

# DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO POR DESLIZAMIENTOS EN LA COMUNA 20 DEL MUNICIPIO DE CALI, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Diego Duque Arango\*

\* Profesor Escuela de Ingeniería Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería - Universidad del Valle

## RESUMEN

El presente artículo describe el desarrollo y los resultados de un proyecto de investigación llevado a cabo por el Ingeniero Andrés Vallejo, bajo la dirección del autor, cuyo propósito general fue aplicar un modelo que permitiera definir las áreas potenciales de deslizamientos de tierra en la Comuna 20 del Municipio de Cali, mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG). En este estudio se trabajó con un nivel de precisión detallado (cartografía 1:1000 y 1:2000), empleando el método de Análisis Determinativo de Riesgos por Deslizamiento.

## ABSTRACT

This paper describes the results and developments of a research project carried out by Engineer Andrés Vallejo, under the author's direction. The general purpose is to apply a model which leads to define the potential areas of land slide at the Comuna 20 in Cali using a GIS. This study was made with a detailed precision level (cartography 1:2000), using the Method of Analysis for estimating the Risk of Land slide.

## INTRODUCCIÓN

Un fenómeno que se presenta en numerosas zonas montañosas es el deslizamiento o movimiento de grandes extensiones de tierra que producen graves problemas, sobre todo si estos interfieren con el desarrollo normal de la población. La frecuencia y la magnitud de las fallas por pendiente aumentan debido a la actividad humana, como la deforestación o expansión urbana. En países en vía de desarrollo este problema es crítico debido a la poca atención en la conservación de los recursos naturales.

Conocer e identificar las zonas amenazadas por la ocurrencia de un desastre natural es muy útil para poder trazar planes y tomar decisiones acerca de cómo se pueden prevenir o por lo menos minimizar sus consecuencias desfavorables.

Hacer un estudio de riesgos por deslizamiento puede llegar a ser demasiado complicado, pues las técnicas de análisis son muy costosas y demoradas en el tiempo. El incremento de la utilización de computadoras en este tiempo, nos da la oportunidad de tener estudios más detallados y mucho más rápidos. Es por eso que este estudio se realizó utilizando la ayuda relativamente nueva, que maneja bases de datos relacionadas geográficamente, dicho manejo de datos se conoce como Sistema de Información Geográfica (SIG).

## SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Una definición sencilla y descriptiva de un Sistema de Información Geográfica (SIG) es: "Un SIG es un sistema computarizado capaz de almacenar y usar datos para describir lugares de la superficie de la Tierra" (Understanding GIS, ESRI). O empleando un lenguaje más técnico, un SIG es un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados por coordenadas espaciales o geográficas y sus correspondientes datos no espaciales o alfanuméricos.

Numerosos programas de computadoras, como hojas electrónicas, paquetes estadísticos o programas de dibujo, pueden manejar datos geográficos o alfanuméricos separadamente. Los programas de GIS permiten trabajar los datos alfanuméricos como atributos de los datos espaciales, permitiendo así facilidades en el despliegue y búsqueda de información.

Un SIG está compuesto por cinco subsistemas (Arnoff, 1989):

- \* *Subsistema de adquisición de datos:* se encarga de la transformación de los datos desde su forma existente (analógica o electrónica) a una que pueda ser usada por el SIG. El proceso de adquisición de datos usualmente involucra la interpretación de imágenes aeroespaciales, observaciones de campo y recopilación de información existente.
- \* *Subsistema de base de datos:* describe una colección de entidades que tienen una ubicación permanente sobre el mismo espacio global, dimensionado. Normalmente es una mezcla de tipo de entidades espaciales y no espaciales que podrían cambiar con el tiempo.
- \* *Subsistema de manejo de datos:* almacena, recupera y organiza los datos requeridos para

producir información útil. Dentro de un sistema de datos se manejan diferentes tipos de datos: puntuales, lineales y superficiales.

- \* *Subsistema de análisis y modelamiento:* se encarga de las operaciones de análisis necesarias para satisfacer los requerimientos de un problema específico. Por ejemplo: el cálculo de áreas o distancias y la comparación de múltiples, complejos y sofisticados modelos matemáticos que pueden ser utilizados en simulación.
- \* *Subsistema de salida de datos:* permite la impresión de reportes o resultados procesados en el sistema.

