

GR423
T3K3

APLICACION DE UNA METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE AREAS SUSCEPTIBLES A LA OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS DE MASA

CASO: MICROCUENCA LA PIÑALERA. CUENCA DEL RIO DORADA.
ESTADO TACHIRA

POR

Rosa J. Ramirez G.



Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado
Magister Scientiae mención Manejo de Cuencas



Centro de Estudios de Post-Grado
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad de Los Andes
Mérida-Venezuela
Julio 1998

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sincero agradecimiento al Ing. Luigi Iannuzzi, su amistad y ayuda profesional fueron fundamentales en el logro de este trabajo.

Un reconocimiento muy especial al Dr. Roberto Ucar Navarro, mi tutor, excelente profesional; noble un señor.

A Carlos Ferrer, mi amigo y colega, su capacidad de trabajo es para mi un estímulo constante.

INDICE

I.- INTRODUCCION.....	1
II.-REVISION BIBLIOGRAFICA.....	4
III.-METODOS Y TECNICAS.....	9
1.-Análisis de las variables físicas asociadas a movimientos de masa.....	10
a.-Geomorfología.....	10
b.-Geología.....	10
c.-Pendientes.....	11
2.-Preparación del mapa de zonificación por áreas susceptibles de ser afectadas por movimientos de masa.....	12
a.-Mapa de factores combinados.....	12
b.-Superposición de áreas afectadas por los movimientos de masa con el de factores combinados.....	13
c.-Estimación de la proporción que ocupan los movimientos de masa en relación a la superficie total de cada combinación de factores	14
d.-Aplicación de la función W para definir los diferentes niveles de susceptibilidad.....	15
IV.-RESULTADOS.....	18
1.-Mapa de geología.....	19
a.- Formación Río Negro.....	19
b.-Formación Aguardiente.....	20
c.-Formación Apón.....	20
2.- Mapa de pendientes.....	21
3.-Mapa de variables combinadas.....	21
4.-Mapa de inventario de movimientos de masa.....	22

5.-Mapa de áreas susceptibles a ser afectadas por la ocurrencia de movimientos de masa.....	23
V.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	27
VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
VII.-REFERENCIAS CITADAS	33

www.bdigital.ula.ve

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1	RANGOS DE PENDIENTES
CUADRO 2	FORMACIONES GEOLOGICAS
CUADRO 3	SUMA TOTAL DE AREAS CORRESPONDIENTES A CADA COMBINACION DE FACTORES DE GEOLOGIA Y PENDIENTES
CUADRO 4	SUPERFICIE AFECTADA POR MOVIMIENTOS DE MASA POR CADA COMBINACION DE FACTORES
CUADRO 5	PROPORCION DE MOVIMIENTOS DE MASA DE MASA POR CADA COMBINACION DE FACTORES

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.

FIGURA 2. INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE MASA

FIGURA 3. MAPA DE GEOLOGÍA

FIGURA 4. MAPA TOPOGRÁFICO

FIGURA 5. MAPA DE PENDIENTES

FIGURA 6. MAPA DE FACTORES COMBINADOS

FIGURA 7. MAPA DE FACTORES COMBINADOS Y MOVIMIENTOS DE MASA

FIGURA 8. MAPA DE ÁREAS SUSCEPTIBLES A LA OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS DE MASA

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo fundamental, la aplicación de una metodología, que permite producir un mapa de zonificación por áreas susceptibles de ser afectadas por movimientos de masa.

Para lograr el objetivo planteado, la metodología utiliza la información aportada por tres variables que son determinantes en la condición de estabilidad de los terrenos: geología, geomorfología y valores de pendientes.

En cuanto al análisis de la información, se fundamenta en el principio de superposición para obtener un mapa combinado de geología y pendiente. Analiza las proporciones de movimientos de masa en función de cada combinación y produce al final cuatro niveles de estabilidad relativa expresada en una escala ordinal de: baja, media, alta y extrema susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa.

El área escogida fue la microcuenca de La Piñalera, parte alta de la cuenca del río Uribante, en el estado Táchira. La escala seleccionada fue un nivel detallado (1:5.000) y el levantamiento de la información está apoyado por fotointerpretación y trabajo de campo.

Los resultados se expresan en mapas obtenidos a través de sistemas de información geográfica. Finalmente, se discuten la bondades de la metodología y se hacen sugerencias para su adaptación a otras investigaciones que al respecto se realicen en el futuro.

Palabras claves: Geomorfología; Estabilidad Relativa; Movimientos de Masa; Zonificación; Andes Venezolanos; Estado Táchira.

ABSTRACT

This work has as main purpose to contribute with a particular methodology to find one's way concern with the elaboration of mass movement susceptibility maps. To procure this task we used, in a broad sense, three stability conditions of the ground that are based in : Geology aspects, geomorphological characteristics and slopes. With this technique we applied the principle of overlaying to get, as a first step, a combined map of geology and areal slopes. The final product of this essay are four distinctive levels of relative slope stability, supported in the proportions of each mass movement found in every combination; then this values are expresed in an ordinal scale as : low, medium, high and highest degree of susceptibility. The area selected for this study are located in the Táchira state, upper part of the Uribante river basin, in the western region of the venezuelan Andes ; its name is La Piñalera. The scale selected was a detailed level (1:5.000) and the information had been supported with an intensive job in the fotointerpretation of aerial photographs and extensives field works. The end products are expresed in a complete sets of maps that are procured with the applications of GIS, finally we discuss the favorable aspects of methodology here used and we treat to fornulate some suggestions about its adoption to other future researchs on areas with similar problems.

Key Words: Geomorphology ; Relative Stability, Mass Movements ; Methodology ; Venezuelan Andes ; Táchira state.

I.-INTRODUCCION

Los “deslizamientos de tierra” son sucesos que el hombre cataloga como desastres debido a los efectos de destrucción que ellos causan, tanto a bienes materiales y ambientales, como a la vida misma. Los daños que ocasionan estos movimientos pueden ser evitados o mitigados en la medida en que el hombre comprenda que deben ser tomados en cuentas e incluidos en el proceso de planificación, especialmente durante la etapa de formulación e implementación de las actividades relativas al desarrollo económico.

La identificación de estos riesgos en una etapa temprana permite considerar alternativas de ubicación adecuada de cualquier infraestructura que se proponga, cambios de los sistemas de producción y modificaciones oportunas de los patrones de crecimiento en los lugares en donde se pretenda iniciar un desarrollo. Ahora, con la promulgación de la Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (1990 - 2000), los organismos internacionales, haciendo hincapié en el desarrollo sustentable de los recursos naturales, les dan preferencia a los proyectos que contemplen en todas las fases de su desarrollo la identificación de los riesgos y las propuestas para su mitigación. Por este motivo, se ha provocado la convocatoria de muchos especialistas a eventos importantes, en donde el centro de discusión ha sido la implementación de métodos que permitan a los planificadores reconocer su importancia e integrarlos en la preparación de sus estrategias para el desarrollo, con la misma intensidad con que se analizan las condiciones sociales y económicas con las cuales hasta ahora, han justificado las inversiones en sus proyectos.

La mayoría de los análisis de carácter físico-ambiental que se realizan como parte de los estudios básicos de una cuenca, generalmente concluyen en la definición de áreas homogéneas que proporcionan una excelente descripción de zonas con características físicas comunes. Esto es importante, porque corresponde a una parte fundamental del diagnóstico de la cuenca, sin embargo, en la mayoría de los casos, este estudio se convierte en una descripción excesiva de cada variable física, información valiosa, pero a veces tan técnica y aislada que

dificulta su interpretación, especialmente cuando debe orientar y apoyar la toma de decisiones en cuanto a los planes de manejo se refiere.

Es necesario entonces, que después de la fase de diagnóstico, se pase a una fase de síntesis de la información, en donde se asocien aquellas variables cuyos aportes se complementen entre sí para producir un mapa único, en el cual, se pueda apreciar el comportamiento que asumirían los terrenos ante cualquier intervención que se proponga. Esto se refiere, a la necesidad de producir una zonificación por estabilidad relativa, en donde se pueda representar a través de una escala de intensidades la verdadera susceptibilidad física de la cuenca. Este "documento" es un marco de referencia fundamental en cuanto a las recomendaciones de uso y garantizaría que, en los planes propuestos para el desarrollo de la cuenca, se contemplen también los riesgos por inestabilidad de los terrenos que realmente existen en la misma. Esto es muy importante, no solo para poder calcular el costo real de los proyectos al incluir estos aspectos, sino también para analizar la viabilidad de ellos, estimar su verdadera magnitud y garantizar su permanencia en el tiempo.

Tomando en consideración lo planteado, este trabajo tiene como objetivo principal comprobar la efectividad de una metodología, la cuál permite, producir un mapa de zonificación por áreas susceptibles de ser afectadas por movimientos de masa, usando solamente tres variables físicas. Para cumplir con este objetivo, se aplicó una metodología propuesta por DeGraff y Romesburg (1980) para producir una zonificación de riesgos mediante un análisis de factores combinados: geomorfológicos, geológicos y clinométricos.

El área escogida para la realización de este trabajo, es la microcuenca La Piñalera, la cual tiene una superficie aproximada de 1.033 ha y forma parte de la cuenca alta del río Doradas, en el estado Táchira. Es una microcuenca de torrente con un comportamiento geológico y geomorfológico muy interesante, comprometido directamente con el proceso erosivo que ella presenta. La escala

del trabajo es 1:5.000 y el levantamiento de la información se apoyó en la revisión de la literatura, la fotointerpretación y el trabajo de campo.

Se elaboraron cinco mapas básicos, correspondientes a la litología, valores de pendientes, combinación de ambos, inventario de movimiento de masa y la zonificación definitiva por riesgos. Este último mapa, es el resultado del análisis estadístico de los datos aportados por la superposición de los mapas temáticos anteriores. Se determinaron cuatro niveles de riesgo por movimientos de masa mediante la aplicación de una función estadística que limita el uso de criterios subjetivos para realizarlos. Finalmente, se discuten las ventajas y desventajas de la metodología aplicada y se hacen sugerencias para otras investigaciones que al respecto se realicen en el futuro.

www.bdigital.ula.ve

II.-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Debido a los objetivos de este trabajo orientado fundamentalmente a la discusión metodológica, se ha considerado pertinente comentar sobre algunos tipos de cartografía geomorfológica relacionadas con el levantamiento de movimientos de masa.

El nivel de detalle de un mapa Inventario de procesos geomorfológico, puede ir desde un simple reconocimiento que permite ubicar los movimientos de masa, hasta un nivel de detalle en donde se pueden identificar, además de los tipos de desprendimientos, su actividad, la dirección del movimiento, la localización de los escarpes principales o secundarios, las zonas de depósitos e inclusive los datos pertinentes a la profundidad, magnitud y tipos de los materiales involucrados (Brabb, 1984). Estos mapas son fundamentales porque proveen una buena base para la preparación de mapas derivados, tales como: estabilidad relativa de los terrenos, susceptibilidad por movimientos de masa o mapas de riesgos entre otros. Wieczorek, (1984) desarrolló una metodología para realizar mapas detallados de inventarios de deslizamientos para la evaluación y reducción de riesgos, analizó más de 300 deslizamientos en una zona de California con el diseño de un formato codificado para cada característica analizada de cada uno de los deslizamientos levantados; estado de la actividad, certeza en la identificación, tipos de movimientos, profundidad del deslizamiento, fecha de la actividad de los fenómenos más recientes entre otros. Las metodologías más actualizadas que se usan para realizar mapas geomorfológicos de estabilidad relativa, siempre consideran en su etapa inicial, la necesidad de disponer de un mapa inventario de procesos y formas geomorfológicas; esto facilita la realización de zonificaciones definitivas.

