

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES Y AMBIENTALES DE POSTGRADO
POSTGRADO EN MANEJO DE CUENCAS**

**EVALUACION DE UNA METODOLOGIA PARA ZONIFICAR
AREAS SUSCEPTIBLES A SER AFECTADAS POR
MOVIMIENTOS DE MASA EN LA CIUDAD DE MERIDA.
VENEZUELA**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE EL CENTRO DE ESTUDIOS
FORESTALES Y AMBIENTALES DE POSTGRADO PARA OPTAR AL TITULO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO DE CUENCAS**

www.bdigital.ula.ve

Autor: Nerio de Jesús Ramírez

Tutor: Profesora Rosa Ramírez

MÉRIDA – VENEZUELA

2014

INDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	4
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.1. Antecedentes sobre la temática de la investigación	7
2.2. Bases teóricas y definición de términos básicos.	16
2.3. Consideraciones sobre los movimientos de masa.....	19
CAPÍTULO 3. LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	24
3.1. Descripción física.....	27
3.1.1. Geomorfología y geología general.....	27
3.1.2. Geología estratigráfica.....	32
3.1.3. Aspectos climáticos.....	38
3.1.4. Uso de la tierra y cobertura vegetal.....	39
3.1.5. Hidrografía.....	42
CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS SUSCEPTIBLES A MOVIMIENTOS DE MASA.....	45
4.1. Información cartográfica e imágenes de percepción remota utilizadas.....	45
4.1.1. Mapa base.....	47
4.1.2. Mapa de rangos de pendiente.....	47
4.1.3. Mapa de geología.....	48

4.1.4. Mapa de geomorfología (posiciones geomorfológicas y procesos).....	49
4.1.5. Mapa de uso de la tierra y cobertura vegetal.....	50
4.2. Aplicación de las técnicas de geoprocementamiento.....	53
4.2.1. Asignación de pesos bajo el método AHP.....	54
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	61
5.1. Inventario de los movimientos de masa.....	61
5.1.1. Movimientos de masa en secciones de taludes.....	62
5.1.2. Movimientos de masa localizados en vertientes.....	65
5.1.3. Movimientos de masa ubicados en colinas o lomas.....	67
5.2. Correlación entre los factores condicionantes y el inventario de movimientos de masa.....	69
5.2.1. Correlación entre el factor condicionante pendientes y el inventario de movimientos de masa.....	69
5.2.2. Correlación entre el factor condicionante geología y el inventario de movimientos de masa.....	72
5.2.3. Correlación entre el factor condicionante geomorfología y el inventario de movimientos de masa.....	75
5.2.4. Correlación entre el factor condicionante uso de la tierra - cobertura vegetal y el inventario de movimientos de masa.....	80
5.3. Mapa de susceptibilidad a movimientos de masa a partir de la evaluación multicriterio AHP.....	84
5.3.1. Zonificación de niveles de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa e interpretación de los resultados.....	84
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	97
APENDICE.....	101

INDICE DE FIGURAS	pág
Figura 1. Flujograma. Etapas de la investigación.....	5
Figura 2. Tipos de movimientos de masa.....	22
Figura 3. Localización del área de estudio.....	24
Figura 3.1. Localización del área de estudio.....	25
Figura 4. Alineamientos geológicos interpretados sobre imagen de satélite.....	31
Figura 5. Depósitos aluviales Cuaternarios.....	36
Figura 6. Columna estratigráfica regional.....	37
Figura 7. Cambios espaciales en la ciudad de Mérida en el periodo 1952 – 2009.	40
Figura 8. Imagen de la hidrografía más importante del área de estudio.....	43
Figura 9. Geoprocesamiento y obtención de resultados.....	58
Figura 10. Reclasificación de mapas y asignación de pesos al condicionante: rangos de pendiente.....	59
Figura 11. Escala y resolución del material fotogramétrico y de sensores remotos.....	61
Figura 12. Inventario de los movimientos de masa sobre imagen Spot 5, Enero de 2009.....	62
Figura 13. Condiciones de inestabilidad del talud del río Albarregas.....	63
Figura 14. Condiciones de los taludes de los ríos Albarregas, Mucujún y Chama	63
Figura 15. Condiciones del talud del río Chama, inestable, húmedo, con movimientos de masa y con edificaciones en su borde.....	64
Figura 16. Evaluación de los movimientos de masa en el talud del río Chama. Paseo de Las Ferias y Santa Elena.....	65
Figura 17. Condiciones de las vertientes inestables, con procesos erosivos, movimientos de masa y con edificaciones.....	65
Figura 18. Sector Qda. La Cuesta, Evidencias de Procesos geomorfológicos activos.....	66
Figura 19. Procesos hidrogeomorfológicos en la vertiente sur del Filo El Escorial	66
Figura 20. Evidencias y evaluación de los movimientos de masa en la subcuenca de la quebrada El Oso.....	67
Figura 21. Deslizamientos en Loma Jajó, con afectación sobre en el sector Don Perucho.....	67
Figura 22. Interpretación de los movimientos de masa. Eje urbano El Arenal – La Pueblita.....	68
Figura 23. Caída de rocas en el Cerro La Pava, vía a El Valle – Playón Bajo.....	68
Figura 24. Lomos de falla en la margen izquierda del río Chama, sector El Arenal.....	68

Figura 25. Relación entre rangos de pendientes y porcentaje de movimientos de masa.....	70
Figura 26. Rangos de pendientes (Mapa reducido de la versión original).....	71
Figura 27. Relación entre geología y el inventario de movimientos de masa.....	72
Figura 28. Caídas de roca (derrumbes) en la Formación Mucujun. Sector El Playón.....	73
Figura 29. Mapa de geología (Mapa reducido de la versión original).....	74
Figura 30. Relación entre posiciones geomorfológicas y movimientos de masa...	75
Figura 31. Escena digital del terreno. Relieve de colinas y vertientes surcado por fallas.....	76
Figura 32. Relieve de colinas en el Sector La Joya - El Arenal.....	77
Figura 33. Interpretación de los procesos en el talud del río Mucujun y panorámica del talud del río Chama en el sector Zumba.....	77
Figura 34. Posiciones geomorfológicas vistas desde una escena digital del terreno y una fotografía panorámica de la ciudad de Mérida y sus alrededores....	78
Figura 35. Mapa de geomorfología (Mapa reducido de la versión original).....	79
Figura 36. Relación entre uso de la tierra, cobertura vegetal y movimientos de masa.....	81
Figura 37. Mapa de uso de la tierra y cobertura vegetal (Mapa reducido de la versión original).....	83
Figura 38. Niveles de susceptibilidad y movimientos de masa.....	85
Figura 39. Terraza de la ciudad de Mérida. Se identifican las zonas de muy baja susceptibilidad.....	88
Figura 40. Centro de la Ciudad de Mérida. Se diferencia la Terraza de la Ciudad delimitada por los río Albarregas y Chama.....	91
Figura 41. Niveles de susceptibilidad a ocurrencia de movimientos de masa (Mapa reducido de la versión original).....	92

