

EVALUACIÓN DE AMENAZAS DE MOVIMIENTOS EN MASA EN PAISAJES MONTAÑOSOS: EJEMPLOS EN EL ESTADO VARGAS (VENEZUELA)

Evaluation of land slides hazards in mountainous landscapes: Examples from Vargas State (Venezuela)

Graciano Elizalde¹ y Mauveína Daza de E.²

¹Instituto de Edafología y Postgrado en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. Apartado Postal 4579. E-mail: elizaldeg@agr.ucv.ve

² Ing. de Sistemas, Maracay, Venezuela. Telf. 0243-2170294

Resumen

Los movimientos en masa son formas de erosión cuyas consecuencias pueden manifestarse en paisajes de diversas dimensiones, en lapsos diferentes y de impactos ínfimos hasta catastróficos. En este trabajo se considera al paisaje como un sistema constituido por los sólidos de la litosfera y los componentes de la hidrosfera, ubicado en la interfase entre los componentes sólidos, líquidos, gaseosos y bióticos de la Tierra. Sus atributos resultan de procesos que se suceden en el tiempo, alimentados por intercambios de materia y energía provenientes de la interacción de múltiples factores. La erosión es uno de los procesos generales que determina la evolución de los paisajes. Los riesgos de erosión por movimientos en masa dependen de la conjunción de atributos intrínsecos de cada paisaje, que expresan una susceptibilidad o amenaza latente, con la vulnerabilidad resultante del uso de los espacios geográficos. Se propone un procedimiento para evaluar las amenazas de ocurrencia de procesos de erosión en masa en áreas montañosas, integrando lineamientos de evaluación de tierras, con la aplicación del concepto de modelo pedogeomorfológico. Este último permite no sólo el análisis del funcionamiento y estructura del paisaje, sino también evidenciar los factores y cualidades relevantes en relación al proceso de erosión por movimientos en masa, y la clasificación sistemática de paisajes para definir unidades de tierra. Se desarrolla una forma de evaluación que superará las limitaciones de información sobre las áreas montañosas de Venezuela, donde existe cierto grado de información básica muy valiosa, pero insuficiente para permitir la aplicación de los modelos avanzados, reconocidos internacionalmente. Se presentan ejemplos de su aplicación en el estado Vargas.

Palabras claves: Cordillera de la Costa, erosión, evaluación de riesgos, evaluación de tierras, modelo pedogeomorfológico, movimiento en masa.

Abstract

Land slides are erosion forms, whose consequences could be present in landscapes of diverse dimensions at different periods of time and with impacts that could be from nearly insignificant up to catastrophic. In this work, landscape is considered as a system formed by the lithosphere solids and the hydrosphere components and situated at the interphase between the solid, the liquid, the gaseous and the biotic components of the earth. Its attributes results from processes that occur through time, fed by the exchange of matter and energy derived from the interaction between multiple factors. Erosion is one of the general processes that affect landscape evolution. The risk of erosion caused by land slides depends on the conjunction of intrinsic attributes of each landscape, which show susceptibility or a possible hazard, with the resulting vulnerability from the geographic space use. A procedure is proposed to evaluate the hazard of erosion processes on mountainous areas, integrating land evaluation norms and standards with the application of a soil-geomorphologic model. Such a model allows the structural and functional analysis of the landscape, helps to identify the relevant factors related to land-slide processes, and facilitates the landscape systematic classification in order to define land units. An evaluation form is developed, so that it overcomes the current shortage of information at the mountainous areas of Venezuela, where the available data, although important, are insufficient to support the application of advanced and internationally recognized models. Examples of its application in the Vargas State (Venezuela) are presented.

Key words: Cordillera de la Costa, erosion, hazards evaluation, land evaluation, soil-geomorphologic model, mass movement.

INTRODUCCIÓN

En una de sus acepciones, el término paisaje se aplica a un sistema constituido por los sólidos de la litosfera (suelos, sedimentos, regolitos y rocas) y los componentes de la hidrosfera, ubicado en la interfase entre los componentes sólidos, líquidos, gaseosos y bióticos de la Tierra. Forma parte del ecosistema, que está constituido, además, por biota y atmósfera. De la definición anterior, se deduce que los atributos del paisaje resultan de procesos que se suceden en el tiempo, alimentados por los intercambios de materia y de energía provenientes de la interacción de un conjunto de factores (Elizalde y Jaimes, 1989). Una consecuencia de considerar al paisaje un sistema, es que puede ser modelado con el fin de comprender mejor su estructura y funcionamiento (Figura 1; Elizalde y Jaimes, 1989). Entre los diversos procesos que ocurren en los paisajes, los de erosión caracterizan a la fase de pérdidas. Como se muestra en la Figura 2, los procesos erosivos forman parte del ciclo geológico que da lugar a la evolución de la litosfera. En la citada figura se observa que la erosión actúa sobre regolitos, suelos y sedimentos y consta de los subprocesos separación y transporte.

