

**APLICACIÓN DE MÉTODOS INDIRECTOS PARA EL ANÁLISIS DE  
SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO  
GATUNCILLO, PANAMA**

Por:

Herrera, Lilibeth  
Universidad de Panamá  
[herrera76@hotmail.com](mailto:herrera76@hotmail.com), Panamá

Mena, Yirley  
Universidad de Panamá  
[yirley\\_amenas@yahoo.com](mailto:yirley_amenas@yahoo.com), Panamá

Martínez, Raúl  
Autoridad del Canal de Panamá  
Universidad de Panamá  
[Rmartinez@pancanal.com](mailto:Rmartinez@pancanal.com)

# **APLICACIÓN DE MÉTODOS INDIRECTOS PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO GATUNCILLO, PANAMÁ**

## **RESUMEN**

En este proyecto, proponemos y aplicamos una metodología para determinar la susceptibilidad de deslizamiento de tierra en la SubCuenca del río Gatuncillo basada en metodologías indirectas desarrolladas en nuestro país y en otras partes de la región centroamericana. Se establecieron los factores condicionantes y desencadenantes más importantes que inciden en los procesos de deslizamiento para esa región del país; todas estas variables fueron transformadas en bases de datos geoespaciales con la finalidad de analizarlas y relacionarlas de manera integral. El resultado es una fórmula que concatena todos los factores relacionados la cual es aplicada por medio de un Sistema de Información Geográfica y produce el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierras en la SubCuenca del río Gatuncillo.

### **Palabras claves.**

Deslizamiento de tierra, Métodos determinísticos, Métodos directos, Métodos heurísticos, Sistema de Información Geográfica, Factores condicionantes, Factores desencadenantes, Método Luis Alfaro, Método Mora y Vahrson

## **1. INTRODUCCIÓN**

El deslizamiento de tierra constituye un riesgo geológico de origen natural, que toma en consideración una serie de factores naturales y humanos para determinar los niveles de vulnerabilidad a los que se somete la población ante este tipo de amenaza.

Los deslizamientos de tierra, se han convertido en los últimos años en un tema de gran importancia por los cambios climáticos y ambientales que se están generando en el ámbito global, aunado al rápido crecimiento de la población.

El propósito de esta investigación fue establecer los niveles de susceptibilidad de deslizamiento existente en la Subcuenca del Río Gatuncillo localizada en la Cuenca del Canal de Panamá aplicando métodos indirectos por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El diseño y ejecución en las diferentes fases de la investigación abarcó un trabajo en conjunto con la Unidad de Sensores de Remotos de la Autoridad del Canal de Panamá, quien nos brindó valiosa información relacionada con aspectos físico naturales de esa cuenca así como de su experiencia en el desarrollo de diversos estudios desarrollados en la Cuenca del Canal. También contamos con el apoyo del Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá, de la Universidad Tecnológica de Panamá y de la Dirección de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industria.

## **2. SITUACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS EN PANAMÁ**

Los deslizamientos en Panamá, como en cualquier otro lugar vulnerable a este tipo de amenaza, se ha convertido en un tema de gran importancia, por los grandes cambios climáticos y ambientales en el ámbito global y por el rápido crecimiento de la población en áreas de alto riesgo, sin ningún tipo de planificación ni reglamentación del uso de la tierra.

Según el Ing. Eric Chicaco R. (Octubre, 2001), en la historia de Panamá han ocurrido deslizamientos generados por actividades sísmicas de magnitud de moderada a alta, por lluvias torrenciales intensas y prolongadas, por excavaciones, cortes en áreas de contactos y comportamiento geológico complejo. Algunos de estos han causado muertes, heridos o pérdidas económicas al Canal, al sistema socioeconómico del país y al medio ambiente, sin embargo no han alcanzado los efectos ocurridos como en otros países vecinos.

A pesar de esta situación, son muy pocos los estudios relacionados con susceptibilidades a deslizamiento en nuestro país y menos el uso de metodologías rápidas e información cartográfica que permitan establecer niveles adecuados de información temática y cartográfica relacionada.

## **3. LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA**

En términos generales el "Deslizamiento de tierra" cubre una amplia variedad de formas de tierra y procesos relacionados al movimiento de descenso del suelo y roca por influencia de la gravedad.

Aunque a veces ocurra conjuntamente con terremotos, inundaciones y volcanes, están mucho más diseminados que otras amenazas y con el tiempo causan más daño a la propiedad que cualquier otro evento geológico. (Según el proyecto PNUD de Colombia,1995).

Muchos investigadores tienen sus propias definiciones de deslizamiento de tierra o de movimiento de masa, sin embargo podemos definir el deslizamiento de tierra como el movimiento lento o rápido del material superficial de la corteza terrestre (suelo, arena o roca), pendiente abajo debido a un aumento de peso, pérdida de las consistencias de los materiales o algunos otros factores que genere un desequilibrio en la ladera.

