

# **EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A LA ROTURA POR DESARROLLO DE DESLIZAMIENTOS EN EL YACIMIENTO PUNTA GORDA**

**(RESUMEN DE TESIS DOCTORAL / 2005)**

**Yuri ALMAGUER-CARMENATES**

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico

## **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años se han producido cambios profundos en las interrelaciones hombre-medio geológico. El hombre ha provocado una aceleración de los agentes naturales y al mismo tiempo, en el proceso de desarrollo económico, ha generado un cierto grado de vulnerabilidad, aumentando los riesgos de las actividades socioeconómicas de ellas derivadas. Bajo estas condiciones geoambientales, los deslizamientos constituyen un peligro geológico. Por lo general estos tienen lugar en zonas de difícil acceso y poco pobladas lo que provoca impactos a pequeña escala y de poca consideración, a excepción de algunos eventos catastróficos como el de Aberfan en el Reino Unido (Bishop et al., 1969), el del Nevado Huascarán en Perú (Plafker y Ericksen, 1979), el del Mount Sant Helens en Estados Unidos (Voigth et al., 1983) y el de Vaiont en Italia (Shuster, 1996) entre otros. En algunos terremotos recientes los deslizamientos han sido una de las principales causas de daños y pérdidas de vidas humanas (Kobayashi, 1981; Keefer, 1984; Plafker y Galloway, 1989; Schuster, 1996) y otros. La mejor estrategia para reducir los impactos de los deslizamientos es la prevención, la evaluación de la susceptibilidad y riesgos y la adopción de medidas para mitigar los efectos (Corominas, 1992).

Actualmente los avances en las técnicas computacionales y la generación de nuevos software, permiten realizar análisis de riesgos, determinar la susceptibilidad y la vulnerabilidad del terreno a los movimientos de masas de manera más precisa y confiable. En la actualidad los Sistemas de Información Geográfica (SIG), realizan el análisis de la susceptibilidad a la rotura por deslizamiento, así como la elaboración de

mapas de peligrosidad de manera sistemática, rápida y eficiente, tratando con grandes bases de datos y realizando cálculos para la estimación de la susceptibilidad que no eran viables en grandes áreas.

Esta investigación se realiza en el entorno que forma parte de la política ambiental de las Empresas de la Unión del Níquel y del Instituto Superior Minero Metalúrgico, de aplicar el conocimiento teórico en la resolución de problemas prácticos en el medio en el cual se desarrollan.

### **Problema**

La problemática que se trata consiste en la ocurrencia de deslizamientos de suelos lateríticos en taludes y laderas de los yacimientos de corteza ferroniquelífera, lo cual genera riesgos debido a la vulnerabilidad de la actividad minera y a la predisposición del terreno frente a estos fenómenos.

### **Objeto de estudio**

Se seleccionó como objeto de estudio de la presente investigación el yacimiento Punta Gorda, debido a las condiciones ingeniero-geológicas del terreno y la diversidad de factores condicionantes que lo convierten en un laboratorio natural para el análisis de los fenómenos de deslizamientos de suelos lateríticos.

### **Objetivo general**

Evaluar los niveles de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda estableciendo criterios de estabilidad de taludes y laderas como base para futuras evaluaciones de riesgos para prevenir o mitigar los daños derivados de estos fenómenos.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar los mecanismos y tipologías de deslizamientos desarrollados en el yacimiento Punta Gorda.
- Caracterizar las condiciones ingeniero-geológicas del yacimiento y aplicarlo en el análisis de susceptibilidad.
- Determinar un método de valoración y obtención del plano de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos.

### **Hipótesis**

Si se conocen la tipologías y mecanismos que gobiernan los deslizamientos, así como la influencia que sobre estos tienen factores condicionantes como tipo de litología, estructura del macizo rocoso, geomorfología, condiciones hidrogeológicas y geotécnicas de la corteza laterítica y el uso de suelo, es posible obtener el plano de susceptibilidad del terreno a la rotura por el desarrollo de deslizamientos en el yacimientos Punta Gorda.

### **Novedad científica**

La novedad de este trabajo está dada en la obtención de un plano de susceptibilidad del terreno frente al desarrollo de deslizamientos en un yacimiento de corteza laterítica ferroniquelífera con la aplicación de un Sistema de Información Geográfico.

### **Aportes científicos**

- Caracterización de los mecanismos y tipologías de deslizamientos desarrollados en el yacimiento Punta Gorda.
- Determinación de la influencia de los grupos lito-estructurales, condiciones estructurales, hidrogeológicas y geotécnicas del macizo rocoso, geomorfología del terreno y el uso actual del suelo sobre el desarrollo de deslizamientos.
- Caracterización del perfil de meteorización desde el punto de vista geotécnico.
- Método de valoración y obtención del plano de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos.

### **Fundamento metodológico**

En la evaluación del grado de susceptibilidad a la rotura de terrenos frente a deslizamientos se aplican varias aproximaciones. Estas se basan en la determinación de los factores que influyen en la inestabilidad del medio, caracterizados por mapas de factores condicionantes, que se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad, obteniendo como resultado los mapas de susceptibilidad.

La metodología aplicada en la investigación esta basada en un Sistema de Información Geográfico, en el que se integra la información de todos los factores

condicionantes que influyen en las inestabilidades de las laderas y taludes del yacimiento de corteza laterítica ferroniquelífera Punta Gorda.

Los primeros trabajos realizados para cumplir con el objetivo de la investigación, se relacionan con la descripción de cada movimiento de masa cartografiado en el yacimiento, determinando en cada caso el mecanismo y la tipología desarrollada, las dimensiones, el material involucrado y las condiciones hidrogeológicas. Como resultado, se obtiene el plano inventario de deslizamientos, a través de las técnicas de fotointerpretación y cartografiado de campo, mostrando la distribución areal, los escarpes y dirección de los movimientos.

Los factores condicionantes de las inestabilidades utilizados en la investigación son el factor lito-estructural, tectónico, condiciones hidrogeológicas y geotécnicas, pendiente del terreno y el uso de suelo.

El factor lito-estructural se analiza tomando como base la clasificación propuesta por Nicholson y Hencher (1997). El yacimiento se divide en base a los tipos litológicos, sus características estructurales y al comportamiento o susceptibilidad frente al desarrollo de deslizamientos. De esta forma tenemos materiales con apariencia de suelo en los cuales se manifiesta la estructura de la roca que le dio origen, materiales con apariencia de suelo con estructura sedimentaria, materiales granulares y rocas debilitada tectónicamente. En la valoración del plano de grupos lito-estructurales se incluye la influencia de los cuerpos de gabros presentes en el yacimiento.

En el factor tectónico, se utiliza información de estructuras como grietas, fallas y diques de gabro. En la investigación se realiza un estudio de la influencia del agrietamiento del macizo rocoso sobre los tipos de mecanismos y tipologías de movimientos. El plano incluido en el análisis de susceptibilidad es el de distancia (buffer) a las fallas presentes el área de estudio.

El factor hidrogeológico se trabaja mediante el análisis del gradiente hidráulico y gradiente crítico, permitiendo la determinación de las áreas más susceptibles al desarrollo del proceso de sifonamiento o tubificación. Esta información se obtuvo a través del plano de hidroisohipsas y las propiedades físicas de los horizontes lateríticos. Se analiza además la influencia de las subpresiones de la corteza laterítica sobre el desarrollo de movimientos.

Desde el punto de vista geotécnico, se realiza un análisis de las propiedades físico-mecánicas en la corteza laterítica, se estudian los horizontes ingeniero-geológicos y se determina su relación con los mecanismos y tipologías de movimientos de masas.

Se muestra el análisis del factor de seguridad, a partir del método de cálculo para rotura planar para talud infinito y los métodos de equilibrio límite. El plano, utilizado en la evaluación de la susceptibilidad, es el de tipo de suelo clasificado por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Como característica geomorfológica, se seleccionó la pendiente umbral de deslizamiento, sobre la base del modelo digital del relieve actual del yacimiento. La pendiente umbral se determinó a partir de los reconocimientos de campo realizados en el yacimiento, midiendo la inclinación de la ladera o talud a partir del cuál se desarrolló cada movimiento.

Para integrar en el análisis de susceptibilidad, la influencia antrópica sobre el desarrollo de los movimientos de masas, se utiliza el plano de uso de suelo actual. Éste está clasificado en varias clases relacionadas con las áreas minadas, zonas reforestadas, áreas ocupadas por caminos mineros primarios, depósitos de mineral y las zonas ocupadas por la vegetación natural.

La integración de toda la información en formato digital, tanto de forma areal (planos) como los atributos (datos), se realiza sobre un SIG. La valoración y clasificación de cada plano temático (factores condicionantes), se obtiene mediante el análisis probabilístico condicional. Éste método trata de evaluar la relación probabilística entre los diversos factores relevantes para las condiciones de inestabilidad y las ocurrencias de deslizamientos. Se basa en la superposición los planos de factores con el plano inventario de deslizamientos, para obtener una probabilidad condicionada de cada factor a la presencia o ausencia de deslizamientos.

Como paso final, se reclasifican los planos temáticos de susceptibilidad, convirtiéndose en formato raster con tamaño de celda 5x5 m, para la obtención del plano resultante de susceptibilidad del yacimiento Punta Gorda.

La aplicación de estos nuevos métodos de cartografía de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo deslizamientos, que ofrecen peligro para la actividad minera y su infraestructura, se traducen en impactos, que se manifiestan tanto a nivel social, ambiental como económico en la Unidad Minera Ernesto Che Guevara.

A nivel social, el impacto que tiene la investigación, se traduce en la existencia de un conjunto de procedimientos metodológicos para el análisis de susceptibilidad del terreno del yacimiento a la rotura en manos de los directivos de la Unidad Básica Minera y del departamento de medio ambiente de dicha entidad, responsables del monitoreo, prevención y corrección de los desastres ocasionados por los deslizamientos.

Además de lo anterior y por la propia necesidad de utilizar avanzadas tecnologías en la implementación de estos métodos de cartografía, se plantea como necesidad urgente la elevación del nivel científico-técnico de los recursos humanos, en relación al uso del sistema de información geográfico obtenido en la investigación. Desde el punto de vista cognoscitivo, relacionado con el desarrollo de la cartografía de susceptibilidad, la investigación forma parte del continuo ascenso del conocimiento, en el que se han incorporado avances científico-técnicos desarrollados a nivel mundial en esta temática.

En el plano ambiental, el presente análisis de susceptibilidad en el área del yacimiento, como método de prevención de desastres, se convierte en una útil herramienta para el ordenamiento medioambiental del área en cuestión. Además, encuentra un amplio campo de acción en la identificación y caracterización de los fenómenos de deslizamientos y evaluación del comportamiento de los terrenos en función del tipo de uso de suelo y de las condiciones naturales inherentes de las cortezas lateríticas, convirtiéndose en una herramienta, además, para controlar, monitorear y evaluar los riesgos asociados al desarrollo de movimientos de masas en los demás yacimientos por explotar por las empresas del níquel.

En el orden económico, el mayor impacto que representa la investigación, es que sirve para prevenir pérdidas económicas considerables en las áreas clasificadas con niveles relativamente altos de susceptibilidad en función del uso de suelo que se manifieste en el área del yacimiento.

Con anterioridad a este trabajo, el autor ha desarrollado investigaciones relacionadas con la temática como son:

- Proyecto de investigaciones ingeniero-geológicas e hidrogeológicas del yacimiento Punta Gorda. Departamento de geología, (1997).
- Estudio de las condiciones hidro-geomecánicas de los suelos lateríticos y rocas serpentinizadas en el yacimiento Punta Gorda. Trabajo de diploma, (1998).
- Análisis estructural del macizo rocoso serpentinado del territorio de Moa y su influencia en los mecanismos y tipologías de movimientos de masas, (1999-2000).

- Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso serpentizado del territorio de Moa. Tesis de maestría, (2001).
- Cartografía geológica del basamento del yacimiento Punta Gorda a escala 1:2 000. Subprograma del Proyecto de Modelación Geotecnológica de la Empresa Ernesto Che Guevara, Moa (2002).

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

Se establece el marco teórico de la investigación basado en la consulta de las bibliografías relacionadas con la temática tratada, tratando la base teórica de la misma, los métodos de cartografía de susceptibilidad y las aplicaciones en Cuba.

