

Zonificación geomorfológica utilizando el concepto de estabilidad relativa aplicado a la microcuenca Los Tapiales, río Mucujún, El Vallecito, estado Mérida-Venezuela

Geomorphological zoning based on the relative stability concept applied to Los Tapiales, micro watershed, Mucujún River, Vallecito, Mérida State-Venezuela

Rosa Ramírez García*

Recibido: abril, 2005 / Aceptado: julio, 2005

Resumen

En la determinación del comportamiento geotécnico de los suelos están involucradas una gran cantidad de variables físicas ambientales que son de la competencia de diferentes especialistas. Por este motivo estos estudios deben hacerse con la información integrada de un equipo multidisciplinario, en donde cada profesional participante asuma el compromiso de producir una evaluación y zonificación, casi predictiva, del comportamiento de la variable que le corresponde analizar. En este sentido, sin sustituir los estudios sobre calidad de sitio, la cartografía geomorfológica expresada en mapas de estabilidad relativa, se ha convertido en la actualidad en uno de los documentos más valiosos que existen para orientación geotécnica. Al respecto, el concepto de *estabilidad relativa* ha dado aportes muy valiosos en el sentido que permite pulsar el comportamiento de los terrenos y expresar, en diferentes niveles, sus respuestas ante la ocurrencia de un riesgo determinado.

Palabras clave: geomorfología; geología; estabilidad relativa; zonificación.

Abstract

In the soil geotechnical behavior determination, a great amount of environmental physical variables is involved, which is the concern of specialists in different fields of knowledge and research. That is why these studies must be carried out by a multidisciplinary research team with integrated information, in which each one of the researchers is responsible for producing an almost predictable evaluation and zoning of the variable behavior under study and analysis. In this way, without replacing studies based on site quality, the geomorphologic cartography expressed through maps of relative stability has become, at present, one of the most valuable documents for geotechnical orientation. In this sense, the *relative stability* concept has provided very valuable answers that allow to take the pulse of the behavior of terrains and to express, at different levels, their answers to the occurrence of a determined risk event.

Key words: geomorphology; geology; relative stability; zoning.

* Universidad de los Andes, Escuela de Geografía, Mérida-Venezuela, e-mail: rosag@ula.ve

Introducción

En las ciudades más densamente pobladas del mundo incluyendo a las de Venezuela, la demanda por construir en sitios de estabilidad altamente cuestionada es constante. Esta situación ha colocado en posición relevante los estudios geomorfológicos tendentes a producir zonificaciones por *estabilidad relativa* como documento orientador en la ocupación del espacio. Los geomorfólogos se han abocado a la búsqueda de metodologías más sencillas cuyos resultados puedan ser interpretados por los profesionales que tienen que tomar decisiones al respecto. En este sentido, los estudios que conducen a la evaluación y definición de los diferentes niveles de estabilidad se han incrementado mucho, especialmente en aquellos países en donde es muy alta la incidencia de fenómenos que limitan o condicionan la expansión de las áreas densamente pobladas. Ejemplos de estas aplicaciones se pueden encontrar en Mejías *et al.* (1994), Ferrer (1994), Ramírez (1995), Feliciani (1990), Brabb (1984), Wiczorek *et al.* (1988).

El objetivo de este trabajo es realizar una zonificación de los terrenos tomando en consideración su comportamiento desde el punto de vista geomorfológico y expresarlo en términos de *estabilidad relativa*. Para lograr este propósito se hace el estudio aprovechando una propuesta de desarrollo turístico que existe para la microcuenca Los Tapiales que se encuentra ubicada en el sector de El Vallecito, frente a la toma del acueducto de la ciudad de Mérida en el río Mucujún.

Se realiza un levantamiento detallado de la geología y la geomorfología del sector a través de técnicas de fotointerpretación y trabajo de campo, se produce un mapa de zonificación geomorfológica que expresa diferentes niveles de estabilidad relativa de acuerdo a esta variable y, al final, se ofrecen conclusiones y algunas recomendaciones que podrían reorientar el desarrollo propuesto.

No se hacen especificaciones sobre el proyecto en sí, ni de la tipología constructiva del complejo turístico propuesto ya que no es el objetivo del trabajo; solamente se identifica el área a desarrollar urbanísticamente para localizarla sobre el mapa de zonificación geomorfológica realizado a fin de ubicar al lector en el contexto real del problema a ser analizado. En este trabajo se aprovecha entonces una proposición de desarrollo de un complejo turístico para demostrar, a través de un estudio de estabilidad relativa por riesgo geomorfológico, el aporte que esta sola variable puede hacer en beneficio de la planificación espacial.

Estabilidad relativa

El concepto de *estabilidad relativa* implica una caracterización que se hace de un espacio, tomando en consideración su comportamiento frente a un riesgo determinado. La escala que puede medir los diferentes niveles de respuestas ante la ocurrencia de un evento de riesgo se determina subjetivamente tomando en consideración los comportamientos extremos, los cuales, sirven de referencia

para la ubicación de los distintos niveles intermedios.

Por este motivo el término *inestabilidad* no debe ser usado en un sentido absoluto, porque un área puede ser inestable con relación a un proceso específico, pero estable con respecto a otro; esto obliga a considerarlo en relación al fenómeno que lo produce; sin embargo, la indicación, definición y caracterización del tipo de inestabilidad, puede ofrecer elementos que son esenciales para la selección de los correctivos más apropiados y efectivos (Panizza, 1975). Es oportuno indicar que el concepto de inestabilidad varía también en función del objetivo del estudio, ya que, por ejemplo, la estabilidad requerida para establecer una planta nuclear es diferente en grado y tipo de la que se requiere para construir una carretera (Panizza, 1979).

En el caso de la variable tratada en este trabajo, tomando en consideración el contexto de lo anteriormente expresado, es importante afirmar que este tipo de análisis se basa en la investigación geomorfológica que ofrece un marco detallado sobre el origen de las formas y la evolución de los procesos de inestabilidad, tanto actuales como pasados. Los resultados de esta investigación pueden ser expresados mediante un plano de *Dinámica Geomorfológica*, tal y como lo sugieren Panizza y Piacente (1978), pero también mediante *Planos Síntesis* dirigidos a facilitar su interpretación, (Ferrer y Dugarte, 1990).

En resumen, la información aportada por los planos de estabilidad relativa tiende, de forma determinante, a mejo-

rar el diseño de las obras al adecuarlas a su entorno. Igualmente, a identificar amenazas naturales potenciales y, por lo tanto, a aminorar su impacto negativo en el ambiente, a evaluar posibles riesgos y sugerir medidas de mitigación y, así mismo, contribuye a disminuir los costos de los estudios geotécnicos al hacer más racional la selección de los sitios de perforación y tomas de muestras. Algunos ejemplos de la utilidad de esta técnica pueden ser encontrados en Jones (1980), Thornes (1979), Ucar (1996) y Ferrer y Ramírez (1996).