INDICE DE CUADROS

pág

Cuadro 1. Principales factores asociados a zonificación de susceptibilidad a movimientos de masa y selección de factores para la aplicación del método AHP.....	19
Cuadro 2. Clasificación general de los movimientos de masa.....	21
Cuadro 3. Localización del área de estudio.....	26
Cuadro 4. Límites geográficos del área de estudio.....	26
Cuadro 5. Máximas intensidades y magnitudes de la sismicidad en la región de Mérida.....	31
Cuadro 6. Temperatura y precipitaciones de la ciudad de Mérida.....	38
Cuadro 7. Datos morfométricos de las subcuencas más importantes del área de estudio.....	42
Cuadro 8. Información cartográfica e imágenes de percepción remota.....	45
Cuadro 9. Niveles de susceptibilidad según pendiente.....	48
Cuadro 10. Niveles de susceptibilidad según geología.....	49
Cuadro 11. Niveles de susceptibilidad según posiciones geomorfológicas.....	50
Cuadro 12. Niveles de susceptibilidad según uso general de la tierra y cobertura vegetal.....	52
Cuadro 13. Escala AHP de comparaciones pareadas.....	54
Cuadro 14. Normalización de valores, asignación de pesos y razón de consistencia de los datos.....	55
Cuadro 15. Niveles de susceptibilidad a movimientos de masa.....	57

AGRADECIMIENTOS

- A Dios Todopoderoso por iluminar mis pensamientos y permitirme cumplir con este trabajo.
- A mi familia por apoyarme en todo momento y darme ánimo para culminar este documento.
- Al Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del Estado Mérida, por permitir que usara la información que reposa en sus archivos y que tomara tiempo valioso para dedicarle a mis estudios de Postgrado y hoy en día tener este documento que nos servirá de guía en nuestro trabajo y nuestras decisiones.
- Al Centro de Estudio Forestales y Ambientales de Postgrado, sus profesores y personal administrativo y obrero.
- A la profesora Rosa Ramírez por todo el apoyo, su amistad y por sus excelentes aportes y enseñanzas. Dios le pague y Mil Gracias.
- Al Centro de Investigación y Gestión Integral de Riesgos quienes me apoyaron de manera específica.
- A la Unidad de Respuesta Operativa URO, quienes son fuente de inspiración y constancia.
- A los profesores Julian Gutierrez y Carlos Pacheco, quienes revisaron y aportaron sus opiniones y conocimientos para mejorar este trabajo.
- A todos aquellos amigos que colocaron un grano de arena para terminar este trabajo de investigación.

A todos Gracias...

DEDICATORIA

www.bdigital.ula.ve

A mi Madre, Esposa e Hijos

ii

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

RESUMEN

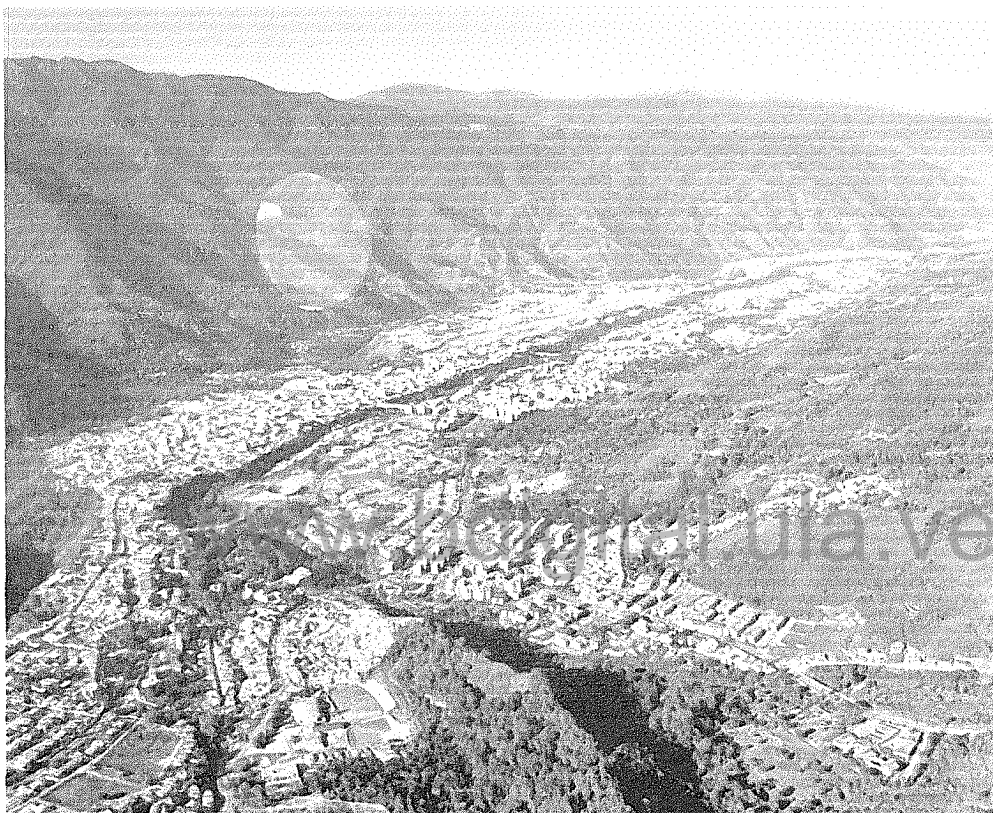
Esta investigación estuvo orientada a evaluar una metodología para zonificar áreas susceptibles a ser afectadas por movimientos de masa en el ámbito de la ciudad de Mérida. El método se fundamentó en el uso de geotecnologías apropiadas para el procesamiento digital de datos cartográficos, la superposición y cruzamiento de mapas temáticos, usando las herramientas del Sistema de Procesamiento de Informaciones Georeferenciadas (SPRING). En tal sentido, se realizó una zonificación de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa, a partir de la evaluación de los mapas de factores condicionantes: geología, rangos de pendientes, posiciones geomorfológicas y uso de la tierra - cobertura vegetal, aplicando el Método de las Jerarquías Analíticas (AHP). El procesamiento cartográfico digital, permitió obtener un mapa a escala 1:40.000 que representa los niveles de susceptibilidad a movimientos de masa y un análisis de las comunidades que se encuentran vulnerables a este tipo de procesos geomorfológicos. El área de estudio se clasificó en cinco niveles de susceptibilidad: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta. Los resultados mostraron que el 57 % de la superficie del área de estudio mantiene susceptibilidad entre alta y muy alta, por lo que estas zonas deben ser restringidas para el uso de asentamientos humanos. Las zonas de susceptibilidad moderada ocupan el 33,4 % y los niveles de baja y muy baja susceptibilidad suman el 9,6 % del área bajo análisis. Todos los resultados obtenidos, permitieron hacer comparaciones entre el mapa de niveles de susceptibilidad y el inventario de movimientos de masa existente, pudiéndose comprobar buena correlación entre ambos. Las observaciones de campo contribuyeron a validar los resultados de este estudio, los cuales servirán de base para proponer planes de gestión de riesgo, ante amenazas por movimientos de masa, en la ciudad Mérida. Igualmente, podrían convertirse para el Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del Estado Mérida (INPRADEM), en una herramienta de orientación de acción ante estos procesos.