#### **Base teórica de la investigación**

Desde el punto de vista conceptual, se parte de las definiciones que del fenómeno de deslizamientos se han publicado. En este sentido están las definiciones dadas por Sharpe (1938), que define los deslizamientos como la caída perceptible o movimiento descendente de una masa relativamente seca de tierra, roca o ambas. Según Lomtadze (1977), es una masa de roca que se ha deslizado o desliza cuesta abajo por la vertiente o talud al efecto de la fuerza de gravedad, presión hidrodinámica, fuerzas sísmicas, etc. Crozier (1986), define un deslizamiento como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua como agente de transporte. A pesar que el término deslizamiento, se utiliza para movimientos de ladera que se producen a lo largo de una superficie de rotura bien definida, en la presente investigación se utiliza de forma genérica para cualquier tipo de rotura.

Existen varias clasificaciones de deslizamientos basadas en el mecanismo de rotura y la naturaleza de los materiales involucrados (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; WP/WLI, 1993; Cruden y Varnes, 1996). La clasificación utilizada es la propuesta por Corominas y García (1997):

- Desprendimiento: es aquel movimiento de una porción de suelo o roca, en forma de bloques aislados o masivamente que, en una gran parte de

su trayectoria desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras.

- Vuelcos: son movimientos de rotación hacia el exterior, de una unidad o de un conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo del centro de gravedad de la masa movida.
- Deslizamientos: son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movilizada se desplaza como un bloque único, y según la trayectoria descrita los deslizamientos pueden ser rotacionales o traslacionales.
- Flujos: son movimientos de una masa desorganizada o mezclada, donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni sus trayectorias tienen que ser paralelas. Debido a ello la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas.

La estabilidad de las laderas está condicionada por la acción simultánea de una serie de factores. Desde un punto de vista físico, los deslizamientos se producen como consecuencia de los desequilibrios existentes entre las fuerzas que actúan sobre un volumen de terreno. Los factores que influyen en la estabilidad de las laderas se pueden separar en dos grandes grupos (Ferrer, 1987): factores internos y externos. Los factores internos, condicionan las diferentes tipologías de deslizamiento, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de ellos se encuentran *características intrínsecas*, relativas a las propiedades del material y a su resistencia y las *características extrínsecas* relacionadas con la morfología y condiciones ambientales de la ladera. Los factores externos actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando las roturas debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio. Tres tipos de acciones se incluyen: la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones y las modificaciones antrópicas (Keefer, 1984).



## Métodos de estimación de la susceptibilidad del terreno

El primer paso en la evaluación del riesgo consiste en la estimación de la peligrosidad a roturas de laderas y ésta, a su vez, se evalúa determinando los siguientes aspectos (Varnes, 1984; Corominas, 1987; Hartlén y Viberg, 1988):

1. Evaluar la susceptibilidad de la ladera a las roturas por deslizamientos.
2. Determinar el comportamiento del deslizamiento (movilidad y dimensiones del mismo).
3. Establecer la potencialidad del fenómeno (probabilidad de ocurrencia).

El término susceptibilidad hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno (Santacana, 2001).

Para evaluar el grado de susceptibilidad del terreno frente a los deslizamientos existen diversas aproximaciones, basadas la mayor parte de ellas, en la determinación de los factores que influyen en la aparición de las roturas. En general, estos factores se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica mediante los mapas de susceptibilidad (Hansen, 1984; Hartlén y Viberg, 1988; Corominas, 1987 y 1992; Van Westen, 1993 y 1994; Carrara et al., 1995; y Leroi, 1996). Existen cuatro procedimientos utilizados en la evaluación y confección de mapas de susceptibilidad del terreno: métodos determinísticos, heurísticos, probabilísticos y métodos geomorfológicos.

Los métodos determinísticos se utilizan para el estudio de la estabilidad de una ladera o talud concreto. Se fundamentan en métodos basados en el equilibrio límite o en modelos numéricos. Estos métodos muestran un grado de fiabilidad alto si los datos son correctos. Su principal inconveniente es su baja idoneidad para zonificaciones rápidas y de extensas áreas (Van Westen, 1993). El método más usual se aplica para deslizamientos traslacionales utilizando el modelo de talud infinito (Ward et al, 1982; Brass et al, 1989; Murphy y Vita-Finzi, 1991, Okimura y Kawatani, 1986).

Los métodos heurísticos se basan en el conocimiento a priori de los factores que producen inestabilidad en el área de estudio. Los factores son ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamientos (Carrara et al., 1995). El principal inconveniente radica en que en la mayor parte de los casos, el conocimiento disponible entre los factores ambientales que pueden causar inestabilidad y los deslizamientos es inadecuado y subjetivo, dependiendo de la experiencia del experto. Un procedimiento de este tipo es el análisis cualitativo basado

en combinación de mapas de factores (Lucini, 1973; Stevenson, 1977; Bosi, 1984). El análisis heurístico introduce un grado de subjetividad que imposibilita comparar documentos producidos por diferentes autores.

Las aproximaciones probabilísticas se basan en las relaciones observadas entre cada factor y la distribución de deslizamientos actual y pasada (Carrara et al., 1995). Se utilizan cuando se dispone de abundante información, tanto cualitativa como cuantitativa, aplicándose los modelos estadísticos que pueden ser univariantes y multivariantes. La principal ventaja es la objetividad del método. El costo de la adquisición de algunos factores relacionados con la inestabilidad de laderas es el principal inconveniente. Dentro de este grupo se encuentran los métodos estadísticos y el análisis de frecuencia de deslizamientos. Son métodos indirectos cuyos resultados se pueden extrapolar a zonas distintas para estimar la susceptibilidad, con condiciones geológicas y climáticas homogéneas. Los métodos estadísticos univariantes se dividen en dos grupos: los que utilizan el análisis condicional y los que no lo utilizan. El análisis condicional, trata de evaluar la relación probabilística entre diversos factores relevantes para las condiciones de inestabilidad y las ocurrencias de deslizamientos. Se basan en la superposición de uno o más factores con el mapa de distribución de deslizamientos, para obtener una probabilidad condicionada de cada factor a la presencia o ausencia de deslizamientos (Chung y Fabbri, 1993; Chung y Leclerc, 1994). Los resultados se interpretan en términos de probabilidad según el teorema de Bayes (Morgan, 1968; Chung y Leclerc, 1994), certeza (Heckerman, 1986; Luzi y Fabbri, 1995), según conjuntos difusos (Zadeh, 1965, 1978; MahdaviFar, 2000) o según plausibilidad (Shafer, 1976). Los métodos estadísticos multivariantes estudian la interacción y dependencia de un conjunto de factores que actúan simultáneamente en la ocurrencia de deslizamientos, para establecer la implicación que tienen cada uno de ellos. Las técnicas estadísticas más utilizadas son la regresión múltiple y el análisis discriminante (Jones et al., 1961; Neuland, 1976; Carrara, 1983 a y b; Mulder, 1991; Mora y Vahrson, 1994; Baeza, 1994; Irigaray, 1995; Chung et al., 1995; Dhakal et al., 2000).

Los métodos geomorfológicos se basan en la determinación de condiciones de inestabilidad de ladera mediante técnicas geomorfológicas, cartografía y zonificación. La principal ventaja es la validez y detalle del análisis y mapa resultantes, si se realizan por un buen experto. El inconveniente de estos métodos es el alto grado de subjetividad dependiente de la experiencia del autor. La elaboración de estos mapas exige conocer la morfología y tipología de movimientos (Hansen, 1984; Hansen y Frank, 1991).

## **Los Sistemas de Información Geográfica en la cartografía de susceptibilidad**

Las primeras aplicaciones con prototipos de SIG en zonificación de peligrosidad-susceptibilidad a deslizamientos datan de los años 70 (Newman et al., 1978, Carrara et al., 1978; Huma y Radulescu, 1978 y Radbruch-Hall et al, 1979). En ellas se utilizaba el análisis cualitativo, combinando factores, y el estadístico multivariante. Durante los años 80 el desarrollo comercial de los sistemas SIG, así como la mayor disponibilidad de los ordenadores personales incrementó el uso de los SIG en los análisis de susceptibilidad. Ejemplos de análisis cualitativo se encuentran en Stakenborg (1986), Brabb (1984) y Brabb et al. (1989), y ejemplos de análisis estadístico multivariante se pueden encontrar en Carrara (1983, 1988) y Bernknopf et al (1988). En los años 90, con la oferta comercial y la ampliación de las capacidades de los SIG, han aumentado las aplicaciones sobre el análisis de susceptibilidad a los deslizamientos (Kingsbury et al., 1992; Alzate y Escobar, 1992; Lopez y Zink, 1991; Choubey y Litoria, 1990; Carrara et al 1990, 1991; Chacon et al., 1992 ). En 1993 Van Westen publicó un manual completo sobre la aplicación de un SIG en la zonificación de inestabilidad de laderas.

## **La cartografía de susceptibilidad en Cuba**

Durante la ejecución de la investigación se consultaron varios trabajos realizados en diferentes lugares del territorio nacional, así como algunos desarrollados en el municipio de Moa, relacionados con la aplicación de los sistemas de información geográficos en la evaluación de susceptibilidad, peligrosidad o riesgos geológicos y realizados fundamentalmente desde inicios de la década del 90 hasta la fecha.

Muchas de las investigaciones realizadas se han centrado en la cartografía de susceptibilidad de terrenos al desarrollo de fenómenos como la erosión y las inundaciones. En este sentido se encuentran los trabajos de Vega M. B. (2005) y Rodríguez W. y Valcarce R. M. (2005).

Otro gran grupo se ha centrado en el análisis de peligrosidad y vulnerabilidad sísmica y caracterización ingeniero-geológica, fundamentalmente en la parte sur de las provincias orientales y en algunas zonas del occidente del país. En este sentido Escobar E. M. (2005) muestra una aplicación de un complejo de métodos geofísicos, como sísmica somera de refracción de tres canales, métodos eléctricos (SEV), georadar GPR,

sismómetros y datos aerogeofísicos en la solución de tareas de valoración de vulnerabilidad sísmica. En este sentido están además las investigaciones realizadas por Chuy T. J. et al (2005), Del Puerto J. A. y Ulloa D. (2003), Noas J. L. y Chuy T. L. (2005), González B. E. et al (2005) y Pedroso I. I. et al (2005).

Relacionado específicamente con el cartografiado y predicción de deslizamientos existen las investigaciones de Chang J. L. et al (2003), donde muestra una aplicación de datos  $\gamma$ -espectrométricos aéreos para identificar sitios potencialmente favorables para la ocurrencia deslizamientos, Carreño B. et al (2005) quienes realizan un pronóstico de deslizamientos aplicando criterios geomorfológicos clásicos para la determinación de los alineamientos obtenidos del modelo digital del terreno. Castellanos E. (2005) muestra los resultados de un procesamiento de datos del SRTM para el Archipiélago Cubano, el análisis para producir los mapas derivados del Modelo de Elevación Digital (DEM) y la evaluación geomorfométrica de amenaza de deslizamiento de terreno. Febles D. y Rodríguez J. (2005) presentan un mapa susceptibilidad a los deslizamientos de Cuba a escala 1:250 000. Alfonso H. M. (2005) presenta un mapa de susceptibilidad a los movimientos de laderas mediante la combinación de factores condicionantes y desencadenantes naturales e inducidos por la actividad humana, haciendo énfasis en los elementos geomorfológicos.

En relación a investigaciones realizadas en el territorio de Moa se encuentran las de Carmentate J. A., (1996) quien realiza una evaluación y clasificación de los suelos y rocas a partir de las propiedades físico-mecánicas dando como resultado un mapa ingeniero geológico a escala 1:10 000 y una zonificación de áreas susceptibles a la ocurrencia de fenómenos geológicos exógenos. Rodríguez A. (1999), quien profundiza en el conocimiento geólogo-tectónico del territorio de Moa y confecciona el mapa de riesgos debido a procesos tectónicos.

Otro grupo de trabajos se relaciona con la profundización del conocimiento de la naturaleza y tipología de los deslizamientos en corteza laterítica, tal es el caso de Guardado R. y Almaguer Y. (2001), donde se presenta una primera aproximación de un mapa de riesgos para el yacimiento Punta Gorda, obtenido a partir de la superposición de varios mapas de factores como la litología, tectónica y pendientes, incluyendo en el análisis un mapa de elementos en riesgo. Almaguer Y. (2001), donde realiza el cálculo de estabilidad de taludes utilizando criterios de rotura a partir del estudio integral del agrietamiento del macizo rocoso.

## CAPÍTULO II

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el presente capítulo se realiza una caracterización general del área de estudio haciendo énfasis en los grupos litológicos presentes en superficie, relacionados con las cortezas de meteorización y con el substrato rocoso y las condiciones estructurales del yacimiento.