Según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales de la Republica de El Salvador (mayo, 2004), Los deslizamientos son causados cuando las fuerzas de la gravedad endógena y exógena movilizan las rocas, el derrubio o los suelos por una pendiente. Son una de las formas de erosión que se llama desgaste de masas y que es definido, de manera general, como la erosión que involucra como agente causante del movimiento a la gravedad. Dado que la gravedad actúa permanentemente sobre una pendiente, los deslizamientos, sólo ocurren cuando la fuerza de la gravedad excede la resistencia del material.

Es claro entonces, que cualquier factor que reduzca esta resistencia hasta el punto donde la gravedad pueda intervenir, contribuye al movimiento de masa. En ese sentido, el que una ladera permanezca estable o sufra un deslizamiento depende de la unión de varios factores, entre los que están:

### **3.1 FACTORES CONDICIONANTES:**

Son aquellos que dependen de la naturaleza, estructura y forma del terreno. Estos factores son:

- Condiciones topográficas, Condiciones litológicas, Condiciones hidrogeológicas y Cobertura Vegetal

### **3.2. FACTORES DESENCADENANTES:**

Son factores que actúan desde afuera del medio que se estudia, provocando o desencadenando un deslizamiento al modificar las condiciones preexistentes. Estos son: Precipitación, Sismicidad, Terremotos y vibraciones, Factores climáticos, Erosión, Agrietamiento por resequeidad del suelo, Factores antrópicos (actividad humana)

## **4. MÉTODOS CONOCIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE UN DESLIZAMIENTO DE LADERA**

Para determinar la susceptibilidad de deslizamientos de una ladera se pueden aplicar los siguientes métodos conocidos.

**4.1 MÉTODOS DETERMINÍSTICOS:** Los métodos determinísticos utilizan análisis mecánicos y modelos de estabilidad con base física para determinar el factor de seguridad de una ladera concreta. Son métodos muy fiables y precisos cuando se dispone de datos válidos sobre los parámetros reintentos de las laderas. Los métodos

determinísticos son más adecuados para evaluar la inestabilidad en áreas pequeñas (una única ladera).

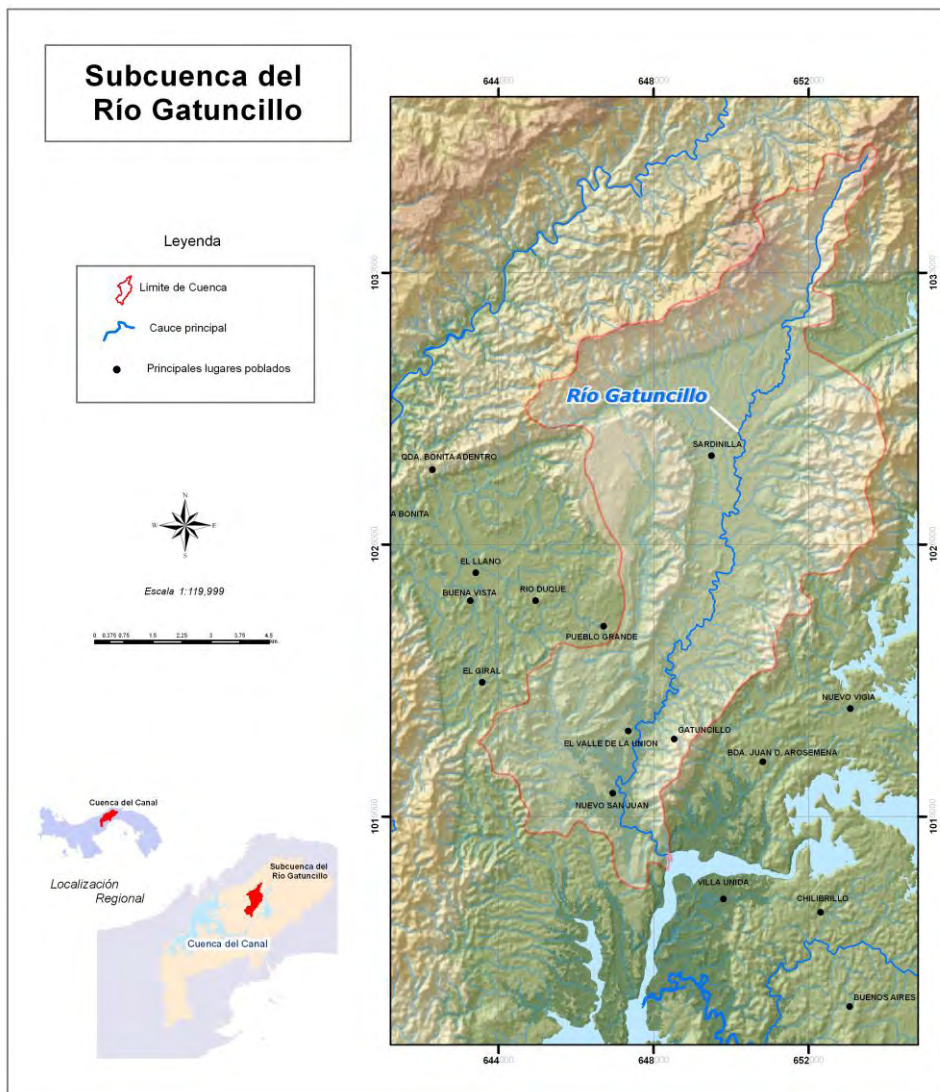
**4.2. MÉTODO DIRECTO:** Este método se realiza sobre un área donde se tiene información de la ocurrencia de deslizamiento o se tiene un inventario de este evento, el cual se trabaja con un mapeo directo basándose en la evaluación por un experto.