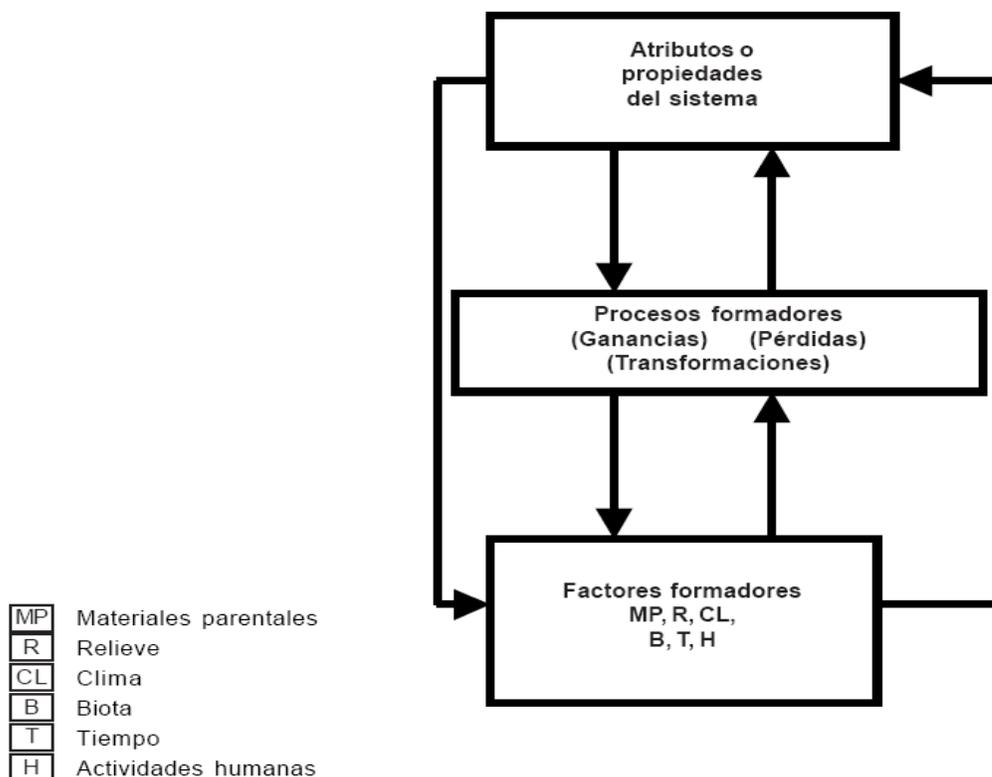


Figura 1. Representación esquemática del modelo pedogeomorfológico (Elizalde y Jaimes, 1989)

Los riesgos a los que están sometidos los paisajes (tal como fueron definidos más arriba) están determinados por la conjunción de sus atributos intrínsecos, que expresan una susceptibilidad o amenaza latente, con la vulnerabilidad resultante del uso de los espacios geográficos (Figura 3). Las amenazas latentes que frecuentemente se ciernen sobre los paisajes son:

- Susceptibilidad a inundaciones
- Susceptibilidad a movimientos sísmicos
- Susceptibilidad a erosión laminar
- Susceptibilidad a erosión en surcos y cárcavas
- Susceptibilidad a erosión por movimientos en masa
- Susceptibilidad a sedimentación aluvionaria.

Los movimientos en masa son formas de erosión cuyas consecuencias pueden manifestarse en áreas de muy diversas dimensiones, en lapsos muy diferentes y de impactos ínfimos hasta catastróficos.

Debido al impacto social, económico y ambiental que engloban las pérdidas, estos procesos de erosión reclaman con frecuencia el interés de la humanidad. Muchos sectores de Venezuela son teatro de intensos procesos erosivos que, en las zonas montañosas, toman prácticamente todos los años características de desastres (Pacheco, 2002).

Este trabajo propone un procedimiento para evaluar las amenazas de ocurrencia de procesos de erosión por movimientos en masa en áreas montañosas, siguiendo los lineamientos aceptados para la evaluación de tierras, integrándolos con la aplicación del concepto de modelo pedogeomorfológico citado más arriba y, como herramienta para definir unidades de tierra, la clasificación sistemática de paisajes propuesta por Elizalde (1983). Uno de los retos a vencer para lograr el objetivo expuesto es desarrollar una forma de evaluación que permita superar las limitaciones de información sobre las áreas montañosas de Venezuela, donde existe cierto grado de información básica, muy valiosa porque resulta de grandes inversiones de tiempo y de recursos económicos y humanos; sin embargo, en términos generales, esa información es insuficiente para la aplicación de los modelos avanzados, reconocidos internacionalmente. Esa carencia parcial es la principal justificación de este ensayo. En los párrafos que siguen se describe brevemente el procedimiento propuesto y se presentan ejemplos de su aplicación en la cuenca del Río San Julián, estado Vargas.

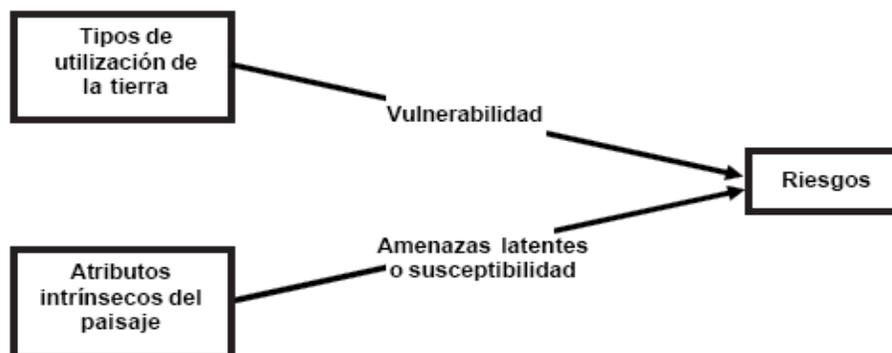


Figura 3. Relaciones entre tipos de utilización de la tierra, atributos intrínsecos del paisaje, vulnerabilidad, amenazas y riesgos

METODOLOGÍA

El procedimiento metodológico seguido para lograr el objetivo definido, está enmarcado en la concepción sistémica del paisaje. Este paisaje previamente clasificado y jerarquizado, puede ser modelado tomando como patrón el modelo pedogeomorfológico que permite analizar en detalle los principales aspectos del proceso de erosión. Por otro lado, haciendo uso de métodos específicos de evaluación de tierras (FAO,1983), se pueden definir las clases o rangos de amenazas, los tipos de utilización de la tierra (TUT) y su correspondiente vulnerabilidad. Este procedimiento ha sido plasmado esquemáticamente en la Figura 4.