### **SIG empleados**

Para el desarrollo de este estudio se emplearon el software ILWIS versión 1.31 y ARC/INFO, existentes en la Escuela de Ingeniería Civil y Geomática de la Universidad del Valle.

ILWIS (Integrated Land and Water Information System) es un SIG desarrollado por el International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) de Holanda, orientado al desarrollo y planificación de los recursos de agua y tierra bajo el contexto de cuencas hidrográficas. Para este estudio fue necesario crear rutinas y programas que permitieran condicionar ciertos módulos del programa para el estudio de inestabilidad de taludes. Este software está constituido principalmente por tres módulos: Módulo Vector, Módulo Raster y Módulo de Tablas.

ARC/INFO es un SIG desarrollado por el Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI) de Redlands, California, que contiene herramientas para automatizar, analizar, desplegar y manipular datos geográficos.

## **ANÁLISIS DETERMINATIVO DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTOS DE TIERRA**

Este método pretende expresar el grado de riesgo que presenta un lugar determinado bajo ciertas condiciones de drenaje y sismo. Con este método se calcula el factor de seguridad basado en las características geofísicas que presentan los diferentes tipos de estratos en la zona (gravedad específica, resistencia al corte, contenido natural de humedad, condiciones de presión de poros esperadas en las superficies de falla) combinándolos con las características de pendiente del suelo. Para este análisis es preciso conocer la estratigrafía del terreno y el comportamiento del nivel freático en la zona.

Existen en la actualidad muchos métodos para determinar los factores de seguridad de un talud. En este estudio se trabajó con modelos y procedimientos establecidos para el estudio de estabilidad de taludes infinitos.

### **COMUNA 20**

La Comuna 20 está localizada en la parte sur occidental de la ciudad de Cali y abarca la zona de ladera y piedemonte, como se observa en la Figura 1. Está conformada por los barrios El Cortijo, Belisario Caicedo, Siloé, Lleras Camargo, Belén, Brisas de Mayo, Tierra Blanca, Cañaveralejo Norte, Venezuela y Parcelación Mónaco.

La Comuna 20 fue escogida para este estudio debido al riesgo potencial que presenta la zona frente a desastres naturales consecuencia de la topografía del terreno, el crecimiento subnormal y ausente de planeación, el mal manejo de las aguas servidas y las conexiones ilegales a la red de acueducto que generan infiltraciones en el suelo. Además, debido a que se cuenta con suficiente información sobre los tipos de suelo, geología, geomorfología y fotos aéreas, resultado de estudios previos realizados por Planeación Municipal y EMCALI.



Figura 1: Comuna 20

### Aspectos Geológicos

Los aspectos geológicos tomados para este estudio fueron levantados directamente en campo, buscando puntos que permitieran ver la estratigrafía y espesores de las capas sobre cortes, derrumbes, quebradas y zanjones. Otras fuentes de información fueron Planeación Municipal y el Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano (O550).

### Sismicidad Regional

El occidente colombiano se resalta como la región sísmica y tectónica más activa y compleja del país, debido a la influencia de tres grandes fuentes sismogénicas (Meyer, 1983), a saber: Franja de Subducción, Zona de Wadati-Benioff y las fallas continentales de los sistemas Cauca y Romeral.

### Aspectos Geomorfológicos

El estudio geomorfológico permitió conocer

aspectos de la zona de estudio, necesarios para la identificación y mapeo de las zonas con alto riesgo. Se tomaron en cuenta factores como pendientes, hidrología, unidades geomorfológicas, erosión y tipos de suelo.

### Áreas de Riesgo

A continuación se describen, de manera general, las condiciones de cada zona homogénea, haciendo referencia a su ubicación y a las condiciones observadas en la actualidad.

#### *Zonas de bajo riesgo*

Las pendientes en gran parte de estos sectores varían entre planas y moderadas. En general, presentan calles pavimentadas y sistemas de acueducto y alcantarillado en funcionamiento. Las condiciones geológicas son buenas y los procesos erosivos son de baja magnitud.

Los riesgos naturales que podrían presentarse en estas zonas corresponden principalmente a riesgo sísmico, inundaciones y eventuales desprendimientos de masas de las partes superiores (INCOL, 1994).