**4.3 MODELOS HEURÍSTICOS:** Los métodos heurísticos se basan en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de estos en la generación de deslizamiento (Ambalagan, 1992; Brabb,1972; Nilsen,1979). Son métodos conocidos como indirectos, los resultados de los cuales se pueden extrapolar a zonas sin deslizamientos con una combinación de factor similar.

## **5. ÁREA DE ESTUDIO**

Nuestro estudio tomó como escenario la subcuenca del río Gatuncillo la cual está localizada en la Provincia de Colón de la República de Panamá, y forma parte de la red de drenaje de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Posee una superficie 89.5Km<sup>2</sup>, lluvias abundantes e intensas y una cobertura vegetal dominada por pastizales (28%) dedicados principalmente a la ganadería; alrededor de 19% está ocupado por herbazales; el 13% está ocupado por bosques de galería y el 10% compuesto por bosques menores de 60 años lo cuales se localizan en la cuenca alta. El relieve de la Subcuenca muestra un predominio de colinas, el resto representan pequeñas lomas y planicies localizadas principalmente a lo largo del valle principal del río Gatuncillo.

En cuanto a la topografía del área se observa dos conjuntos definidos por las rupturas de pendiente, los cuales son: las elevaciones de Sierra Maestra, Cisneros, El Filo de la Mina que bordea la Subcuenca con pendientes superiores a los 20 grados y muy fracturadas y el fondo del Valle con buzamientos hacia el oeste, con inclinaciones inferiores a 5 grados, considerada una zona plana.





Desde el punto de vista litológico, la Subcuenca está formada por rocas ígneas y rocas sedimentarias, donde las rocas ígneas (volcánicas, basálticas y andesíticas) que datan del cretáceo, cubren el 34% del área total de la cuenca. Y las rocas sedimentarias atendiendo su concentración o volumen representan 66% del sustrato total de la cuenca.

Según el censo de Población y Vivienda del año 2000, la Subcuenca de Gatuncillo tiene una población de 8.006 habitantes dedicados principalmente a la actividad agropecuaria

## **6.1 METODOLOGÍA APLICADA**

Nuestra propuesta para determinar la susceptibilidad a deslizamiento en las laderas dentro de la Subcuenca del Río Gatuncillo, se basa en la utilización de modelos heurísticos (indirectos) que permiten relacionar variables condicionantes y detonantes en base a metodologías conocidas

En la búsqueda de herramientas específicas, para determinar zonas propensas a deslizamientos, aplicadas a zonas tropicales como es nuestro caso, identificamos algunos métodos utilizados tanto para el área de Centroamérica y el Caribe, como modelos desarrollados por la Universidad Tecnológica de Panamá.

### **6.1 MÉTODO LUIS ALFARO**

En nuestro país, el método más utilizado es el basado en la propuesta del Dr. Luis Alfaro,

en Febrero de 1992, aplicado en primera instancia en el proyecto “ Zonificación de Áreas en base a amenazas de deslizamiento” y utilizado en otros proyectos desarrollados por la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP.)

Con el modelo de Alfaro se obtiene la zonificación de acuerdo a la siguiente ecuación de amenaza por deslizamiento:

$$(1) A = [T* G*H*U]* [P+S]*\&$$

Donde:

A: Parámetro que representa la amenaza por deslizamiento.

T: Condiciones topográficas.

G: Condiciones Geológicas.

H: Condiciones Hidrogeológicas.

U: Uso de Suelo.

P: Zonas de precipitación.

S: Zona de intensidad Sísmica.

&: Factor de normalización.

## 6.2 MÉTODO MORA VAHRSON

Otro método reconocido en Centroamérica, es el "Modelo de determinación a priori de amenaza de deslizamientos en grandes áreas utilizando indicadores morfodinámicos"

Este método fue presentado por los Drs. Sergio Mora Castro y Wilhelm-Gunther Vahrson, en julio de 1991 y el mismo ha sido utilizado a nivel de Costa Rica, por el departamento de Geología, Instituto Costarricense de Electricidad, Escuela Centro Americana de Geología, Universidad de Costa Rica, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Heredia, Costa Rica. Este método también ha sido aplicado en otros países centroamericanos y del Caribe gozando de gran difusión.