Métodos y técnicas

La metodología aplicada en este trabajo se fundamenta especialmente en la realización de un levantamiento detallado, en campo, de los aspectos geomorfológicos y geológicos del sector denominado Los Tapiales, ubicado en la parte alta de la microcuenca del mismo nombre. El objetivo es producir una zonificación geomorfológica que permita definir diferentes niveles de estabilidad relativa, considerando solamente el análisis de esta variable. Para cumplir con el objetivo planteado fue necesario realizar un análisis geológico como soporte a la zonificación geomorfológica, ya que en este sector de Los Tapiales, el modelado de los terrenos está fuertemente influenciado por las características litológicas de las formaciones geológicas que allí se encuentran.

Para el levantamiento de la información, se dispuso de un plano topográ-

fico Mérida-Tabay-Ejido a escala 1:2.500 del Ministerio de Desarrollo Urbano. La secuencia metodológica llevada a cabo en este trabajo se describe a continuación:

i) fotointerpretación geomorfológica. Se utilizaron fotos áreas a escala 1:10.000 de la misión 010461 (1979) y se cartografiaron sobre el mapa topográfico todos los procesos y formas geomorfológicas que estaban asociadas directamente e indirectamente con las condiciones de estabilidad o no de los terrenos. A través de esta técnica se ubicaron todos los movimientos de masa que mostraban coronas activas, potenciales o en proceso de reactivación; además, todas las deformaciones del terreno que podrían indicar la posibilidad de movimientos futuros; se cartografiaron también las grietas tensionales y de corte, las acumulaciones de materiales deslizados, los escarpes evidentes y las áreas de mal drenaje que se observaron en el fondo del valle.

ii) fotointerpretación geológica. Para el tratamiento de este aspecto se utilizaron también fotografías aéreas de la misión 010461 a escala 1:10.000 y el plano geológico a escala 1:25.000 del sector El Vallcito realizado por Ferrer (1995). Con este material se cartografió la formación geológica que aflora en el área de estudio y se separaron zonas litológicas diferentes. Con apoyo del mapa geológico se estableció la posibilidad de que la prolongación de la falla la Hechicera afectara de alguna forma el comportamiento que presentan los terrenos en el sector estudiado.

iii) Trabajo de campo. Tomando en consideración la escala del trabajo, fue una de las etapas más importantes. Todos los aspectos geológicos y geomorfológicos fotointerpretados fueron validados en campo; se actualizó la información cartografiando la que no aparecía en las fotos aéreas fotointerpretadas. Todas las formas del terreno que mostraban rasgos topográficos indicativos de presentar procesos de reactivación fueron incluidas.

En el aspecto geológico se comprobó que a pesar de existir una sola formación, el comportamiento era diferente de acuerdo a las capas litológicas que afloraban. Esto permitió determinar tres zonas de comportamiento: rocas moderadamente fuertes para las capas de areniscas en superficie, débiles para las áreas dominadas por los afloramientos de limolitas y un comportamiento de rocas muy débiles para la secuencia de capas arcillosas ubicadas generalmente en el fondo de valle. Se tomaron datos de rumbo y buzamientos de las capas aflorantes y en donde los cortes lo permitieron se hicieron pruebas de resistencia con el martillo de campo; se analizaron las características de las secuencias litológicas de la formación, se observaron las condiciones de fracturamiento, diaclasamiento y características de la meteorización a fin de correlacionar el comportamiento que presentan estas secuencias en superficie.

En el aspecto geomorfológico, se determinó la intensidad en la ocurrencia de los procesos y de acuerdo a ello se establecieron los comportamientos. Se realizaron mediciones en las grietas ten-

sionales de los diferentes procesos de reptación y en las definidas como posibles superficies de corte de movimientos de masa en paquete y rotacionales. Se analizaron las características de las masas deslizadas, las condiciones de las coronas, los perfiles de meteorización en los sitios en los cuales los cortes lo permitían y se determinaron las evidencias de movimientos potenciales en las zonas de contacto colina-fondo de valle que en el futuro pudiera comprometer la estabilidad de la obra propuesta. Se clasificaron también dos tipos de procesos de reptación de acuerdo al grado de deformación que presentaban los terrenos.

iv) Zonificación. Después de validar y actualizar la información geológica y geomorfológica, se clasificaron los procesos de acuerdo a la susceptibilidad que presentaban para producir algún movimiento de masa. Los resultados obtenidos no permitieron asumir alguna de las metodologías específicas de las muchas que existen para realizar una zonificación objetiva de la estabilidad de los terrenos. Para la definición y delimitación de las zonas de comportamiento geomorfológicos en el suelo estudiado se usaron criterios subjetivos, productos de la apreciación, realizada en campo, de las manifestaciones de los diferentes procesos. Se clasificaron siete zonas, sólo una puede considerarse estable, dos parcialmente estables y el resto altamente inestables. Aunque se realizó una zonificación de tres rangos de comportamientos no fue posible englobar las siete zonas demarcadas, esto se debió a que

los procesos que presentan son intensos pero diferentes entre sí y por lo tanto con recomendaciones de uso y acciones correctivas muy específicas para cada uno de ellos. La definición de estos niveles de estabilidad relativa fue respaldada por una información producida por cuatro perforaciones de suelo que existían en el sector, las cuales habían sido realizadas específicamente en los sitios en donde se propone el desarrollo principal y más denso del complejo turístico señalado.

Finalmente, sobre el mapa de Zonificación Geomorfológico, se delimitó el espacio ocupado por las construcciones del Proyecto; esto, con el propósito de facilitar el análisis de las recomendaciones propuestas en este estudio.

Marco físico general

El área de estudio se encuentra localizada (Figura 1) al noreste de la ciudad de Mérida, en la sección inferior de la cuenca del río Mucujún, sector conocido como El Vallecito. Específicamente, comprende una superficie de aproximadamente 9.1 ha, ubicada en la parte alta de la microcuenca Los Tapiales, que drena hacia el río Mucujún. Esta microcuenca tiene una forma alargada, con un rumbo N50°E, y su curso principal alcanza una longitud aproximada de 3.1 km en su recorrido total hasta su desembocadura. Presenta altitudes que varían entre un mínimo de 1860 msnm hasta un máximo de 2120 msnm, con pendientes promedios de 50 a 60% en las vertientes y de 15 a 20% en el fondo del valle.