El yacimiento Punta Gorda se encuentra dentro del municipio de Moa, ubicado en el extremo oriental de la provincia de Holguín. Geográficamente se encuentra limitado al norte por el Océano Atlántico, la carretera de Punta Gorda y la parte baja del curso del río Moa, al sur por la línea convencional que lo separa de los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Este, por el oeste está limitado con el yacimiento Moa Oriental, separado de este por el límite natural del río Los Lirios y el cañón del río Moa y por el este se separa del yacimiento Yagrumaje Norte por el río Yagrumaje, ubicándose en la margen izquierda del mismo. El área de estudio forma parte del grupo orográfico Sagua-Baracoa, lo cual hace que el relieve sea predominantemente montañoso, principalmente hacia el sur. Hacia el norte el relieve se hace más suave, disminuyendo gradualmente hacia la costa.

La red fluvial está representada por los ríos Moa (al norte), sus afluentes Los Lirios (al oeste), arroyo la vaca (área central) y el río Yagrumaje (al este y sur). La fuente de alimentación principal de estos ríos y arroyos, son las precipitaciones atmosféricas, desembocando las arterias principales en el Océano Atlántico, formando deltas cubiertos de sedimentos palustres y vegetación típica de manglar.

Condiciones geológicas. En el yacimiento Punta Gorda se encuentran tres grandes conjuntos litológicos: el basamento, la corteza de meteorización laterítica y lateritas redepositadas.

Basamento. En el basamento se revela una alta complejidad tectónica y mediana complejidad litológica. La litología que predomina es la peridotita serpentizada en mayor o menor grado. (Departamento de Geología, 2002). En el área se localizan fajas de serpentinita foliada, esquistosa y budinada, que coinciden con las zonas de contacto entre mantos tectónicos imbricados. Las fajas deformadas están completamente cortadas y desplazadas por varios sistemas de fallas más jóvenes. Las budinas, fundamentalmente son de peridotitas, que se presentan fracturadas y rodeadas por serpentinitas esquistosas. Estas fajas se orientan preferentemente al N60°E.

Corteza de meteorización. Está desarrollada principalmente sobre peridotitas de tipo harzburgitas serpentinizadas en distinto grado y por serpentinitas, las cuales ocupan la mayor parte del yacimiento y en menor grado por material friable producto del intemperismo químico de gabro olivínico, plagioclasita y anfibolita, ubicado el primero hacia las zonas este y norte del yacimiento y los otros dos tipos de corteza hacia la parte este del depósito mineral. Las litologías que conforman el perfil friable son, de arriba hacia abajo (Quintas et al, 2002):

- Litología 1: Ocre estructural con concreciones ferruginosas(OIC). Presentan color pardo oscuro con concreciones ferruginosas que aumentan de tamaño hacia la superficie donde forman bloques de distintas dimensiones y forma.
- Litología 2: Ocre inestructural sin concreciones ferruginosas (OI). Presenta color pardo oscuro.
- Litología 3: Ocre estructural final (OEF). Se caracteriza por sus estructuras terrosas y color pardo amarillento hasta amarillo, se distingue la estructura de la roca madre.
- Litología 4: Ocre estructural inicial (OEI). Se caracteriza por su color amarillento, pasando en algunos lugares a colores rojizos y verdosos cerca del límite inferior de la litología. Se reconoce la estructura de la roca madre que le dio origen.
- Litología 5: Serpentina lixiviada (SL). Las rocas como regla están manchadas de ocre. La ocretización se observa en forma de manchas de los hidróxidos de hierro. El grado de intemperismo es irregular y las más intemperizadas están representadas por rocas claras donde en forma de una red de vetillas tiene lugar la serpentización. Son rocas friables y ligeramente compactas de color gris verdoso las cuales conservan la estructura de la roca madre.
- Litología 6: Corteza a partir de gabros (CG). Son materiales arcillosos de color pardo lustroso de diferentes tonalidades (desde pardo oscuro brillante hasta colores ladrillo y crema). Estos materiales son pobres en hierro, níquel y cobalto con contenidos perjudiciales al proceso de sílice

y aluminio. Esta litología está presente en la parte este del yacimiento y en menor proporción en su parte norte.

Lateritas Redepositadas. Los redepositos están presentes hacia el norte y este con una distribución discontinua, con una potencia promedio de 4.92 m. Los materiales que lo componen, tuvieron su fuente de suministro en terrenos donde existió una corteza friable desarrollada, lo que determinó que las litologías presentes en este conjunto tengan alguna semejanza a las capas componentes del perfil friable. Básicamente están formados por lateritas redepositadas, intercaladas en ocasiones con arcillas pardo oscuras con material carbonizado, lentes conglomeráticos y arenosos con fragmentos predominantes de ultramafitas y en ocasiones de gabros. También pueden presentarse algunos horizontes calcáreos con gran contenido de fauna. Internamente esta secuencia presenta varios ciclos erosivos-acumulativos, marcado por discordancias erosivas intraformacionales. Por lo general estos depósitos están estratificados, pudiéndose observar estratificación paralela y cruzada. El buzamiento de las secuencias es suave hacia el norte y nordeste.

Las principales direcciones del agrietamiento son: NS y NW, sin embargo, con menos frecuencia y en forma de abanico entre estas se manifiestan las direcciones N65°W, N45°W, N35°W, N23°W y N13°W, lo cual puede ser reflejo de un cambio gradual de la dirección principal de los esfuerzos que afectaron la región o pudieran relacionarse con un sistema Riedel de fallas transcurrentes que desplazaron los contactos entre los mantos de cabalgamiento. Las grietas correspondientes a las direcciones NS y N-NW presentan signos de movimientos de cizallamiento a través de sus superficies, manifestándose con una densidad moderada en el terreno y rellenas de material serpentínico.

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A LA ROTURA**

El presente capítulo tiene como objetivo declarar la metodología empleada en la evaluación de la susceptibilidad del terreno frente al desarrollo de deslizamientos, se parte de una hipótesis de trabajo que permite orientar la selección de los parámetros que caracterizan las laderas así como su tratamiento y posterior interpretación.

**El modelo de análisis presenta las siguientes condiciones:**

- La base de los taludes y las laderas está constituido por un substrato rocoso impermeable compuesto por rocas ultrabásicas serpentinizadas y en menor medida por básicas. Sobre éste yace, en la mayor parte del yacimiento, una corteza laterítica residual y en el resto del área, de forma discordante, una corteza laterítica redepositada. De forma intercalada, aparecen arcillas, formadas a partir de la meteorización de gabros.
- Las cortezas lateríticas, por sus propiedades físicas, presentan gran capacidad de almacenaje, acumulando considerables cantidades de aguas que son transmitidas muy lentamente, manteniéndose con alta humedad durante todo el año. Esta situación aumenta el peso, las presiones intersticiales en los poros y disminuye las propiedades resistentes de los suelos.
- Las condiciones estructurales del sistema roca-suelo, junto a las propiedades geomecánicas, determinan los mecanismos y tipologías de deslizamientos desarrollados en el yacimiento.

**Factores condicionantes utilizados en el análisis de susceptibilidad**

Teniendo en cuenta los criterios de inestabilidad y los factores condicionantes, sobre la base de los reconocimientos de campo, la experiencia y las consultas con los especialistas de la Unidad Básica Minera Ernesto Guevara, se seleccionaron los factores utilizados en el análisis de susceptibilidad para su tratamiento mediante técnicas estadísticas (tabla 3.1). La utilización combinada de estos factores con el inventario de deslizamientos genera un plano residual, que explica que lugares son mas o menos susceptibles al desarrollo de deslizamientos, a cada uno se le asigna un valor o significado, por su influencia de favorecer o reducir la posibilidad de rotura de los taludes y laderas, en función de la cantidad de área ocupada por deslizamientos en las clases de cada factor (figura 3.1).



TABLA 3.1. Relación de factores utilizados en el análisis de susceptibilidad.

FACTORES DE ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A LA ROTURA	INTERNOS	Características intrínsecas	Factor litológico	Grupos lito-estructurales
			Factor tectónico	Fallas, grietas, diques
			Factor geotécnico	Propiedades físico- mecánicas, tipo de suelo, factor de seguridad.
		Características extrínsecas	Factor geomorfológico	Pendiente umbral de deslizamientos
	EXTERNOS	Factor hidrogeológico		Subpresión de la corteza laterítica
		Factor de uso actual del suelo		Uso de suelo

### Metodología de valoración de la susceptibilidad a la rotura mediante el análisis estadístico

El análisis estadístico está basado en la relación observada entre cada factor condicionante analizado y la distribución espacial o temporal de los deslizamientos. La técnica aplicada en la investigación es el análisis probabilístico condicional, que evalúa la relación probabilística entre los factores condicionantes y la ocurrencia de deslizamientos en el área del yacimiento Punta Gorda. El basamento teórico parte del teorema de Bayes, conforme al cual los datos de frecuencia, tales como área de deslizamientos o cantidad de deslizamientos, pueden ser usado para calcular probabilidades que dependen de la ocurrencia de eventos previos.

### Modelo estadístico empleado

A partir de la base teórica y bajo varias aproximaciones probabilísticas, se obtuvo la siguiente ecuación para la valoración de las clases de los diferentes factores usados en el análisis de susceptibilidad (Almaguer, 2005):

$$V_c = \left[ \frac{1}{G_l} \left( \frac{X_l}{Y_l} \times \frac{X}{Y} \right) + \sum \left( \frac{X_n}{Y_n} \times \frac{X}{Y} \right) \right] \times 1000$$

donde:

V<sub>c</sub>: valor de la clase analizada.

$X_l$ : área ocupada por deslizamientos en la clase lito-estructural.

$Y_l$ : área de la clase del grupo lito-estructural.

$G_l$ : área total ocupada por cuerpos de gabros en la clase lito-estructural.

$X_n$ : área ocupada por deslizamientos en la clase analizada.

$X$ : área total ocupada por deslizamientos.

$Y_n$ : área de la clase analizada.

$Y$ : área total de la zona de estudio.

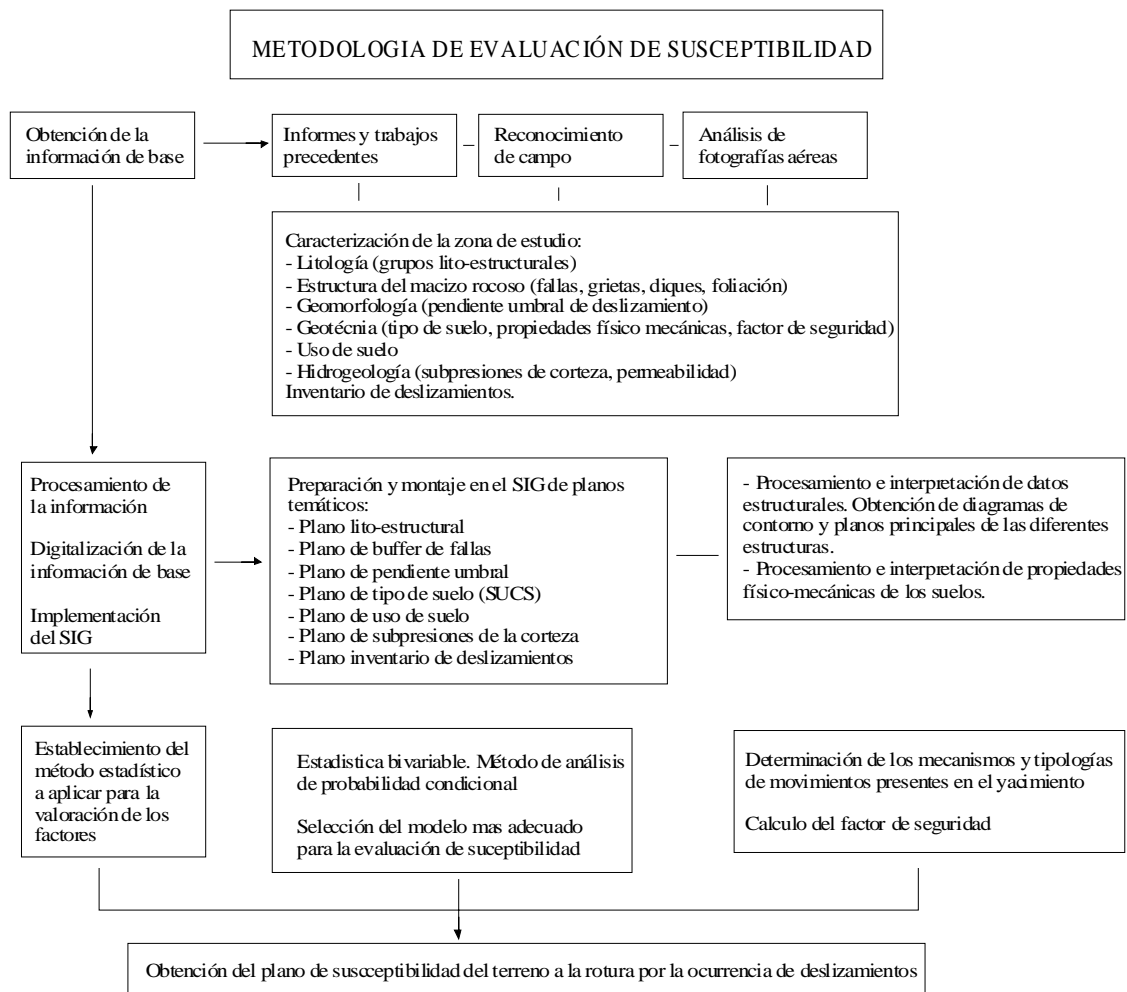


FIGURA 3.1. Metodología empleada en la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura.