Por medio del modelo pedogeomorfológico (Elizalde y Jaimes, 1989) se evidencian los factores y cualidades relevantes en relación con el proceso de erosión por movimientos en masa, las características indicadoras para evaluar las cualidades, los tipos de energía que participan en los procesos específicos, las condiciones hidrodinámicas que pueden presentarse, los efectos de los procesos específicos en cada caso y los diferentes tipos de erosión por movimientos en masa que resultan.

Para el proceso de evaluación propiamente dicho, en sus aspectos fundamentales se siguen los lineamientos de la FAO (1983) para la evaluación de tierras. Definidos los tipos de utilización de la tierra relevantes, se seleccionan las cualidades más importantes de cada paisaje para cada TUT, y las características indicadoras para cada una de las cualidades. Se elaboran modelos para delimitar las unidades de tierra (UT) jerarquizadas y clasificadas según el procedimiento de Elizalde (1983). Se construye el modelo interpretativo que permita evaluar las amenazas latentes o susceptibilidad de cada unidad espacial o paisaje de acuerdo a sus atributos. Finalmente, se crea un modelo interpretativo para evaluar los riesgos a partir de las amenazas y la vulnerabilidad que presentan los diferentes tipos de uso procedimiento para la evaluación de las amenazas de movimientos en masa, no estando dentro de los alcances de este ensayo el estudio de la vulnerabilidad ni de los riesgos (Figura 4).

El modelo interpretativo para la evaluación de amenazas de erosión en masa consiste en matrices o tablas de decisión, elaboradas tomando en cuenta la importancia de los factores, cualidades y características indicadoras relevantes, su variabilidad en el área y la posibilidad de disponer de información. La selección y ponderación de las características indicadoras y su incidencia para la determinación de las clases de amenazas se ha realizado a partir de la información obtenida en la literatura especializada, así como en la aplicación de criterio de experto. El ajuste final se realizó confrontando los resultados obtenidos con los efectos de las precipitaciones ocurridas en diciembre de 1999 en el área de estudio.

RESULTADOS

Los resultados se refieren a la aplicación del procedimiento descrito a ciertas zonas del estado Vargas (Venezuela), tomadas como ejemplo.

Modelo de erosión

Existen cantidad de factores, cualidades y características del paisaje que podrían inicialmente ser considerados para analizar el proceso de erosión por movimientos en masa (Sidle *et al.*, 1985; Zinck, 1996; Quintana y Lomoschitz, 2000; Montovani *et al.*, 2000; Van Westen *et al.*, 2000). Muchos de ellos se descartan para este trabajo debido a que: no son claramente importantes respecto al proceso a evaluar, no se dispone de información ni es posible obtenerla en un lapso corto, se conoce que en la zona no existe variabilidad respecto a esas características.

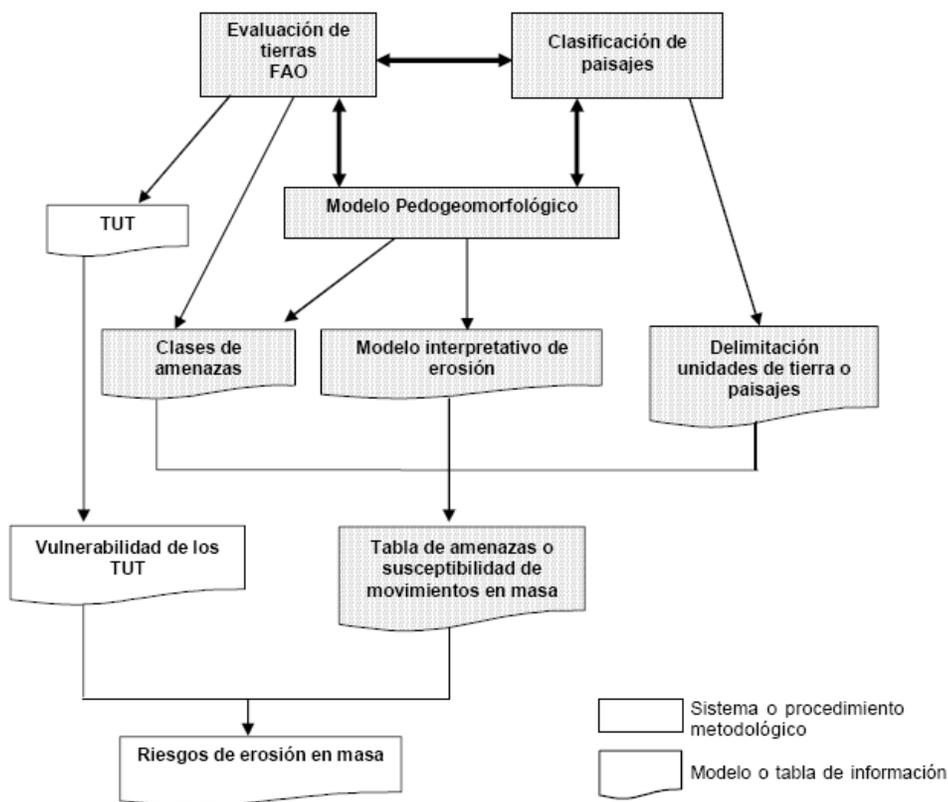


Figura 4. Procedimiento a seguir para la evaluación de los riesgos de erosión por movimientos en masa (se han remarcado los aspectos desarrollados en este trabajo)

