identidad	FIRMA
Nicole Garcia Ramos	1.072.661.1112	Nicole GR

FACULTAD: Ingeniería de Sistemas

PROGRAMA ACADÉMICO: Ingeniería de Sistemas



**ANEXO 3**

BIBLIOTECA ALFONSO BARRERO CABAL, S.J.

**DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO**

**FORMULARIO**

<b>TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS DOCTORAL O TRABAJO DE GRADO</b>	
Mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento	
<b>SUBTÍTULO, SI LO TIENE</b>	
<b>AUTOR O AUTORES</b>	
<b>Apellidos Completos</b>	<b>Nombres Completos</b>
Garcia Ramos	Nicole Andrea
<b>DIRECTOR (ES) TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO</b>	
<b>Apellidos Completos</b>	<b>Nombres Completos</b>
López	Francisco Javier

FACULTAD						
Ingeniería						
PROGRAMA ACADÉMICO						
Tipo de programa ( seleccione con "x" )						
Pregrado	Especialización	Maestría	Doctorado			
X						
Nombre del programa académico						
Ingeniería de Sistemas						
Nombres y apellidos del director del programa académico						
Germpan Alberto Chavarro Florez						
TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:						
PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):						
TIPO DE ILUSTRACIONES ( seleccione con "x" )						
Dibujos	Pinturas	Tablas, gráficos y diagramas	Planos	Mapas	Fotografías	Partituras
x		X				

**SOFTWARE REQUERIDO O ESPECIALIZADO PARA LA LECTURA DEL DOCUMENTO**

**Nota:** En caso de que el software (programa especializado requerido) no se encuentre licenciado por la Universidad a través de la Biblioteca (previa consulta al estudiante), el texto de la Tesis o Trabajo de Grado quedará solamente en formato PDF.

**MATERIAL ACOMPAÑANTE**

TIPO	DURACIÓN (minutos)	CANTIDAD	FORMATO		
			CD	DVD	Otro ¿Cuál?
Vídeo					
Audio					
Multimedia					
Producción electrónica					
Otro Cuál?					

**DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL E INGLÉS**

Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. *(En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Sección de Desarrollo de Colecciones de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J en el correo [biblioteca@javeriana.edu.co](mailto:biblioteca@javeriana.edu.co), donde se les orientará).*

## RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL

(Máximo 250 palabras - 1530 caracteres)

Con el transcurso de los años los Sistemas de Información Geográfica (también denominados SIG por sus siglas en español) se han posicionado como sistemas de apoyo en la toma de decisiones haciendo uso de un conjunto de procedimientos y herramientas interrelacionadas que permiten capturar, procesar, almacenar y distribuir información geográfica. [6]

En la actualidad, el país cuenta con herramientas SIG que apoyan el tema de desastres naturales pero ninguna herramienta especializada en el tema de amenazas por riesgo de deslizamiento. Algunas entidades como el Fondo de Prevención y atención de desastres (FOPAE) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi ofrecen alternativas web para consultas y servicios de mapas cartográficos.[7]

Gracias a esto, surgió una oportunidad para modelar un mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento que desplegara información correspondiente al fenómeno de remoción en masa.

Las fases desarrolladas dentro del trabajo de grado fueron las siguientes:

1) La recopilación de información disponible en la fase de concepto, 2) El análisis de la información recopilada y la redacción de requerimientos del sistema en la fase de análisis, 3) El diseño del sistema y establecimiento de herramientas para el desarrollo del mismo en la fase de diseño, 4) La construcción e implementación del sistema en la fase de desarrollo, 5) La validación del mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento en la fase de validación.

### **1) Fase de concepto**

La primera fase metodológica se basa en el levantamiento y captura de datos a través de diversas fuentes de información.

### **2) Fase de análisis**

En esta fase fueron seleccionados los parámetros más importantes de la información recopilada en la anterior fase. A su vez, se establecieron los requerimientos del Sistema de Información Geográfica.

### **3) Fase de diseño**

En esta fase se definió la arquitectura del sistema y fueron establecidas las herramientas para su desarrollo.

#### **4) Fase de implementación**

En esta fase se llevó a cabo el cargue, edición y acoplamiento de las capas de información georreferenciada para su posterior visualización web.

#### **5) Fase de validación**

En esta fase se aplicó un plan de pruebas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, la confiabilidad de los datos y el cumplimiento de los requerimientos planteados.

Luego de la ejecución de las fases planteadas durante el desarrollo del trabajo de grado, los resultados del mismo dieron solución a la problemática definida, cumpliendo así los objetivos establecidos en la propuesta de trabajo de grado.

En este trabajo se propone la aplicación de un método de evaluación directo bajo una metodología rápida y consistente, que arroje información relevante acorde a los requerimientos concretados con el usuario.

Como caso de estudio se seleccionó un área montañosa urbana en la ciudad de Bogotá, Colombia: La localidad de Usme, la cual se halla en ubicada en el suroriente de la capital. Limita al norte con las localidades de Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe y San Cristóbal, al nororiente con la localidad de San Cristóbal, al oriente con los municipios de Ubáque, Chipaque, Une y Fosca, al occidente con la localidad de Ciudad Bolívar y al sur con la localidad de San Juan de Sumapaz. Su extensión total es de 21.556 hectáreas (216 Km<sup>2</sup>). [4]

Al realizar un estudio sobre las zonas que representan una amenaza potencial por deslizamiento en cada una de las localidades de la capital, la Contraloría de Bogotá determinó que Usme es el área de la ciudad con mayor disposición y exposición al aceleramiento e incremento de los movimientos en masa que afectan la seguridad de los habitantes, la infraestructura urbanística y la de servicios públicos. [2]

El mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento implementado pertenece al grupo de investigación Istar, área de estudio que ha empleado el uso de tecnologías tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la implementación de proyectos sociales en conjunto con PROSOFI (programa social de la facultad de ingeniería).

Por último, este trabajo de grado se convierte en un aporte a la sistematización de servicios a entidades gubernamentales, buscando ser un medio para impulsar el uso de tecnologías SIG en el país en procesos relativos a toma de decisiones