**CAPÍTULO IV**  
**EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO**  
**A LA ROTURA POR DESARROLLO DE DESLIZAMIENTOS**  
**EN EL YACIMIENTO PUNTA GORDA**

Se exponen los resultados obtenidos en la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento de corteza laterítica ferroniquelífera Punta Gorda.

**Descripción y cartografía de los deslizamientos**

Los primeros trabajos realizados con vista al análisis de la susceptibilidad del terreno fueron de reconocimiento del área del yacimiento para ubicar y caracterizar los deslizamientos existentes y crear el plano inventario de los mismos (tabla 4.1).

TABLA 4.1 Caracterización general de los deslizamientos inventariados en el yacimiento Punta Gorda.

<b>CARACTERIZACION DE LOS DESLIZAMIENTOS</b>						
No.	Area (Km <sup>2</sup> )	Dirección del movimiento	Litología	Longitud máx. (m)	Ancho máx. (m)	Longitud del escarpe (m)
1	0,0489	este	laterita residual	240	255	160
2	0,0472	noroeste	laterita residual	260	244	150
3	0,0127	este	laterita residual	105	140	120
4	0,0321	noroeste	laterita residual	225	190	140
5	0,0213	norte	laterita residual	190	170	110
6	0,0126	oeste	laterita residual	120	118	120
7	0,0182	norte-noreste	laterita residual	180	130	160
8	0,0128	noreste	laterita residual	170	100	90
9	0,0078	suroeste	laterita residual	110	90	80
10	0,0200	sur-sureste	laterita residual	200	140	130
11	0,008 8	norte	laterita residual	150	70	80
12	0,0078	noreste	laterita residual	130	80	50
13	0,0194	norte -noreste	laterita redepositada y residual	200	130	100
14	0,093 9	este	laterita residual	550	250	200
15	0,0345	noreste	laterita residual	240	190	110
16	0,2384	este-noreste	laterita residual	920	290	390
17	0,0103	norte	laterita repositada	140	80	90
18	0,0198	moreste	laterita repositada	180	150	120
19	0,0249	noreste	laterita repositda	200	160	130
20	0,0820	orte-noreste	laterita repositada	430	260	200
17	0,0103	norte	laterita redepositada	140	80	90

## **Clasificación de los deslizamientos**

La descripción de los movimientos y las definiciones de los distintos mecanismos, se realizó sobre la base de los trabajos propuestos por Varnes (1978), Hutchinson (1988), WP/WLI (1993), Cruden y Varnes (1996) y Lontadze (1982).

## **Mecanismos de fenómenos gravitacionales en laderas y taludes en el yacimiento**

### **Punta Gorda**

1. Mecanismos relacionados con caída libre de la roca: desprendimientos de rocas, vuelcos.
2. Deslizamientos a través de una superficie de fallo definida: Deslizamientos traslacionales, Deslizamientos a través de una superficie circular, Deslizamientos en cuña y Deslizamientos combinados.
3. Movimientos de masas de manera desorganizada (movimientos de flujos).
4. Coladas de tierra y Corrientes de derrubios.

## **Análisis de los factores que inciden en las inestabilidades**

### *Relación de las características litológicas con el desarrollo de deslizamientos.*

Para el análisis litológico, el área de estudio se dividió en cuatro grupos litoestructurales principales, los cuales por orden de predominio son: roca con apariencia de suelo con estructura de la roca original (lateritas residuales: 48,7 %), roca debilitada tectónicamente (rocas ultrabásicas serpentinizadas: 26,8 %), roca con apariencia de suelo con estructura sedimentaria (lateritas redepositadas: 15,6 %) y materiales granulares (sedimentos aluviales: 8,8 %).

Del análisis realizado de cada una de las litologías, y la comparación del plano correspondiente con el inventario de deslizamientos, las más afectadas son las lateritas residuales (0,456 Km<sup>2</sup>) lo que representa un 52,7 % del área total ocupada por deslizamientos, en segundo lugar las rocas serpentinizadas (0,21 Km<sup>2</sup>) y las lateritas redepositadas (0,18 Km<sup>2</sup>) lo que representa un 24,7 y 21,7 % respectivamente.

#### *Influencia de las fallas sobre los deslizamientos.*

Este tipo de estructura se analizó a dos niveles, mesoestructural (afloramientos) y macroestructural. Existen direcciones predominantes: en cuatro bloques hay predominio de la dirección norte-sur (O-48, O-49, L-48 y M-48), la dirección noroeste aparece en los bloques O-47, N-47, M-47, M-48 y L-48. La dirección noreste solo se reporta en los bloques L-48 y M-48 y la este-oeste en el bloque O-49.

Para analizar la influencia de la tectónica sobre la susceptibilidad del terreno mediante el SIG, se aplicó un buffer a partir de las estructuras principales del plano tectónico, a dos intervalos de 200 m de distancia (200 y 400 m), para comparar la cantidad de deslizamientos presente en cada intervalo. El intervalo de 200 m, ocupa un área de 7,1103 Km<sup>2</sup>, lo que representa el 81,4159 % del área total. Existen 0,6983 Km<sup>2</sup> ocupados por deslizamientos, 80,56 % del área total ocupada por movimientos de masas. Esto significa que este primer intervalo es una distancia crítica para el desarrollo de deslizamientos, debido a la intensa trituración y debilitamiento del macizo rocoso, acumulación de humedad, mayor intensidad del proceso de meteorización y por constituir zonas de mayor permeabilidad, a través de las cuales, se infiltran las aguas superficiales y subterráneas. A medida que aumenta la distancia, como se aprecia en el intervalo de 400 m, disminuye la influencia de la tectónica sobre los movimientos. Se reporta 0,1585 Km<sup>2</sup> ocupados por deslizamientos, lo que representa el 18,29 % del área total de deslizamientos.

#### *Relación de las condiciones hidrogeológicas con el desarrollo de deslizamientos.*

Para el análisis de la influencia de las condiciones hidrogeológicas sobre el desarrollo de los deslizamientos se confeccionó un plano de subpresiones de la corteza laterítica, a partir de los datos de la profundidad de alumbramiento del agua subterránea y del nivel de estabilización de las mismas. Las presiones nulas, se distribuyen en la parte central del yacimiento, relacionadas con las zonas minadas. Los valores de presiones de 2 metros, hacia el oeste, norte central y en una banda alargada de dirección NE-SW, en la

región sur y sureste del área. Estas presiones, en las zonas límites entre valores altos y mínimos, influyen sobre las inestabilidades, erosionando los pies de los taludes y laderas, al moverse las aguas subterráneas, hacia las zonas de menor presión.

La superposición del plano de subpresiones y el inventario arroja los siguientes resultados: La clase de presiones nulas (0 m), que ocupa el 62,304 % del área total de trabajo, presenta un total de 0,2538 Km<sup>2</sup> ocupados por deslizamientos, lo que representa el 29,28 % del área total de deslizamientos, el mayor porcentaje entre todas las clases, sin embargo, los deslizamientos desarrollados son los de menor tamaño. La clase de 2 m de presión, representa el 25,298 % del área total, y en ella se desarrollan el 26,130 % del área total ocupada por deslizamientos. Estos deslizamientos, de mediano tamaño, se ubican fundamentalmente hacia la zona oeste del yacimiento. En las clases 4 m y  $\geq 6$  m, que representan tan solo el 12,39% del área total, se desarrollan el 44,589% del área total ocupada por deslizamientos, además de poseer los mayores movimientos desarrollados, que se encuentran hacia el este del yacimiento.

### **Influencia del nivel freático sobre el desarrollo de deslizamientos**

En análisis se realiza a partir del plano de hidroisohipsas, clasificado en 6 clases: 0m, 5m, 10m, 15m, 20, y 25m. Los niveles más bajos se distribuyen hacia el norte, sur, este y oeste del área. Los niveles de 5m están distribuidos en región central de área, con cierta alineación noreste-suroeste. Los niveles de 10m aparecen hacia el este y oeste. Los restantes niveles, por encima de 15m, solamente aparecen hacia el este y sureste del yacimiento. Comparando el plano del nivel freático con el inventario de deslizamientos resulta que en los niveles mínimos (0m) y máximos (25m) no se reportan movimientos. En los 5m y 20m se desarrollan el 9,4% y 9,3% respectivamente, en los 15m el 23,3% y en el nivel 10m se reporta el mayor porcentaje de área ocupada por deslizamientos, 57,9%.

### **Análisis del gradiente crítico y del proceso de sifonamiento. Influencia sobre las inestabilidades**

El estudio del gradiente crítico se realizó para cada horizonte ingeniero-geológico utilizando finalmente el valor medio para compararlo con el gradiente hidráulico obtenido mediante el plano de hidroisohipsas. El valor del gradiente crítico para el

horizonte serpentinitas lixiviadas es de 0,4071, para el horizonte de ocre estructurales de 0,7640 y para los ocre inestructurales con perdigones de 1,0290. El valor de cálculo es de 0,7546, o sea la media de los anteriores. De esta forma se ha obtenido un plano donde se señala las áreas de posible desarrollo de procesos de sifonamiento en la corteza clasificados en dos grados o clases de alta y media susceptibilidad. De acuerdo al plano correspondiente, se observa que el área de susceptibilidad alta, frente a sifonamiento, se ubica al este y en menor medida al sur del yacimiento, en la cual se han desarrollado los mayores movimientos. Las zonas de media susceptibilidad se distribuyen al este, sur y noroeste, estos dos últimos con menor desarrollo.

#### *Análisis del factor geomorfológico.*

El elemento geomorfológico utilizado en el análisis de susceptibilidad es la pendiente del terreno actual del yacimiento Punta Gorda. Las clases utilizadas en el análisis, se tomaron en base a las pendientes medidas en los trabajos de reconocimiento en el área de trabajo. El plano, muestra los rangos de pendientes umbrales de deslizamiento con cuatro intervalos:  $0^{\circ}$ - $9^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ - $19^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ - $39^{\circ}$  y  $>40^{\circ}$ .

La clase en la cual se desarrollan más movimientos es entre  $10^{\circ}$  y  $19^{\circ}$ , un total de 8, lo que representa el 40% del total. Le continúa la clase entre  $0^{\circ}$  y  $9^{\circ}$ , con un 35% del total. En las dos clases, se desarrollan el 75% de todos los deslizamientos inventariados, dentro de los cuales, se encuentran los de mayor extensión ocurridos en las áreas no afectadas por la actividad minera. Esto contradice lo que se pensaba hasta el momento, sobre la influencia de las grandes pendientes sobre el desarrollo de deslizamientos. No obstante, un 20% de los deslizamientos, se desarrollan en áreas de pendientes mayores de  $40^{\circ}$ , formadas por la modificación del terreno por la actividad minera, pero son los movimientos de menor extensión areal.

#### *Análisis de las condiciones ingeniero-geológicas de la corteza laterítica. Influencia sobre la ocurrencia de deslizamientos.*

Comportamiento de las propiedades físico mecánicas en la corteza laterítica.

Para el análisis de la corteza laterítica desde el punto de vista geotécnico, fue necesario establecer el estado físico de los diferentes horizontes ingeniero geológicos, así como su comportamiento mecánico. Del análisis de estas propiedades, se realizó un estudio de su comportamiento en los diferentes niveles de la corteza laterítica, y la determinación de

cuatro horizontes ingeniero-geológicos: Arena gravo-limosa (SM) con fracción gruesa constituida por perdigones de óxido de hierro, de plasticidad baja y color rojo ladrillo oscuro; Limo arcilloso de alta Plasticidad (MH) de color carmelita amarillento hasta verde amarillento; Arena limo-gravosa con arcilla (SM), con fracción gruesa constituida por fragmentos de serpentinitas, es de color verdoso y la fracción fina presenta alta plasticidad.