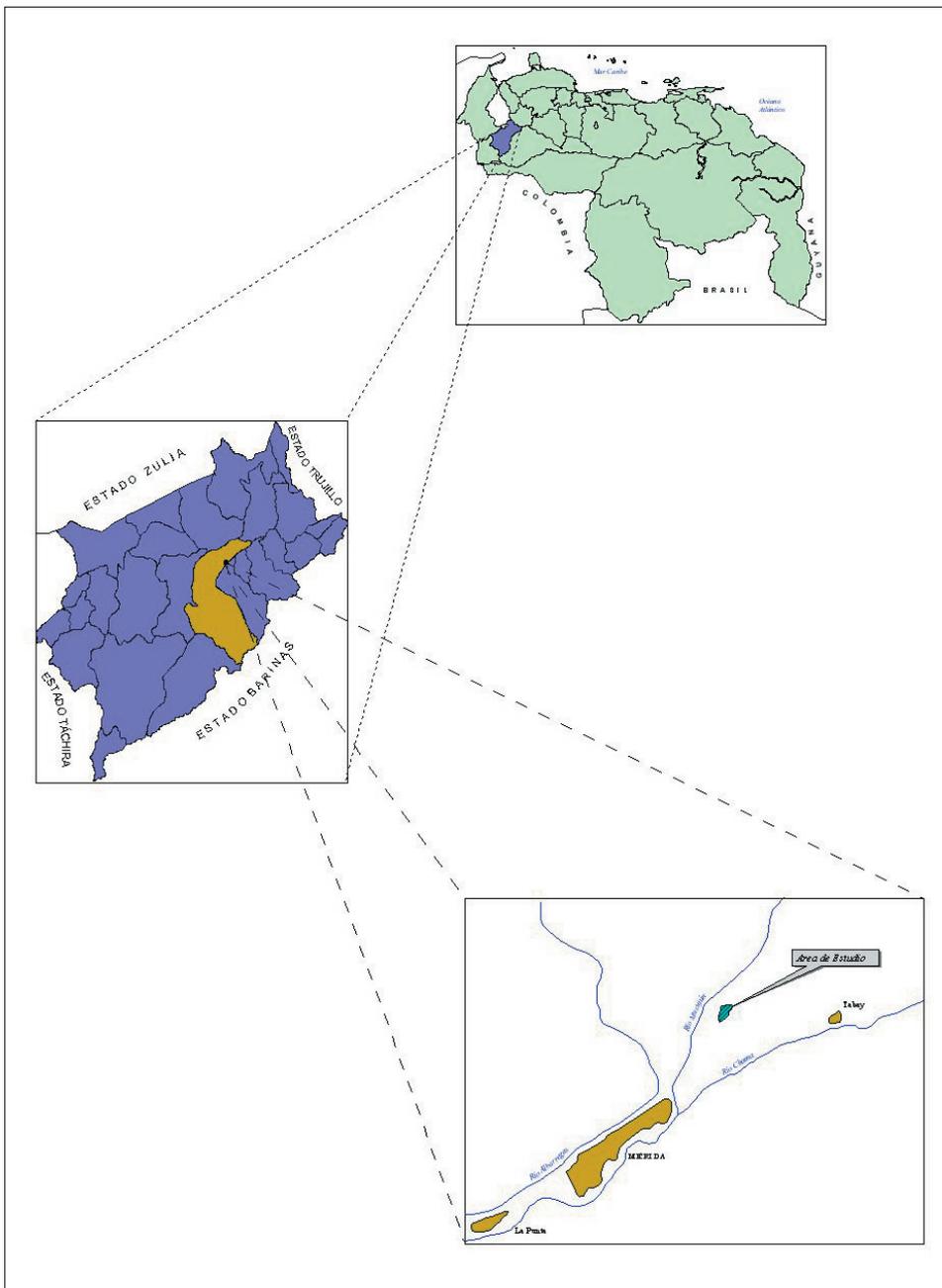


Figura 1. Localización del área de estudio

Toda la microcuenca, incluyendo el área de estudio, presenta unas condiciones climáticas determinadas por la confluencia de los vientos descendentes provenientes de la cuenca del río Mucujún y de los ascendentes que se trasladan a lo largo del cañón del río Chama; ellos definen precipitaciones para esta zona, entre 1600 y 1700 mm al año en un régimen bimodal de *picos* en mayo y octubre, mientras que el mínimo de las precipitaciones se ubica en el mes de febrero. Dichas condiciones climáticas generan una región del tipo templada subtropical, con un desarrollo de la vegetación clasificada como bosque muy húmedo montano o selva nublada montano alto. Esta situación de incremento de la humedad relativa afecta a toda la microcuenca, más aún en el sector objeto de este estudio, en donde se presenta el agravante de estar totalmente deforestada, aunada a una ubicación, prácticamente, en las cabeceras de esta microcuenca.

Topográficamente, la microcuenca Los Tapiales corresponde a la serranía El Escorial, la cual desde el punto de vista fisiográfico, constituye un importante relieve de forma alargada con orientación N45°E que se extiende desde la cercanía de la ciudad de Mérida (capilla El Carmen) hasta el pico de El Águila, constituyendo de esta forma una importante separación entre dos cuencas, la del río Chama y su afluente el río Mucujún. Esta serranía presenta un comportamiento tectónico importante, y ello ha definido en parte, la morfología alargada y estrecha de la microcuenca en cuestión, además, delata el fuerte control que

ejercen las capas sedimentarias de la formación Mucujún.

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio, al igual que la totalidad de la microcuenca, se encuentran influenciadas por la zona de fallas de Boconó, con la particularidad de que en el sitio seleccionado para el desarrollo propuesto, esta megafractura es interceptada por la falla de La Hechicera.

Toda la situación tectónica planteada, determina la aparente presencia de un bloque estructuralmente rotado (push up) en este sector de la serranía de El Escorial y por lo tanto, indirectamente es responsable, en gran parte, de la morfología que presenta la microcuenca.

Estratigráficamente, la unidad más importante de esta serranía viene definida por el batolito de El Carmen; roca esta (Granodiorita de El Carmen) que intrusión los gneises y esquistos de la asociación Sierra Nevada (precámbrico?). Sin embargo, la microcuenca se localiza en una serie de bloques fallados correspondientes a la formación Mucujún (mioplioceno), cuya evolución responde a las deformaciones que ha sufrido toda esta área, como producto de las fallas anteriormente citadas. Tomando esto en consideración y de acuerdo al objetivo de este trabajo, se realiza una descripción, en un capítulo aparte, de las condiciones geológicas específicas para el sector de interés en este estudio.