Palabras Claves: Geomática, AHP, Susceptibilidad, Movimientos de Masa.

ABSTRACT

This investigation was designed to evaluate a methodology for zoning susceptible to being affected by mass movements in the area of Mérida. The method was based on the use of appropriate digital map data processing geotechnology, overlapping and crossing of thematic maps using the tools of the Information Processing System Georeferenced (SPRING). As such, zoning susceptibility to the occurrence of mass movements was performed from the evaluation maps conditioning factors: geology, slope ranges, geomorphic positions and land use - vegetation cover, applying the method of the Analytical Hierarchy Process (AHP). The digital cartographic processing yielded a map at 1: 40,000 representing the levels of susceptibility to mass movements and analysis of communities that are vulnerable to this type of geomorphological processes. The study area was classified into five levels of susceptibility: very low, low, moderate, high and very high. The results showed that 57 % of the area of the study area susceptibility remains high to very high, so that these areas should be restricted to the use of human settlements. Moderate susceptibility areas occupy 33,4 % and levels of low and very low susceptibility account for 9,6 % of the area under analysis. All results obtained allow comparisons between levels of susceptibility map and inventory of existing mass movements, being able to check good correlation between the two. Field observations helped to validate the results of this study, which will serve as a basis for proposing risk management plans, to threats by mass movements in the city Mérida. They could also become the Institute of Civil Protection and Disaster Management Mérida State (INPRADEM), a tool orientation action in these processes.

Key words: Geomatics, AHP, Susceptibility, Mass Movements.



CAPITULO I

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

Desde la perspectiva mundial la ocurrencia de eventos adversos hidrogeomorfológicos asociados a movimientos de masa, son unos de los procesos que causa mayor número de víctimas y daños en las poblaciones y al ambiente. Nuestro país y en especial las zonas de montaña del eje andino y centro norte no escapan a esta geodinámica en especial el ámbito de la Cordillera de Los Andes en el cual se emplaza la ciudad de Mérida.

Éste entorno urbano que conforma la ciudad de Mérida ha mantenido un crecimiento poblacional y de consecuente ocupación hacia zonas consideradas susceptibles a ser afectadas por movimientos de masa, en tal sentido, es importante aplicar metodologías orientadas a zonificar y caracterizar los niveles de susceptibilidad sobre los cuales se encuentra ésta población. La identificación de estos procesos geomorfológicos a través de inventarios detallados, permite orientar a las instituciones y a las comunidades, sobre las restricciones, potencialidades y escenarios de riesgo que caracterizan de manera particular al área de estudio.

Aunado a esta premisa, se reconoce que sectores puntuales de la ciudad de Mérida son afectados regularmente, por procesos asociados a movimientos de masa, en los cuales se han identificado situaciones de riesgo motivado a que la población ha ocupado vertientes inestables, secciones de taludes muy inclinados y posiciones bajas cercanas a quebradas o ríos con comportamientos hídricos cuestionables.

Por sus condiciones físicas naturales, la ciudad de Mérida tiene un entorno heterogéneo con variadas condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y de uso, por lo que está sujeta a diversos procesos complejos, que involucran afectaciones puntuales por la ocurrencia de movimientos de masa.

En relación a los taludes de la terraza de la ciudad de Mérida, en algunos sectores tales como: Cuestas de Belén, Teleférico, La Columna, Hoyada de Milla y las Vegas del Hospital y Glorias Patrias, se han consolidado barriadas reiteradamente afectadas por la ocurrencia de movimientos de masa. De igual manera, las vertientes inclinadas y muy inclinadas que escurren sus aguas hacia la ciudad de Mérida, presentan problemas de

inestabilidad geológica que aceleran la dinámica de los procesos hidrogeomorfológicos, con potencialidad de afectación de las posiciones geomorfológicas más bajas.

El problema generado por los movimientos de masa, podría prevenirse si pudiera existir un retiro prudencial entre las construcciones, las vertientes inestables, el cauce de los ríos y los bordes de taludes, tal como lo sugiere en su zonificación el Plan de Ordenamiento Urbanístico para el Área Metropolitana de Mérida – Ejido – Tabay (1998), o si previo a la urbanización de alguno de los abanicos aluviales, conos de deyección, vertientes y demás geoformas, se evaluaran las condiciones de susceptibilidad que tienen ante la ocurrencia de procesos hidrogeomorfológicos.