### **Análisis de la colapsabilidad de los horizontes ingeniero geológicos**

Una forma de conocer, como ocurren los mecanismos de roturas en los taludes y laderas presentes en el yacimiento, es determinando la colapsabilidad de los diferentes horizontes ingeniero-geológicos de la corteza laterítica. De acuerdo a los resultados, el horizonte superior (1) y el inferior (3), clasificados como arenas gravo-limosas y arenas limo-gravosas respectivamente, colapsan en condiciones naturales. Solo el horizonte intermedio (2), clasificado como limo arcilloso de alta plasticidad, es estable.

### **Valoración del factor de seguridad por métodos de equilibrio límite**

Del análisis del factor de seguridad por el método de equilibrio límite se tiene los siguientes resultados: correlación negativa relevante, entre el factor de seguridad y la potencia de serpentinitas lixiviadas y la altura del talud. Esto significa que a medida que aumenta estas potencias en la corteza laterítica, la estabilidad de los taludes disminuye. Otro resultado relevante es la correlación positiva entre el factor de seguridad y la distancia de la excavadora con respecto al borde de los taludes. Es evidente que, la excavadora, ubicada a poca distancia, genera un desequilibrio de las fuerzas dentro de la corteza, aumentando las fuerzas motoras y la inestabilidad de los taludes.

De la aplicación del método de rotura planar par talud infinito se obtiene: Correlación negativa relevante entre el FS y la pendiente del terreno. Significa que a medida que aumenta los valores de pendiente del terreno, disminuyen los valores del FS, y por tanto los taludes y laderas se hacen más inestables. La pendiente de 13°, se considera crítica, donde el FS es por debajo de 1.5. Correlación negativa entre el FS y la profundidad de la superficie de rotura. Significa un comportamiento similar al anterior, a medida que aumenta la profundidad, disminuye de manera exponencial el FS,



aumentando la inestabilidad en los taludes y laderas. La profundidad crítica es mayor de 5 metros, donde el FS disminuye por debajo de 1.5.

Para el análisis de las condiciones geotécnicas del terreno, se confeccionó el plano de tipo de suelo. Los limos arcillosos de alta plasticidad (MH), ocupan 4,27 Km<sup>2</sup>, lo que representa el 48,76% del área total. Se distribuyen hacia el oeste, sur y sureste del yacimiento. Las arenas limosas (SM) ocupan 3,17 Km<sup>2</sup>, el 36,21% del área. Estas se distribuyen hacia la parte central, norte y noreste del yacimiento. El resto del área ocupada por roca fresca, arenas y gravas, relacionadas espacialmente con los cauces de los ríos presentes en el área. Del análisis de los movimientos de masas, se tiene que el 52,7% se desarrolla en los limos arcillosos de alta plasticidad. En las áreas ocupadas por las arenas limosas, los deslizamientos ocupan el 27,34% del área total de movimientos. El 19,2% afecta las áreas ocupadas por roca serpentizada y el 0,75 a las gravas y arenas. Estas últimas se relacionan con los materiales arrastrados en los frentes de los movimientos.

#### *Relación del uso actual del suelo en el área del yacimiento con el desarrollo de deslizamientos.*

Haciendo un análisis del uso del suelo en el área de trabajo, se tienen 5 clases fundamentales: zonas de vegetación natural (4,74 Km<sup>2</sup>), distribuida en la periferia del yacimiento, predominando hacia el este; áreas reforestadas (1,94 Km<sup>2</sup>) y áreas minadas (1,62 Km<sup>2</sup>), distribuidas en la parte interna del área; zonas de depósitos de mineral (0,28 Km<sup>2</sup>) y red vial (0,16 Km<sup>2</sup>).

De acuerdo al desarrollo de deslizamientos, el uso de suelo mas afectado es la zona cubierta con vegetación natural, afectada por 0,65 Km<sup>2</sup> de área ocupada por movimientos de masas, lo cual representa el 75 % del área total de deslizamientos inventariada, esto da una medida de la inestabilidad que presenta el terreno debido a sus propias condiciones naturales. En segundo lugar se tienen las áreas minadas, en las que existe 0,11 Km<sup>2</sup> de área ocupada por deslizamientos (13,34%) y las zonas reforestadas con 0,09 Km<sup>2</sup>. En las áreas ocupadas por la red vial y los depósitos de mineral no se reportan deslizamientos.

## Valoración de los factores condicionantes

Una vez analizados todos los factores condicionantes de los deslizamientos en el área de estudio, se procedió a la valoración de los mismos en función de las áreas de las clases y del área ocupada por deslizamientos en cada clase (tabla 4.2).

TABLA 4.2. Valoración de los factores condicionantes de las inestabilidades en el yacimiento Punta Gorda.

Factores utilizados en el análisis de susceptibilidad											
Grupos lito-estructurales		Tectónica		Hidrogeología		Geomorfología		Geotecnia		Uso de suelo	
Litologías		Distancias a fallas (buffer)		Subpresiones en la corteza		Pendiente umbral		Tipo de suelo		Clases de uso de suelo	
Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor
Serpentinita lixiviada	21,72	200 m	17,91	0 m	8,49	0-9	211,21	SM	13,63	Áreas minadas	13,05
Serpentinita de cauce	1,14									Áreas reforestadas	9,18
Lateritas residuales	19,52	400 m	16,02	2 m	193,4	10-19	386,31	MH	19,51	Camino mineros	0
Lateritas redepositadas	25,11			4 m	48,97	20-39	118,43	GC	1,54	Depósitos de mineral	0
Sedimentos aluviales	1,54			≥ 6 m	130,0	>40	4846,9	R	2,15	Vegetación natural	25,10

## Descripción del plano de susceptibilidad

El plano de susceptibilidad del terreno a la rotura (figura 4.1) obtenido en la investigación está clasificado en cuatro clases: Susceptibilidad baja, media, alta y muy alta. Las mismas se describen a continuación:

- Susceptibilidad baja: ocupa un área de 3,35 Km<sup>2</sup> (38,33% del área total). De forma areal se distribuye en la parte central del yacimiento, relacionado con las zonas reforestadas. Además se relaciona con las zonas periféricas del yacimiento, ocupadas por sedimentos aluviales de los ríos Yagrumaje, Los Lirios, Moa, y arroyo La Vaca.

- Susceptibilidad media: ocupa un área de 3,03 Km<sup>2</sup> (34,63% del área total). Se distribuye al sur del yacimiento, en forma de franja alargada de dirección este-oeste en la parte central, al norte y en pequeñas zonas al este y oeste del área.
- Susceptibilidad alta: ocupa un área de 1,49 Km<sup>2</sup> (0,13% del área total). Su distribución es muy localizada hacia el oeste, noreste y al este-sureste donde presenta su mayor acumulación en forma discontinua y alineada con dirección noreste-suroeste. Existen pequeños parches al suroeste y en la parte central del yacimiento.
- Susceptibilidad muy alta: ocupa un área de 2,23 Km<sup>2</sup> (25,54% del área total). Su distribución es bien localizada y se relaciona espacialmente con la clase anterior. Aparece al oeste, noreste, suroeste y al este-sueste presente su mayor acumulación en forma continua y alineada en dirección noreste-suroeste.

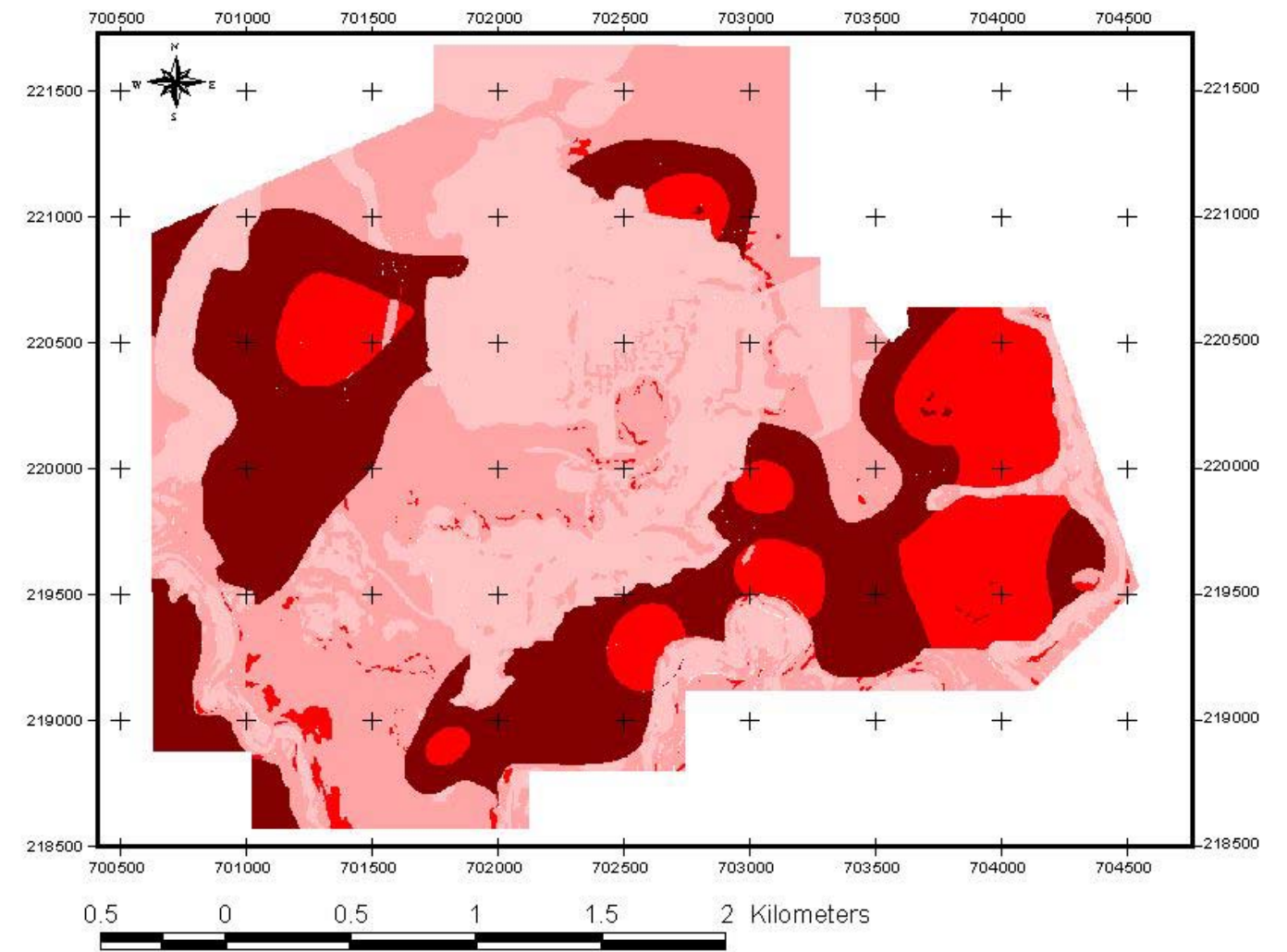


FIGURA 4.1. Plano de susceptibilidad del terreno a la rotura en el yacimiento Punta Gorda (escala original 1:2 000).