Es oportuno resaltar, aunque no es el objetivo de este trabajo, que el desarrollo turístico propuesto se ubica exactamente en las cabeceras de esta microcuenca y que tiene características de un Complejo

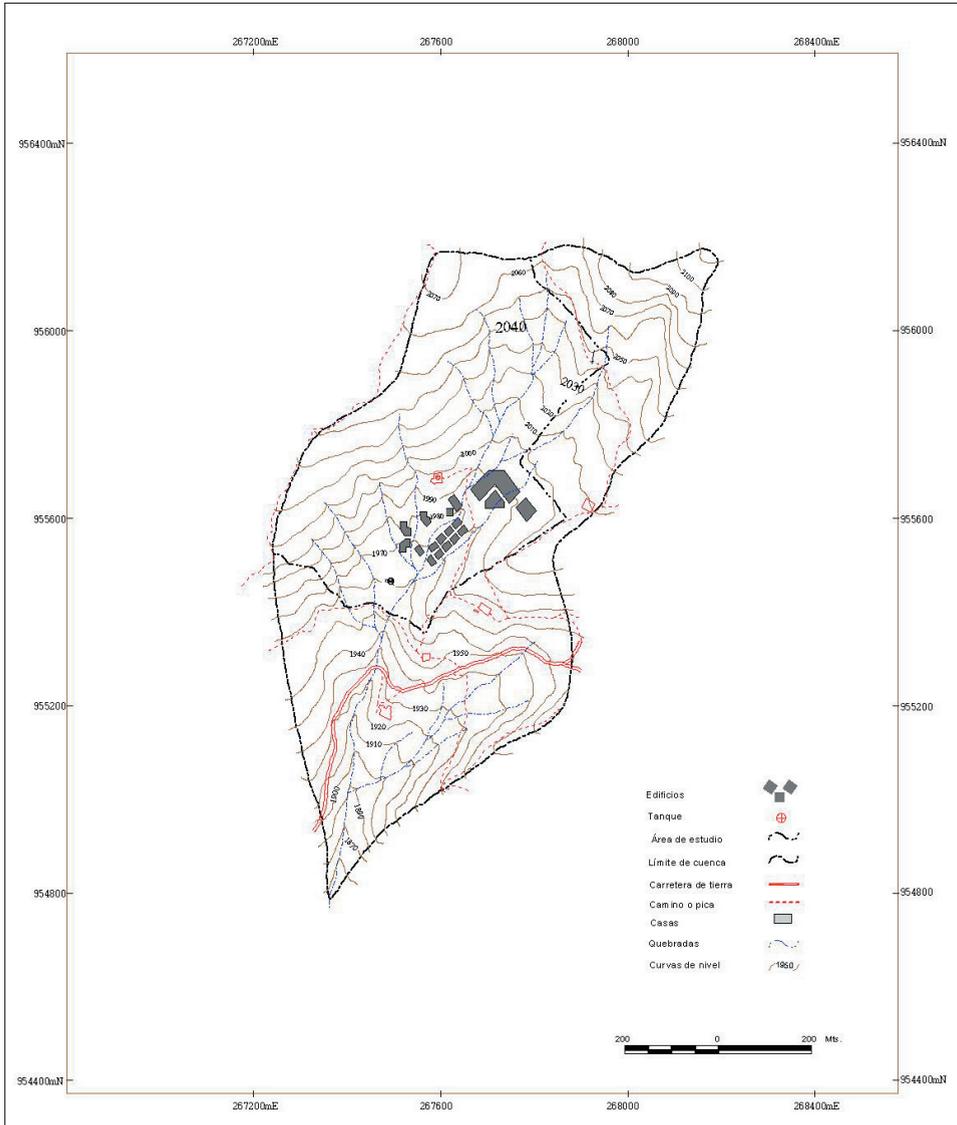


Figura 2. Desarrollo turístico propuesto para la microcuenca Los Tapiales

Turístico tipo Resort, con un área central construida (Figura 2) en una tipología de casas de adobe, tipo cabañas. Además, presenta una estructura mayor tipo hotel y el área alrededor de todas las construc-

ciones en un estilo de parque o de arquitectura paisajista. En el área (9.1 ha) contemplada para desarrollar el Proyecto integral fue eliminada casi en su totalidad la vegetación original.

Características geológicas y geomorfológicas

i) Aspectos geológicos

En la zona de Los Tapiales aflora la formación Mucujún (Figura 3), cuyas características litológicas corresponden a un ambiente típico de depositación aluvial que generalmente se presenta en dos secuencias muy bien definidas: una secuencia de gruesas capas arcillosas de colores grises, con intercalaciones de capas delgadas limosas y arenas de grano fino, en la cual se pueden encontrar capas intercaladas con restos vegetales o carbonáceos y otra secuencia de limolitas y capas lenticulares delgadas de areniscas de grano fino o capas de areniscas de mayor espesor de grano medio.

La alternancia de estas dos secuencias no permite que el comportamiento de esta formación sea homogéneo. En las áreas en donde está aflorando la primera secuencia descrita predomina una arcilla altamente expansiva que, aunque se encuentre en zonas de suaves pendientes, manifiesta condiciones con tendencia a comportarse muy inestablemente.

En las áreas en donde aflora la segunda secuencia existen características de mayor estabilidad, y a pesar de que las capas de areniscas y limolitas que afloran son delgadas, de grano fino y se encuentran muy fracturadas, el buzamiento de sus estratos, opuestos a la dirección de las pendientes de las vertientes, favorece un mejor comportamiento geotécnico de esta secuencia.

El hecho de que la formación Mucujún tenga su origen en un ambiente de

planicie de inundación, permite que exista una gran variación vertical y horizontal en cuanto a la forma como se presentan estas dos secuencias, y esto se explica porque la formación de una llanura aluvial corresponde a uno de los sistemas más dinámicos que existen sobre la superficie terrestre. Su definición es la combinación de tres criterios fundamentales: topográfico, en función de sus bajas pendientes; geomorfológico, por sus características depositacionales e hidrológico, por la alternancia de períodos de inundación y de estiaje. Su formación, por lo tanto, es el producto de dos procesos muy bien definidos: a) una acumulación lateral realizada en época de estiaje en donde los depósitos pueden corresponder a bancos, barras de meandros o canales anastomosados, y b) una acumulación de crecimiento vertical producida por los desbordes de los cursos de agua y cuyos depósitos pueden estar representados por diques naturales, napas de desborde, abanicos de rupturas, cubetas y cauces abandonados.