Para determinar la amenaza de deslizamiento mediante este modelo utilizan la siguiente ecuación:

$$(2) \text{ Ad} = (\text{Rr} * \text{L} * \text{H}) * (\text{S} + \text{LI})$$

Donde:

Ad : Amenaza de deslizamientos	H: Índice de influencia de la humedad usual del suelo.
Rr: Índice de influencia del relieve relativo.	
L: Índice de influencia de las condiciones litológicas.	LI: Índice de influencia de la intensidad de las lluvias
S: Índice de influencia de la intensidad sísmica máxima.	

Estos dos modelos presentan información referente a la susceptibilidad, peligrosidad y riesgo de una zona o región, y dividen el territorio en zonas o unidades con diferentes grados de susceptibilidad o riesgo potencial. Estos métodos proponen la preparación de mapas temáticos de los factores condicionantes y desencadenantes y la sobreposición de capas con la finalidad de establecer los grados de susceptibilidad en función del peso asignado a cada uno de los factores.

### 6.3 PROPUESTA METODOLÓGICA

Para el desarrollo de nuestro proyecto, proponemos un método basado en la experiencia de los dos métodos anteriores con la inclusión de algunos factores adicionales que juegan

un papel importante en los procesos de deslizamientos y que no son considerados por los métodos antes expuestos. La finalidad sigue siendo proponer áreas similares de susceptibilidad por amenaza de deslizamientos.

Nuestra ecuación es la siguiente:

$$(3) \quad S = (P(2) * L * H * V * C * R) * (LI)$$

Donde:

Susceptibilidad de amenaza a deslizamiento = (S)	Cobertura vegetal = (V)
Pendiente = (P)	Litología = (L)
Humedad = (H)	Concavidad / Convexidad = (C)
Distancia al cauce principal = (R)	Intensidad de lluvia = (LI)

A diferencia de los *modelos Mora-Vahrson (1991)* y *Luis Alfaro (1992)* nuestra propuesta incluye una mayor ponderación a la variable pendiente. Estudios indican (Análisis de riesgo por Deslizamiento de Ladera"; Celestino Ordóñez y Roberto Martínez-Alegría) que el factor pendiente representa cerca del 50% de la posibilidad de que ocurra un deslizamiento, considerando que las fuerzas de gravedad son determinantes.

Una adición importante de nuestro modelo, es la consideración del factor curvatura representado por la convexidad y concavidad del terreno y su relación con los movimientos de laderas.

Estudios indican (Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de

información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat, Santacana Nuria, 2001) que los terrenos convexos a diferencias de los terrenos cóncavos y planos, en ese orden de importancia, son más propensos a deslizamientos de laderas.

Otro elemento que hemos incluido, es el factor de *distancia al río principal*, considerando el poder erosivo que tiene el cause del río el cual va socavando los pies de la ladera de manera continua hasta su desestabilización. "Análisis de riesgo por deslizamiento de Ladera"; por Celestino Ordóñez y Roberto Martínez-Alegría.

#### 6.4. VALORIZACIÓN DE LAS VARIABLES PROPUESTAS

Cada una de las variables consideradas en nuestra propuesta, se ponderan con un valor, que define su grado de influencia en los deslizamientos de tierra. Estas ponderaciones toman como base los criterios de expertos desarrollados en los modelos antes descritos, así como otros estudios.

**Tabla N° 1. Calificación del factor Pendiente**

Pendiente en grados	Calificativo	Valor del factor P
0 - 4.29	Muy bajo	0
4.30 - 9.93	Bajo	1
9.94 - 16.70	Moderado	2
16.71 - 26.57	Mediano	3
26.58 - 38.66	Alto	4
> 38.66	Muy alto	5

Mora y Vahrson (1993)

**Tabla N° 2. Calificación del factor Humedad**

Valor Acumulado	Calificativo	Valor Factor Humedad
0 - 4	Muy bajo	1
5-Sep	Bajo	2
Oct-14	Medio	3
15 - 19	Alto	4
20 - 24	Muy alto	5

Mora y Vahrson (1993)

**Tabla N° 4. Calificación de la Cobertura Vegetal**

Cobertura vegetal	Calificativo	Valor del Factor
Bosques Maduros y Secundarios	Bajo	1
Matorrales y Paja Canalera	Moderado	2
Cultivos Anuales y Reforestación	Medio	3
Área Urbana y Pastizales	Alto	4
Suelos sin vegetación y Explotación minera	Muy alto	5

Ambalagan (1992), R. Martínez (2005)

**Tabla N° 5. Curvatura del terreno**

Curvatura del terreno	Calificativo	Valor del Factor
Plano	Bajo	0
Cóncavo	Medio	1
Convexo	Alto	2