## CONCLUSIONES

Los problemas relacionados con los deslizamientos en taludes y laderas han sido elementos de preocupación para proyectistas, constructores y mineros. En las áreas minadas a cielo abierto de los yacimientos de corteza laterítica ferroniquelífera esta situación es mucho más compleja, debido a que se trabaja con taludes que presentan una determinada altura e inclinación, una situación geológica, que en ocasiones tiene comportamiento variable, con anisotropía en las propiedades geotécnicas, con determinada complejidad de las condiciones hidrogeológicas de la corteza laterítica, y donde en muchos casos, la ubicación de las infraestructuras coinciden con zonas de alta sismicidad que provocan el surgimiento y desarrollo de determinados procesos y fenómenos geológicos. En este entorno del yacimiento Punta Gorda, han tenido lugar diferentes tipos de deslizamientos, que conllevaron en determinado momento a la paralización de la actividad extractiva (deslizamiento de la excavadora 2 en 1997). Todo esto provocó que por parte de la subdirección de minas de la Empresa Ernesto Che Guevara solicitara la ejecución de varios proyectos de investigación liderados por el Instituto Superior Minero Metalúrgico. Desde 1997 hasta la fecha han resultado varios trabajos, dentro de los cuales está el presente análisis de susceptibilidad del terreno por deslizamiento, en el que se han arribado a varias conclusiones expresando que:

1. La situación ingeniero-geológica del yacimiento Punta Gorda se caracteriza por una alta complejidad tectónica y la presencia de cuatro horizontes ingeniero-geológicos diferenciados por sus propiedades físicas y comportamiento mecánico, así como por su conducta frente a los fenómenos de deslizamientos, en los cuales, con la profundidad, disminuye la fricción interna, aumentan los valores de humedad, sobrepasando en algunos casos, el límite líquido. Existen además horizontes colapsables debido a sus propias condiciones naturales. Estas características son elementos condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad de los taludes del yacimiento, contribuyendo a la disminución de la resistencia al corte de los suelos y rocas y en otros casos aumentando las tensiones movilizadoras en el medio o talud.
2. Existen diferentes mecanismos de deslizamientos en el yacimiento que hacen que la evaluación y gestión del peligro sea más compleja. La solución de esta situación problemática posibilita a los proyectistas de la actividad minera

- encontrar zonas más favorables y menos riesgosas para la explotación del yacimiento.
3. Una vez caracterizado desde el punto de vista ingeniero-geológico el yacimiento y llegado a resultados en cuanto a mecanismos y tipologías, se concluye que la metodología empleada mediante el análisis probabilístico implementando un SIG, permite evaluar la susceptibilidad del terreno a la rotura frente al desarrollo de deslizamientos, por primera vez en Cuba, en un yacimiento de corteza laterítica ferroniquelífera.
  4. Los procedimientos de análisis de susceptibilidad de los taludes por desarrollo de deslizamientos utilizados en esta memoria aplicando un SIG, permite las siguientes ventajas: la viabilidad para este tipo de método porque se utilizan datos georeferenciados; la facilidad de actualizar las bases de datos y planos a medida que la actividad minera se desarrolla en el tiempo; la reproducibilidad de los resultados y la regionalización de la metodología utilizada; la rapidez de análisis de los factores que inciden en los deslizamientos y la obtención del plano de susceptibilidad final.
  5. El plano de susceptibilidad del yacimiento Punta Gorda permite una mejor valoración de las condiciones del medio geológico-minero y de las causales y condicionales de los deslizamientos. Es una herramienta útil para el ordenamiento minero-ambiental y para la prevención de movimientos de masas, no solo durante la explotación del mineral, sino en la construcción de viales, escombreo y en el proceso de cierre de minas.

### **RECOMENDACIONES**

1. Aplicar los resultados durante el proceso de planificación minera y toma de decisiones en el yacimiento Punta Gorda y en los próximos yacimientos a explotar por la Unidad Básica Minera de la Empresa Ernesto Che Guevara, con el objetivo de proyectar la extracción del mineral con menos riesgos asociados al desarrollo de deslizamientos.
2. El uso de la metodología empleada en la investigación para su generalización en otros yacimientos de la región.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEOTTI, P.; POLLONI, G.; CANUTI, P. Y IOTTI, A.** “Debris Flow Hazard and Risk Assessment Using Airbone Laser Terrain Mapping Techniques (ALTM)”. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford. London. 1, 19-26 p. 2000.
- ALFONSO H. M.,** “Análisis de susceptibilidad a los movimientos de laderas en la parte oriental de la cuenca del río Almendares y la llanura marina adyacente”. Cuba. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 2005.
- ALMAGUER Y.,** “Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso”. Tesis de maestría. Departamento de Geología. 110 p. 2001.
- ALMAGUER Y.,** “Calculo de estabilidad de taludes en cortezas lateríticas”. Memorias del I Taller Internacional Ingeotaludes. Moa. 2003.
- ALMAGUER Y.,** “Estabilidad de taludes en el macizo rocoso serpentizado del territorio de Moa”. Curso Iberoamericano de Aplicaciones Geomecánicas y Geoambientales al Desarrollo Sostenible de la Minería. Ediciones Panorama Minero. 69-84 p. 2002.
- ALMAGUER Y.,** “Metodología de cartografía de susceptibilidad a la rotura en cortezas lateríticas en el territorio de Moa, Cuba”. Memorias del Taller Internacional de Riesgos Geodinámicos y Cierre de Minas (CYTED). Santa Cruz de la Sierra. 2005.
- ALMAGUER Y.,** “Métodos de cartografía de susceptibilidad y peligrosidad por el desarrollo de deslizamientos”. Memorias del II Taller internacional Ingeotaludes. Moa. 2005b.
- ALMAGUER Y.,** Valoración de la susceptibilidad del terreno en yacimientos lateríticos de Moa, Cuba. Memorias del Taller Internacional de Peligrosidad y Riesgos por Movimientos de Masas (Red A4D, CYTED). Guayaquil, Ecuador. 2005a.
- ALMAGUER Y.,** “Análisis ingeniero-geológico e hidrogeológico del yacimiento Punta Gorda”. Trabajo de diploma. Departamento de geología, ISMM. 105 p. 1998.
- ALMAGUER Y.,** Guardado R. “Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso serpentizado de la región de Moa”. CD

- Congreso Geología y Minería. ISBN 959-7117-11-8. 2003.
- ALMAGUER Y.,** Guardado R. “Caracterización geotécnica del perfil de meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas en el territorio de Moa”, Cuba. Geología y Minería, XX (1y2). 2005a.
- ALMAGUER Y.,** Guardado R. “Mecanismos de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba”. Primera Convención de Ciencias de la Tierra. Habana. ISBN 959-7117-03-7. 2005.
- ALMAGUER Y.,** Guardado R. “Tipologías de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba”. Geología y Minería, XX (1 y 2). 2005b.
- ALZATE, J. B. Y ESCOBAR, A. E.,** “Adquisición de datos para un SIG”. Proc. 1r. Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y sistemas de Información Geográfica para el Estudio de Riesgos Naturales, Bogotá, Colombia. 449-465 p. 1992.
- BAEZA, C.,** “Evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante”. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica ETSECCPB-UPC. 1994.
- BERNKNOFF, R.L.; CAMPBELL, R.H.; BROOKSHIRE, D.S. Y SHAPIRO, C.D.,** “A probabilistic approach to landslide hazard mapping in Cincinnati, Ohio, with applications for economic evaluation”. Bulletin International Association of Engineering Geologist, 25 (1), 39-56 p. 1988.
- BISHOP, A.W.; HUTCHINSON, J.N.; PENMAN, A.D.M. Y EVANS H.E.,** “Aberfan Inquiry: Geotechnical investigation into the causes and circumstances of the disaster of 21st. October, 1966”. A selection of technical Reports submitted to the Aberfan Tribunal, 1-80 p. London, Welsh Office. 1969.
- BLANCO J. L. Y LLORENTE E.,** “Investigación ingeniero-geológica e hidrogeológica de la Base Minera Punta Gorda”. Archivos de la Subdirección de Minas, Empresa Ernesto Che Guevara. Julio, 2004.
- BORGA, M; DALLA FONTANA, G.; DA ROS, D. Y MARCHI, L.,** “Shallow landslide hazard assessment using a physically based model and digital elevation data”. Environmental Geology. 35 (2-3), 81-88 p. 1998.
- BOSI C.,** “Considerazioni e proposte metodologiche sulla elaborazione di carte di stabilità”. Geol. Appl. Ed Idrogeol. 13, 246-281. 1984.



- BOSQUE SENDRA, J.**, “Sistemas de información geográfica”. Madrid, Ediciones Rialp, 451 p. 1992.
- BRABB, E. E.**, “Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping”. Proc. 4th. Int. Symp. on Landslides, Toronto, Canada, v.1, 307-324 p. 1984.
- BRABB, E.E. Y HARROD, B.L. (EDITORS)**, “Landslides: extent and economic significance”. Balkema, Rotterdam. 385 p. 1989.
- BRABB, E. E.; PAMPEYAN, E.H. Y BONILLA, M.G.**, “Landslide susceptibility in San Mateo Country, California”. US Geol. Surv. Misc. Field Studies Map MF 360 scale 1:62.500. caused by rainfall”. Proc. Int. Symp. Erosion, Debris Flows and Disaster Prevention. Tsukuba, Japan. 347-350 p. 1972.
- BRACKEN, Y WEBSTER.**, “Information technology in Geography and planning. Including principles of G.I.S.”. London: Routledge. 444 p. 1990.
- BRASS, A.; WADGE, G. Y READING, A.J.**, “Designing a Geographical Information System for the prediction of landsliding potential in the West Indies”. *Proced.: Economic Geology and Geotechnics of Active Tectonic Regions*. University College, London, 3-7 April, 13 p. 1989.
- BURROUGH, P.A.**, “Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment”. Oxford, Oxford University press. 194 p. 1988.
- CABRERA J.**, “El catastro ingeniero-geológico y geoambiental de la provincia de Pinar del Río, una herramienta novedosa en la gestión de información georeferenciada”. VI Congreso Cubano de Geología y Minería. Geomática. Habana, 2005.
- CAMPOS M.**, “Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias de Holguín y Guantánamo”. *Minería y Geología*, ISMM, Cuba. 1991.
- CAMPUS, S.; FORLATI, F. Y SCAVIA, C.**, “Preliminary Study for Landslide Hazard Assessment: GIS Techniques and a Multivariate Statistical Approach”. A.E. Bromhead, N. and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford. London. 2, 621-626 p. 2000.
- CARMENATE J. A.**, “Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa”. Tesis de maestría. Departamento de geología, ISMM. 108 p. 1996.
- CARRARA, A.**, “Geomathematical assessment of regional landslide hazard”. 4th Int. Conf. Applic. Stat. Probabil. In Soil and Estruct. Eng. Firenze. 3-27 p. 1983b.

- CARRARA, A.**, “Landslide hazard mapping by statistical methods. A “black box” approach”. Workshop on Natural Disasters in European Mediterranean Countries, Perugia. 21 ( 2), 187-222 p. 1988.
- CARRARA, A.**, “Multivariate models for landslide hazard evaluation”. *Math. Geology*. 15, 403-426 p. 1983a
- CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V. Y REICHENBACH, P.**, “Geographical Information Systems and multivariate models in landslide hazard evaluation”. *ALSP 90 Alpine Landslide Practical seminar*. 6th. Int. Conf. And Field Workshop on Landslides. Milano, Italy. 17-28 p. 1990.
- CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V. Y REICHENBACH, P.**, “GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard”. *Earth Surf. Proc. And Landforms*. 16(5), 427-445 p. 1991.
- CARRARA, A.; CARDINALI, M.; GUZZETTI, F. Y REICHENBACH, P.**, “GIS technology in mapping landslide hazard.”. En: Carrara A, Guzzetti F (Eds) *Geographical information systems in assessing natural hazards*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. 135-175 p. 1995.
- CARRARA, A.; CATALANO, E.; SORRISO-VALVO, M; REALI, C. Y OSSO, I.**, “Digital terrain analysis for land evaluation”. *Geol. Appl. ed Idrogeol*. 13, 69-127p. 1978.
- CARREÑO B., GARCÍA M. Y ALVELO N.**, “Pronóstico de deslizamientos con el empleo de sistemas computarizados”. VI Congreso Cubano de Geología y Minería. Geomática. Habana, 2005.
- CASTELLANOS E.**, “Processing SRTM DEM data for national landslide hazard assessment”. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 12 p. 2005.
- CEBRIÁN, J.A. Y MARK, D.**, “Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos”. *Estudios Geográficos*. (188), 277-299 p. 1986.
- CHACÓN J; IRIGARAY, C. Y FERNÁNDEZ, T.**, “Metodología para la cartografía regional de movimientos de ladera y riesgos asociados mediante un Sistema de Información Geográfica”. II Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. La Coruña. Vol.1, 121-133 p. 1992.
- CHANG J. L., SUÁREZ V., CASTELLANOS E., NÚÑEZ K. Y MOREIRA J.**, “Análisis de riesgos por deslizamientos. Contribución a partir del estudio de la migración de los radioelementos naturales”. V Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. 2005.