Todas estas formas de depósitos resultantes, presentan texturas diferentes y pueden variar aún más por cambios en la dirección de los cursos de agua que fueron responsables de esa dinámica de acumulación. Estos cambios pueden haber sido inducidos por actividad tectónica regional, que indudablemente en el sector de Los Tapiales ha sido muy importante, ya que toda la microcuenca forma parte de una zona de falla afectada por su cercanía a la prolongación de uno de los elementos tectónicos más activos que tiene la ciudad de Mérida, como lo es la falla de la Hechicera.

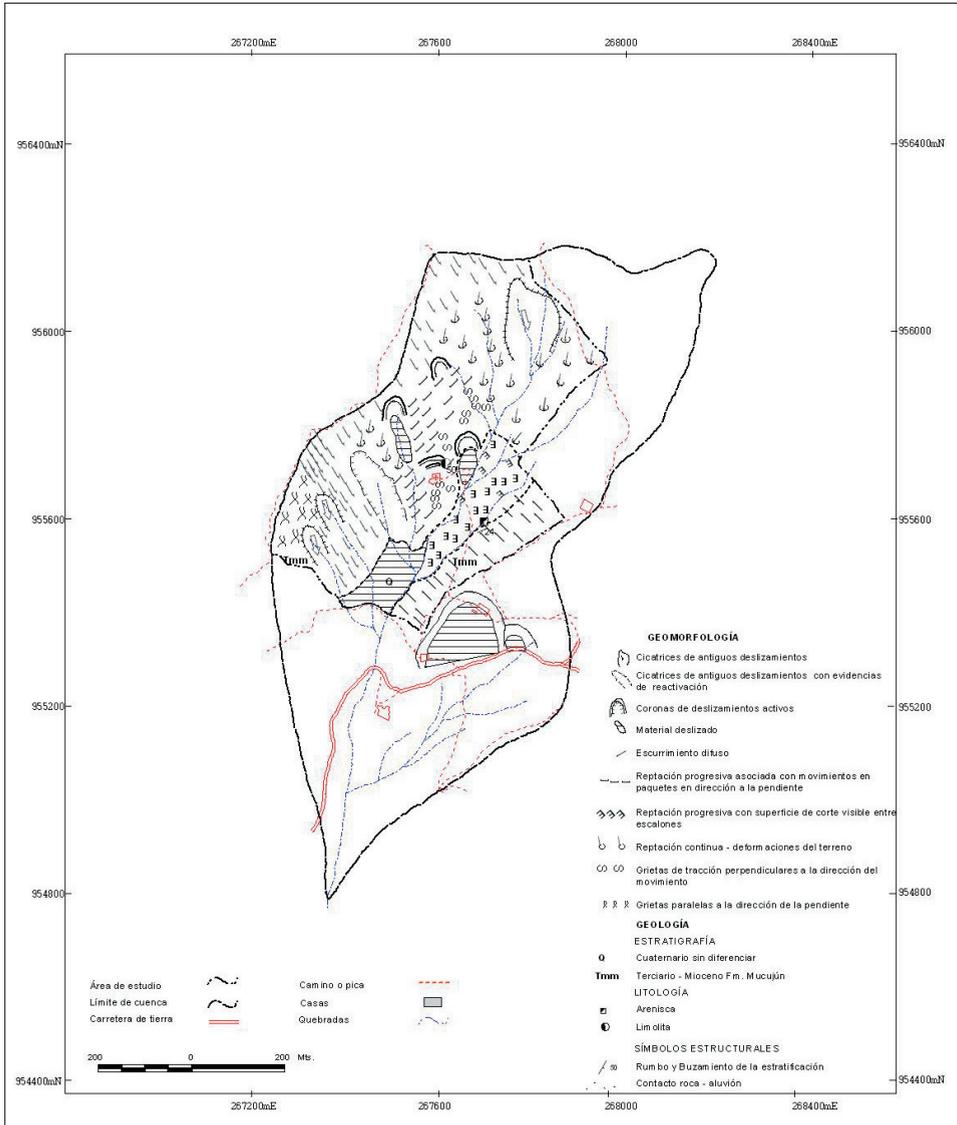


Figura 3. Procesos geomorfológicos. Microcuenca Los Tapiales

Este complejo mecanismo de la depositación original de esta llanura aluvial, explica la presencia de facies litoestratigráficas que no presentan continuidad espacial. Esto es importante

asumirlo cuando se identifica alguna secuencia de estratos que podría catalogarse como de buen comportamiento geotécnico, pues existe la posibilidad de considerar que esa secuencia no tenga

continuación lateral o vertical. Esta condición se manifiesta en los comportamientos geomorfológicos diferentes que en cortas distancias existen en la zona de Los Tapiales.

ii) *Aspectos geomorfológicos*

Este aspecto se realizó a través de la interpretación de fotos aéreas y de chequeos de campo que permitieron actualizar la geomorfología y analizar el comportamiento de los suelos desde este punto de vista.

Se cartografiaron, únicamente, los procesos que por su intensidad tienen influencia en las condiciones de estabilidad relativa que existe en el sector (Figura 3).

A través de la fotointerpretación se observó que existe una franja alargada que ocupa la parte media-baja de la vertiente derecha y el fondo de valle del área estudiada y que presenta en forma concentrada la mayor parte de los procesos geomorfológicos que se suceden en el sector. Analizando fotografías de misiones más antiguas se pudo deducir que para el año de 1973, la vertiente derecha era la zona más activa en cuanto a movimientos de masa se refiere. El mapa de procesos geomorfológicos muestra, para esa fecha, una secuencia de cárcavas formadas en las cabeceras de casi todos los cursos de agua que drenan desde esa vertiente. Actualmente, algunas están inactivas, pero demuestran que tuvieron una gran acción erosiva en el pasado por la generalización del cárcavamiento y la acumulación de sedimentos que aún pueden observarse en el terreno actual-

mente. Para ese mismo año, la fotointerpretación geomorfológica indica que existe también una gran corona de un antiguo deslizamiento ubicado hacia el este del sector, fuera de los límites de la microcuenca y el área a urbanizar, pero que se debe considerar porque colinda con una parte de la divisoria de aguas de la vertiente izquierda y una reactivación de este movimiento podría afectar en un futuro el desarrollo propuesto. Observando el buzamiento medido en la estratificación que aflora en esa vertiente, puede deducirse que este movimiento, en el cual aún permanece el material recostado al talud, fue inducido por el corte realizado para una vía de acceso y favorecido en su ocurrencia por el buzamiento de esa estratificación.