Los mapas de susceptibilidad, indican solamente, la estabilidad relativa de los terrenos asociados a uno o varios procesos geomorfológicos, no son mapas de predicción absoluta aunque identifican las áreas de movimientos potenciales (Brabb, 1984). Puede ser considerado como un mapa derivado de uno de inventario con el cual se han correlacionado algunos factores principales que contribuyen a que estos movimientos se produzcan como por ejemplo, las

condiciones geológicas, la inclinación de las pendientes y la humedad entre otros. La superposición de estos factores con el mapa inventario de movimientos de masas produce el de susceptibilidad, en donde puede identificarse por áreas las condiciones físicas específicas de geología, pendiente, etc que se asocian para producir un movimiento de masa. (ejemplo: Bolet al, 1975; Ferrer, 1981; 1987; 1988; Ferrer y Dugarte 1989; 1990). Algunos autores creen que la información que producen estos mapas podrían extrapolarse para predecir movimientos potenciales en otras áreas. (Wold, R. et al 1989). La complejidad de estos mapas va a depender de los factores adicionales de otras variables que se consideren pertinentes a los problemas de estabilidad.

Es importante destacar los mapas de susceptibilidad realizados por Brabb et al (1972) y Drennon y Shleining (1975) donde seleccionaron tres parámetros fundamentales: distribución de los movimientos de masa, valores de pendientes y naturaleza del basamento rocoso. Newman et al (1978) aplicó esta misma metodología usando la computación, lo cual le permitió generar los mapas en menos tiempo y a un costo menor que los producidos manualmente. El uso de las computadoras ha permitido que se incremente el número de variables utilizadas como por ejemplo, características físico - mecánicas de la roca y los suelos, condiciones estructurales del basamento rocoso, hidrología, cobertura vegetal, orientación de las vertientes entre otros. (Huma y Radulescu, 1978, en Rumania, Carrara et al, 1978, en Italia).

Los mapas de riesgos asociados a amenazas geomorfológicas, pueden ser usados para predecir el grado relativo de riesgos por la ocurrencia de movimientos de masa en un área; si es alto, moderado, bajo o muy bajo (Word R, et al 1989) Este tipo de mapa muestra las zonas donde han ocurrido movimientos en el pasado, en donde ocurren actualmente y donde podrían ocurrir en el futuro, generalmente funciona bien a escalas generalizadas como un documento guía para los profesionales que trabajan en procesos de planificación. Estos mapas pueden realizarse a nivel detallado para evaluar la probabilidad de riesgo por movimientos de masa y en estos casos, se puede hablar de la inminencia del

colapso haciendo un seguimiento con ciertas mediciones a los procesos de reptación progresiva, que generalmente preceden a los desprendimientos finales.

El seguimiento o monitoreo (monitoring) no es una técnica muy común para establecer una zonificación por niveles de riesgos, necesita de instrumentos y conocimientos técnicos para manejarlos, que aunque generalmente son aparatos sencillos, no están a la disposición de algunos países debido a los costos de instalación y el mantenimiento que requieren para su operación. Son técnicas más útiles para realizarles seguimiento a las áreas que ya están clasificadas como de alto riesgo y a las cuales pueden identificárseles umbrales críticos que podrían significar una respuesta esperada ante la ocurrencia del evento que produce el riesgo. Estas técnicas han sido muy desarrolladas en California Estados Unidos y también, muy especialmente, en el Japón, en donde el riesgo producido por movimientos de masa tipo flujos ha alcanzado proporciones catastróficas, en este aspecto han sido importantes los trabajos de Chang (1971) y Tekeuchi (1971)

El uso de los sensores remotos, ha resultado una técnica muy útil cuando los eventos se manifiestan en la superficie del terreno en forma progresiva. Es una metodología que ahorra recursos y tiempo por lo efectivo de sus pronósticos, especialmente con el desarrollo paralelo de las microcomputadoras, desafortunadamente, por sus costos, no siempre es accesible a todos los países.

En la búsqueda de poder pronosticar la ocurrencia de movimientos de masa, en las últimas décadas se han incluido técnicas estadísticas para el uso de variables múltiples, tanto para establecer niveles de riesgos, como para pronóstico de futuras ocurrencias. En el primer caso Jones et al (1961) presentó un trabajo en el cual estudió 300 movimientos de masa, con factores cualitativos y cuantitativos y aplicó en algunos de ellos asociados por grupos, el análisis de varianza, covarianza y regresión múltiple para determinar parámetros claves y de esa forma separar las vertientes potencialmente estables de las que no lo son. Existen autores que han desarrollado modelos empíricos para producir niveles de estabilidad relativa a través de tratamientos estadísticos de una cantidad de datos, a veces difíciles de obtener. El objetivo es tratar de comparar situaciones de comportamientos a través de valores numéricos relacionados con algunas

condiciones naturales de las vertientes. Según Waltz (1971) esta técnica podría ser muy interesante para establecer comparaciones pero generalmente los datos utilizados para tal fin suelen ser temporales y estáticos de áreas muy restringidas lo que no permite la posibilidad de extrapolar y asumir comportamientos homogéneos en condiciones físicas parecidas.

En relación a los modelos predictivos Sheko (1977) y Kyuntssel et al (1978) han trabajado a escala regional, basándose en una interrelación entre movimientos de masa y las variaciones periódicas del clima. Este es un enfoque muy importante ya que ha abierto campo de investigación en la predicción de amenazas por la ocurrencia de flujos de detritos (Ferrer y Pérez 1993, Ferrer 1994). Igualmente en este campo del uso de los métodos estadísticos para definir estabilidad relativa es oportuno incluir los trabajos de Smith (1977) Ramírez (1995), Gao (1993), Pack (1985), Ellen et al (1988) y Wieczorek et al 1980: 1989).

En relación a los usos de los métodos estadísticos para la predicción de riesgos por movimientos de masa, estos se han asociado no solo a condiciones climáticas, sino también a rasgos estructurales del basamento rocoso, a la ocurrencia de tormentas como responsables de la producción de flujos (Ellen et al 1988, Ferrer 1994) y a muchos otros factores controladores de algunos eventos particulares que podrían ser de carácter catastróficos.

Los modelos geotécnicos van mucho más allá de establecer niveles de estabilidad relativa, como usan información proveniente de ensayos de laboratorio, se acercan más a establecer el comportamiento del terreno en términos de calidad de sitio y por lo tanto, es más exacta la delimitación del comportamiento en los diferentes niveles de estabilidad clasificados. Este tipo de modelo, puede permitir el cálculo de umbrales críticos para ciertos eventos y esto es de suma importancia cuando hay que precisar los riesgos. Coates y Vitek (1980) en sus trabajos sobre evaluación de riesgos, les dan mucha importancia al análisis de las características geotécnicas de los terrenos.

- Los modelos matemáticos, desarrollados para algunos eventos como por ejemplos los niveles de riesgos estimados para fenómenos de inundaciones, trabajan con una gran cantidad de datos que permiten predecir de una manera bastante precisa

el potencial de riesgo de un determinado evento y así pueden establecer los niveles de estabilidad de los terrenos de acuerdo a su cercanía a ese evento.

La superposición de factores o análisis factorial, es una de las metodologías más comúnmente usadas, parte del principio de que existen muchos factores responsables del comportamiento de los terrenos y solamente la superposición de ellos podría definir los niveles de riesgos a los cuales están sometidos. En el mundo, esta metodología viene tomando mucho auge, con diferentes orientaciones y asociadas a muchas innovaciones tecnológicas, pero con la convicción de que la superposición de factores es la dirección correcta para estimar y evaluar los diferentes niveles de estabilidad relativa. Muchos de los trabajos elaborados en relación a este aspecto para la bahía de San Francisco, están basados en esta metodología (Nilsen y Brabb, 1977). Estudios realizados en Rusia e Italia para establecer niveles de estabilidad relativa por eventos neotectónicos, tienen fundamentos basados en la superposición de factores (Panizza 1978).

Ultimamente, el uso de sistemas de información geográfica se considera como la panacea para realizar mapas de estabilidad relativa o riesgos por movimientos de masa o por cualquier otra amenaza natural, ya que permite la superposición de una cantidad de variables que manualmente sería imposible incluirlas, además, esta tecnología elimina en gran parte la apreciación subjetiva del profesional debido a que las variables que intervienen lo hacen con pesos asignados. Algunos trabajos recientes (Mejías - Navarro et al 1994) (Iannuzzi 1997) pueden ser un buen marco referencial para futuros trabajos que siguen esta línea de investigación.

III.-METODOS Y TECNICAS

La metodología utilizada en este trabajo, fue propuesta por Degraff y Romesburg (1980) para zonificar riesgo por movimientos de masa usando al análisis de factores combinados (figura 1). Esta metodología ha sido usada en algunos países de Centroamérica a propósito de la implantación de sistemas de Información Geográfica aplicados a estudios de riesgos asociados con amenazas naturales.

La metodología se fundamenta en el hecho de considerar a la ocurrencia de los movimientos de masa como un fenómeno que se produce bajo una combinación de ciertas condiciones físicas, y asume que existen altas probabilidades de colapsos potenciales en los sitios en donde esas combinaciones se repiten.

Para la aplicación de esta metodología, se utilizaron tres variables determinantes en el comportamiento del relieve y que se consideran como el número mínimo necesario para garantizar el éxito de la misma: geología (comportamiento litológico), geomorfología (movimientos de masa) y los valores de pendientes. De acuerdo a la escala del trabajo y la experiencia obtenida en la aplicación de esta metodología en oportunidades anteriores, se consideró necesario realizar algunas modificaciones. En la metodología original solamente se delimitan áreas afectadas por movimientos de masa actuales o antiguos, en esta aplicación, se incluyeron aquellos procesos potenciales que no tenían planos de corte en forma visible, pero presentaban deformaciones en superficie que pueden considerarse como manifestaciones de movimientos inminentes.