En el Cuadro 1 se muestran los factores, cualidades y características considerados relevantes para el análisis del proceso de erosión por movimientos en masa de acuerdo a los criterios mencionados. En dicho cuadro se observa que se seleccionaron cuatro factores generales y cinco específicos; éstos se definen por medio de siete cualidades, las cuales son evaluadas por catorce características indicadoras, definidas a continuación:

1. Característica indicadora: *lámina de precipitación en 1 hora*
 Baja a moderada: < 60 mm
 Moderada: 60 a 80 mm
 Alta: 81 a 100 mm
 Muy alta: > 100 mm
2. Característica indicadora: *lámina en una tormenta*
 Baja a moderada: < 80 mm acumulados
 Moderada: 80 a 120 mm acumulados
 Alta: 121 a 200 mm acumulados
 Muy alta: > 200 mm acumulados
3. Característica indicadora: *frecuencia de tormentas en 7 días*
 Baja a moderada: < 2 tormentas en 7 días
 Moderada: entre 2 y 4 tormentas en 7 días
 Alta: 5 tormentas en 7 días
 Muy alta: 6 o más tormentas en 7 días

Cuadro 1. Factores, cualidades y características indicadoras relevantes para evaluar el proceso de erosión en masa

Factores relevantes		Cualidades relevantes	Características indicadoras
Generales	Específicos		
Clima	Lluvia	Erosividad	Lámina en una hora Lámina en una tormenta Frecuencia de tormentas en siete días
Materiales parentales	Suelo	Separabilidad	Granulometría de los suelos
	Geología	Deleznabilidad	Grado de foliación de las rocas Facilidad de excavación
Relieve	Relieve	Declividad	Pendiente general del terreno
			Pendiente media de las laderas de la cuenca dominante
			Pendiente longitudinal de los cauces principales
		Longitud de las laderas de la cuenca	
		Relatividad	Altura relativa y posición geomorfológica
		Morfología	Forma del terreno Tamaño de la cuenca dominante
Actividades antrópicas	Uso de la tierra	Intervención	Formación vegetal de cobertura dominante

4. Característica indicadora: *granulometría de los suelos*
Fina: textura arcillosa, arcillo limosa o arcillo arenosa.
Media: textura franca, franco arcillosa, franco arcillo limosa, franco limosa, o limosa.
Gruesa: textura franco arcillo arenosa, franco arenosa, areno francosa, arenosa.
5. Característica indicadora: *grado de foliación de las rocas*
Alto: foliación evidente, separando en las rocas escamas de menos de 3 mm de espesor. Asociada a textura metamórfica lepidoblástica y a rocas sedimentarias finamente estratificadas o laminadas. Las rocas se dividen en lajas fácilmente.
Medio: foliación visible, pero las escamas se separan con dificultad y con frecuencia son muy pequeñas o tienen más de 3 mm de espesor. Asociada a textura gneisosa o nema-toblástica y a rocas sedimentarias con estructura en lechos delgados cuyo espesor es aproximadamente 1 a 5 cm. se pueden separar lajas de las rocas, pero los planos de separación son irregulares y las lajas tienden a ser pequeñas.
Bajo: foliación poco visible. La roca es prácticamente masiva; hay minerales orientados, pero no hay planos de descamación frecuentes. Al golpe del martillo la roca se fractura de manera irregular y no en forma de laja. Asociada a texturas granoblásticas, sedimentarias masivas o ígneas.
6. Característica indicadora: *facilidad de excavación*
Alta: sedimentos sin consolidar, regolitos (suelos residuales), rocas sedimentarias friables o moderadamente friables. Se pueden excavar con herramientas de mano corrientes.
Media: esquistos metamórficos con moderada a baja alteración, rocas sedimentarias litificadas (no muy litificadas).
Baja: gneises, calizas metamórficas, granitos y otros tipos de rocas ígneas plutónicas, hipabisales o efusivas poco alteradas, rocas sedimentarias muy litificadas. En general no se pueden excavar con herramientas manuales corrientes. Se usan explosivos.
7. Característica indicadora: *pendiente general del terreno en porcentaje*
Baja: < 5
Media: 5 - 9
Media a alta: 10 – 29
Alta: 30 – 60
Muy alta: > 60
8. Característica indicadora: *pendiente media de las laderas de la cuenca dominante al sitio evaluado en porcentaje*
Se aplica en las áreas cuya posición relativa es intermedia o dominada.
Baja: < 5
Media: 5 - 9
Media a alta: 10 – 29
Alta: 30 – 60
Muy alta: >60

9. Característica indicadora: *pendiente longitudinal de los cauces principales en porcentaje*
Se refiere a los cauces ubicados dentro del área a evaluar que recogen las aguas que circulan por ella.
Baja: < 5
Media: 5 - 9
Alta: 10 - 30
Muy alta: > 30
10. Característica indicadora: *longitud de las laderas de la cuenca en metros*
Corta: < 60
Media: 60 – 250
Larga: > 250
11. Característica indicadora: *altura relativa y posición geomorfológica*
Dominada: está rodeada total o parcialmente por otras unidades de relieve adyacentes de mayor altura y no domina a ningún relieve adyacente.
Intermedia: tiene otras unidades de relieve adyacentes tanto a mayor como a menor altura.
Dominante: tiene otras unidades de relieve adyacentes siempre a menor altura.
12. Característica indicadora: *forma del terreno o configuración*
Cóncavo: concentra el drenaje superficial.
Convexo: diluye el drenaje superficial.
Plano: neutra respecto al drenaje superficial.
Mixto: acción variada sobre el drenaje
13. Característica indicadora: *tamaño de la cuenca dominante en hectáreas*
Se aplica en las áreas cuya posición relativa es intermedia o dominada.
Pequeña: < 15
Media: 15 a 150
Grande: > 150
14. Característica indicadora: *formación vegetal de cobertura dominante*
 1. Bosque siempreverde
 2. Bosque deciduo o semideciduo
 3. Matorral o vegetación xerofítica
 4. Herbazal principalmente gramíneo, sin árboles o con pocos
 5. Menos de 20 % cobertura de cualquier tipo o suelo desnudo

Con base en el Modelo Pedogeomorfológico y en la propuesta de Fernández (2001), se elaboró el modelo de erosión hídrica de la Figura 5, que establece las relaciones entre los factores, las cualidades y las características indicadoras relevantes, y los tipos de energía que participan en los procesos específicos, las condiciones hidrodinámicas que pueden presentarse, los efectos de los procesos específicos en cada caso y los diferentes tipos de erosión hídrica que resultan.