R. Martínez, 2005 y Leonidas Rivera A., 2005.

**Tabla N ° 3. Calificación del factor Litológico**

Unidad litológica	Grado de susceptibilidad	Peso
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo.	Baja	1
Calizas duras,		
Rocas intrusivas pocos fisuradas, bajo nivel freático.		
Basaltos, andesitas, ignimbritas y otras rocas efusivas sanas y pocos fisuradas.		
Rocas metamórficas, sanas, pocos fisuradas, bajo nivel freática.		
Características físicos mecánicas CFM: materiales sanos con poco o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas, sin relleno.	Moderada	2
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, estratificación maciza, poco fisuradas, nivel freático bajo.		
Rocas intrusivas, calizas duras, lavas, ignimbritas, rocas metamórficas medianamente alterada y fisuradas. Aluviones con compactaciones leves, con porciones considerables de finos, drenaje moderado, nivel freático a profundidades intermedias. CFM: Resistencia al corte media a elevada.		

Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas pocos soldadas, rocas metamórficas medianas a fuertemente alteradas, coluviones, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados, drenaje poco desarrollados, niveles freáticos relativamente altos.	Mediana	3
CFM: Resistencia al corte moderado a media, facturación importante.		
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactos, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.	Alta	4
CFM: Resistencia al corte moderada a baja, con la presencia frecuente de arcilla.		
Materiales aluviales, coluviales y regiolíticos de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. CFM: Resistencia al corte muy baja, materiales blandos con muchos finos.	Muy alta	5

**Mora y Vahrson (1993)**

**Tabla N° 7. Calificación del Factor Lluvia**

<b>Lluvias máximas</b>	<b>Calificativo</b>	<b>Valor</b>
<b>N &lt;10 años</b>		
<b>Promedio</b>		
< 50	Muy bajo	1
50-90	Bajo	2
90-130	Medio	3
130-175	Alto	4
>175	Muy alto	5

Mora y Vahrson (1993)

En resumen, los factores y sus respectivos pesos se agrupan en el siguiente cuadro:

Tabla N° 8. Valores Teóricos de los factores

<b>P (2)</b>	<b>L</b>	<b>H</b>	<b>V</b>	<b>C</b>	<b>D_R</b>	<b>LL</b>
0	1	1	1	0	1	1
1	2	2	2	1	2	2
2	3	3	3	2		3
3	4	4	4			4
4	5	5	5			5
5						

**Donde:**

**P** (pendiente), **L** (litología), **H** (humedad), **V** (cobertura vegetal), **D\_R** (distancia al cauce principal), **LL** (lluvia).

## **6.5 RANGOS DE SUSCEPTIBILIDAD.**

Utilizando los valores paramétricos antes mencionados aplicados en la ecuación por medio de los pesos relativos de cada variable de influencia, se obtiene una serie de rango y el grado de susceptibilidad que pueda tener determinada área de estudio en cuanto a un deslizamiento.

La tabla N° 9 muestra una clasificación de niveles que deben ser adaptadas y redefinidas según sea el sitio en donde se quiera aplicar el método. La misma nos indica el grado de susceptibilidad general o de amenaza y no necesariamente el tipo de deslizamiento potencialmente desarrollable.

Los rangos generados toman como base los establecidos por Mora y Varson, sin embargo han sido redefinidos considerando el uso de un número mayor de variables situación que modifica los rangos originales.



Los nuevos rangos se establecieron mediante criterio de experto (R. Martínez 2006) en base a estudios desarrollados por la Unidad de Sensores Remotos de la Autoridad del Canal de Panamá.

Según la fórmula aplicada, se puede obtener valores máximos de 8,192 unidades para la ecuación planteada. Los valores obtenidos de la Ecuación son categorizados de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla N ° 9 Clasificación de los potenciales de la susceptibilidad a deslizamiento