Por lo antes expresado, se considera fundamental para la organización del espacio en la ciudad de Mérida y su continua expansión hacia lugares con restricciones considerables, la aplicación de metodologías para la zonificación de las áreas susceptibles a ser afectadas por movimientos de masa y otros procesos hidrogeomorfológicos, cuyos resultados puedan apoyar políticas de gestión de riesgo, planificación y ordenamiento urbanístico.

En función de los aspectos antes mencionados, se justifica elaborar una zonificación de las áreas susceptibles a movimientos de masa en la ciudad Mérida, a partir de la sobreposición de capas de información cartográfica contentiva de los parámetros o condicionantes de mayor influencia para la ocurrencia de movimientos de masa, aplicando el método de las jerarquías analíticas (MJA) o en inglés *Analytical Hierarchy Process- (AHP)*. Esta zonificación puede servir de base para orientar la toma de decisiones a nivel institucional y para subsiguientes investigaciones a nivel geotécnico, cuando la intervención del suelo así lo requiera.

Desde el punto de vista de la evaluación, prevención y mitigación de los desastres socionaturales, la susceptibilidad puede ser entendida como la posibilidad o la tendencia de que una zona quede afectada por la ocurrencia de determinados fenómenos físicos naturales (González de Vallejo et al, 2002); resultantes de la manifestación de distintos procesos geológicos, geomorfológicos, sísmicos e hidrometeorológicos. En este sentido, cabe destacar que la susceptibilidad puede ser expresada en diferentes grados o niveles cualitativos o cuantitativos y en su estimación resulta importante

considerar: la localización geográfica de los procesos geodinámicos y el conocimiento de los mecanismos que dan origen a estos fenómenos naturales, aunados al análisis y superposición cartográfica de los factores condicionantes, a fin de favorecer la toma de decisiones en la gestión municipal y estatal, contribuir con la prevención y reducción de daños e impactos causados por eventos de origen natural y brindar elementos de apoyo para la formulación de planes adecuados de ordenamiento territorial - ambiental.

La investigación fue dividida en 5 capítulos y son descritos de manera sucinta a continuación:

Capítulo I; contiene la introducción de la investigación en la cual se plantea el problema y su justificación, así como los objetivos general y específicos. Capítulo II; está integrado por los fundamentos teóricos y los antecedentes al tema de investigación y del área de estudio. Resume un grupo selecto de términos de referencia conceptual, así como el aporte científico de algunos autores e investigaciones asociadas con el tema objeto de estudio y la descripción teórica del método aplicado. Capítulo III; se desarrolla una breve descripción de los rasgos físicos geográficos del área de estudio, presentando su localización y las características socioterritoriales y ambientales más resaltantes. Capítulo IV; se expone el proceso metodológico y sus etapas o fases, las cuales permitieron desarrollar la investigación, utilizando ciertas técnicas geomáticas y su aplicación a la determinación de zonas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa. En este capítulo, se plasman figuras útiles a la interpretación de las técnicas geomáticas. Capítulo V; se presentan los resultados y análisis obtenidos de las técnicas geomáticas aplicadas para la zonificación de áreas susceptibles a movimientos de masa, a través de cuadros comparativos, gráficos y mapas.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

1.1. Objetivos

Objetivo General

El objetivo fundamental de esta propuesta fue evaluar una metodología para zonificar áreas susceptibles a ser afectadas por movimientos de masa en la ciudad de Mérida, Venezuela.

Objetivos Específicos

Para desarrollar esta investigación se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Seleccionar los condicionantes de mayor influencia para la ocurrencia de movimientos de masa.
- Analizar los condicionantes físicos seleccionadas para superponer y zonificar las áreas susceptibles a movimientos de masa, basado en el AHP.
- Evaluar el desempeño de la metodología para zonificación de áreas susceptibles a ser afectadas por movimientos de masa, comparando los resultados con el inventario de los movimientos de masa y áreas afectadas anteriormente.

Las etapas seguidas para el logro de los objetivos de la presente investigación se presentan en forma esquemática en la Figura 1.