DeGraff y Romesburg(1980) inicialmente utilizaron su metodología, para realizar evaluaciones sobre riesgos por movimientos de masa para estudios de planificación regional, sin embargo, con algunas adaptaciones, especialmente en el levantamiento de la información, se ha podido aplicar a nivel de proyectos urbanos e inclusive en trabajos más detallados. En cualquiera de los casos, resulta ser una buena guía de orientación geotécnica para los usos que se propongan. La secuencia metodológica fue la siguiente:

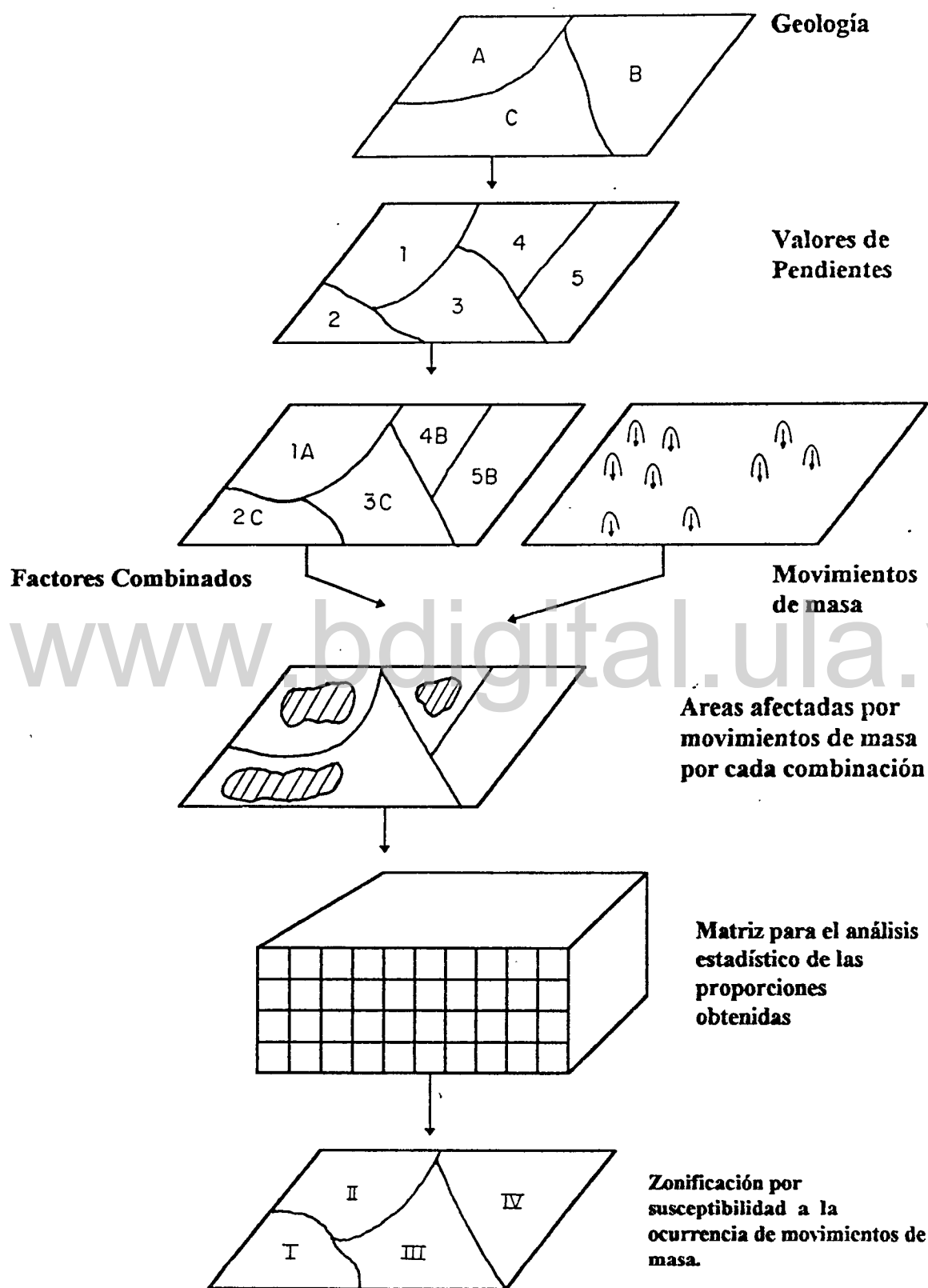


Figura 1

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA METODOLOGIA EMPLEADA

1.- Análisis de las variables físicas involucradas:

a)-Geomorfología.

Para efectos de la aplicación de la metodología, el análisis de esta variable debe aportar la información como un mapa de áreas afectadas por la ocurrencia de movimientos de masa, a fin de estimar las superficies involucradas en estos eventos. Para lograr este objetivo, se realizó un inventario de movimientos de masa a través de la interpretación de fotografías aéreas a escala 1:10.000 misión 0102115 del año 1981. En ésta etapa, se asumieron todas las evidencias de desplazamientos de materiales tanto profundos como superficiales, tomando en consideración no solamente la presencia de coronas o cicatrices, sino también, la acción de la escorrentia, la cual en este caso, esta muy asociada a los colapsos del material, especialmente cuando ésta se manifiesta en forma concentrada.

Toda la información obtenida por fotointerpretación y cartografiada en un mapa topográfico, fue verificada con trabajo de campo, con el fin de definir las condiciones de actividad actual que presentaban cada uno de estos movimientos. Así mismo, se aprovechó la oportunidad para cartografiar todas las evidencias posibles de los procesos que podrían convertirse en movimientos de masa en un futuro cercano. De esta manera, tomando en consideración los requerimientos de esta metodología, se delimitaron todos los movimientos de masa identificados como: actuales, antiguos y potenciales (figura 2)

b)-Geología

La información inicial de esta variable, se obtuvo a través del mapa geológico a escala 1:50.000 del Ministerio de Energía y Minas. Para su utilización en esta metodología, fue importante establecer unidades litológicas de comportamientos, independientemente que ellas pertenezcan a una sola formación geológica. Para lograr esta zonificación por comportamiento del basamento rocoso, se realizó un trabajo de campo haciendo énfasis en las características actuales de las rocas. Tomando en consideración la clasificación de Desio(1971) se agruparon

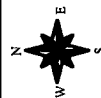
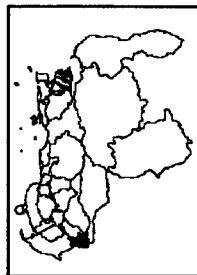
Microcuenca La Piñalera
Estado Tachira

MOVIMIENTOS DE MASA

- Limites
- Drenaje
- Áreas Afectadas
- Movimiento
- Vía

120 0 120 240 360 Meters

Situación Relativa Nacional



Editado por: Rosa Ramirez
Digitalizado por: Zollo Ferrer

Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19 Datum Horizontal La Canoa
Esterioide Hayford 1924



Fig. 2.

872000 m

871000 m

870000 m

N 869000 m

E 197000 m

198000 m

199000 m

200.000 m

201000 m

cuatro comportamientos: coherente; para las rocas masivas o en capas con el mejor comportamiento geotécnico, semicoherente; las que presentaban fracturamientos significativos con escasas evidencias de elementos cementantes o planos de esquistosidad con evidencias de alteración entre ellos, pseudocoherente; para las rocas con mucha evidencia de componentes arcillosos e incoherentes; para las rocas muy friables, sueltas, las cuales, como no presentan ninguna cementación son de muy fácil remoción, especialmente por el agua de escorrentía. Además de estas consideraciones, se analizó con detenimiento el grado de meteorización que presentaban los perfiles expuestos, a fin de relacionarlos con los movimientos de masa potenciales(figura 2)

c)-Pendientes.

El mapa de pendientes se realizó sobre la base de un mapa topográfico a una escala 1:5.000 con equidistancia entre curvas de 25m.(figura4). Se estimaron cinco rangos de pendientes expresados en porcentajes. Esta variable fue fundamental para la aplicación de la metodología planteada, ya que ella representa, por si sola, una zonificación que generalmente resulta ser muy indicativa de los límites entre los sectores favorables o no a la estabilidad(figura 5).

d)- Estructura del basamento rocoso.

Aunque esta variable no fue contemplada en la aplicación de esta metodología, se consideró oportuno hacer alguna referencia sobre ella, ya que en caso de realizar un estudio a escala más detallada, debería incluirse, para delimitar con mayor precisión las áreas afectadas por la condición de susceptibilidad extrema. El análisis de esta variable, produce un mapa de zonificación estructural basado en el procesamiento estadístico de las mediciones de rumbo y buzamiento de la foliación, estratificación y de los principales sistemas de diaclasas dominantes. Este mapa aporta al final de esta metodología, una zonificación de taludes inestables, parcialmente estables y estables desde el punto de vista estructural.

La superposición del mapa de Sectores Estructurales con el de Zonificación por Áreas Susceptibles a la Ocurrencia de Movimientos de Masa sería entonces la

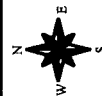
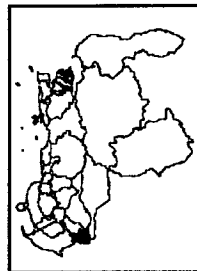
Microcuenca La Piñalera
Estado Tachira

GEOLOGIA



120 0 120 240 360 Meters

Situación Relativa Nacional



Editado por: Rosa Ramirez
Digitalizado por: Zolito Ferrer

Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19 Datum Horizontal La Canoa
Esferoide Hayford 1924

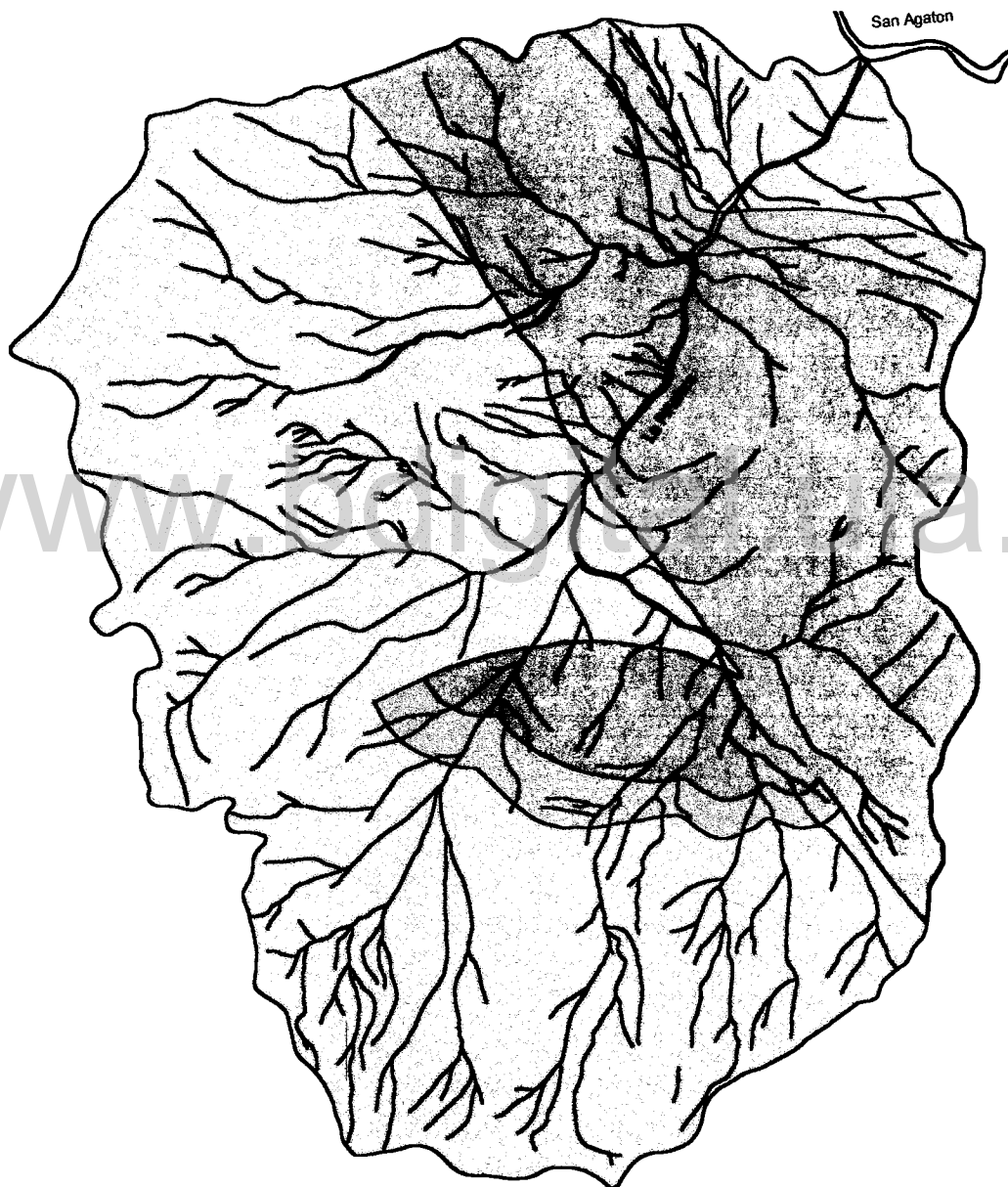


Fig. 3.