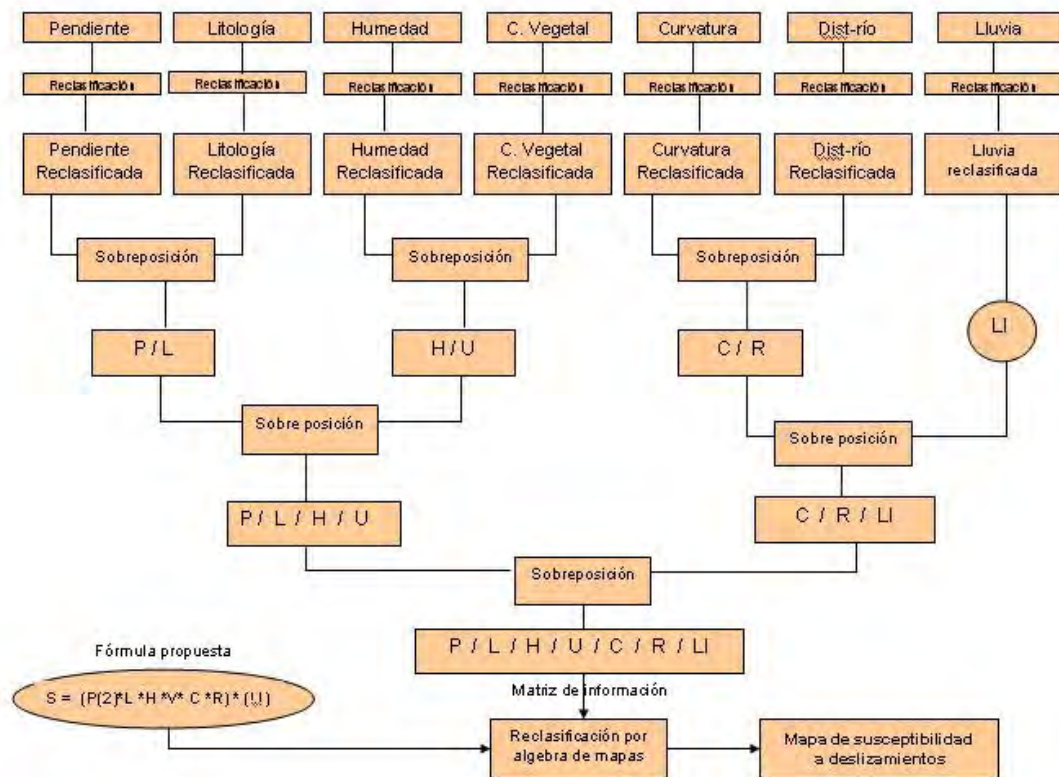
Susceptibilidad (potencial)	Grado de Susceptibilidad
0-16	Muy bajo
17-32	bajo
33-216	moderado
217-972	mediano
973-8192	alto
> 8192	Muy alto

## 7. DESARROLLO DEL MODELO PROPUESTO

Para la aplicación y desarrollo de nuestra propuesta metodológica, utilizamos un Sistema de Información Geográfica (ArcGis 9.1) como herramienta de compilación y análisis. Cada una de las variables solicitadas fue digitalizada y convertida en bases de datos geoespaciales, las mismas provienen de la cartografía temática existente en el país. Para el caso de la cobertura de pendiente y curvatura las mismas fueron el resultado del procesamiento de un Modelo Digital de Elevación (DTM) con resolución de 10 metros obtenido por métodos interferométricos. La cobertura vegetal, fue el resultado de

interpretaciones de imágenes satelitales de alta resolución (IKONOS), del 2006. Para el análisis de este factor humedad se utilizaron datos de precipitación promedio mensual en mm, para una serie de estaciones pluviométricas, distribuidas en toda la Subcuenca, en un período de seis años (1999 al 2005) generados por la Sección de Meteorología e Hidrología de Autoridad del Canal de Panamá.

Para representar de manera clara los diferentes procesos desarrollados en el SIG, se elaboró un modelo cartográfico específico



Para el desarrollo de esta fórmula desarrollamos funciones de álgebra de mapas aplicados en un SIG, donde cada variable (factor) representado en una base de datos georreferenciadas correspondiente a cada uno de los factores, es sobrepuesta para obtener una cobertura digital que posea la unión de los diferentes factores utilizados. Esta matriz de información geográfica, es la base donde aplicamos la fórmula propuesta.