#### *Zonas de moderado riesgo*

En estas zonas las pendientes varían entre altas a escarpadas, los suelos residuales son poco cohesivos y por el efecto de aguas superficiales se van lavando, generando la aparición de cárcavas, reptaciones y, en algunos casos, surcos con deslizamientos potenciales. En general, las vías no se encuentran pavimentadas y el sistema de acueducto y alcantarillado es insuficiente. Algunas viviendas han sido bien construidas, pero en la mayoría de los casos presentan deficiencias en su cimentación.

Los riesgos naturales que amenazan a este tipo de zonas corresponden principalmente al socavamiento de cauces y orillas, movimientos

de reptación y eventualmente movimientos de masas provenientes de las zonas de alto riesgo.

### *Zonas de alto riesgo*

Se caracterizan por presentar pendientes muy pronunciadas, escarpes y actividad hídrica superficial constante.

En estas zonas se presentan procesos erosivos de gran magnitud, observándose deslizamientos activos, desprendimiento de grandes bloques de roca y cicatrices de deslizamientos que han tenido lugar en diferentes épocas.

Estas zonas también presentan depósitos de suelo poco consolidado y en gran parte saturados por la influencia de la intensa actividad hídrica. Además de las condiciones físicas encontradas, estas zonas se caracterizan por una alta densidad de viviendas que en general carecen de servicios de acueducto y alcantarillado, lo cual incide notoriamente en la progresiva desestabilización de las laderas por el inadecuado manejo de las aguas para consumo humano y aguas servidas.

Muchas de estas zonas son de invasión y están siendo constantemente afectadas por el continuo terrajeo para la habitación de lotes. Las viviendas son construidas sin ningún criterio urbanístico, apoyadas sobre guadua o madera (INCOL, 1994).

## **MANEJO DEL SIG**

A continuación se presenta el desarrollo de las fases de manejo del SIG que se siguió en este estudio, desde la obtención de los datos de entrada hasta la clasificación de los planos, que son el resultado de este trabajo.

### **Identificación de los Datos de Entrada**

El estudio de inestabilidad de tierras es una tarea que requiere conocimientos multidisciplinarios debido a una gran cantidad de datos y variables

requeridos. Por esta razón, para este estudio se recopiló datos, fotografías y planos de estudios realizados en la zona.

Empleando métodos de fotointerpretación se obtuvieron las principales unidades geológicas con la colaboración del geólogo Luis Eduardo Padilla.

A las muestras tomadas en el terreno mediante métodos de excavación (apiques, trincheras, etc.) o perforación (barrenos), se les practicaron estudios de relación de vacíos, porosidad, peso unitario, resistencia al esfuerzo cortante, granulometría, límites de Atterberg y contenido de humedad. Además, se efectuaron, en sitio, ensayos de penetración estándar y de refracción sísmica.

### **Digitalización Cartográfica**

La digitalización manual de información es el principal método para convertir la información cartográfica en formato digital, para ser procesada por el computador.

Para el área en estudio se digitalizaron dos planchas 1:2000 con curvas de nivel cada 2 metros, restituidas por la empresa SADEC en 1980 a partir de fotografías aéreas tomadas en 1978.

La digitalización se realizó mediante el Módulo "Digitize" del software ILWIS y fue editada posteriormente en AutoCAD.

### **Ingreso de Atributos**

Los atributos fueron escritos en tablas dentro de ILWIS que tienen las columnas y tipo de datos establecidos. Para la alimentación de la base de datos se empleó un procesador de texto que permite exportar los datos como archivos en formato ASCII.

El ingreso de los atributos a las líneas que

representan las curvas de nivel fue ingresado en el momento de realizar la digitalización.

### **Diseño de la Base de Datos**

El diseño de la base de datos debe ser un proceso que se inicia al comienzo del proyecto, ya que indica la forma de tomar los datos de las diferentes fuentes de información y la manera en que se deben organizar los datos para ingresarlos al sistema.

La base de datos gráfica de este estudio comprende todos los tipos de datos manejados por un SIG, es así como se emplean líneas, puntos, polígonos y mapas raster.

La información gráfica que se encuentra en formato raster fue creada empleando un píxel de 2 metros, obteniendo así mapas de 756 columnas por 770 filas. El tamaño del píxel fue asignado debido al tipo de información disponible y al nivel de detalle que se esperaba lograr en este estudio.