201000 m

200.000 m

199000 m

198000 m

E 197000 m

872000 m

871000 m

870000 m

N 869000 m

fase final de esta metodología y la modificación ideal para lograr resultados más detallados.

2.-Preparación del mapa de Zonificación por Areas Susceptibles de ser afectadas por Movimientos de Masa.

En este mapa, que representa el objetivo de esta metodología, se identificaron cuatro niveles de susceptibilidad: baja, moderada, alta y extrema. La secuencia metodológica que permitió obtener estos rangos fue la siguiente:

a)-Realización de un mapa de factores combinados. Después de realizar los mapas de rangos de pendientes y de geología, estos se superpusieron para obtener uno que representa la base fundamental de esta metodología. Las áreas producto de la combinación de estos factores, permiten observar quince comportamientos diferentes.(figura 6).

En el mapa de pendientes se identificaron cinco rangos(cuadro 1) y en el de geología se diferenciaron tres formaciones(cuadro 2)

Cuadro 1. Rangos de pendientes

PENDIENTES	SIMBOLO
< 25%	1
25 – 35 %	2
35 –50 %	3
50 – 75 %	4
> 75 %	5

Cuadro 2. Formaciones geológicas

FORMACIONES	SIMBOLO
Apón	Ka
Aguardiente	Kag
Río Negro	Krn

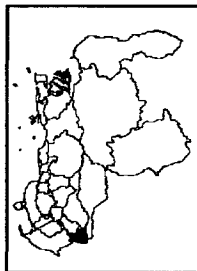
Microcuenca La Piñalera
Estado Tachira

MAPA TOPOGRAFICO

Equidistancia cada 25 mts
Limite de Cuenca
Drenaje
Vía

150 0 150 300 450 Meters

Situación Relativa Nacional



Editado por: Rosa Ramirez
Digitalizado por: Zolito Ferrer

Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19 Datum Horizontal La Canoa
Esferoide Hayford 1924

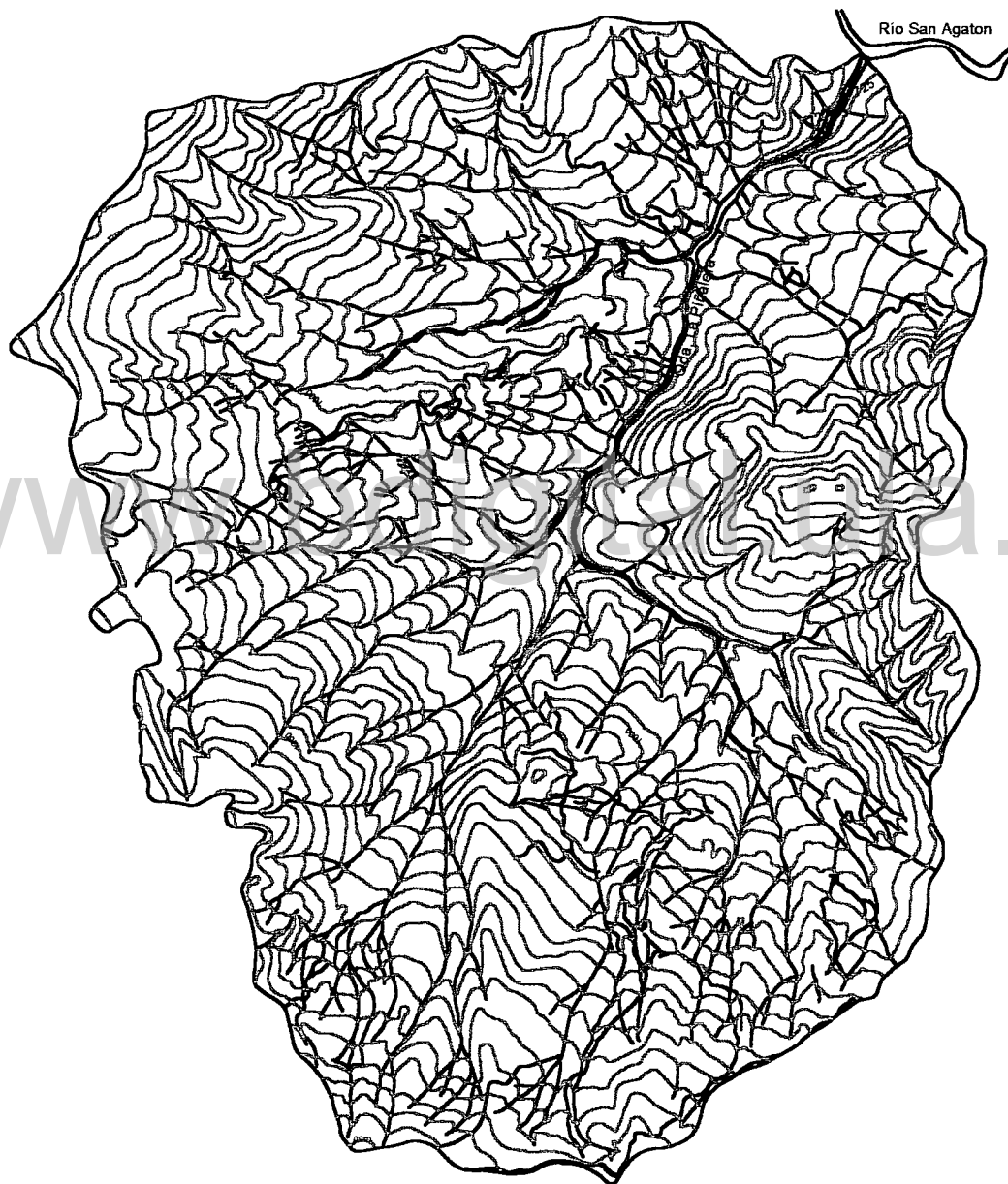


Fig. 4

E 197000 m

198000 m

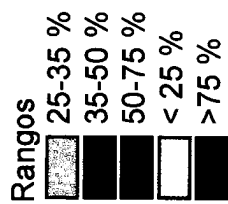
199000 m

200000 m

201000 m

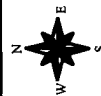
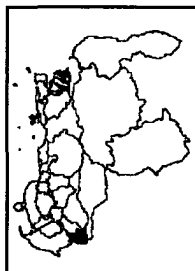
Microcuenca La Piñalera
Estado Tachira

PENDIENTES



120 0 120 240 360 Meters

Situación Relativa Nacional



Editado por: Rosa Ramirez
Digitalizado por: Zollo Ferrer

Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19. Datum Horizontal La Canoa
Esterioide Hayford 1924



Fig. 5.

872000 m

871000 m

870000 m

N 869000 m

E 197000 m

198000 m

199000 m

200.000 m

201000 m

Cuadro 3. Suma total de áreas correspondientes a cada combinación de factores.

Geología – Pendientes

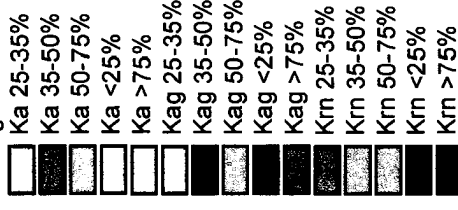
GEOLOGIA – PENDIENTES	AREA TOTAL (Km2)
Krn – 1	0.64
Krn –2	1.44
Krn –3	1.97
Krn – 4	1.37
Krn – 5	0.69
Ka –1	0.12
Ka –2	0.17
Ka –3	0.12
Ka –4	0.08
Ka –5	0.04
Kag – 1	0.21
Kag –2	0.82
Kag – 3	0.73
Kag – 4	0.74
Kag – 5	0.55

b)-Superposición del mapa de áreas afectadas por los movimientos de masas con el mapa de factores combinados.(figura 7) Esta superposición, demostró cuales son las combinaciones de geología y pendientes que se encuentran asociadas con la ocurrencia de los movimientos de masa. Se planimetraron todas las áreas afectadas por estos desplazamientos a fin de definir el espacio que ocupan por cada combinación de factores.(cuadro 4)

Microcuenca La Piñalera
Estado Tachira

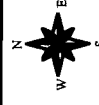
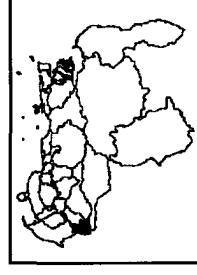
FACTORES COMBINADOS

Geología-Pendiente



120 0 120 240 360 Meters

Situación Relativa Nacional



Editado por: Rosa Ramirez
Digitalizado por: Zolio Ferrer

Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19. Datum Horizontal La Canoa
Esterioide Hayford 1924