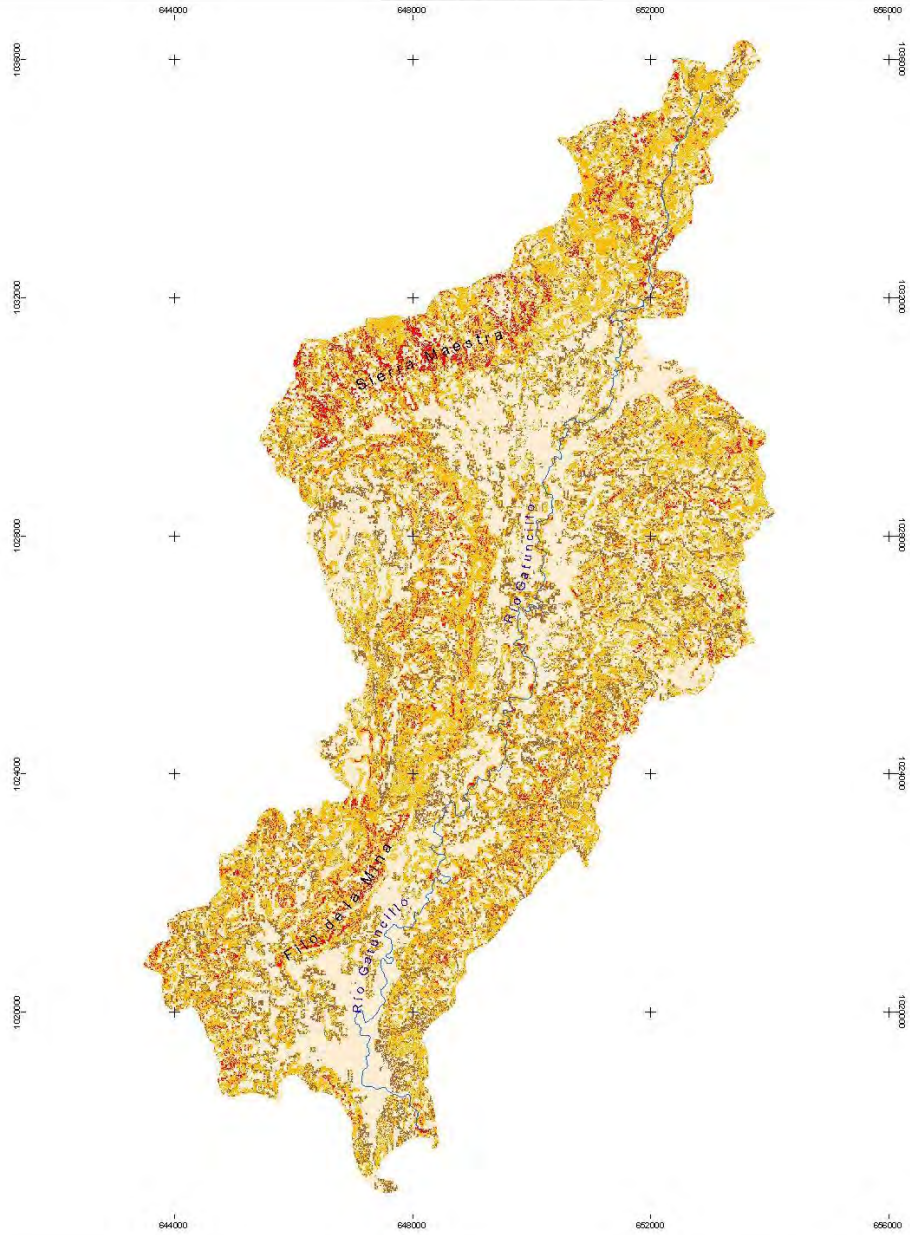
Al aplicar la fórmula en cada uno de los campos representativos de cada factor, se obtienen valores los cuales son almacenados en la tabla (campo fórmula). Estos valores obtenidos son reclasificados en base a los rangos de susceptibilidades establecidos en los modelos conceptuales y almacenados en el campo denominado susceptibilidad de deslizamiento. La representación de este campo en un sistema de información geográfica, nos permite visualizar el mapa de susceptibilidad de deslizamiento.

## 8. RESULTADOS

El mapa de susceptibilidad de deslizamiento de las Subcuenca del Río Gatuncillo obtenido mediante la aplicación de nuestro modelo propuesto, presenta las siguientes características:

Tabla N°10. Resultado de las características de susceptibilidad de deslizamientos de la Subcuenca del Río Gatuncillo.		
Categorías	Área en km <sup>2</sup>	Porcentajes
Alta Susceptibilidad	5,835	7%
Media Susceptibilidad	30,553	34%
Moderada Susceptibilidad	11,173	12%
Muy baja Susceptibilidad	41,945	47%
Total	89,506	100%

# Susceptibilidad de Amenaza de Deslizamiento en la Subcuenca del Río Gatuncillo



- Leyenda**  
**Susceptibilidad**
- Muy bajo
  - Moderado
  - Mediano
  - Alto
- Río principal



Escala 1:55,000

3 0 3 6 Km.

Fuente: Las Autoras, 2006.

El 7%(5,835 km<sup>2</sup>) de la superficie de la subcuenca está constituido por áreas de alta susceptibilidad a deslizamientos, se localizan principalmente en sectores de la cuenca alta, en el sector de Sierra Maestra y partes del corregimiento de Salamanca, en sectores del corregimiento de Buena Vista y en los márgenes del Río Gatuncillo, específicamente en la parte media de la Subcuenca.

En estas zonas encontramos pendientes mayores a 27 grados (la mayoría convexas), donde se desarrollan actividades ganaderas lo que implica una baja cobertura vegetal que incide en una alta susceptibilidad de deslizamiento.

Una superficie de 30,553 km<sup>2</sup> correspondiente al 34% de la subcuenca, presenta una mediana susceptibilidad a deslizamientos siendo la más alta registrada en nuestra área de estudio. Estas predominan en sectores del Corregimiento de Buena Vista y Salamanca, específicamente en Sierra Maestra, en el Filo de la Mina y el noroeste de la Subcuenca.