Con el trabajo de campo se observó que algunos procesos antiguos se han reactivado y que existe una tendencia del material a moverse lentamente, progresivamente aún en las pendientes más bajas. Esta situación tiene mucha relación con la condición arcillosa que prácticamente domina la litología del sector; las grietas, la reptación progresiva y el escalonamiento que manifiestan las superficies de los terrenos, son indicativos de esa tendencia que caracteriza la evolución geomorfológica de la microcuenca en cuestión.

Zonificación geomorfológica

Tomando en consideración los procesos geomorfológicos fotointerpretados y la actualización de ellos a través del trabajo

de campo, se realizó una zonificación orientada indudablemente por las características de la formación Mucujún. Aunque la microcuenca es pequeña, es posible observar diferentes comportamientos de los terrenos, asociados a la existencia de facies litoestratigráficas que varían lateral y verticalmente. Esta condición de expresión litológica no permite realizar una zonificación en la cual se manifiesten secuencialmente varios rangos de estabilidad relativa, sólo es posible establecer comportamientos diferentes identificados por procesos que pueden producir distintas formas de inestabilidad; de esta forma se establecieron siete zonas de comportamientos, como se expresan en la figura 4, las cuales se caracterizan a continuación:

Zona 1. Podría representar la parte más estable de toda la microcuenca y posiblemente la única que puede calificarse de esta forma. Comprende dos sectores diferentes litológicamente pero que fueron asociados por la poca manifestación de procesos importantes que presentan. Parte de esta zona corresponde al tope de cerro de la vertiente derecha de la microcuenca; presenta pendientes relativamente bajas, un promedio de 20% y aunque en superficie tiene arcillas posiblemente su poco espesor aunado a la condición de pendiente, no favorecen la producción de movimientos de masa. La otra parte corresponde prácticamente a toda la vertiente izquierda. Esta zona tiene pendientes más fuertes (40%), pero el buzamiento del afloramiento de la secuencia formada por estratos finos

de arenisca permite en este caso un mejor comportamiento.

Zona 2. Corresponde a una zona que ha sido muy afectada en el pasado por fuertes procesos de carácter hídrico, asociados con la ocurrencia de algunos movimientos de masa. Actualmente se presenta como un área de fuerte carcavamiento con algunas de ellas, como puede verse en el mapa de procesos geomorfológicos, en recuperación espontánea y otras con evidencias de reactivación.

Esta zona, aunque no manifieste actualmente evidencias de movimientos de masas importantes, no puede catalogarse como un área estable; ha sido muy activa en el pasado, tiene fuertes pendientes que oscilan entre 33 y 55% y podría reactivarse inclusive con un evento climático significativo.

Zona 3. Todas las zonas restantes, incluyendo a ésta -catalogada como la número tres-, presentan un factor común: la tendencia a producir movimientos de masa, algunos profundos, otros superficiales con diferentes manifestaciones en el relieve. La presencia de una arcilla muy expansiva, que en algunos casos supera los dos metros de espesor, favorece un movimiento lento, progresivo que, a veces, se manifiesta como deslizamiento evidente, con superficies de corte definidas y, otras, como pequeñas ondulaciones del terreno. La separación de estas zonas se basó precisamente en la intensidad con que se manifiestan estos procesos.

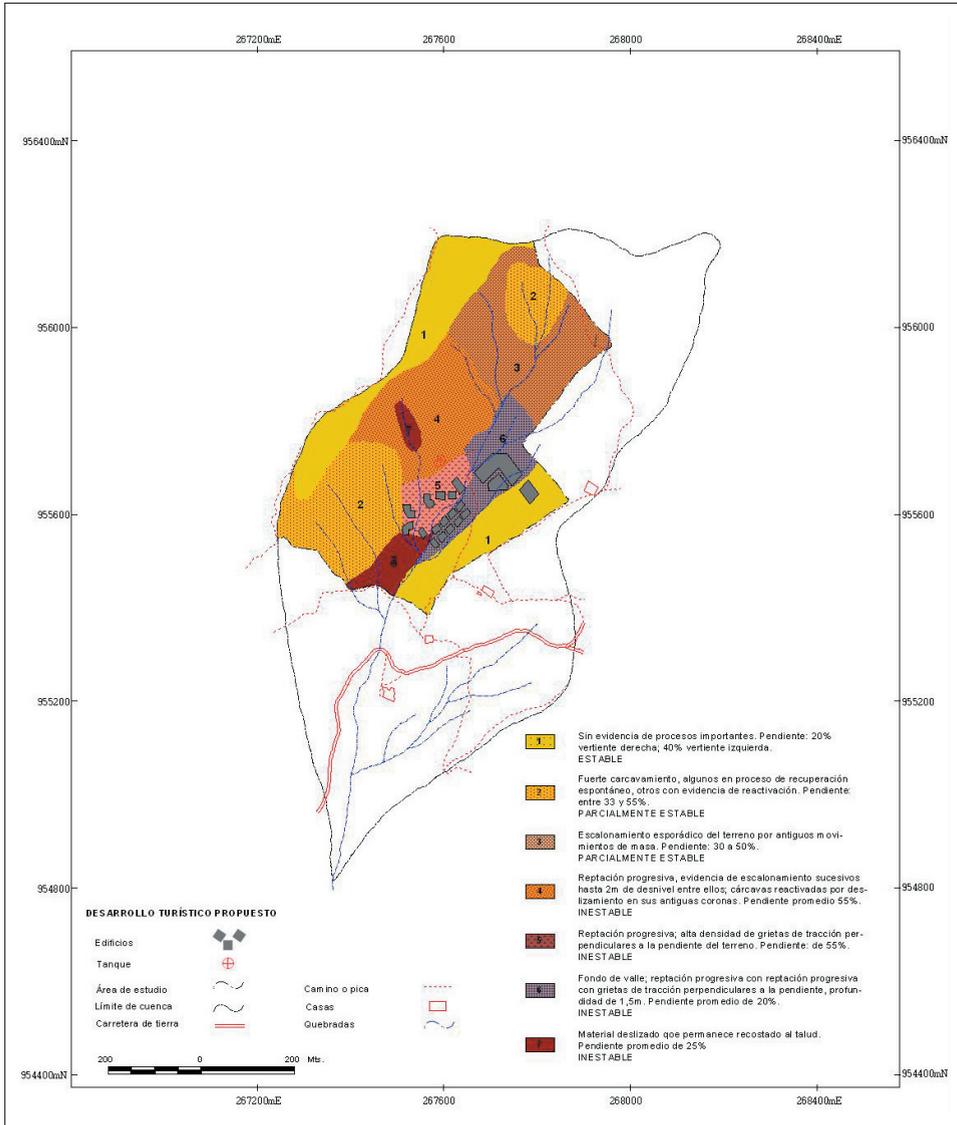


Figura 4. Zonificación geomorfológica

En cuanto a la zona 3 específicamente, el comportamiento geomorfológico, en algunas partes de esta área, no fue fácil definirlo debido a que el tipo de vegetación que la cubría hacía difícil su reco-

rrido; sin embargo, podían identificarse ondulamientos esporádicos en el terreno, asociados con algunos movimientos de masa que ocurrieron en el pasado. En los sitios que pudieron ser recorridos no se

encontraron evidencias significativas de la ocurrencia inminente de movimientos de masa; con todo, existe la reserva de haberlos manifestado aunque sea a nivel de una reptación continua que permitió la formación de ese suave ondulamiento que hoy puede apreciarse en el terreno. Presenta pendientes promedio entre 30 y 50%.