### **Interpolación y Clasificación de Planos**

La interpolación de datos es una herramienta empleada por el SIG para generar las características de un lugar determinado empleando datos que se encuentren en su cercanía. Este proceso se realizó empleando el software ARCMINFO.

Después de haber sido interpolados los datos, se procedió a clasificar por rangos para lograr un manejo más claro de estos.

#### *Imágenes de sombras*

Se generó una imagen georeferenciada de la zona que genera una idea de la forma y aspecto del terreno. Las imágenes de sombras fueron generadas a partir de la interpolación del mapa de curvas de nivel y procesadas mediante el filtro SHADOW del Módulo GRID de ARCMINFO.

#### *Plano de cortes y rellenos*

Debido a que la Comuna 20 presenta en su mayoría una topografía complicada, la construcción de viviendas nuevas genera un importante problema como es el desplazamiento de considerables volúmenes de tierra para realizar rellenos o para terraciar alguna zona para acondicionarla.

Para evaluar estos cortes y rellenos se dispone de dos modelos digitales de terreno sobre el área de estudio. Estos fueron producidos por la interpolación de los mapas escala 1:2000.

Es importante destacar que para obtener un dato más cercano y fiel a la realidad se deben realizar comparaciones entre modelos digitales de terreno generados a partir de cartografía restituida con una diferencia mayor a la que se utilizó en este punto.

#### *Plano de unidades geológicas*

A partir de los puntos de observación se generó el mapa de geología general, tomando el campo de la base de datos correspondiente.

Es importante destacar que este mapa es producto de un proceso de interpolación, lo que genera cierto grado de aproximación y desfase.

#### *Plano de ángulo de fricción interna ( $\phi$ )*

Tomando como referencia los datos arrojados por el ensayo triaxial realizado por la empresa INCOL Ltda. en la zona de estudio y según la información existente, se asignaron valores de  $\phi = 20^\circ$  y  $\phi = 26^\circ$  para cada unidad geológica.

#### *Plano pesos unitarios ( $\gamma$ )*

Los valores de pesos unitarios correspondientes a las diferentes formaciones geológicas de la zona fueron tomados con base en los estudios realizados por la firma INCOL Ltda. y la empresa Jorge Paz & Co.



Empleando el Módulo GRID de ARGINFO se creó un mapa de pesos unitarios, asignando los siguientes valores al mapa:  $\gamma=1.6 \text{ T/m}^3$  y  $\gamma=1.9 \text{ T/m}^3$ , para cada unidad geológica.

#### Plano de espesores

Este plano se generó tomando el campo de la base de datos correspondiente al espesor y fue clasificada posteriormente en rangos de menores que 5 metros, entre 5 y 10 metros y mayores de 10 metros (Figura 2).

### FACTORES DE SEGURIDAD

El objetivo final de este estudio es la creación de un mapa cualitativo de riesgo. El grado de riesgo se expresará mediante un factor de seguridad (F5). F5 menores o iguales a 1, representan condiciones de eminente riesgo de deslizamiento. F5 mayores a 1.5 representan que el riesgo es muy poco.

Actualmente se encuentran una amplia gama de modelos para el análisis de inestabilidad de taludes por pendiente, que va desde modelos de pendiente infinita hasta complicados modelos tridimensionales (Graham, 1984).

El único modelo que se puede trabajar tomando como base la información de pixeles, es el modelo de pendiente infinita. Los otros modelos requieren la definición de una superficie potencial de falla, junto con un perfil y que el talud sea dividido en una serie de dovelas. En la Figura 3 se puede observar el Mapa de Factores de Seguridad.