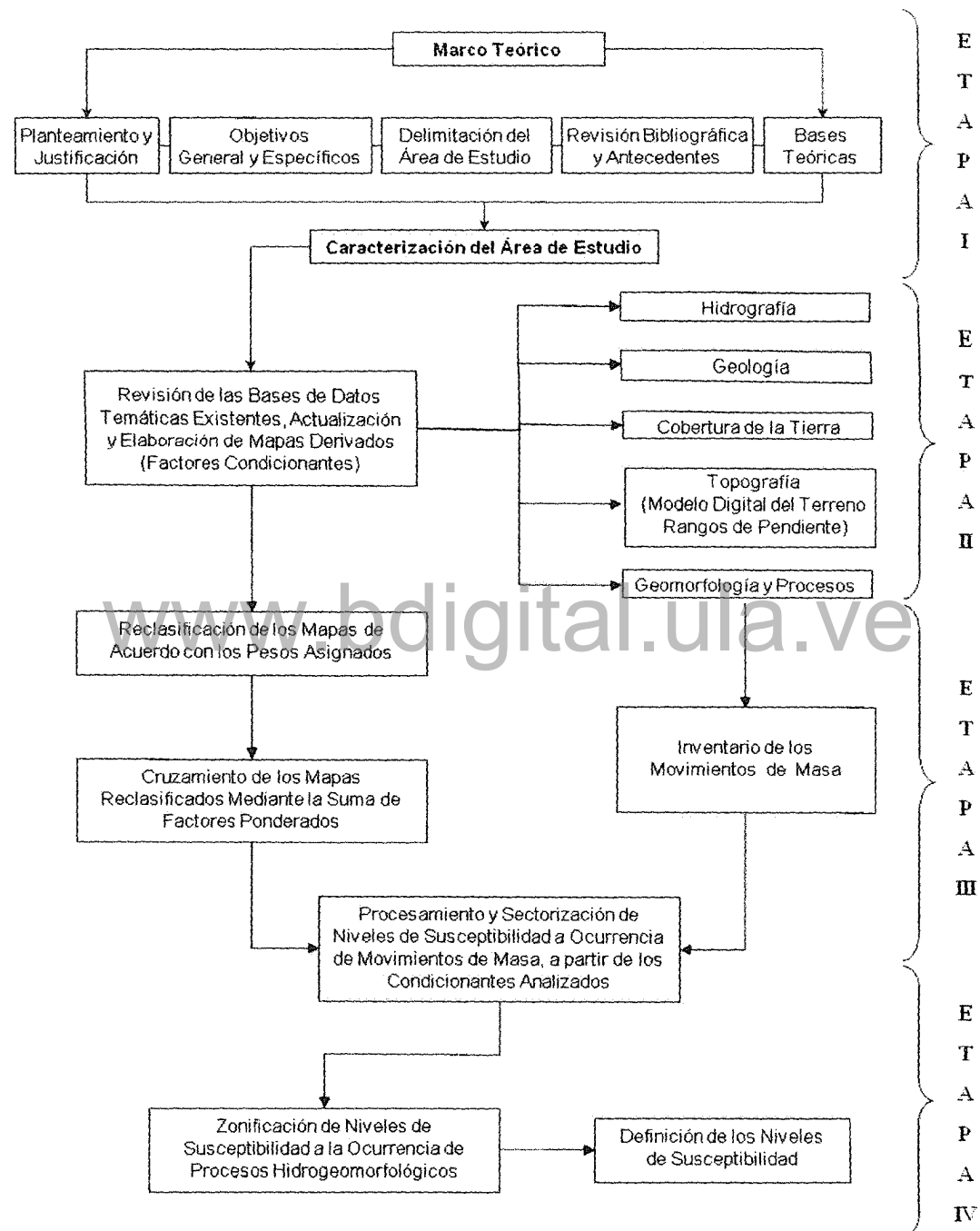
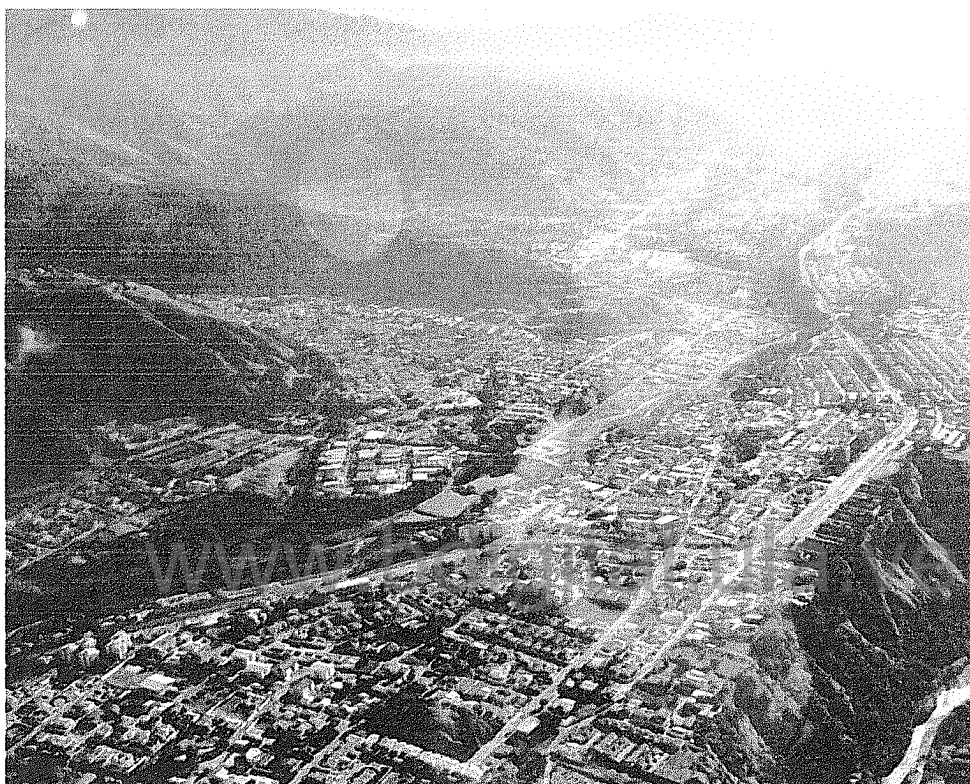


Figura 1. Flujograma. Etapas de la investigación



CAPITULO II

CAPITULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el siguiente Marco Teórico se presentan de forma resumida algunos trabajos previos vinculados con la temática de la investigación y aquellos realizados dentro del área objeto de estudio, siguiendo un orden cronológico desde los documentos más recientes a los más antiguos. Adicionalmente, se recopilan algunos conceptos de autores en forma de bases teóricas que permiten sustentar el problema planteado.

2.1. Antecedentes sobre la temática de la investigación

A continuación se mencionan las características resaltantes de algunas investigaciones y aportes afines con el tema, los cuales pueden facilitar la comprensión del mismo.

Estudios anteriores al presente, adelantan las metodologías para análisis de las variables hidro-geomorfológicas, tal es el caso de Vivas (1966), en su artículo Métodos de Investigación Hidro-geomorfológica Aplicados en el Estudio de una Cuenca Hidrográfica, el cual propone que la investigación hidro-geomorfológica debe estar enmarcada dentro de los objetivos específicos de la geomorfología. Cabello (1966), obtiene la base geomorfológica y descriptiva de las características generales del relieve en la vertiente norte de la Sierra Nevada, en la vertiente sur de la Sierra de La Culata y en el fondo del valle del río Chama, acorde con las formas del relieve y los procesos de modelado que intervinieron hasta esa época.

Brabb, et al. (1972), determinan las áreas susceptibles a movimientos de masa en el Condado de San Mateo California -- USA. Elabora mapas geológicos resaltando los terrenos ocupados por formaciones y unidades litológicas susceptibles al colapso, así como representaciones cartográficas del inventario de movimientos de masa, además de correlacionar los aspectos topográficos, geológicos y geomorfológicos para el análisis de los niveles de susceptibilidad a movimientos de masa. Este trabajo es considerado como un clásico a nivel mundial en esta temática.

Molina y Rojas (1982), orientan un estudio teórico – metodológico en la estimación de riesgos naturales en la ciudad de Mérida, basado en las variables físicas más resaltantes.

Cabello y Ferrer (1983), presentan una síntesis de las principales características geomorfológicas de la cuenca del río Tórbes, a través de la elaboración de un inventario físico detallado sobre las relaciones de los procesos y geoformas, para la zonificación de los niveles de susceptibilidad.