- CHAU K. T., SZE Y. L., FUNG M. K., WONG W. Y., FONG E. L. Y CHAN L. C. P.,**  
“Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS”.  
Computers and Geosciences. Multidimensional geospatial technology for the  
geosciences. 30 (4), 429-443 p. 2004.
- CHOUBEY, V.D. Y LITORIA, P.K.,** “Terrain classification and land hazard mapping in  
Kalsi-Chakrata area (Garhwal Himalaya) india”. ITC-Journal. 1, 58-66 p. 1990.
- CHUNG C.F., Y FABBRI, A.G.,** “The representation of geoscience information for data  
integration”. Nonrenewable Resources, V. 2:2, 122-139 p. 1993.
- CHUNG, C.F. Y LECLERC, Y.,** “A quantitative technique for zoning landslide hazard”.  
En: Int. Ass. Math. Geol. Annual Conf., Mont Tremblant, Quebec, Canada. 3-5, 87-  
93 p. 1994.
- CHUNG, C.F.; FABBRI, A.G. Y VAN WESTEN, C.J.,** “Multivariate regression analysis  
for landslide hazard zonation”. En: A. Carrara and F. Guzzetti (Eds), *Geographical  
Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publishers.  
107-133 p. 1995.
- CHUY T. J., PUENTE G., BAZA R., SEISDEDOS J. L., REYES C., RIVERA Z., BORGES  
E., REGAL A., SANLOY D., IMBERT C., LIMERES T., ZAPATA J., DESPAIGNE G.,  
VELÁZQUEZ V., MARTEL Y.,** “Fenómenos naturales en el municipio Guantánamo.  
Valoración e impactos negativos”. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de  
sismicidad y riesgos geológicos. 2005.
- COMPAGNUCCI J. P. Y OTROS.,** “Recalce de las fundaciones de la escuela CEPM-40.  
Instrucción para el diseño de firmes de la red de carreteras de Andalucía”.  
Andalucía, España. 2001, (2003-06-12). Disponible en:  
[www.carreteras.org/ccaa/normativa/carreteras/andalucia/firmes/apartados/anejo2.htm](http://www.carreteras.org/ccaa/normativa/carreteras/andalucia/firmes/apartados/anejo2.htm).
- COROMINAS, J.,** “Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de  
movimientos de ladera”. Riesgos Geológicos. Serie Geología Ambiental. IGME,  
Madrid. 193-201 p. 1987.
- COROMINAS, J.,** “Movimientos de ladera: predicción y medidas preventivas”. 1r  
Congreso Iberoamericano sobre Técnicas aplicadas a la Gestión de emergencias  
para la Reducción de Desastres Naturales, Valencia. 55-77 p. 1992.

- COROMINAS, J.; FLETA, J.; GOULA, X.; MOYA, J. Y TEIXIDOR, T.**, “Datación de deslizamientos antiguos en el área de Pardines (Girona)”. III simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. La Coruña. 1, 53-69 p. 1992.
- CROZIER, M.J.**, “Landslides. Causes, consequences & environment”. Ed. Routledge. London & New York. 252 p. 1986.
- CRUDEN, D.M. Y VARNES, D.J.**, “Landslide types and processes”. En: Turner, A.A.K. and Schuster, R.L. (Eds.): *Landslides. Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, Special Report*. National Academy Press, Washington, DC. 247, 36-75 p. 1996.
- DE MIGUEL C.**, “Informe hidrogeológico conclusivo sobre: Investigación ingeniero-geológica e hidrogeológica de la Base Minera Punta Gorda. Archivos de la subdirección de Minas, Empresa Ernesto Che Guevara. Octubre, 2004.
- DE MIGUEL C., GUARDADO R., RIVERÓN B., BLANCO J., RODRÍGUEZ A., BATISTA J., ALMAGUER Y., PÉREZ R.**, “Proyecto de investigaciones hidrogeológicas e hidrogeológicas del yacimiento Punta Gorda”. Departamento de geología. 1998.
- DEL PUERTO J. A. Y ULLOA D.**, “Identificación de los peligros geológico-geomorfológicos de la cuenca de Santiago de Cuba. V Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Habana, 2003.
- DHAKAL, S.; AMADA, T. Y ANIYA, M.**, “Databases and Geographic Information Systems for Medium Scale Landslide Hazard Evaluation: an Example from Typical Mountain Watershed in Nepal”. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford. London. 1, 457-462 p. 2000.
- DONATI L. Y TURRINI M. C.**, “An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy)”. *Engineering Geology*. 63, 277-289 p. 2002.
- ESCOBAR E. M.** “Variantes geofísicas en la solución de algunas tareas de valoración de la vulnerabilidad sísmica”. VI Congreso Cubano de Geología y Minería. Simposio de Sismicidad y Riesgos Geológicos. Habana, 2005.

- FEBLES D. Y RODRÍGUEZ J.**, “Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos de la república de Cuba a escala 1:250 000”. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 2005.
- FEIZNIA, S. Y BODAGHI, B.**, “A statistical Approach for Logical Modelling of a Landslide Hazard Zonation in Shahrood drainage Basin”. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford. London. 2, 549-552 p. 2000.
- FERRER, M.**, “Deslizamientos, desprendimientos, flujos y avalanchas”. Serie Geología Ambiental. Riesgos Geológicos. I.G.M.E. Madrid. 175-192 p. 1987.
- GONZÁLEZ RAYNAL B. E., PACHECO MORENO S. E., PEDROSO HERRERA I. I., GARCÍA PELÁEZ J. A., PÉREZ LARA L. D., SERRANO HERRERA M. Y GUERRA OLIVA M.**, “Riesgos geológicos y degradación ambiental: el caso del asentamiento urbano del Mariel, Cuba occidental”. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de Sismicidad y Riesgos Geológicos. 23 p. 2005.
- GUARDADO R. Y ALMAGUER Y.**, “Evaluación de riesgos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín”. Revista Minería y Geología. XVIII (1): 1-12 p. 2001.
- GUARDADO R., ALMAGUER Y.**, “Rocas y suelos como indicadores ingeniero geológicos y ambientales de estabilidad y sostenibilidad de taludes y laderas”. CD Congreso de Geología Minería. ISBN 959-7117-11-8. 2003.
- GUARDADO R., ALMAGUER, Y., HERNÁNDEZ, Y., TAMAYO, J. R. Y PEA GUY.**, “Estabilidad de taludes en suelos lateríticos del yacimiento Punta Gorda aplicando criterios de rotura”. GEOBRASIL (ISSN 1519-5708). 12-24 p. 2001.
- GUPTA, R.P. Y JOSHI, B.C.**, “Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach- A Case Study from the Ramganga Catchment, Himalayas”. Engineering Geology. 28 , 119-131 p. 1990.
- HAMMOND, C.J.; PRELLWITZ, R.V. Y MILLER, S. M.**, “Landslide hazard assessment using Monte Carlo simulation”. Proc. 6th. Int. Symp. on Landslides, Christchurch, New Zealand. 2, 959-964 p. 1992.
- HANSEN, A.**, “Landslide hazard analysis”. En: D. Brundsen and D.B. Prior (Editors), *Slope Stability*. John Wiley and Sons, 523-602 p. 1984.

- HANSEN, A. Y FRANKS, C.A.M.**, “Characterization and mapping of earthquake triggered landslides for seismic zonation”. Proceed. IV. Int. Conf. Seismic Zonation, Stanford, California, 149-195 p. 1991.
- HARTLÉN, J. Y VIBERG, L.**, “Evaluation of landslide hazard”. En: Ch. Bonnard (Ed): 5th. International Congress on Landslides. Lausanne. 1 (2), 1037-1057 p. 1988.
- HECKERMAN, D.**, “Probabilistic interpretation of MYCIN’s certainty factors”. En: L.N. Kanal and J.F. Lemmer (editors) *Uncertainty in Artificial Intelligence*. Elsevier, 167-196 p. 1986.
- HUMA, I. Y RADULESCU.**, “Automatic production of thematic maps of slope instability”. Bulletin International Association of Engineering Geologist. 17, 95-99 p. 1978.
- HUTCHINSON, J.N.**, “Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology”. En: Ch. Bonnard (Editor), 5th Int. Congr. on Landslides, Lausanne. 1, 3-35 p. 1988.
- IAEG.**, “Engineering geological maps. A guide to their preparation”. International Association of Engineering Geologists. The UNESCO Press, Paris, 79 p. 1976.
- IRIGARAY, C.**, “Cartografía de Riesgos Geológicos asociados a movimientos de ladera en el sector de Colmenar (Málaga)”. Tesis de Licenciatura. Univ. De Granada, 390 p. 1990.
- IRIGARAY, C.**, “Movimientos de ladera: inventario, análisis y cartografía de susceptibilidad mediante un Sistema de Información Geográfica. Aplicación a las zonas de Colmenar (Málaga), Rute (Córdoba) y Montefrío (Granada)”. Tesis Doctoral. Univ. De Granada. 1995.
- ITURRALDE-VINENT M.**, “Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba”. Ciencias de la tierra y el espacio, Cuba. 17, 1990.
- ITURRALDE-VINENT M.**, “Nuevo modelo interpretativo de la evaluación geológica de Cuba”. Ciencias de la tierra y el espacio, Cuba. 3, 1981.
- JONES, F.O.; EMBODY, D.R. Y PETERSON, W.C.**, “Landslides along the Columbia river valley, Northeastern Washington”. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 367, 98. 1961.
- KEEFER, D. K.**, “Landslides caused by earthquakes”. Geol. Soc. Am. Bull. 95, 406-421 p. 1984.
- KELARESTAGHI A.**, “Investigation of Effective Factors on Landslides Occurrence and Landslide Hazard Zonation – Case Study Shirin Rood Drainage Basin, Sari, Iran”. 2004, (2004-04-23). Disponible en:

[http://www.gisdevelopment.net/application/natural\\_hazards/landslides/ma03003.htm](http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/ma03003.htm)

- KINGSBURY, P.A.; HASTIE, W.J. Y HARRINGTON, A.J.**, “Regional landslip hazard assessment using a Geographical Information system”. Proc. 6th. Int. Symp. on Landslides, Christchurch, New Zealand. 2, 995-999 p. 1992.
- KOBASHI, S. Y SUZUKI, M.**, “Hazard Index for judgement of slope stability in the Rokko mountain region”. Proc. INTERPRAEVENT 1988, Graz, Austria, Band. 1, 223-233 p. 1991.
- KOBAYASHI, Y.**, “Causes of fatalities in recent earthquakes in Japan”. Journal. Disaster Science. 3, 15-22 p. 1981.
- LEE, H.J.; LOCAT, J.; DARTNELL, P.; MINASIAN, D. Y WONG, F.**, “AGIS-Based Regional analysis of the Potential for Shallow-Seated Submarine Slope Failure”. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. 2, 917-922 p. 2000.
- LEROI, E.**, “Landslide hazard-Risk maps at different scales: objectives, tools and developments”. Proc. 7th. Int. Symp. on Landslides, Trondheim, v.1, 35-51 p. 1996.
- LEROI, E.**, “Landslide risk mapping: problems, limitations and developments”. en: Cruden & Fell (ed.), *Landslide risk assessment*. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. A.A. Balkema. 239-250 p. 1997.
- LEWIS J. L. Y DRAPER G.**, “Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. The Caribbean region the geology of North America. H, 1990.
- LOMTADZE V. D.**, “Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería” Ed. Pueblo y Educación, 560 p. 1977.
- LÓPEZ, H.J. Y ZINCK, J.A.**, “GIS-assisted modelling on soil-induced mass movement hazards: A case study of the upper Coello river basin, Tolima, Colombia”, ITC-Journal. 4, 202-220 p. 1991.
- LUCINI, P.**, “The potential landslides forecasting of the Argille Varicolori Scagliose complex in IGM 174 IV SE Map, Saviano di Puglia (Compania)”. Geol. Appl. Idrogeol., 8, 311-316 p. 1973.
- LUZI, L. Y FABBRI, A.G.**, “Application of Favourability Modelling to Zoning of Landslide Hazard in the Fabriano Area, Central Italy”. 1st. Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, The Hague, NL. 398-403 p. 1995.

- LUZI, L. Y PERGALANI, F.**, “Applications of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1:50.000 Fabriano geological map sheet)”. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 15, 83-94 p. 1996.
- MAHDAVIFAR, M.R.**, “Fuzzy information Processing in Landslide Hazard Zonation and Preparing the Computer System”. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford. London. 2, 993-998 p. 2000.
- MANTOVANI, F.; MASÈ, G. Y SEMENZA, E.**, “Franosità e dinamica fluviale del bacino della Valturcana, Alpage (Belluno)”. *Ann. Univ. Ferrara. Sez. IX*, 8(3): 29-60 p. 1982.
- MANTOVANI, F.; SOETERS, R. Y VAN WESTEN, C.J.**, “Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe”. *Geomorphology*. 15, 213-225 p. 1996.
- MAYORAZ, F.; CORNU, T. Y VULLIET, L.**, “Using Neural Networks to Predict Slope Movements”. *Proc. 7th. Int. Symp. on Landslides, Trondheim*, v. 1295-300. 1996.
- MORA, S. Y VAHRSON, W. G.**, “Macrozonation methodology for landslide hazard determination”. *Bull. Of the Assoc. Eng. Geology*. XXXI (1), 49-58 p. 1994.
- MORGAN, B. W.**, “An introduction to Bayesian statistical decision process”. Ed. Prentice-Hall, New York. 116 p. 1968.
- MORRIS A. E., TANER I., MEYERHOFF H. A., Y MEYERHOFF A. A.**, “Tectonic evolution of the Caribbean region; alternative hypothesis. *The geology of North America*. H. 1990.
- MORTON D. M., ALVAREZ R. M., CAMPBELL., R. H., BOVARD K. R., BROWN D. T.,  
CORRIEA K. M. Y LESSER J. N.**, “Preliminary soil-slip susceptibility maps, southwestern California ”. File report OF 03-17. USGS. 67 p. 2003.
- MULDER, H.F.H.M., (1991)** “Assessment of landslide hazard”. *Nederlandse Geografische Studies*. PhD Thesis, University of Utrecht. 150 p. 1991.
- MURPHY, W. Y INKPEN, R.J.**, “Identifying landslide activity using airborne remote sensing data”. *Proc. 22nd. Annual Conference of the Remote Sensing Society*. 392 p. 1996.