Modelos interpretativos y definición de clases de amenaza de movimientos en masa

De acuerdo con el Modelo de la Figura 5, la erosividad de la lluvia proporciona la fuerza que actúa (acción) sobre los materiales que resisten (reacción). Por ello se definieron cuatro condiciones de precipitación con base en la lámina caída en una hora, la lámina acumulada en una tormenta y la frecuencia de tormentas en un intervalo de siete días. Para cada condición de precipitación se elaboró un modelo interpretativo bajo la forma de matrices de doble entrada (Cuadros 2a, 2b, 2c y 2d). Las filas de las matrices corresponden a las características indicadoras y las columnas corresponden a las clases de amenazas por movimientos en masa. Para cada modelo o matriz se enuncian las reglas para la interpretación de los resultados. Las clases de amenazas que se determinan por el procedimiento indicado corresponden a las definiciones siguientes:

Clase I: ligera amenaza de erosión por movimientos en masa

Corresponde a tierras que tienen propiedades favorables que limitan este tipo de erosión. Este grado de amenaza es pequeño y se espera que bajo las condiciones evaluadas exista menos del 15% de probabilidad de que ocurran movimientos en masa y que si ocurren, sus efectos pueden ser superados fácilmente con costos de recuperación y mantenimiento relativamente bajos.

Clase II: moderada amenaza de erosión por movimientos en masa

Incluye tierras que tienen propiedades moderadamente favorables ante este tipo de erosión. Este grado de amenaza significa una probabilidad comprendida entre 15 y 40 % de que ocurran movimientos en masa dentro del área, bajo las condiciones evaluadas. Sus efectos pueden ser superados o evitados por medio de una planificación, diseño o mantenimiento especial.

Cuadro 2a. Matriz para evaluar las amenazas de movimientos en masa en condiciones de precipitación baja a moderada, definida por las tres primeras características

Características indicadoras	Efecto sobre las clases de amenazas de movimientos en masa			
	I Ligero	II Moderado	III Severo	IV Muy severo
Lámina en una hora	Menos de 60 mm			
Lámina en una tormenta	Menos de 80 mm acumulados			
Frecuencia de tormentas	Menos de dos tormentas en siete días			
Granulometría de los suelos	Gruesa	Fina o media	X	X
Grado de foliación de las rocas	Bajo o medio	Alto	X	X
Facilidad de excavación	Baja	Media	Alta	X
Pendiente general del terreno	< 60 %	> 60 %	X	X
Pendiente media de las laderas de la cuenca dominante al sitio evaluado	< 60 %	> 60 %	X	X
Pendiente longitudinal de los cauces principales	< 30 %	> 30 %	X	X
Longitud de las laderas de la cuenca	< 250 m	> 250 m	X	X
Altura relativa y posición geomorfológica	Dominante	Intermedia	Dominada	X
Forma del terreno o configuración	Plana, convexa o mixto	Cóncava	X	X
Tamaño de la cuenca dominante	< 150 ha	> 150 ha	X	X
Formación vegetal de cobertura dominante	Todas menos herbazal, ralo o desnudo	Herbazal	Ralo o desnudo	X

Reglas para interpretar los resultados: si hay cuatro moderados o severos la clase es II; si hay cinco o más moderados y severos, la clase es III; los demás casos son clase I; no hay clase IV con esas condiciones de lluvia; condición especial: si la pendiente general es < 5 % siempre es clase I

Cuadro 2b. Matriz para evaluar las amenazas de movimientos en masa en condiciones de precipitación moderada, definida por las tres primeras características

Características indicadoras	Efecto sobre las clases de amenazas de movimientos en masa			
	I Ligero	II Moderado	III Severo	IV Muy severo
Lámina en una hora	Entre 60 y 80 mm			
Lámina en una tormenta	Entre 80 y 120 mm acumulados			
Frecuencia de tormentas	Entre dos y cuatro tormentas en siete días			
Granulometría de los suelos	Gruesa	Media	Fina	X
Grado de foliación de las rocas	Bajo	Medio	Alto	X
Facilidad de excavación	Baja	Media	Alta	X
Pendiente general del terreno	< 30 %	30 – 60 %	> 60 %	X
Pendiente media de las laderas de la cuenca dominante al sitio evaluado	< 30 %	30 – 60 %	> 60 %	X
Pendiente longitudinal de los cauces principales	< 10 %	10 – 30 %	> 30 %	X
Longitud de las laderas de la cuenca	< 60 m	60 – 250 m	> 250 m	X
Altura relativa y posición geomorfológica	Dominante	Intermedia	Dominada	X
Forma del terreno o configuración	Convexa o mixta	Plana	Cóncava	X
Tamaño de la cuenca dominante	< 15 ha	15 – 150 ha	> 150 ha	X
Formación vegetal de cobertura dominante	Bosques	Herbazal o matorral	Ralo o desnudo	X