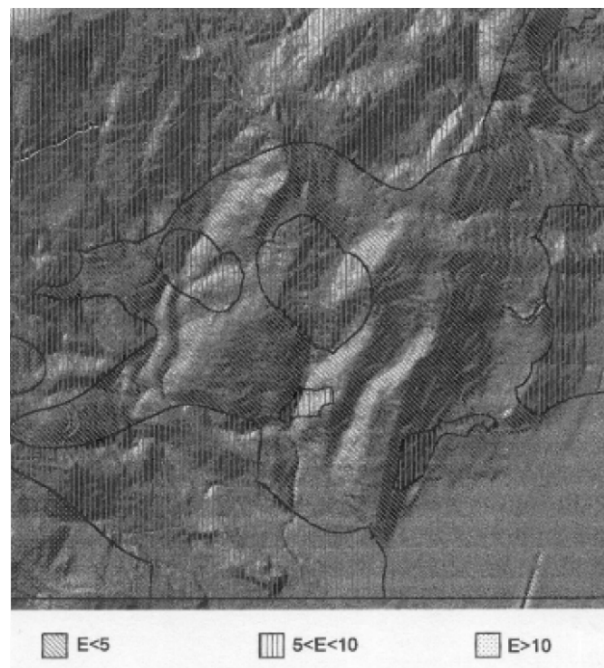


Figura 2: Mapa Espesores

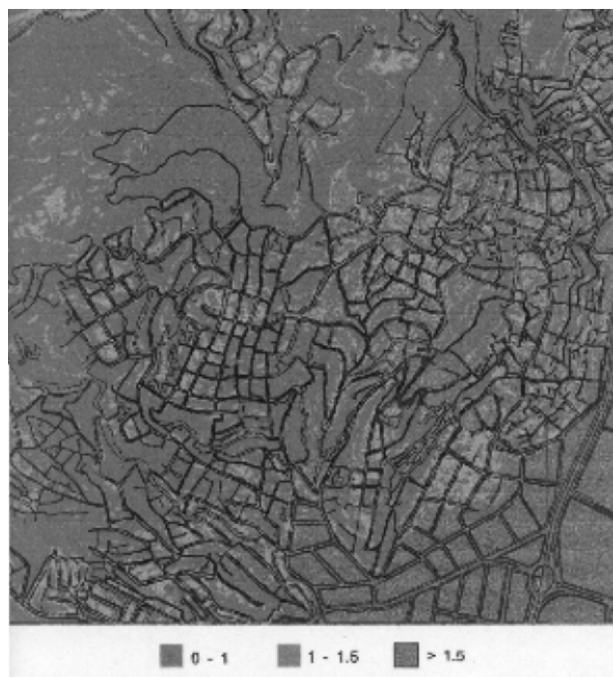


Figura 2: Mapa Factores de Seguridad

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de riesgo por pendiente es un estudio que está sometido a un gran número de aproximaciones y suposiciones para poder acertar al comportamiento del suelo bajo ciertas circunstancias (sismos, lluvias fuertes, etc.). Por esto, para obtener un dato de riesgo detallado, es necesario realizar numerosas pruebas y ensayos de laboratorio para así conocer los tipos de suelo y su resistencia al corte detalladamente. El presente estudio da simplemente una idea de inestabilidad de pendientes bajo un evento sísmico.

El uso de herramientas SIG permite eliminar la subjetividad durante el análisis de los mapas de entrada, permitiendo que el usuario se concentre más en reducir los errores durante la fase de entrada de datos.

En el Mapa de Factores de Seguridad se puede observar que el 36.4% de la zona se encuentra clasificada como de alto riesgo. Esto resalta la necesidad que existe de planificar y realizar estudios similares detallados de la zona para determinar exactamente los lugares críticos que puedan ser adecuados mediante obras civiles u otra solución.

Para realizar un mapa de riesgo con un alto factor de confiabilidad es necesario desarrollar diferentes métodos para así poder ponderar los resultados y obtener un modelo calibrado de riesgo.

## BIBLIOGRAFÍA

- A. Hansen (1984). Landslide Hazards Analysis in Slope Inestability.
- Carrara y Merenda (1974). Metodología Per Un Censimento Degli Evento Franos In Calabria.
- Carrara (1983). Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation.
- Chowdury (1978, 1984). Slope Analysis.
- C. J. Van Westen (1993). Application of geographic informations systems to landslide hazard zonation.
- C.V.C. (1985). Estudio semidetallado de erosión en las cuencas de los ríos Pance, Meléndez, Cali y Aguacatal.
- Fournier D'Albe (1976). Natural disasters. Bulletin International Association of Engineering Geologists. Vol. 14, p. 187.
- Graham J. (1984). Methods of stability analysis.
- Hartlen y Viberg (1988). Evaluation of landslide hazard.
- I.T.C. (1992). Ilwis 1.3 User's Manual.
- Lambe y Whitman (1969). Mecánica de suelos.