- MURPHY, W. Y VITA-FINZI, C.**, "Landslides and seismicity: an application of remote sensing. Proc. 8th. Thematic Conference on Geological Remote Sensing (ERIM), Denver, colorado, USA. 2, 771-784 p. 1991.
- NAGARAJAN, R.; ANUPAM MUKHERJEE; ROY, A. Y KHIRE, M.V.**, "Temporal remote sensing data and GIS application in landslide hazard zonation of part of Western ghat, India". Int. Jour. Rmeote Sensing, 19 (4), 573-585 p. 1998.
- NARANJO, J.L; VAN WESTEN, C.J. Y SOETERS, R.**, "Evaluating the use of training areas in bivariate statistical landslide hazard analysis- a case study in Colombia". ITC-Journal. 3, 292- 300 p. 1994.
- NCGIA.**, "Core Curriculum ". Tres volúmenes: I. Introducción to GIS. II. Technical issues in GIS. III. Application issues in GIS". Santa Bárbara, CA. National Center for Geographic Information and Analysis / University of California. 1990.
- NEULAND, H.**, "A prediction model for landslips". Catena. 3, 215-230 p. 1976.
- NEWMAN, E.B.; PARADIS, A.R. Y BRABB, E.E.**, "Feasibility and cost of using a computer to prepare landslide susceptibility maps of the San Francisco Bay Region, California". US Geological survey Bulletin. 1443, 29 p. 1978.
- NIEMANN, K.O. Y HOWES, D.E.**, "Applicability of digital terrain models for slope stability assessment". ITC-Journal. 3, 127-137 p. 1991.
- NOAS J. L. Y CHUY T L.**, "Caracterización de la amenaza sísmica de la ciudad de Moa, provincia Holguín". VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 2005.
- OKIMURA, T. Y KAWATANI, T.**, "Mapping of the potential surface-failure sitges on granite mountain slopes". En: V. Gardiner (Editor), International Geomorphology. Part 1. Wiley, New York. 121-138 p. 1986.
- OLIVA G., LUIS E., SÁNCHEZ E. A., HERNÁNDEZ J. R., PROPIN E., BUZNEGO E., LORENZO A. C., MON M. Y AZCUE A.**, "Nuevo atlas nacional de Cuba". Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba. 1989.
- PANDE, G.N. Y PIETRUSZCZAK, S. (ED.)**, "Numerical models in geomechanics". Proc. 5th. Int. Symp. on Num. Models in Geomechanics, NUMOG V, Davos, Switzerland, 6-8 September, 1995.
- PARZEN E. M.**, "Modern probability theory and its applications". Edición revolucionaria. Cuba. 60 p. 1960.
- PEDROSO E., FUNDORA M., GONZÁLEZ Y., GUERRA M., JAIMEZ E., SILVESTRE E., GONZÁLEZ B. E., DAVID L., LLANES C., SUÁREZ E. Y HERNÁNDEZ Y.**, "Peligros,

- vulnerabilidad y riesgos geológicos, geofísicos y tecnológicos. Caso estudio en el municipio playa”. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 2005.
- PENSON E.**, “Mecánica de suelos. Manuales de cátedras”. UNPHU, Santo Domingo, República Dominicana. 506 p. 1994.
- PLAFKER, G. Y ERIKSEN, G.E.**, “Nevados Huascaran avalanches, Peru”. En: B.Voight (Editor). *Rockslides and avalanches*, Elsevier.1, 277-314 p. 1979.
- PLAFKER, G. Y GALLOWAY, J.P. (EDS.)**, “Lessons learned from the Loma Prieta, California. 1989.
- QUINTAS F., ALMAGUER Y., RODRÍGUEZ A., RODÉS A., VARGAS A.**, “Cartografía geológica del basamento del yacimiento Punta Gorda a escala 1:2 000”. Subprograma del proyecto de Modelación Geotecnológica de la Empresa Enerito Che Guevara. Departamento de geología, ISMM, Cuba. 120 p. 2002.
- RADBRUCH-HALL, D.H.; EDWARDS, K. Y BATSON, R.M.**, “Experimental engineering geological maps of the conterminous United States prepared using computer techniques”. Bulletin International Association of Engineering Geologist, 19, 358-363 p. 1979.
- RENGERS, N.; SOETERS, R. Y VAN WESTEN, C.J.**, “Remote sensing and GIS applied to mountain hazard mapping”. Episodes. 15 (1), 36-45 p. 1992.
- REYES P., RÍOS Y., VEGA N., ARANGO E.**, “ Peligro geológico de la red vial de las provincias orientales para caso de sismos de gran intensidad”. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 2005.
- ROCAMORA E.**, “Evaluación de los fenómenos de desprendimientos de bloques en las laderas verticales. Casos de estudio”. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 2005.
- RODRÍGUEZ A.**, “Características geólogo-geomorfológicas del yacimiento Punta Gorda. Revista Minería y Geología, 1, 1983.
- RODRÍGUEZ A.**, “Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica”. Tesis doctoral. Departamento de geología, ISMM, Cuba. 1998.
- RODRÍGUEZ W. Y VALCARCE R. M.**, “Aplicación SIG para evaluar el peligro de inundaciones”. VI Congreso Cubano de Geología y Minería. Geomática. 2005.

- RUNQIU, H. Y YUANGUO, L.**, “Logical message model of slope stability prediction in the Three Gorges reservoir area, China”. Proc. 6th. Int. Symp. on Landslides, Christchurch, New Zealand. 2, 977-981 p. 1992.
- SANTACANA, N.**, “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”. Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2001.
- SCANVIC, J.Y.; ROUZEAU, O. Y COLLEAU, A.**, “SPOT outil d’aménagement exemple de réalisation par télédétection et analyse multicritère d’une cartographie des zones sensibles aux mouvements de terrain le site de La Paz-Bolivie”. BRGM Serv. Géol. Nat. Dépt. Téléd. Orléans Cedex, France. 1990.
- SCHUSTER, R.L.**, “Socioeconomic significance of landslides”. En: Turner, A.K.; Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides. Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC. 2-35 p. 1996.
- SHAFER, G.**, “A Mathematical Theory of Evidence”. Princenton University Press, Princenton N.J. 297 p. 1976.
- SHARPE, C.F.S.**, “Landslides and their control”. Academia & Elsevier, Prague. 205 p. 1938.
- SINHA L. K., PAUL R. S. Y MEHTA S. D.**, “Landslide hazard zonation in a part of Giri Basin, Sirmur district (H.P.) using Remote Sensing techniques & GIS”. 2004 (2004-06-12). Disponible en: [http://www.gisdevelopment.net/application/natural\\_hazards/landslides/nhls0012a.htm](http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/nhls0012a.htm)
- SIRIWARDANE, H.J. Y ZAMAN, M.M.**, “COMPUTER METHODS AND ADVANCES IN GEOMECHANICS”. PROC. 8TH. INT. CONF. OF COMPUTER MET. AND ADVANCES IN GEOMECH., MORGANTOWN, USA. 1994.
- SIVAKUMAR G. L. Y MUKESH M. D.**, “LANDSLIDE ANALYSIS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS ”. 2004. (2004-06-10). DISPONIBLE EN: [HTTP://WWW.GISDEVELOPMENT.NET/APPLICATION/NATURAL\\_HAZARDS/LANDSLIDES/NHLS0011.HTM](HTTP://WWW.GISDEVELOPMENT.NET/APPLICATION/NATURAL_HAZARDS/LANDSLIDES/NHLS0011.HTM)
- SOWERS G. B. Y SOWERS G. F.**, “Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones”. 2 tomos. Edición revolucionaria. p. 319, 1976.

- STAKENBORG, J.H.T.**, “Digitizing alpine morphology. A digital terrain model based on a geomorphological map for computer-assisted applied mapping”. ITC-Journal 4, 299-306 p. 1986.
- STEVENSON, P.C.**, “An empirical method for the evaluation of relative landslip risk”. Bul. IAEG.16, 69-72 p. 1997.
- SUÁREZ J.**, “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”. Ed. Ingeniería de suelos Ltda.. Colombia. 547 p. 1998.
- TANGESTANI M. H.**, “Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma operation in a GIS, Kakan catchment area, Iran ”. 2004. (2004-09-23). Disponible en:  
[http://www.gisdevelopment.net/application/natural\\_hazards/landslides/mi03040.htm](http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/mi03040.htm)
- THURSTON, N. Y DEGG M.**, “Transferability and Terrain Reconstruction within a GIS Landslide Hazard Mapping Model: Derbyshire Peak District”. A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford. London. 3, 961-968 p. 2000.
- VALADAO P., GASPAR J. L, QUEIROZ G. Y FERREIRA T.**, “Landslide map of San Miguel island, Azores archipiélago”. Natural Hazard and Earth System Sciences. European Geophysical Society. (2), 51-56 p. 2002.
- VAN DIJKE, J.J. Y VAN WESTEN, C.J.**, “Rockfall hazard: a geomorphological application of neighbourhood analysis with ILWIS”. ITC-Journal, 1, 40-44 p. 1990.
- VAN WESTEN C.J.**, “GIS in landslide hazard zonation: areview, with examples from the Andes of Colombia”. En: M.F. Price and D. I Heywood (Editors) *Mountain Environments and Geographic Information Systems*. Taylor & Francis Ltd. 135-165 p. 1994.
- VAN WESTEN, C.J.**, “Application of Geographic Information System to landslide hazard zonation”. ITC- Publications n° 15 ITC, Enschede. 45 p. 1993.
- VARNES, D.J.**, “Landslide hazard zonation: a review of principles and practice”. Natural Hazards. n° 3. UNESCO, Paris. 63 p. 1984.
- VARNES, D.J.**, “slope movement tyoes and processes”. In: *Landslides analysis and control*. Special Report. 176, 11-33 p. 1978.

- VEGA M. B.**, “Obtención del mapa de erosión de suelos a escala 1:250 000 en el ambiente de un SIG”. VI Congreso Cubano de Geología y Minería. Geomática. 2005.
- VOIGHT, B.; JANDA, R.J.; GLICKEN, H. Y DOUGLASS, P.M.**, “Nature and mechanisms of the Mount St Helens Rock-Slide Avalnache of 18 May 1980”. *Geotechnique*. 33 (3), 243-273 p. 1983.
- VULLIET, L. Y MAYORAZ, F.**, “Coupling Neural Networks and Mechanical Models for a Better Landslide Management”. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice* Tomas Telford. London. 3, 1521-1526 p. 2000.
- WARD, T.J.; RUH-MING, LI Y SIMONS, D.B.**, “Mapping landslide hazards in forest watershed”. *Journal of Geotechnical Engineering Division, Proc. of the American Society of Civil Engineers*, 108 (GT2), 319-324 p. 1982.
- WP/WLI.**, “Multilingual landslide glossary”. The Canadian Goethecnical society. Bitech Publishers Ltd. 1993.
- WU, Y.; YIN, K. Y LIU, Y.**, “Information Analysis System for Landslide hazard Zonation”. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford. London. 3, 1593-1598 p. 2000.
- YIN, K. Y YAN, T.**, “Distibution regularity of landslides and prediction of slope instability nearby Xuyang, Han river valley”. *Earth Science Journal of China University of Geosciences*. 631- 638 p. 1987.
- YIN, ORPHOSED ROCKS**”. *Proceed. 5th. Int. Symp. Landslides, Lausanne*. 2, 1269-1272 p. 1988.
- ZADEH, L.A.**, “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility”. *Fuzzy Sets and Systems*. 1, 3-28 p. 1978.
- ZADEH, L.A.**, “Fuzzy sets”. *IEEE Information and Control*. 8, 338-353 p. 1965.
- ZÊZERE, J.A.; FERREIRA, A.B.; VIEIRA, G.; REIS, E. Y RODRIGUEZ, M.L.**, “The use of Bayesian Probability for Landslide Susceptibility Evaluation. A Case Study in the Area North of Lisbon (Portugal)”. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford. London. 3, 1635-1640 p. 2000.
- K.L. y Yan, T.Z.**, “Statistical prediction model for slope instability of metam