Reglas para interpretar los resultados: si la suma de ligeros y moderados es más del doble que los severos y hay más ligeros que moderados, es clase I; si la suma de ligeros y moderados es más del doble que los severos y hay tantos o más moderados que ligeros, es clase II; si la suma de ligeros y moderados es el doble o menos que los severos y hay más ligeros que moderados, es clase II; si la suma de ligeros y moderados es mayor que los severos y hay más moderados que ligeros, es clase III; si hay tres a cinco severos, y no hay ligeros, es clase III; si hay seis o más severos es clase IV; las demás situaciones son clase I; condición especial: si la pendiente general es < 5 % siempre es clase I

Cuadro 2c. Matriz para evaluar las amenazas de movimientos en masa en condiciones de precipitación alta, definida por las tres primeras características

Características indicadoras	Efecto sobre las clases de amenazas de movimientos en masa			
	I Ligero	II Moderado	III Severo	IV Muy severo
Lámina en una hora	Entre 81 y 100 mm			
Lámina en una tormenta	Entre 121 Y 200 mm acumulados			
Frecuencia de tormentas	Cinco tormentas en siete días			
Granulometría de los suelos	Gruesa	Media	Fina	X
Grado de foliación de las rocas	Bajo	Medio	Alto	X
Facilidad de excavación	X	Baja	Media	Alta
Pendiente general del terreno	< 5 %	5 – 29 %	30 – 60 %	> 60 %
Pendiente media de las laderas de la cuenca dominante al sitio evaluado	< 5 %	5 – 29 %	30 – 60 %	> 60 %
Pendiente longitudinal de los cauces principales	< 5 %	5 – 9 %	10 – 30 %	> 30 %
Longitud de las laderas de la cuenca		< 60 m	60 – 250 m	> 250 m
Altura relativa y posición geomorfológica		Dominante	Intermedia	Dominada
Forma del terreno o configuración	Convexa	Plana	Mixta	Cóncava
Tamaño de la cuenca dominante	< 15 ha	15 – 150 ha	> 150 ha	X
Formación vegetal de cobertura dominante	Bosque	Matorral	Herbazal	Ralo o desnudo

Reglas para interpretar los resultados: si hay ocho de clase ligero y ninguna de clase muy severo, es clase I; si hay ocho o más de clases ligero y moderado y ninguna de clase muy severo, es clase II; si la suma de severos y muy severos es el doble o más que la suma de ligeros y moderados es clase IV; las demás situaciones son clase III; condición especial: si la pendiente general es < 5 % siempre es clase I

Cuadro 2d. Matriz para evaluar las amenazas de movimientos en masa en condiciones de precipitación muy alta, definida por las tres primeras características

Características indicadoras	Efecto sobre las clases de amenazas de movimientos en masa			
	I Ligero	II Moderado	III Severo	IV Muy severo
Lámina en una hora	Más de 100 mm			
Lámina en una tormenta	Más de 200 mm acumulados			
Frecuencia de tormentas	Seis o más tormentas en siete días			
Granulometría de los suelos	X	Media	Fina	Gruesa
Grado de foliación de las rocas	X	Bajo	Medio	Alto
Facilidad de excavación	X	X	Baja o media	Alta
Pendiente general del terreno	< 5 %	5 - 9 %	10 – 30 %	> 30 %
Pendiente media de las laderas de la cuenca dominante al sitio evaluado	< 5 %	5 - 9 %	10 – 30 %	> 30 %
Pendiente longitudinal de los cauces principales	< 5 %	5 – 9 %	10 – 30 %	> 30 %
Longitud de las laderas de la cuenca	X	< 60 m	60 – 250 m	> 250 m
Altura relativa y posición geomorfológica	X	Dominante	Intermedia	Dominada
Forma del terreno o configuración	X	Convexa	Plana	Mixta ó cóncava
Tamaño de la cuenca dominante	X	< 15 ha	15 – 150 ha	> 150 ha
Formación vegetal de cobertura dominante	X	X	Herbazal	Bosque, matorral, ralo o desnudo

Reglas para interpretar los resultados: si hay tres de clase ligero y ninguna de clase muy severo, es clase I; si hay tres de clase ligero y tres o menos de clases severo o muy severo, es clase II; si hay tres de clase ligero, cuatro o más de clase severo y dos o menos de clase muy severo, es clase III; si hay ocho o más de clase moderado y tres o menos de clases severo y muy severo, es clase III; todos los demás casos son clase IV; condición especial: si la pendiente general es < 3 % siempre es clase I

Los criterios de evaluación expuestos se aplicaron a todo el flanco norte de la Cordillera de la Costa, desde Los Caracas hasta Arrecife. En este trabajo se expondrán solo los resultados de cinco sectores de la cuenca del Río San Julián, muy afectados por los procesos erosivos de diciembre de 1999 (Figura 6). Los cinco sectores que se distinguen para esta evaluación constituyen una secuencia que abarca desde la parte más alta de la Cordillera, en las cabeceras de la cuenca, cuyo sustrato geológico muestra la presencia del gneis a ojos de Peña de Mora (sector A), sigue luego el tramo alto inmediatamente debajo del anterior, constituido por los sectores B y C, correspondientes a la zona ocupada por el Esquisto de San Julián y la sección de montañas bajas y colinas (sector D) que se encuentran a unos 5 Km de la costa desarrolladas sobre la Fase Tacagua del Complejo de La Costa (Navarro *et al.*, 1988; Urbani y Ostos, 1989). La parte más baja corresponde a la planicie aluvial del río San Julián (sector E). Las características de cada uno de los sectores indicados se presentan en el Cuadro 3.