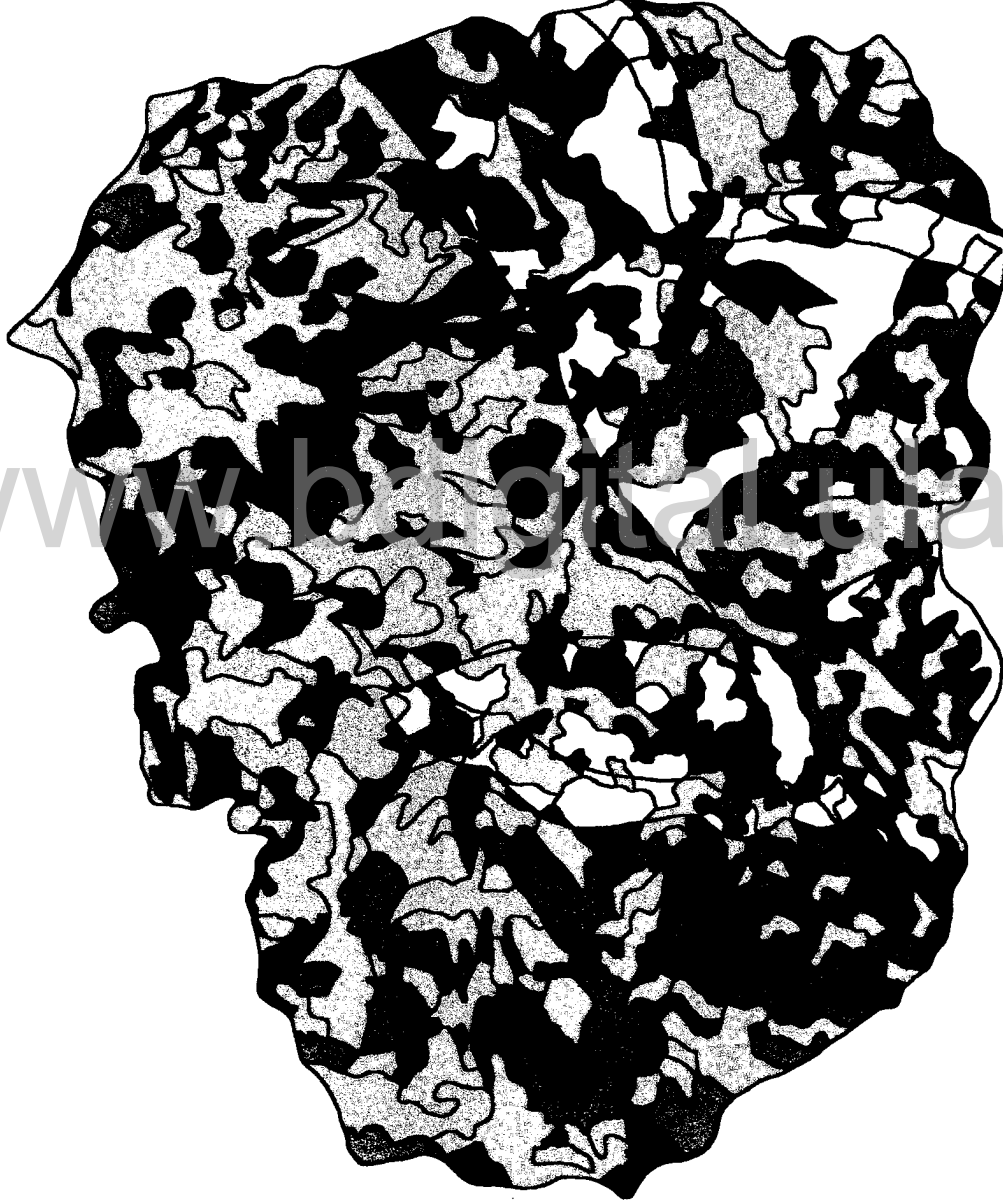


Fig. 6.

872000 m

871000 m

870000 m

N 869000 m

E 197000 m

198000 m

199000 m

200.000

201000 m

Cuadro 4. Superficie afectada por movimientos de masa por cada combinación de factores.

GEOLOGIA – PENDIENTES	MOVIMIENTOS DE MASA (km ²)
Krn –1	0.081
Krn –2	0.16
Krn –3	0.21
Krn –4	0.15
Krn –5	0.1
Ka –1	0.018
Ka –2	0.001
Ka –3	0.003
Ka –4	0.007
Ka –5	0.003
Kag –1	0.012
Kag –2	0.034
Kag –3	0.051
Kag –4	0.036
Kag – 5	0.034

c)-Estimación de la proporción que ocupan los movimientos de masa en relación a la superficie total de cada combinación de factores.

Se dividió la superficie ocupada por los movimientos de masa para cada combinación de factores entre el área total que ocupa la misma combinación. Los resultados se ordenaron en forma ascendente, en una escala que va desde .001 hasta 1.0. (Cuadro 5).

Microcuenca La Piñalera
Estado Tachira

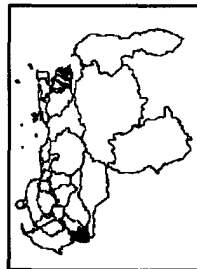
FACTORES COMBINADOS



Factores	Ka 25 - 35 % Mov
	Ka 35 - 50 % Mov
	Ka 50 - 75 % Mov
	Ka > 75 % Mov
	Ka < 25% Mov
	Kag 35 - 50 % Mov
	Kag 50 - 75 % Mov
	Kag > 75 % Mov
	Kag 25 - 35 % Mov
	Kag < 25% Mov
	Krn 25 - 35 % Mov
	Krn 35 - 50 % Mov
	Krn 50 - 75 % Mov
	Krn > 75 % Mov
	Krn < 25% Mov

120 0 120240360 Meters

Situación Relativa Nacional



Editado por: Rosa Ramirez
Digitalizado por: Zolito Ferrer

Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19. Datum Horizontal La Canoa
Esterioide Hayford 1924



Fig. 7.

872000 m

871000 m

870000 m

N 869000 m

E 197000 m

198000 m

199000 m

200.000 m

201000 m

Cuadro 5. Proporción de movimientos de masa por cada combinación de factores.

COMBINACION DE FACTORES	PROPORCIONES MOV. DE MASA
Ka- 2	0.006
Ka –3	0.025
Kag – 2	0.041
Kag – 4	0.049
Kag –1	0.057
Kag –5	0.062
Kag –3	0.070
Ka –5	0.073
Ka –4	0.088
Krn –3	0.107
Krn –4	0.109
Krn –2	0.111
Krn- 1	0.127
Krn –5	0.145
Ka –1	0.150

d)- Aplicación de la función W para definir los diferentes niveles de susceptibilidad.

Al observar las proporciones ordenadas, se puede deducir que ya existen combinaciones que presentan mayor grado de susceptibilidad que otras. Los valores que se acercan al extremo 1.0 en la escala, representan los riesgos extremos y los que se acercan al extremo .001 corresponden a las áreas menos susceptibles.

Para establecer los niveles intermedios en forma objetiva, se aplicó la función W, la cual garantiza que los límites de cada división final representen la mínima sumatoria del cuadrado de las desviaciones de las medias de cada grupo. Esta

función define los límites de los niveles intermedios con criterios totalmente objetivos.

$$W = \sum_{i=1}^{g=3} \sum_{j=1}^{n_i} [x_{ij} - x_i]^2 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

En donde :

X_{ij} = j observaciones del grupo i

$n = 4$

Los resultados obtenidos por la aplicación de esta función definieron cuatro niveles de susceptibilidad por movimientos de masa: bajo, medio, alto y extremo (figura 8).

La secuencia para lograr esta clasificación fue la siguiente:

1)- El primer nivel de riesgo , o sea , el más bajo, está representado por todas las combinaciones de litologías y pendientes que no presentaron áreas afectadas por ningún tipo de movimientos de masa.

2)-Para establecer los límites de los otros niveles faltantes, la columna que tenía los valores proporcionales en forma ascendentes se dividió en cuatro grupos en forma arbitraria. A cada grupo se le calculó la media aritmética para aplicarle posteriormente la función W como se indica a continuación:

$0.150 - 0.006 = 0.144$ dividido entre 4 grupos = 0.036

proporciones:

0.006	0.049	0.088	0.127
0.025	0.057	0.107	0.145
<u>0.041</u>	0.062	0.109	<u>0.150</u>
	0.070	<u>0.111</u>	
	<u>0.073</u>		

1-Rango de 0.006 hasta 0.042	$\bar{X} = 0.024$
2-Rango de 0.043 hasta 0.079	$\bar{X} = 0.0622$
3-Rango de 0.080 hasta 0.116	$\bar{X} = 0.10375$
4-Rango de 0.117 hasta 0.153	$\bar{X} = 0.14066$

Esta función tiene como objetivo fundamental, establecer los límites entre los diferentes niveles de riesgos. Para lograrlo, es necesario encontrar los valores más bajos que puedan ser calculados para cada uno de los grupos. Esta condición se reconoce moviendo hacia abajo o hacia arriba el límite superior o inferior, respectivamente, de cada grupo que aparece y calculándole la función W para cada uno de los nuevos bloques agrupados. Esto, se realiza varias veces, hasta que se tiene la certeza de que no existe un valor menor de la función W. Al suceder esta condición, los límites de los cuatro niveles de riesgos quedan, automáticamente, preseleccionados.

Después de aplicarles la fórmula a cada uno de los grupos seleccionados, el menor valor obtenido de la función W determinó los nuevos límites rodando hacia abajo un valor adicional de cada grupo. De esta forma, los nuevos rangos obtenidos fueron los siguientes:

- 1.-Rango de 0.006 hasta 0.049
- 2.-Rango de 0.057 hasta 0.088
- 3.-Rango de 0.107 hasta 0.127
- 4.-Rango de 0.145 hasta 0.150

Con los resultados obtenidos a través de la aplicación de la función W, se elaboró el Mapa de Areas Susceptibles a la ocurrencia de Movimientos de Masa. Cada uno de los valores identificados para cada rango, se asoció a las áreas de factores combinados de geología y pendientes, con el objeto de poder realizar la zonificación final.

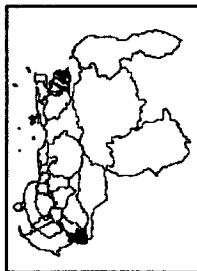
Microcuenca La Piñalera
Estado Tachira

**SUSCEPTIBILIDAD
POR
MOVIMIENTOS DE MASA**



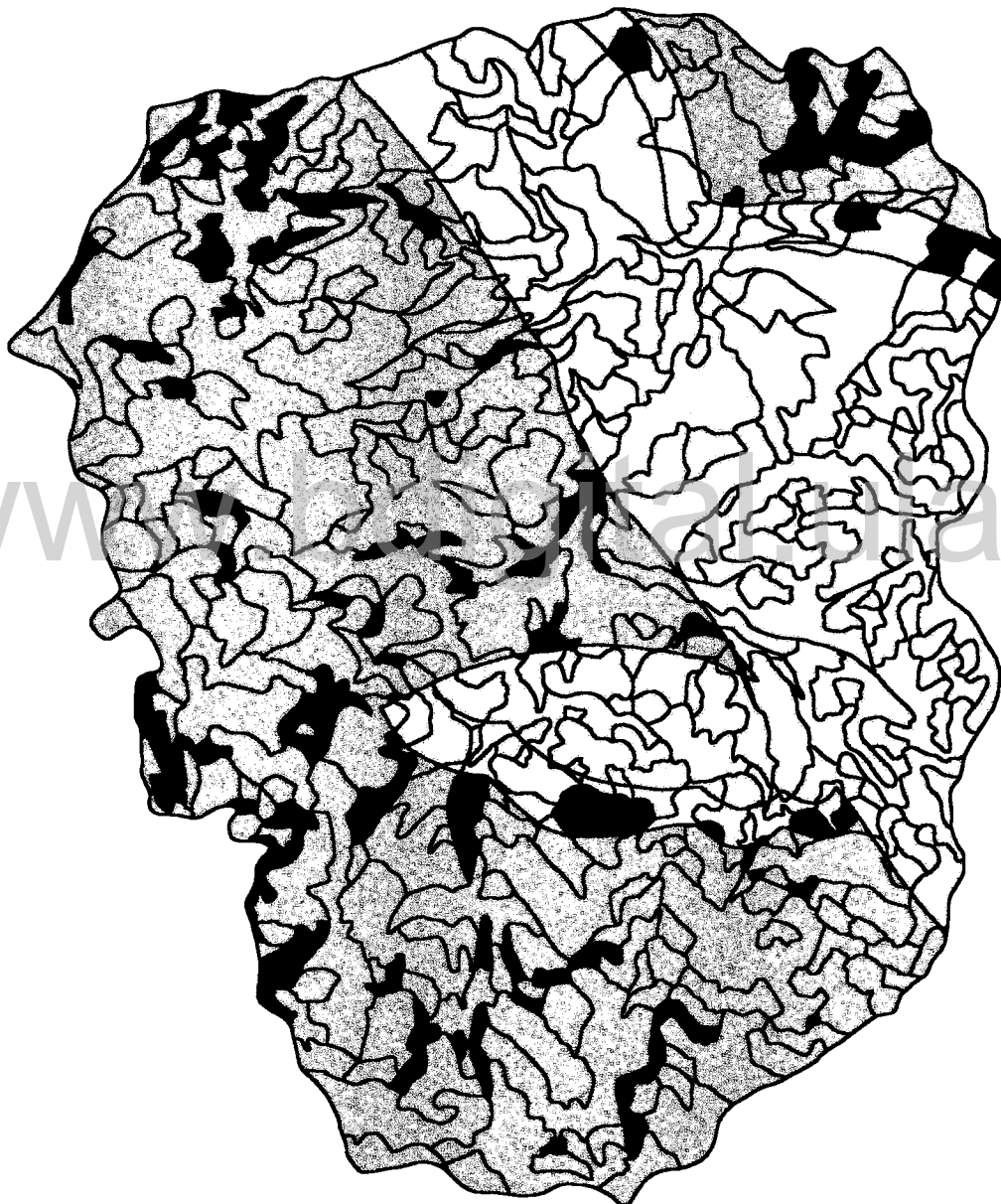
120 0 120 240 360 Meters

Situación Relativa Nacional



Editado por: Rosa Ramirez
Digitalizado por: Zolito Ferrer

Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19, Datum Horizontal La Canoa
Esferoide Hayford 1924