Varnes (1984), agrupa trabajos relacionados con la zonificación de movimientos de masa en diversos países del mundo. Resaltando la importancia del uso de los sensores remotos, el trabajo de campo, las escalas de los estudios a diversos niveles de detalle, la superposición e interpretación cartográfico - espacial de los elementos físicos y el uso de los sistemas de información geográfica vinculadas a la zonificación de los movimientos de masa. Varnes hace referencia a los trabajos de Nielsen y Brabb (1975) y Nielsen et al. (1979), ambos dirigidos a evaluar la estabilidad de los terrenos, a partir de la definición de unidades de susceptibilidad geológica, fotointerpretación, levantamiento de información geomorfológica y determinación de los rangos de pendiente. Igualmente, analiza las investigaciones de: Blanc y Cleveland (1968), enfocadas a la zonificación de movimientos de masa a partir de la correlación de las variables litología y pendiente; Carrara y Miranda (1976) y Carrara (1978), quienes elaboran mapas geomorfológicos a partir de material aerofotogramétrico y levantamiento de campo en Italia; Kienholz (1977); (1978), realiza mapas geomorfológicos y de amenazas por movimientos de masa en Suiza.

Hansen (1984), representa cartográficamente la geomorfología, el inventario de proceso y susceptibilidad a nivel global. En este sentido Hansen (1984) cita a Campbell (1980) en la elaboración de mapas de inventario en Point Quadrangle (California – USA); Marh y Malagot (1978) con ejemplos de mapas geomorfológicos en la antigua Checoslovaquia; Ives y Bovis (1978) en la producción de interesantes representaciones cartográficas de amenazas geomorfológicas en las montañas de San Juan en Colorado – USA. En lo que respecta a los mapas de susceptibilidad, hace referencia a los trabajos de Brabb et al. (1972); Luccin (1969); (1973) en Italia; Froelich et al. (1978) en Virginia – USA y Newman et al. (1978) en un trabajo que marcó el inicio de los mapas de susceptibilidad usando ordenadores. Hansen 1984 reconoce la investigación de Keffer et

al. En la elaboración de mapas de susceptibilidad a movimientos de masa desencadenados por eventos sísmicos.

Ferrer (1987-1988) realiza investigaciones sobre la Influencia de las Condiciones Geomorfológicas en el Desarrollo y Expansión de la Ciudad de Trujillo, Andes Venezolanos, y propone una Metodología para la Evaluación Geomorfológica de la Estabilidad Relativa de Terrenos de la Conurbación Valera Trujillo, respectivamente. Ferrer y Dugarte (1989) realizan Consideraciones sobre los Problemas de Estabilidad Relativa en la Ciudad de Trujillo. Ferrer (1991) realiza una Posible Relación entre Movimientos de Masa y Fallamiento Activo en un Segmento de la Falla de Boconó, en el cual analiza los deslizamientos Buena Vista, Chiguará y La González en el estado Mérida.

González (1991), realiza una Zonificación de los Riesgos Naturales para la Ciudad de San Cristóbal y sus Alrededores. Un Enfoque Geomorfológico. Las zonas de riesgo o áreas críticas, toman como base la sectorización geomorfológica de Cabello y el levantamiento realizado por Ferrer ambos en (1977), para el área de estudio. En esta investigación, se evaluaron y analizaron cuantitativamente un grupo de variables inherentes al medio ambiente, que facilitaron la obtención de la zonificación geomorfológica a partir de levantamiento de campo y la valoración porcentual.

Durante los días 20 - 24 de enero de (1992) se celebra el Segundo Simposio de Fallas Activas y Deformaciones Cuaternarias en la Cordillera de Los Andes. Éste importante encuentro de trabajos e investigadores de las ciencias de la Tierra permitió el intercambio de experiencias, avances y dificultades en el estudio de esta temática, resaltando las relaciones existentes entre el fallamiento y los procesos geomórficos asociados, y la necesidad de obtener el máximo provecho del uso de sensores remotos y la disponibilidad de adecuados sistemas de información geográfica para regiones de rápida evolución como la zona de Los Andes Venezolanos. (Revista Geográfica Venezolana, Volumen 34).

Mejía et al. (1994), integran espacialmente las variables vinculadas con topografía, hidrología, precipitación, suelos, vegetación, procesos geomorfológicos, estructuras geológicas, usos de la tierra, entre otras, con la ayuda de los programas ARC INFO y

GRASS, con la finalidad de diagnosticar los movimientos de masa de tipo flujo de detritos y representar cartográficamente 10 categorías cualitativas jerárquicamente desde extremadamente alta hasta extremadamente baja.

Ferrer (1996), elabora un ensayo sobre la evolución geológica de un segmento de la falla de Boconó durante el Neógeno: implicaciones tectónicas y sedimentológicas del sector Tabay – Estánques (estado Mérida) y representa en formato analógico a escala 1:25.000 sus resultados y específicamente, sirven de base para la elaboración del mapa de geología que cubre el área bajo estudio.

La utilización conjunta de los SIG y las técnicas de evaluación multicriterio (EMC) se presentan como uno de los procedimientos ideales para el desarrollo de tareas de planificación y ordenamiento territorial, habiendo sido ya suficientemente demostradas sus beneficiosas aportaciones por Barredo (1996) en su libro Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Este trabajo surge como una propuesta para enriquecer la aplicación de los sistemas de información geográfica al trabajarlos de manera integrada con técnicas de toma de decisiones; en donde se resuelve de manera completa la problemática de la asignación óptima de los usos del suelo en la ordenación territorial a través de la EMC en el entorno de los SIG. Destaca que la EMC puede dirigirse a la decisión positiva (descriptiva) o a la normativa (prescriptiva). Luego dedica parte del documento a la evaluación de la capacidad de acogida del territorio: integración de los SIG y la EMC, y finalmente realiza el modelado de la asignación de usos del suelo con este tipo de metodología.

Iannuzzi (1997), en su trabajo Aplicación de una Metodología Orientada a Objetos para el Desarrollo de Sistemas de Información Geográfico en apoyo a la gestión y administración de desastres naturales, cita el trabajo de Mora y Vahrson (1992) en el cual se presenta, la estimación de amenazas a deslizamientos empleando el programa IDRISI 32, e integrando a su vez la información vinculada con la humedad natural del suelo, la litología, la intensidad sísmica y factores del relieve. Igualmente, Iannuzzi cita el trabajo de Simons (1994), basado en la zonificación de movimientos de masa a partir de las técnicas de superposición cartográfica (Overlay) de las capas de pendiente, geología y aspectos geotécnicos.