Zona 4. Corresponde a una zona que presenta movimientos tipo reptación progresiva que se manifiestan en un escalonamiento sucesivo muy denso con desniveles entre ellos que pueden llegar hasta los 2 m. No se observan grietas de tracción; todos estos escalones parecerían funcionar como pequeños desplazamientos rotacionales que van ajustándose unos a otros en forma regresiva. Es posible que cada desnivel entre escalones represente ya una superficie de corte, posiblemente no muy profunda, pero que sería interesante investigar antes de realizar intervenciones que ameriten cortes en esta zona. Una excavación realizada para la construcción de un tanque de agua permitió hacer inferencia importante en cuanto al comportamiento de esta zona. El sitio escogido para la ubicación del tanque se encuentra muy cerca del contacto de esta zona con la número 5, ambas con una pendiente promedio de un 50%.

Los perfiles que pueden observarse en esta excavación permiten diferenciar perfectamente la presencia de una facie arcillosa gris en contacto con estratos finos de limolitas, con buzamientos que no favorecen la ocurrencia de movimientos

de masa; sin embargo, la inestabilidad de la secuencia arcillosa hace predecir la posibilidad de movimientos lentos rotacionales que pueden comprometer negativamente el comportamiento de la obra. Inclusive, el corte realizado para la construcción de este tanque produjo dos pequeñas coronas sucesivas, las cuales fueron ligeramente magnificadas en el mapa de procesos geomorfológicos para indicar la susceptibilidad del sector ante una construcción de esta naturaleza.

Zona 5. Tiene casi la misma pendiente promedio de la zona anterior, pero presenta procesos geomorfológicos más intensos que la caracteriza como un sector de mucha inestabilidad. Presenta, al igual que la zona anterior, una reptación progresiva, pero asociada a una alta densidad de grietas de tracción perpendiculares a la dirección de la pendiente. El movimiento de esta zona puede ejemplificarse como el recorrido de una gran ola, cuya cresta máxima se está formando al pie de la vertiente empujada lentamente por paquetes de deslizamiento continuos que se mueren prácticamente en forma planar hacia las áreas más bajas. La morfología que presenta esta zona en contacto con el área del valle es de una vertiente convexa producto de esa dinámica, con árboles totalmente afectados por el empuje constante de este material.

Es recomendable extremar las precauciones para el uso de esta zona especialmente en su contacto con el sector de valle, que podría ser la zona más afectada con la ocurrencia de un movimiento de masa posiblemente sorpresivo.

Zona 6. Corresponde al fondo de valle de la microcuenca con pendientes que van desde 15 a 20% en promedio. Es una zona de acumulación del material que ha bajado por erosión o movimientos de masa y de recepción del agua de infiltración y escorrentía de toda la microcuenca. No se puede considerar como una zona estable a pesar de ser la de menor pendiente, debido a que presenta una reptación progresiva asociada a una alta densidad de grietas de tracción, perpendiculares a la dirección de la pendiente. Este proceso produce un aspecto de montículos en el relieve, como ondas que lentamente *caminan* en la superficie y que, aunque no colapsen como un movimiento de masa, pueden afectar las estructuras que sobre ella se construyan, agrietándolas. La gran cantidad de arcilla altamente expansiva y la humedad que en esta zona se concentran favorecen la aparición de estas grietas secuenciales que pueden llegar hasta los 2 m de profundidad. Indudablemente que la pendiente ha jugado un papel importante, a pesar de ser relativamente baja, ya que en experiencias asociadas a este tipo de arcillas es posible presenciar *repteos* parecidos con pendientes que no superan el 8%. La información aportada por las perforaciones indican espesores de arcilla altamente expansivas que varían entre 3 y 6 m., con un nivel freático que está a menos de 50 cm. de la superficie del terreno.

Zona 7. Corresponde a las áreas que tienen materiales deslizados, que aún permanecen recostados a la vertiente,

provenientes de movimientos de masa antiguos o recientes. Generalmente, se producen en suelos muy alterados o con una fracción importante de arcillas, en donde el material se desplaza posiblemente con un pequeño componente rotacional que le permite mantenerse adosado a la vertiente o al pie de ella. Es importante considerar para cualquier uso de estas áreas que ya tienen una superficie de corte definida, que ésta podría funcionar como plano de deslizamiento en el momento de una posible reactivación del movimiento.

Conclusiones y recomendaciones

La zona en donde se va a construir el complejo turístico Los Tapiales forma parte de una microcuenca que presenta cotas que van desde 1960 hasta 2076 m. de altura, y pendientes entre 15% en sus zonas más bajas y 55% en las más abruptas; no presenta alguna extensión que pueda considerarse como zona completamente plana.

La geología que aflora en el sector está representada por la formación Mucujún con características litológicas muy particulares, grandes espesores de arcilla gris y capas lenticulares de limolitas y arenisca, siendo la primera la litología dominante en la mayor parte de la microcuenca. Esta arcilla es muy expansiva y tiende a producir movimientos de masa aun en zonas de pendientes muy bajas. Las características propias de los ambientes de depositación en donde se originó esta formación, permiten que la

litología se exprese como facies que no tienen continuidad lateral o verticalmente en el terreno, lo cual ha condicionado que la microcuenca, en cortas distancias, presente procesos geomorfológicos diferentes. Tomando esto en consideración se separaron siete zonas de comportamientos, pero sólo una puede considerarse como estable. La posibilidad de hacer una escala que permita asumir rangos de estabilidad relativa, en forma progresiva, es muy difícil; cada zona tiene condiciones de inestabilidad diferentes, procesos distintos y la posibilidad de producir movimientos de masa muy específicos, que pueden ser lentos, rápidos, profundos o superficiales, todos con el agravante de producirse sobre un material arcilloso muy expansivo que magnifica su peligrosidad, aun en las pendientes más bajas de la microcuenca.