La evaluación realizada muestra que los cinco sectores de la cuenca del Río San Julián tienen amenazas muy altas de sufrir procesos de movimientos en masa (clase IV) cuando se producen condiciones de precipitación similares a las de diciembre de 1999 (Cuadro 4). Pero los sectores B y D tienen alta probabilidad (clase III) que los procesos se inicien ya con precipitaciones bajas a moderadas; debe resaltarse que los sectores de laderas montañosas (A, B y C) se ven afectados de amenazas altas cuando las precipitaciones alcanzan los rangos definidos como altos.

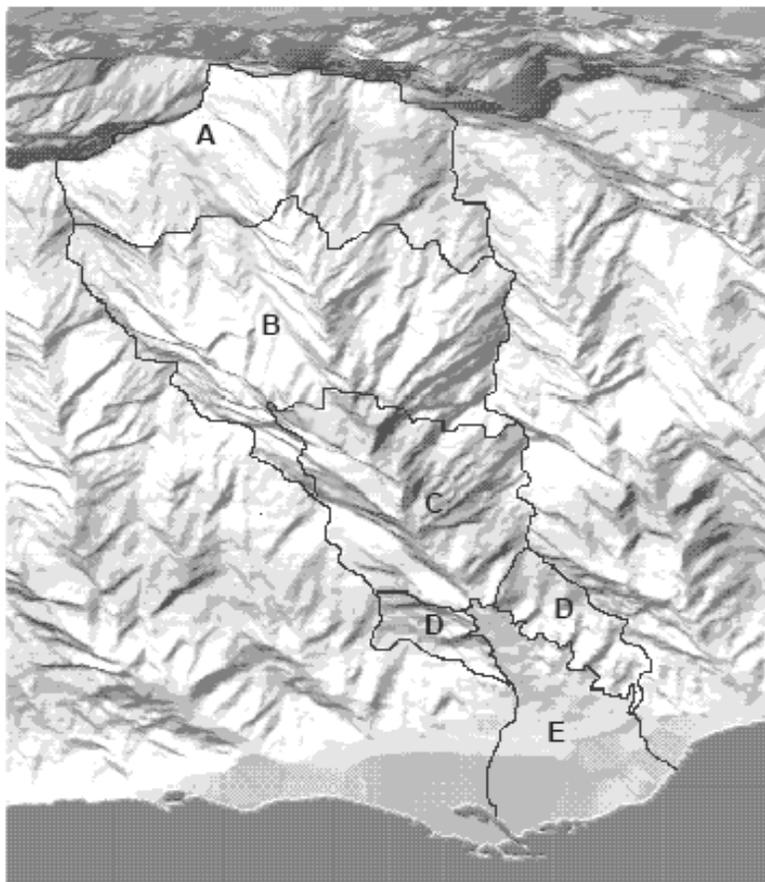


Figura 6. Modelo digital de elevación de la cuenca del Río San Julián (con las letras A, B, C, D, y E se indica la ubicación de los sectores evaluados con base en la información relevante disponible)

Cuadro 3. Características de los diferentes sectores de la cuenca del Río San Julián

Características	A	B	C	D	E
1 Lámina en una hora	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80
2 Lámina en tormenta	80 - 120	80 - 120	80 - 120	80 - 120	80 - 120
3 Frecuencia de tormentas	2 -4	2 -4	2 -4	2 -4	2 -4
4 Granulometría	Gruesa	Media	Media	Fina	Gruesa
5 Grado de foliación	Baja	Media	Media	Alta	Baja
6 Facilidad de excavación	Alta	Alta	Media	Alta	Alta
7 Pendiente del terreno	> 60	30-60	30-60	10-30	< 5
8 Pendiente de las laderas de la cuenca dominante	X	> 60	30-60	X	10-29
9 Pendiente de los cauces	10 - 30	10 - 30	10-30	5-9	<5
10 Longitud de las laderas	>250	>250	>250	>250	60-250
11 Altura relativa	Dominante	Intermedia	Dominada	Dominante	Dominada
12 Forma del terreno	Mixto	Mixto	Mixto	Mixto	Plana
13 Tamaño de la cuenca dominante	X	> 150	15 - 150	X	15 - 150
14 Formación vegetal	Bosque	Bosque	B. Decid.	Herbazal	Ralo

Cuadro 4. Evaluación de amenazas de movimientos en masa en cinco sectores de la cuenca del Río San Julián, bajo cuatro condiciones de precipitación

Sector	Baja a moderada	Moderada	Alta	Muy alta
A	I	II	III	IV
B	III	III	IV	IV
C	II	II	III	IV
D	III	III	IV	IV
E	I	I	I	IV

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El procedimiento que se presenta para evaluar amenazas de erosión por movimientos en masa, se adapta a las unidades de paisaje previamente delimitadas en el área y se ajusta a la información disponible. Su aplicación al estado Vargas dio resultados coherentes con los efectos de las lluvias excepcionales de diciembre de 1999. La discriminación que muestran los resultados entre los diferentes sectores en los que se ha dividido la cuenca, concuerda con los hechos acaecidos en ese evento, donde las avalanchas en las partes más bajas de la cuenca del río San Julián adyacentes a los asentamientos urbanos (sector E), ocurrieron luego de un cierto tiempo de iniciados los procesos en las partes altas e intermedias de la cuenca (sectores B y D). Los deslizamientos que se produjeron en estas zonas intermedias obstruyeron las vías de drenaje formando barreras precarias. Estas barreras tuvieron varios efectos: por una parte retardaron la llegada de la crecida y los sedimentos a las partes bajas (sector E); además, acumularon grandes volúmenes de agua y sedimentos que, al romperse las barreras, irrumpieron de manera violenta en los sectores bajos; también, al comenzar los derrumbes en las partes intermedias, se generó una secuencia de deslizamientos tanto aguas arriba (alcanzando al sector A) como aguas abajo.