872000 m

871000 m

870000 m

N 869000 m

E 197000 m

198000 m

199000 m

200.000 m

201000 m

Fig. 8

IV.-RESULTADOS

Para obtener el Mapa de Zonificación por áreas susceptibles a los movimientos de masa, el cual, es el objetivo de este trabajo, fue necesario realizar el análisis de tres variables que son fundamentales para la aplicación de la metodología planteada. Estas variables son: geología, pendientes y un inventario de todos los de movimientos de masa que existen en la microcuenca La Piñalera. De cada una de las variables estudiadas se realizó un mapa temático y posteriormente se superpusieron en forma progresiva para obtener al final, el mapa definitivo de susceptibilidad, con cuatro niveles de riesgos por movimientos de masa.

1- Mapa de geología

En la microcuenca La Piñalera, afloran tres formaciones geológicas pertenecientes al periodo cretácico. Cada una de estas formaciones tiene un comportamiento diferente, que se manifiesta en su menor o mayor susceptibilidad para producir movimientos de masa. La metodología implementada en este trabajo, sugiere disponer de una información geológica a nivel de unidades litológicas. Esta acotación resulta importante, porque siempre los niveles más bajos de susceptibilidad vendrán dados por las combinaciones de pendientes- litologías, que no presenten en sus superficies ninguna evidencia de haber ocurrido algún movimiento de masa. Para probar la bondad de la metodología, se usó la información geológica a nivel de formaciones en la fase de inventario y posteriormente se analizaron los resultados de acuerdo a las variaciones litológicas que presentaban cada una de ellas. Las formaciones encontradas en el área de estudio fueron las siguientes:

a)- Formación Río Negro.

Esta unidad ocupa una superficie de 627.31ha, lo que corresponde al mayor porcentaje de toda la microcuenca(60.7%). Litológicamente está representada por areniscas blancas de granos gruesos muy cuarzosas, conglomerados heterogéneos, arcillas y lutitas variables en tonos rojos y morados. Esta constitución permite que la formación Río Negro presente dos comportamientos

muy específicos; uno más resistente que corresponde a los afloramientos de areníscas, especialmente, las que se presentan muy cuarzosas y un comportamiento bastante inestable que se manifiesta precisamente, en los sitios en donde afloran las facies arcillosas o lutaceas. Toda la formación ocupa dos sectores bien importantes; la parte alta de la microcuenca La Piñalera y uno más pequeño hacia la parte baja que llega hasta su desembocadura con el río San Agatón.

b)- Formación Aguardiente.

Esta unidad, ocupa la parte central de la microcuenca y representa un 31.07% del total de su superficie. Según el Léxico Estratigráfico, litológicamente está representada por “ areníscas calcáreas duras de color gris a verde claro, grano variable y estratificación cruzada, localmente glauconítica, con intercalaciones de lutitas micaceas y carbonáceas y algunos lechos de calizas en la parte inferior, localmente las areníscas son tan calcáreas que se aproximan a calizas arenosas. En Táchira, Trump y Salvador (1941), describieron areníscas de colores claros, duras en capas de espesor variable, intercaladas con limolitas y lutitas carbonaceas y señalaron que al norte y oeste de Táchira, la unidad se hace más calcárea y las capas de calizas constituyen un elemento litológico característico. En Táchira, Mérida y Trujillo esta formación presenta una litología muy uniforme, compuesta predominantemente por areníscas cuarzosas, a veces glauconíticas con capas de calizas distribuidas en varios niveles. Renz (1959) acertadamente insistió sobre el carácter cuarzoso y los colores claros de meteorización de las areníscas, las intercalaciones de lutitas oscuras y la presencia de calizas fosilíferas de varios tipos”. Generalmente cuando se nombra la formación Aguardiente, se piensa en una litología dura resistente y de buen comportamiento sin embargo, es importante analizar las características litológicas señaladas anteriormente, ya que ello define que en el área de estudio, esta formación presente dos comportamientos diferentes. Hacia la vertiente derecha de la quebrada La Piñalera en su sección media, está aflorando la litología más resistente de la formación Aguardiente, representada por gruesas capas de

areniscas duras con intercalaciones de estratos finos de lutitas micaceas y carbonaceas y algunas capas de calizas. A pesar de presentar en este sector pendientes muy fuertes que superan el 50%, la condición de espesor de las areniscas permiten que esta formación, en esta área, tenga un mejor comportamiento. Hacia la vertiente izquierda, la formación Aguardiente presenta una litología más susceptible de degradarse, corresponde a la intercalación de capas finas de areniscas, lutitas y calizas fosilíferas en donde las características de estas dos últimas son muy dominantes y por ello, determina el comportamiento poco estable de este sector.

c)- Formación Apón.

Esta unidad geológica es la que ocupa la menor superficie en la microcuenca La Piñalera. Representa un 8.22 % del total de su extensión y se encuentra ubicada entre las formaciones Río Negro y Aguardiente en dos franjas muy pequeñas de forma alargadas. Litológicamente, está representada por capas de calizas grises compactas y duras intercaladas con estratos de margas calcareas. En general es una formación resistente a la degradación especialmente por la combinación litológica que presenta, sin embargo, en su afloramiento en la parte media de la microcuenca, está muy fracturada por la presencia de dos fallas que la limitan y esto ha permitido que el entalle del drenaje sea tan profundo que ha condicionado la formación de fuertes cárcavamientos que posteriormente han evolucionado como movimientos de masa.

Indudablemente existe un factor que ha condicionado el comportamiento de las formaciones geológicas que afloran en la microcuenca de La Piñalera, aparte de las diferentes litologías que intrínsecamente tienen un comportamiento definido, también está el aspecto de tectonismo representado en las innumerables fallas que atraviesan el área de estudio modificando fuertemente las condiciones de estabilidad relativa de la microcuenca.

2- Mapa de pendientes.

El mapa de pendientes, representa por si solo, una primera aproximación de una zonificación que puede orientar al planificador sobre la estabilidad relativa del área de estudio. Para La Piñalera, el análisis de este factor ha sido muy importante ya que se trata de una microcuenca de altas pendientes, lo cual, ha sido determinante en cuanto al carácter erosivo que presentan casi todos los cursos de agua que drenan el área de estudio, esta condición, determina que zonas que actualmente no manifiesten algún tipo de degradación no pueden considerarse como estables.

El mapa de pendientes aportó para la metodología, una zonificación con cinco rangos diferentes que son: menor de 25, 25-35, 35-50, 50-75, y mayor de 75%. Como puede observarse no existen zonas que puedan considerarse como planas, el rango que ocupa el extremo inferior corresponde a las pendientes que son menores de 25%, pero hasta un 15% mínimo, menor que este último valor no se encuentra en la microcuenca en tamaño que pueda ser cartografiable. Al igual que para el factor geológico, el comportamiento de las pendientes se ve muy influenciado por el carácter tectónico que presenta la microcuenca de La Piñalera, por este motivo, es común encontrar materiales altamente fracturados que pueden producir colapsos aún en las pendientes más bajas.

3)-Mapa de variables combinadas.

Como se explicó en la metodología, este mapa de variables combinadas se obtiene de la superposición del mapa de formaciones geológicas con el de unidades de pendientes. Este mapa resulta ser la cobertura ideal para establecer la correlación que puede existir entre estas dos variables y la ocurrencia de movimientos de masa.

Con la superposición de estas dos variables, se obtuvo una zonificación con quince (15) unidades de combinaciones que permitió establecer el comportamiento de las tres formaciones, asociadas cada una de ellas, a los cinco rangos de pendientes que presenta la microcuenca estudiada.

La metodología aplicada en este trabajo, considera que ciertas combinaciones de litología y pendientes presentan condiciones muy favorables para producir movimientos de masa y trata de demostrar esta aseveración partiendo de la realización de este mapa de factores combinados.

4)-Mapa de inventario de movimientos de masa.

Para la realización de este mapa, se cartografiaron mas de setenta (70) movimientos de masa, la mayoría identificados por fotointerpretación y verificados y actualizados en trabajo de campo. Como la metodología no lo amerita, no se estableció una clasificación de los mismos, solamente se identificó con bastante precisión, la condición de actividad que presentaban. Todos los movimientos cartografiados se agruparon en tres (3) comportamientos: actuales, antiguos y potenciales, además, se asumió como desplazamientos potenciales, todos los carcavamientos que tenían evidencias de evolucionar posteriormente como movimientos de masa.

En el trabajo de campo se pudo observar, que los tipos de movimientos producidos están muy relacionados con la apertura de la vía que circunscribe casi toda la microcuenca y lo común de estos desplazamientos es la caída de bloques por la alternancia de rocas competentes y no competentes, proceso este, muy relacionado, indudablemente, con las condiciones litológicas de las formaciones que afloran en la microcuenca.

Entre las causas que inducen a la ocurrencia de los movimientos de masa que se encuentran en el área de estudio, está la acción de la escorrentia; hundimientos en los bordes de la carretera, erosión en surcos con socavamiento de base, cárcavas reactivadas con entalles profundos y arrastre de materiales, volcamiento de capas duras por socavamiento de estratos blandos que al final forman taludes de derrubios sobre la carretera, obstruyendo el desagüe de las cunetas. Todas estas evidencias fueron cartografiadas al igual que todos los tipos de movimientos de masa encontrados y se representaron en un mapa como un inventario de procesos, el cual posteriormente derivó en un plano donde se delimitaron estos movimientos como superficies afectadas. Las áreas así cartografiadas, presentan

un patrón de ubicación muy interesante, relacionados con la apertura de la carretera, el drenaje principal y algunas condiciones geológicas muy definidas.

5)- Mapa de áreas susceptibles a ser afectadas por la ocurrencia de movimientos de masa.

Este mapa es la expresión final de la aplicación de la metodología utilizada. Se obtuvo por la superposición del mapa de áreas afectadas por movimientos de masa, sobre el mapa de factores combinados de geología y pendientes. Se estimaron todas las proporciones de superficies afectadas por desplazamientos, por cada una de las quince (15) combinaciones existentes. Posteriormente, los datos obtenidos se organizaron en forma ascendente y fueron sometidos al tratamiento estadístico explicado en la metodología, para obtener finalmente, en una escala relativa, cuatro niveles de susceptibilidad: bajo, medio alto y extremo.

a)- Susceptibilidad Baja.