En estas zonas, las condiciones del terreno que favorecen a generar una susceptibilidad de deslizamiento mediana, están relacionadas con sectores que presentan pendientes de diecisiete a veintiséis grados, donde se desarrollan actividades ganaderas lo que provoca un menor cubrimiento de la cobertura vegetal. También una mayor intensidad y frecuencia de las lluvias influyentes en el aumento de la humedad provocan un aumento en la susceptibilidad a deslizamiento. De igual manera, en estos sectores se presentan los tipos de rocas que presentan alta susceptibilidad de erosión.

El área de moderada susceptibilidad representa el 12% de la superficie que corresponde a 11,173 km<sup>2</sup> distribuidos en pequeñas porciones en los coluviones y

pequeñas colinas que está fuertemente disertados en los valles encajonados en sectores del corregimiento de Buena Vista, San Juan y en el noroeste de la subcuenca., conformada en su mayor parte por pendientes de diez a dieciséis grados.

En cuanto a las áreas de muy baja susceptibilidad a deslizamientos, representan el 47%(41,945 km<sup>2</sup>) de la superficie total, localizadas principalmente en las llanuras aluviales que forman las márgenes del río Gatuncillo, fundamentalmente en la cuenca alta y media. También encontramos estos valores en el noroeste y parte alta de la subcuenca, específicamente en el corregimiento de Salamanca y partes de los corregimientos de Santa Rosa y San Juan (cuenca baja).

Estas zonas, se relacionan generalmente con los sectores de baja pendiente (menores de nueve grados), donde se generan actividades ganaderas. Pero también las encontramos en algunos sectores de la cuenca alta y en el noroeste de la subcuenca con pendientes mayores de veintiséis grados, pero cubiertas de bosques secundarios y bosques maduros que producen una cobertura vegetal protectora además, están formadas por rocas volcánicas y diositas que presentan una baja susceptibilidad de erosión constituyéndose en mitigantes de la susceptibilidad a los deslizamientos.

## **9. CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos, demuestran que los métodos indirectos son una eficiente herramienta para la identificación de áreas susceptibles a deslizamiento de laderas. Para que el modelo sea efectivo, es necesario considerar las características de la región de estudio y adecuar el modelo a las condiciones existentes. Los Sistemas de Información

Geográfica constituyen la herramienta que nos permite relacionar y analizar las diversas variables que inciden en el fenómeno deslizamiento.

## **10. BIBLIOGRAFÍA**

- AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMÁ, DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y AMBIENTE. Septiembre.2004. Informe Diagnóstico Socio ambiental de la Subcuenca del Río Gatuncillo. Corozal oeste, Panamá.
- MORA, Sergio. , VAHRSON, Wilhelm. Julio 1991. Modelo Determinación " A Priori " de la Amenaza de Deslizamientos en Grandes Áreas Utilizando indicadores Morfodinámicos. Escuela Centro Americana de Geología, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Informe inédito; p.30.
- ALFARO, Luís. 1992. Modelo de Zonificación de Amenaza por Deslizamiento. Universidad Tecnológica de Panamá. . Informe inédito; p.20.
- LA ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS. 1993. Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado; Capítulo 10. Evaluación del peligro de deslizamientos de tierra. Washington. <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/ch15.htm> - 132k. p. 1-33

- MARTÍNEZ, L., JORDÁN, A., ILLANA, P. 1998. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica al análisis del medio físico en el Parque Natural Los Alcornocales (Cádiz – Málaga). Aproximación a una cartografía geomorfológica a partir de un modelo digital de elevaciones. Universidad de Sevilla; Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Tesis de Doctorado. <http://www.us.es/gsma/docs/modelo.htm>.
- SUÁREZ, Jaime. 1998. Deslizamiento y Estabilidades de Taludes en Zonas Tropicales; Capítulo 11 Zonificación de Amenaza y Riesgo. Universidad de Santander, Colombia; Escuela de Ingeniería. <http://albatros.uis.edu.co/~pagina/profesores/planta/jsuarez/publicaciones/librotaludes/>.
- OSSO. 2002. Modelo de Susceptibilidad a Movimientos de Masa en el Eje Cafetero. Universidad del Valle Colombia; Tesis de Licenciatura. <http://osso.univalle.edu.co/doc/tesis/2002/aproximacion/modelo.pdf>.
- TREJOS, Pedro., AROMNE, Nino. 1993. Zonificación de Áreas Vulnerables a los Deslizamientos de Tierra en la Península de Azuero. Universidad Tecnológica de Panamá; Tesis de Licenciatura.



- APARICIO, Alexa., DELLA TOGNA, Carlos. 1993. Determinación de Amenaza a Deslizamiento en Regiones de la Provincia de Coclé y Veraguas. Universidad Tecnológica de Panamá; Tesis de Licenciatura.
- CORDOBA, Ramses., TENORIO, Enrique. 1995. Atlas Digital de Amenaza de la Republica de Panamá. P. 25-35.
- ORDOÑEZ, Celestino., MARTINEZ, Roberto. 2003. Sistema de Información Geográfica, Aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales. Alfaomega Grupo Editor, S.A. México D.F. P. 159-171.