Por todo lo antes expuesto es recomendable considerar lo siguiente:

- a) No se deben asumir comportamientos geomorfológicos generalizados para toda la microcuenca. Aun cuando cada zona está caracterizada desde este punto de vista, existe un factor litológico importante que es muy variable y que debería conocerse bien antes de intervenirla. En las zonas inestables debe establecerse la profundidad de las posibles superficies de corte. Esto es primordial porque podría indicar el espesor de las capas con tendencia a deslizarse y dar una magnitud de la masa involucrada en el movimiento.
- b) No se debe asumir que las secuencias de capas de limolitas o areniscas, que podrían comportarse con mejor condición geotécnica, tienen continuidad espacial. Generalmente corresponden a facies aisladas propias del origen de la formación geológica que domina el sector. Esta apreciación es válida para las zonas consideradas como estables o parcialmente inestables.
- c) Se debe evitar construir en las zonas de valle que están en contacto con las áreas identificadas con reptación progresiva, y que están asociadas con la formación de grietas perpendiculares a la dirección de la pendiente. En este caso se refiere al contacto con las zonas 4, 5 y 7.
- d) En la excavación realizada para la construcción del tanque de agua, el corte que existe expone muy claramente parte de las dos secuencias litológicas que identifican a la formación Mucujún. Es importante señalar que la secuencia arcillosa que presenta pequeñas capas carbonáceas intercaladas es muy *inestable* y no hay que subestimarla cuando se realicen cortes sobre ella, ya que tiene una altísima probabilidad de producir deslizamientos, especialmente en las zonas de vertientes. Es recomendable en este caso desplazar la excavación del tanque hasta lograr obviar los materiales de la facie arcillosa.
- e) La vertiente derecha conjuntamente con la zona del valle son en general las más inestables desde el punto de vista geomorfológico. La primera, por la posibilidad de deslizamientos y, la

segunda, por los problemas de agrietamiento del terreno. Sobre estas dos grandes zonas hay que extremar las precauciones en cuanto a los cortes a realizar y la tipología constructiva que se va a usar.

- f) En la zona 6, que corresponde a la posición de fondo de valle, se espera que se produzcan deformaciones importantes, ya que posee una capa freática muy superficial en una litología de arcillas altamente expansivas; es recomendable establecer algún mecanismo que permita drenarla a fin de disminuir, en lo posible, los asentamientos diferenciales esperados. Es oportuno aclarar que esta zona es muy importante, debido a que en la propuesta de desarrollo es la escogida para soportar la mayor densidad del complejo turístico. Por las mismas características litológicas descritas, aunadas a una pendiente promedio entre 15 y 20%, se espera también para esta zona agrietamientos considerables, los cuales deben ser asumidos cuando se defina la tipología constructiva que podría soportar adecuadamente el comportamiento señalado.

Para concluir es oportuno indicar que la zona definida de mejor comportamiento geomorfológico no es de fácil acceso; corresponde a una zona de tope y eso la convierte en una opción cuyo desarrollo podría ser muy costoso. Es recomendable hacer un análisis de costos de los correctivos previstos para poder desarrollar el complejo turístico en las áreas escogidas;

ello justificaría la posibilidad de cambios en el diseño, cambios de sitios o simplemente el abandono del proyecto.

Tomando en consideración que el área de estudio tiene una alta susceptibilidad para producir movimientos de masa, es recomendable considerar la posibilidad de instrumentar una forma de hacerles un seguimiento, a fin de estimar como evolucionan con el tiempo las áreas que específicamente se pretenden desarrollar.

Referencias citadas

- BRABB, E. E. 1984. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping in proceedings of the 4th International Symposium on Landslides, Toronto, Canadá, september 1984, V.I, pp 307-323.
- FELICIANI, P. 1990. Un modelo de predicción del comportamiento geotécnico de los terrenos, evolución metodológica y cartografía temática. *VII Congreso Geológico Venezolano*. Barquisimeto, estado Lara - Venezuela.
- FERRER, C. y RAMÍREZ, R. 1996. *Estudio del deslizamiento La Vuelta, Andes venezolanos*. (Inédito).
- FERRER, C. 1995. *Características geológicas de un segmento de la falla de Boconó, entre Tabay y Estanques*. Fundapris. Mérida; Informe técnico: 150 p + anexos.
- FERRER, C. y DUGARTE, M. 1990. *Condiciones de vertientes y estabilidad relativa: Estudio de caso en la cuenca del río Aracay, Andes venezolanos*. **Rev. Geog. Venez.**, Vol. 31: 117-142.

- FERRER, C. 1994. *Fenómenos geomofológicos asociados con lluvias extremas: flujos de detritos. Manejo y conservación de suelos.* (Inédito).
- JONES, D. K. C. 1980. *British applied geomorphology: An appraisal.* Z. **Geomorph.** N.E., 36: 48-73.
- MEJÍAS NAVARRO, M.; WOHL, E. and OAKS, S. D. 1994. *Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using G.I.S.: Model for Glenwood Springs, Colorado.* **Geomorphology**, 10: 331-354.
- PANIZZA, M. 1975. Ricerche di geomorfología applicata alla pianificazione territoriale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 14.
- PANIZZA, M. and PIACENTE, S., 1978. *Messa a punto concettuale per la realizzazione di una cartografía applicata alla stabilità del territorio.* **Geogr. Fis. Din. Quat.**, 1 25-27.
- RAMÍREZ, R. 1995. *Análisis de factores combinados en la determinación de áreas críticas por movimientos de masa. Caso región centro occidental de Nicaragua.* Trabajo de ascenso. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía.
- THORNES, J. B. 1979. *Research and application in british geomorphology.* **Geoforum**, 10: 253-259.
- UCAR, R. 1996. *Tramo Vuelta de Lola-puente Mucujún: estudio geotécnico. Estado Mérida (primera etapa).* Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Dirección de Estudios y Proyectos, Mérida. Informe técnico, 139 p + anexos.
- WIECZOREK, G. F.; HARP, E. L.; MARK, R. K. and BHATTACHAYYA, A. K. 1988. Debris flows and other landslides in San Mateo, Santa Cruz, Contra Costa, Alameda, Napa Solano Sonoma Lake and Yolo Counties and Factor Influencing Debris Flow. Distribution. En: S.D. Ellen Y G. F. Wieczorek (Editores): **Landslide, Floods, and Marine Effects of the San Francisco Bay Region, California.** U. S. Geol. Surv. Prof. Paper. 1434: 133-161.