Corresponde a la menor superficie de toda la microcuenca de La Piñalera. Este nivel no es indicativo de ser una zona que puede intervenir sin medidas de prevención, en el caso de esta microcuenca, es importante tener en cuenta que los valores de pendientes obtenidos, no permiten identificar alguna área que pueda considerarse estable desde este punto de vista, por lo tanto, es oportuno reconocerla como la zona de la microcuenca que tiene la menor posibilidad de producir movimientos de masa.

Este nivel de riesgo, corresponde a zonas representadas geológicamente por las calizas duras y margas compactas de la formación Apón con pendientes que están entre 25% y un 50%, ubicada específicamente en el afloramiento de esta formación que se encuentra en la parte baja de la microcuenca. Igualmente, esta zona se encuentra también, en las areniscas calcareas duras y a veces cuarzosas de la formación Aguardiente, con pendientes que sobrepasan en algunos sitios el 50%, este último sector se puede evidenciar en la vertiente derecha de la quebrada La Piñalera, en su sección media. Las combinaciones de geología y pendientes que presentan este nivel de riesgo son: Ka- 2, Ka- 3, Kag-2 y Kag- 4.

b)- Susceptibilidad Media.

La zona que presenta este nivel de susceptibilidad, está caracterizada geológicamente, por areniscas duras con intercalaciones de limolitas y lutitas carbonaceas de la formación Aguardiente, con pendientes que varían desde 35% hasta valores superiores al 75%. Observando el mapa de variables combinadas, se puede apreciar que este nivel medio tiene las áreas con los valores de pendientes más altos que existen en toda la microcuenca estudiada, sin embargo, están incluidas en este rango debido a que su resistencia litológica le permite presentar un comportamiento más estable, en relación con otras litologías que están asociadas a los mismos rangos de pendientes. En este nivel, se encuentran también, áreas identificadas geológicamente por la formación Aguardiente con pendientes inferiores a un 25% y están ubicadas en la vertiente izquierda de la microcuenca La Piñalera, específicamente, en su sección media-baja. En este caso, la litología de esta formación presenta inestabilidad debido a dos características: la primera, se refiere a la existencia de capas muy delgadas de areniscas fracturadas que están intercaladas con estratos lutaceos, a veces de mayor espesor, que constantemente están siendo socavados por el agua de escorrentía y esto permite, la ocurrencia de movimientos de masa tipo derrumbes de bloques. La segunda característica, se refiere a estratos de esta formación totalmente volcados, en donde es constante la ocurrencia de taludes de derrubios debido a la degradación de las capas de lutitas y posteriores colapsos de los estratos fracturados de areniscas.

Otras áreas que forman parte de este nivel, están identificadas geológicamente por la presencia de calizas duras intercaladas con capas de margas, que presentan valores de pendientes que están entre 50 y 75%. Estas áreas corresponden, a la zona de contacto de falla de la formación Apón con Río Negro, en donde el fracturamiento del material puede favorecer la ocurrencia de movimientos de masa tipo derrumbes. Las combinaciones que representan este nivel son: Kag-1, Kag-5, Kag-3, Ka-5 y Ka-4.

c)- Susceptibilidad Alta.

Las zonas representativas de este nivel están caracterizadas geológicamente por la litología de una sola formación. Corresponde a las areniscas blancas, arcillas y lutitas de la formación Río Negro con valores de pendientes que están entre 25 y 75%. En este caso, se conjuga una litología muy diaclasada con altas pendientes que ceden en "ríos" de sedimentos ante el socavamiento de los cursos principales que la atraviesan. Observando en el mapa de combinaciones de variables, la ubicación de estas zonas sigue un patrón muy específico; la trayectoria de cuatro cursos importantes que drenan hacia el colector principal de La Piñalera. Indudablemente, la causa principal de la degradación en esta zona es el entalle producido por la escorrentía, sin embargo la socavación de base ha inducido que estos cárcavamientos progresivos, evolucionen como movimientos de masa que al final se convierten en los mayores aportadores de sedimentos de toda la microcuenca, esto motivó la inclusión de estas áreas en la realización del mapa de inventario de movimientos de masa. Las combinaciones representativas de este nivel son: Krn-3, Krn-4, Krn-2 y Krn-1.

d)- Susceptibilidad Extrema.

Las áreas que presentan este nivel de susceptibilidad están muy bien definidas, corresponden, en primer lugar, a las facies arcillosas y las areniscas fracturadas de la formación Río Negro con pendientes que superan los valores de 75%. En este caso la inestabilidad de la litología y las fuertes pendientes se conjugaron para definir estas áreas como las más propensas para producir movimientos de masa. En el mapa de variables combinadas, es posible observar estas zonas alineadas con el trazado de la vía que pasa por la parte alta de esta microcuenca, es muy factible que su apertura haya activado la ocurrencia de movimientos de masa tipo deslizamientos, que se inician en un principio como hundimientos o deformaciones del terreno y posteriormente evolucionan como movimientos de masa.

Otra formación geológica que también está involucrada en este nivel de susceptibilidad corresponde a las calizas y lutitas arenosas de la formación Apón

con valores de pendientes por debajo de 25%. Generalmente Apón ha tenido un comportamiento relativamente estable en los sitios en donde aflora en la microcuenca, sin embargo, la condición de alto tectonismo que se evidencia especialmente en las áreas de contacto de fallas, hace que las características originales de la litología varíen, transformándolas en condiciones de alta susceptibilidad para producir movimientos de masa aún en bajas pendientes. Las combinaciones que representan este nivel son: Krn-5 y Ka-1.

www.bdigital.ula.ve

V.-ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

El Mapa de Zonificación de Areas Susceptibles a la ocurrencia de Movimientos de Masa tiene cuatro niveles de riesgos asociados a la presencia de este proceso. Como lo indica la metodología aplicada, estos niveles se obtuvieron a través del análisis estadístico, de los datos aportados por la superposición de tres factores claves en la determinación de la estabilidad relativa de los terrenos.

Si se observa el mapa de Inventario de Movimientos de Masa, puede deducirse que la distribución de los desplazamientos sigue un patrón definido, el cual ha sido validado y justificado a medida que se avanzaba en la aplicación de la metodología seleccionada.

La microcuenca La Piñalera presenta unas características de pendientes con valores que se pueden considerar muy altos en general. Esta condición induce a calificar a la microcuenca estudiada, como una zona sometida constantemente a procesos de degradación con muy pocas posibilidades de acumulación de sedimentos. En la microcuenca no existen espacios con pendientes adecuadas que puedan recibir en depósito los materiales desprendidos, por el contrario, el proceso dominante es la erosión en todas sus manifestaciones; socavamiento, arrastre, transporte y depositación afuera de los límites de la microcuenca. Los únicos abanicos de derrubios que pudieron identificarse, se encuentran ubicados sobre la carretera que circunscribe a la microcuenca, indudablemente, ella ha servido como berma para recibir estos sedimentos.

Aunque el mapa de pendientes presenta cinco rangos, el nivel más bajo se inicia con un valor de un 25%, esto conllevó a que todas las combinaciones que se obtuvieron por la superposición de las variables geología-pendientes, presentaran valores que se consideraron generalmente como muy altos. Este hecho motivó a que la influencia de esta variable no fuera muy determinante en la clasificación de los diferentes niveles de susceptibilidad obtenidos.

Indudablemente, la geología fue la variable con mayor peso para la determinación de los cuatro niveles encontrados. Analizando el mapa de inventario de movimientos de masa superpuesto al de geología, se puede deducir que esta

variable, está muy correlacionada con el comportamiento de la microcuenca. La formación que presenta las mayores proporciones de movimientos de masa es Río Negro, con dos patrones de comportamientos muy bien identificados; uno de ellos, concentrado en los terrenos arcillosos que están ubicados en la parte alta de la microcuenca y el otro patrón se manifiesta como bandas paralelas a los principales cursos de agua que drenan por esta formación. Indudablemente, si se analiza el trazado de las fallas geológicas que se encuentran en esta microcuenca, se puede notar que la formación Río Negro es la más afectada desde este punto de vista, esto puede justificar la presencia de materiales muy fracturados que están predispuestos a colapsar y por lo tanto son fácilmente socavados por la acción de la escorrentia.

En las áreas en donde aflora la formación Aguardiente se manifiestan también dos patrones de comportamientos muy interesantes; una zona ubicada en la vertiente izquierda de la quebrada la Piñalera en la sección media de la microcuenca, que presenta todas las manifestaciones de inestabilidad posible; movimientos actuales, antiguos, potenciales, socavamiento basal y erosión diferencial entre otros. La otra zona considerada, está ubicada en la vertiente derecha y presenta condiciones totalmente opuestas a la anterior, no tiene evidencias de movimientos de masa, el drenaje no está entallado y es menos denso que en el resto de la microcuenca. Aunque se trata de la misma litología, las características de cada zona son totalmente diferentes en cuanto a su comportamiento se refiere, en la más crítica, la alternancia de areníscas-lutitas se presenta con capas diaclasadas de poco espesor y en la mayoría de las veces, con el buzamiento paralelo a la dirección de la pendiente. Estas condiciones, aunadas a los cortes realizados para la apertura de la carretera, han favorecido la formación de movimientos de masa que dejan cicatrices que posteriormente evolucionan como áreas de socavamiento, debido a que son entalladas repetitivamente por el agua de escurrimiento. El sector opuesto, ubicado en la vertiente derecha, tiene un comportamiento más estable, aunque presenta pendientes muy fuertes, las capas de areníscas son de mayor espesor y buzan en sentido contrario a las pendientes de la mayoría de las

vertientes, es oportuno indicar que esta zona no presenta intervención humana, es posible que esta condición favorezca un mejor comportamiento.

Las áreas caracterizadas por afloramientos de la formación Apón, se presentan como las zonas más estables, su litología se caracteriza por alternancia de estratos duros y compactos de calizas y margas con pocas probabilidades de producir movimientos de masa. En los resultados obtenidos en el mapa de áreas susceptibles, aparece una zona de combinación de la formación Apón con pendientes inferiores al 25% ubicada en el nivel de riesgo extremo, esto contradice el comportamiento relativamente estable de esta formación y se explica por la afectación de una parte de ella, específicamente, del sector que está en la parte alta de la microcuenca, por dos cursos de agua que producen socavación de base y posteriormente movimientos de masa.

Tomando en consideración todo lo analizado anteriormente, es importante destacar que la erosión por socavamiento basal parece estar jugando un papel fundamental en la activación o reactivación de la mayoría de los movimientos de masa que se producen en esta microcuenca. En este caso, es la condición general de pendientes muy altas la que ha determinado esta realidad.

VI.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La metodología desarrollada en este trabajo, logra como objetivo fundamental, la realización de un mapa que contiene una zonificación por áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa, expresado en una escala relativa de cuatro niveles. Para lograr este propósito, la secuencia metodológica es sencilla, práctica y la manipulación de los datos obtenidos se logra con bastante objetividad. Utiliza la información aportada por tres variables que juegan un papel fundamental en la definición de la estabilidad relativa de los terrenos y tiene la gran ventaja de ser muy flexible para incorporar otras variables que se consideren necesarias para lograr los objetivos propuestos.