En ese mismo año, Iannuzzi implementa una metodología creada por el Grupo de Ingeniería de Datos y Conocimiento (GIDYC) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, con el objetivo de elaborar un “SIG” para servir de apoyo a la Fundación para la Asesoría y Prevención de los Riesgos Sísmicos del Estado Mérida (FUNDAPRIS), en la gestión y administración de desastres relacionados con eventos sísmicos y zonificación de riesgos a movimientos de masa.

Desde la perspectiva de las amenazas por comportamiento sísmico y su relación con los efectos geomórficos y tectoformas, resalta la publicación de las Primeras Jornadas de Sismicidad Histórica en Venezuela, editada en (1998) por Ferrer, Laffaille y Rengifo, en donde artículos como: 1. “El Alud Sísmico de La Playa: Causas y Efectos. El Terremoto de Bailadores 1610” por Ferrer y Laffaille, permiten la comprensión de las relaciones entre tectónica, sismicidad y movimientos de masa en la región andina. y 2. “Estudio de Daños Originados a las Iglesias de la Ciudad de Mérida por la Acción de los Terremotos de 1812 y 1894” por Rivera de U. y Torres, en donde se afirma la generación de derrumbes en los alrededores de la ciudad de Mérida asociados a los movimientos sísmicos.

En ese mismo año, Ramírez (1998), aplica una “Metodología para la Determinación de Áreas Susceptibles a Movimientos de Masa en la Microcuenca La Piñalera en la Cuenca Alta del Río Dorada (estado Táchira – Venezuela). Basada en la superposición cartográfica de la geología, geomorfología y pendientes bajo ambiente S.I.G. definiendo categorías de susceptibilidad a movimientos de masa: baja media, alta y extrema.

En la misma línea de investigación, Ferrer (1999), publica su trabajo sobre “Represamientos y Rupturas de Embalses Naturales (Lagunas de obturación) como Efectos Cosísmicos: Algunos Ejemplos en los Andes Venezolanos”. En el cual se documentan y discuten 35 casos de represamientos, formación de lagunas de obturación, colapso y generación de olas de descarga y su asociación con deslizamientos rotacionales, flujos/torrentes, aludes y sismicidad, de los cuales 30 de los ejemplos ilustrativos se ubican en Los Andes venezolanos y de ellos casi el 50 % corresponden al estado Mérida.

Un Análisis del Fenómeno Ocurrido en el Litoral Venezolano en Diciembre de 1999 es presentado por Cárdenas (2000). En este documento, se indagan opiniones técnicas sobre los aspectos meteorológicos y los periodos de recurrencia sobre la vertiente norte de la Cordillera de La Costa. Se trata de un análisis meteorológico – histórico que permite asociar los diferentes tipos de movimientos de masa ocurridos en el Litoral Central entre Maiquetía y Carmen de Uria en diciembre de 1999, en el cual se afirma que para explicar mejor el comportamiento del relieve, debemos considerar no sólo la topografía, sino también la geología, la vegetación y los procesos de meteorización.

Irigaray y Chacón (2002), en una recopilación elaborada por Ayala – Carcedo y Corominas (2002). Exponen un análisis sobre los “Métodos de Análisis de la Susceptibilidad a los Movimientos de Masa mediante SIG. En el artículo se describen 8 modelos utilizados para determinar los niveles de susceptibilidad a los movimientos de masa. (modelos basados en el análisis de distribución de los movimientos de masa; basados en el análisis de actividades; basados en la densidad de movimientos de masa; basados en el análisis geomorfológico; basados en el análisis cualitativo; basados en el análisis estadístico bivariante; basados en el análisis estadístico multivariante; y modelos determinista). Cada uno analizado con sus ventajas y limitaciones.

Dugarte (2002), realiza una Evaluación de Áreas Susceptibles a la Ocurrencia de Movimientos de Masa en la Cuenca del Río Mocoties del Estado Mérida. en este trabajo elabora un diagnóstico de las condiciones físicas, haciendo énfasis en los aspectos geológico – geomorfológicos, morfométricos y en los gradientes del terreno, como base para el establecimiento de tres categorías de estabilidad relativa (estable, potencialmente inestable, e inestable) las cuales fueron analizadas y subdivididas en diez subcategorías que abarcan: las áreas estables con pocas limitaciones, potencialmente inestables por procesos erosivos, potencialmente inestables por problemas relacionados con drenajes, potencialmente inestables por cercanías a superficies recientes de ruptura, potencialmente inestables por amenazas de aludes sísmicos, potencialmente inestables por evidencias de represamiento, potencialmente inestables por olas de descargue, potencialmente inestables por movimientos de masa potencialmente inestables por pendiente y las áreas inestables por movimientos de masa. Una vez analizadas las

condiciones de estabilidad de las vertientes, la morfometría de la cuenca, las estructuras geológicas (trazas de fallas), los antecedentes históricos, entre otros factores, estima los niveles de susceptibilidad en base a las categorías moderado y alto. Además, representa los mapas base y temáticos a escala 1:50.000. El mapa de sectores de pendiente es realizado a partir del método del ábaco, la morfometría de las cuencas es estudiada a partir de la base cartográfica 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional 1972 y la fotointerpretación toma como base las fotografías aéreas de las misiones: 010255 del año 1966 a escala 1:25.000 y 010298 del año 1972 a escala 1:50.000.

González de Vallejo et al. (2002), analiza e interpreta las condiciones geológicas y su integración tanto en la reducción de los desastres naturales de origen geológico como en la ingeniería de la construcción; elabora mapas de susceptibilidad, inventario, amenazas, riesgo y geotecnia, además, tabula y esquematiza clasificaciones, condicionantes y desencadenantes de los movimientos de masa y los representa y diferencia gráfica, cartográfica y fotográficamente. Resalta los trabajos de Chacón e Irigaray (1999), en donde representa el inventario y los diferentes niveles de susceptibilidad a movimientos de masa en la zona de Rute-Iznájar (Córdoba-Granada: España) bajo 5 clases de susceptibilidad y utilizando la variable color para sus representaciones cartográficas: (muy baja “gris”, baja “verde”, moderada “amarillo”, alta “rojo” y muy alta “morado”). Igualmente, menciona en su trabajo los mapas de Mateos 2000, quien sintetiza en una composición cartográfica los mapas geomorfológico, de inventario de movimientos de masa y el de susceptibilidad a éstos expresada en 3 niveles: alta, media y baja.