El modelo en sí mismo representa una selección de los factores, cualidades y características relevantes, la cual se basa en los conocimientos disponibles en un sitio dado en un momento dado; por ello permite utilizar provechosamente la información disponible, aunque sea incompleta, a la vez que ayuda a identificar áreas del conocimiento que requieren de más investigaciones. En el modelo expuesto, existen numerosos aspectos que han sido definidos en base a juicio de experto; es obvio que esos aspectos requieren de investigaciones que el modelo justifica plenamente.

Tal como se ha diseñado, el modelo resulta útil como herramienta complementaria a un sistema de monitoreo de precipitaciones en tiempo real, permitiendo reconocer cómo las diferentes áreas van cambiando progresivamente de una clase de amenaza a otra, en la medida que las precipitaciones cesan o continúan.

Bouma (2001) basándose en Becker y Dewulf (1989) presenta una clasificación de las investigaciones en relación con el conocimiento de la causalidad y al grado de incertidumbre, reconociendo cuatro clases: predicciones, proyecciones, exploraciones y especulaciones (Figura 7). Es admisible considerar que a través de la literatura especializada existe un conocimiento teórico razonablemente alto de las causas del proceso de erosión en masa, pero el conocimiento de la realidad físico natural en las áreas montañosas de Venezuela es escaso; por ello probablemente el modelo expuesto corresponda a un tipo de investigación exploratoria (área 3 de la Figura 7). Las investigaciones complementarias mencionadas en el párrafo anterior tienen por cometido acercar al modelo hacia el sector 1 de la figura citada, que representa la situación

donde los conocimientos teóricos sobre cada área en particular son suficientes para utilizar modelos avanzados reconocidos internacionalmente.

Por último, no debe obviarse que el enfoque sistémico seguido para la elaboración del modelo, propicia el trabajo interdisciplinario e integra los procedimientos que caracterizan la evaluación de tierras, con el concepto pedogeomorfológico del paisaje, incluyendo a la erosión como uno de sus procesos fundamentales, y la clasificación sistemática de paisajes como procedimiento para la definición de unidades de tierra.

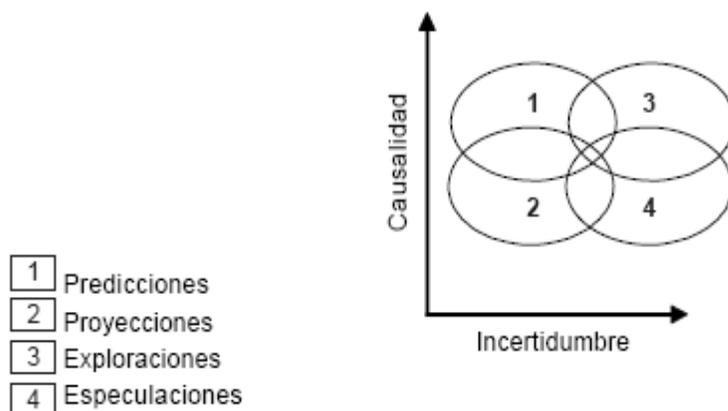


Figura 7. Cuatro clases de investigación en relación con el grado de causalidad y de incertidumbre del conocimiento (Bouma, 2001; Becker y Dewulf, 1989)

LITERATURA CITADA

- Becker, H. y G. Dewulf.** 1989. Developments and features of futures research and its evaluation. *In:* Bouma, J. 2001.
- Bouma, J.** 2001. The role of soil science in land use negotiation process. *Soil Use and Management.* (17)1-6.
- Elizalde G.** 1983. Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisajes. Primera Aproximación. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 46 p.
- Elizalde, G. y E. Jaimes.** 1989. Propuesta de un modelo pedogeomorfológico. *Revista Geográfica Venezolana*, XXX, 5-36.
- Elizalde, G.** 1999. Material audiovisual para apoyo de la enseñanza teórica del Tema 2: Algunos Conceptos Fundamentales de Geología. *Minerales del Suelo. Rocas y Meteorización.* Cátedra de Edafología General, Departamento de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 11 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO).** 1983. Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture. *Soils Bul Num.52* Roma, Italia.
- Fernández, L.** 2001. Propuesta metodológica para determinar grados de susceptibilidad a la erosión hídrica en microcuencas tropicales. Tesis de Doctorado. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 286 p.
- Montovani, F.; A. Pasuto; S. Silvano y A. Zannoni.** 2000. Collecting data to define future hazard scenarios of the Tessina landslide. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2(1):33-40.
- Navarro, E.; M. Ostos y F. Yoris.** 1988. Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte Norte - Central de Venezuela durante el Jurásico Medio - Paleógeno. *Acta Científica Venezolana* 39:427-436.
- Pacheco, G.** 2002. Las iras de la serranía. Lluvias torrenciales, avenidas y deslaves en la Cordillera de la Costa: un enfoque histórico. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Quintana, A. y A. Lomoschitz.** 2000. Landslides as a determining geomorphologic factor of the Barranco de Tirajana Basin, Gran Canaria. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2(1):3-8.
- Side, R.; A. Perce y C. O'Loughlin.** 1985. Hillslope stability and land use. American Geophysical Union. Washington. USA. 139 p.

- Urbani, F. y M. Ostos.** 1989. El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas (29):205-217.
- Van Westen, C. J.; R. Soeters y K. Sijmons.** 2000. Digital geomorphological landslide hazard mapping of the Alpage area, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2(1):51-60.
- Zinck, A.** 1996. La susceptibilidad de los suelos a la erosión por movimientos en masa. Con referencia especial a las montañas tropicales húmedas. *En*: J. Aguilar R.; A. Martínez R. y A. Roca R. (Ed.) *Evaluación y manejo de suelos*, Junta de Andalucía – SECS – Universidad de Granada. p. 25-48.
-