Cuando esta metodología asume como hipótesis central, que los movimientos de masa se producen en ciertas combinaciones de geología y pendientes con características muy específicas, y que en las áreas en donde se repitan estas condiciones resultan ser zonas potenciales de desplazamientos, lo que realmente está asumiendo, es que existe un proceso geomorfológico que funciona como el pulso de la estabilidad relativa de los terrenos.

Tomando en consideración los resultados obtenidos, se puede expresar las siguientes conclusiones:

1-La aplicación de la metodología original produce resultados que no permiten realizar comparaciones entre los niveles de riesgos obtenidos en cuencas diferentes. Esto se debe a que utiliza solamente la información sobre movimientos de masa existentes y no asume las evidencias de los desplazamientos potenciales ni los movimientos antiguos que podrían reactivarse.

2- El mapa de zonificación definitiva, expresa en una escala ordinal los diferentes niveles de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa, ello no es indicativo, cuantitativamente, de cuantas veces es más susceptible un nivel que otro.

3- La metodología utiliza datos de proporciones de movimientos de masa en función de la superficie de las combinaciones de litología y pendientes en donde

se producen, esto puede establecer relaciones valederas localmente pero no comparables regionalmente.

4- La metodología aplicada es ideal para ser procesada con cualquier programa del Sistema de Información Geográfico, ello permitirá, análisis sencillos rápidos y la superposición de una cantidad de variables que son determinantes en la producción de movimientos de masa y que tratadas manualmente sería imposible de relacionarlas.

5- Las modificaciones realizadas en la metodología para su aplicación en este trabajo, se hicieron en la fase de recolección de la información, fueron perfectamente aceptadas, mejoró los resultados obtenidos y no produjo cambios en la secuencia metodología original.

La experiencia obtenida en la realización de este trabajo, con la aplicación de la metodología planteada, permite establecer el siguiente cuerpo de recomendaciones:

1- Para definir la estabilidad relativa de los terrenos, además de analizar las tres variables que se utilizan en esta metodología, es recomendable realizar una zonificación del comportamiento estructural de las rocas como una variable paralela al mapa final de áreas susceptibles a los movimientos de masa, ello permitirá adicionar otras áreas al nivel de riesgo extremo, que son potencialmente susceptibles de colapsar, especialmente cuando son intervenidas para realizar cortes en ellas.

2- Es fundamental inventariar los movimientos de masa actuales, antiguos y potenciales para poder garantizar que áreas consideradas como de riesgo crítico, no aparezcan calificadas en la categoría de "baja o media susceptibilidad".

3- En el levantamiento de la información geológica, es fundamental realizar la zonificación por comportamientos litológicos, esto permite establecer las áreas de baja susceptibilidad en aquellas zonas que no presentan movimientos de masa actuales, antiguos o potenciales. Esta sugerencia es válida solamente para los terrenos que presenten valores de pendientes que pueden considerarse como planos o con poca inclinación. En el caso de la microcuenca de La Piñalera, se

utilizó la zonificación a nivel de formaciones geológicas, ya que por sus elevadas pendientes, el nivel más bajo de susceptibilidad no va a ser un indicativo de estabilidad en cuanto a la ocurrencia de movimientos de masa se refiere.

4- Las adaptaciones más importantes que se le pueden hacer a esta metodología, es en la fase de inventario de la información de cada una de las variables involucradas. El motivo de esta sugerencia, se debe a que es la etapa más subjetiva de toda la metodología, depende de la habilidad profesional de la persona que realiza el trabajo y define en cierta forma la veracidad de los resultados finales obtenidos.

5- Es oportuno acotar que la selección de un número mayor de variables conlleva a la organización de un equipo multidisciplinario que garantice el levantamiento de la información pertinente con los criterios más profesionales posibles.

6- Finalmente, en relación al mapa de zonificación definitivo, puede considerarse como un buen documento de orientación en cuanto a los planes de desarrollo previstos para la zona que se estudie, especialmente para la selección de sitios más seguros. Es conveniente evitar intervenir las zonas identificadas por esta metodología como de extrema susceptibilidad, tomar medidas de precaución y mitigación en las definidas como nivel alto o medio, y tener presente que el indicativo de baja susceptibilidad tiene dos interpretaciones de acuerdo a los valores de pendientes que la acompañen: en zona plana se puede catalogar como indicativo de estabilidad y en áreas de pendientes más altas como el nivel que menos probabilidad tiene de producir movimientos de masa.

REFERENCIAS CITADAS

- Brabb, E.E. , 1984, Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping, in Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides, Toronto, Canada, September 1984, V.I. pp 307-323.
- Brabb, E.E., Pompeya, E.H., y Bonilla, M.G. 1972. Landslide Susceptibility in San Mateo County, California. U.S. Geol. Surv. Mrsc. Fiel Sstudies map. MF 360. Scale 1 : 62.500.
- Bolt, B. A., Horn, W.Z., Macdonald, C.A. y Scott, R.G. 1975. Geological Hazards, Berlin., Berlin, Springer - Verlag ; 328 p.
- Butler, D.R. y Walsh, s.J. 1990. Lithologic, Structural, and Topographic Influences on Snow-Avalanche Path Location, Eastern Glacier National Park, Montana Ann Assoc. Am. Geogr., 80 : 362-378.
- Carrara, A., Catalano, E., Sorriso Valvo, M., Realli, C., y Ossi, I. 1978. Digital Terrain Analisis for Land Evaluation. Geol. App. e Idrogeol., 13 : 69-127.
- Degraff, J.V. y Romesburg, M.C. 1980. Regional Landslide Susceptibility Assessment for Wildland Management ; A Matirx Approach. En Coates, D.r. y J. Vitex (Editores). Thresholds in Geomorphology Boston. George Allen y Unwin ; 64-68
- Drennon, C.B. y Schleining, W.G. 1975. Landslide Hazard mapping on a Shoestring. P.A.S. C.E., J. Surv. and Mapping Div. SU1 : 107-114.
- Ellen, S.D. 1988. Description and Mechacnics of Soil Slip/Debris Flows in the Storm, in the San Francisco Bay Region. California, En : S.D. Ellen y G.F. Wieczorek (Editores) : Landslides, floods, and Marine Effects of the Storm of January 3-5, 1982, in the San Francisco Bay Region, California. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 1434 : 63-112.
- Ellen, S.D. Wiczorek, G.F., Brown, W.M. y Herd, D.G. 1988. Introduction. En : S.D. Ellen y G.F. Wiczorek (Editores) : Landslides floods, and Marine effects of the storm of January 3-5, 1982, in the San Francisco Bay Region, California. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 1434 : 1-5.
- Ferrer, C.O. 1981. Contribución de la Geomorfología a la Detección de Riesgos en Centros Urbanos : El Caso de la Ciudad de Mérida-Venezuela. Rev. Geog. Ven., XXII - XIII : 161-187.
- Ferrer, C. O. 1987. Influencia de las Condiciones Geomórfologicas en el Desarrollo y Expansión de la Ciudad de Trujillo, Estado Trujillo, Andes Venezolanos. Rev. Geog. Ven. XXVIII : 93-136.

- Ferrer, C.O. 1988. Conurbación Valera-Trujillo. Una Metodología para la Evaluación Geomorfológica de la Estabilidad Relativa de sus Terrenos. Rev. Gog. Ven., XXIX : 5-64
- Ferrer C.O. y Dugarte, M. 1989. Algunas Consideraciones sobre los Problemas de Estabilidad Relativa en la Ciudad de Trujillo, Andes Venezolanos. Rev. Geog. Ven., XXX : 97-125.
- Ferrer, C.O. y Dugarte, M. 1990. Condiciones de Vertientes y Estabilidad Relativa : Un Estudio de Caso en la Cuenca del Río Aracay, Andes Venezolanos. Rev. Geog. Ven., 31 : 117-142.
- Ferrer, C.O. 1994 Fenómeno Geomorfológicos Asociados con Lluvias Extremas : Flujos de Detritos y Torrentes de Detritos. Manejo y Conservación de Suelos : En prensa.
- Gao, J. 1993. Identification of Topographic Settings Conducive to Landslide from den in Nelson County Virginia, U.S.A. Earth Surf Process. Landformg., 18 : 579-591
- Huma, I y Radulescu, D. 1978. Automatic Production of thematic Maps of Slope Stability. Int. Assoc. Engng. Bull., 17 : 95-99.
- Jones, F.O., Embody, D.R. y Peterson, W.C. 1961. Landslides along the Columbia River Valley. Northeastern Washington, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 367 : 98 pp.
- Kyunttsel, V.V., Maksimov, M.M. y Sheko, A.I. 1978. Experience of a Regional Prediction of Some Exogenic Geologic Processes. Proc. 3rd. Int. Conf. Int. Assoc. Engng Geol., Section 1, 1 : 112-228.
- Mejías Navarro, M., Wohl, e.E. y Oaks, S.D. 1994. Geological Hazards, Vulnerability, an Risk Assessment Using GIS : Model for Glenwood Springs, Colorado. Geomorfology, 10 : 331-354.
- Newman, E.B. Paradis. A.R. y Brabb, E.E. 1978. Feasibility and Cost o Using a Computer to Prepare Landslide Susceptibility Maps of the San Francisco Bay Region, California. U.S. Geol. Surv. Bull., 1443 : 27 pp.
- Pack, R.I. 1985. Multivariate Analisis of Landslide Related Variables in David Conty, Utah, in Delineation of Landslide, Flash Flood, and Debris-flow Hazard in Utah. Proc. Specialty Conf. Utah-State University. General Series UWRL/6-85/03 ; 260-279.
- Ramírez, R. King a. 1987. Evaluación Preliminar de Riesgos por Derrumbes en el Area de Tegucigalpa. Proyecto Región Central OEA-SECOLAN, Honduras D.C.
- Ramírez, R. 1995. Análisis de Factores Combinados en la Determinación de Areas Críticas por Movimientos de Masa. Caso Región Centro Occidental de Nicaragua. Tesis de

Asenso. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.

Sheko, A.I. 1977. Theoretical Principles of Regional Temporal Prediction of Landslide Activation. Int. Assoc. Engng. Geol. Bull., 16 : 67-68.

Smith, T.C. 1977. A Method for Mapping Relative Susceptibility to Debris Flows. With an Example from San Mateo County. En : S.d. Ellen y G.F. Wieczorek (Editores) ; Landslides, Floods, and Marine Effects of the Storm of January 3-5, 1982, in the San Francisco Bay Region California U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 1434 : 185-194.

Walsh, S.J. Butler, D.R. Brown, D.G. Bian, L. 1990. Cartographic Modeling os Snow Avalanche Path Location within Glacier National Park Montnaa. Photogramm. Eng. Remote Sensing 56 : 615 :621.

Wieczorek, G.F., Harp, E.L., Mark, R.K. y Bhattacharyya, A.K. 1988. Debris Floows and other Landslide in San Mateo, Santa Cruz, Contra Costa, Alameda, Napa Solano Sonome, Lake and Yolo Counties and Factors Influencing Debris-Flow Distribution, En : S.D. Ellen y G.F. Wieczorek (Editores) : Landslide, Floods, and Marine Effects of the Storm of January 3-5, 199 :88 in the San Francisco Bay Region, California. US Geol. Surv. Prof. Paper, 1434 : 133-161.