Ferrer y Laffaille (2002), analizan un Interesante Ejemplo de Formación y Ruptura de Laguna de Obturación en la Cuenca Media del Río Chama. Mérida – Venezuela, utilizando para ello el análisis de las fotografías aéreas tomadas unos cuatro años después de la tragedia ocurrida en Ejido el 28 de octubre de 1947. En esta investigación se describen: los derrumbes de roca como efecto cosísmico y represamiento del río Montalbán; el impacto en la sección inferior por flujo o torrente de detritos y el posterior represamiento del río Chama en la confluencia con los río Montalbán y Albarregas; y el caudal excepcional proveniente del río Chama e impacto aguas abajo. Se dedica principal atención a los procesos de movimientos de masa en la Sierra de La

Culata y el depósito aluvial de los sedimentos en la zona de menor pendiente conocida como sector La Vega de Ejido.

Por su parte, Rodríguez y Audemard (2003), dan su opinión en cuanto a la relación existente entre los deslizamientos y la actividad sísmica, reflejando especial interés en el caso del deslizamiento de la localidad de San Josecito estado Táchira, el 18 de octubre de 1981 producto de un fuerte sismo y réplicas posteriores, afectando infraestructuras viviendas y líneas vitales.

Una investigación realizada para la ciudad de Mérida, Venezuela aplicando el AIIP es el presentado por Pozzobon y Gutiérrez en (2003), en el cual aplican un modelo para la selección y priorización de áreas a reforestar, utilizando técnicas de evaluación multicriterio, sistemas de información geográfica e imágenes de percepción remota. El método fue el aplicado y permitió identificar las áreas a reforestar. Esta investigación concluye que las técnicas y métodos utilizados permitieron desarrollar el modelo deseado facilitando el diseño del mismo y su implementación. Se resalta que esta integración entre las técnicas y el método seleccionado permitió conjugar de forma efectiva los mapas y las restricciones con las reglas de decisión establecidas y de esta manera obtener el modelo de decisión final con excelentes resultados.

Ferrer y Laffaille (2004), formulan Una Aproximación al Estudio de Niveles de Susceptibilidad en un Barrio Ubicado en la Ciudad de Mérida – Venezuela, en la que se aplica una metodología para el estudio de la habilitación física de barrios en áreas de montaña, en la comunidad conocida como La Vega del Hospital y localizada específicamente, en la margen izquierda del río Albarregas entre el borde, pared y pie del talud colindante con la avenida 2. Obispo Ramos de Lora, en una zona deslizada y con fuertes restricciones de ocupación debido a la susceptibilidad hidro-geomorfológica del emplazamiento. En este trabajo se representan cartográficamente las limitaciones asociadas a los procesos hídricos y geomorfológicos, en especial a movimientos de masa coligados al deslizamiento, masa deslizada, asentamiento diferencial e inestabilidad en el borde del talud.

Chacón y Uzcátegui (2004), realizan la actualización geomorfológica de la ciudad de Mérida; tomando como base estudios de Cabello (1966), acorde con las formas del

relieve y los procesos de modelado hasta ese año. Esta cartografía geomorfológica, incluye los rasgos geomorfológicos y procesos morfogenéticos más importantes, tanto naturales como antrópicos de la terraza de Mérida y sus alrededores. Junto a las bases teóricas, el chequeo de campo y el análisis fotogeológico se obtiene el mapa que representa los principales procesos y unidades geomorfológicas del área de estudio a escala semi-detallada.

Ramírez (2005), realiza Una Zonificación Geomorfológica Utilizando el Concepto de Estabilidad Relativa Aplicado a la Microcuenca Los Tapiales, Río Mucujún, El Vallecito, Estado Mérida – Venezuela. Destacando que sin ánimo de 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 la orientación geotécnica. En este ensayo, se resalta el aspecto metodológico representado por la fotointerpretación geomorfológica - geológica y la clasificación de los procesos de acuerdo a la susceptibilidad que presentan para producir movimientos de masa en base a una zonificación cartográfica de los procesos geomorfológicos.

Reginald H. et al. (2005), miembros del Grupo de Especialistas sobre Movimientos de Masa GEMMA, del Servicio Geológico Canadiense, dictan en Venezuela el curso de movimientos de masa con motivo de apoyar el Proyecto Multinacional Andino - Mérida. En éste se abordan la temática referente a: planificación de proyectos, gestión de riesgo, terminología, clasificación de movimientos en masa, determinación de estado de actividad / edad, reconocimiento de movimientos en masa, introducción a mecánicas de roca y de suelo, inventario de movimiento en masa, métodos de datación del cuaternario, condicionamientos de deslizamientos, reconocimiento de movimiento en masa tipo flujo, uso del formulario del inventario GEMMA, mapeo de movimientos en masa, detonantes de movimientos en masa, efectos secundarios, monitoreo de movimientos en masa, análisis estadísticos, mapeo de amenaza por movimientos en masa, reporte de estudios de movimientos en masa, reconocimiento de movimiento en masa y mapeo de movimientos en masa en campo usando estándares GEMMA. La metodología GEMMA es reconocida mundialmente por la mayoría de los

investigadores de los procesos asociados a movimientos de masa y es aplicada actualmente por los países que conforman los Servicios Geológicos de Canadá, Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.

Roa (2006), realiza una Aproximación al Mapa de Susceptibilidad y Amenazas por Deslizamientos de la Ciudad de Trujillo, Venezuela. En la cual realiza una evaluación de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos con el uso de técnicas de EMC y aplicando el MJA propuesto por Saaty (1990). En este análisis la EMC consistió en dos partes básicas: La descripción general de los procesos de deslizamientos en el área de estudio y el posterior modelamiento de la sensibilidad y amenaza por deslizamientos.

2.2. Bases teóricas y definición de términos básicos

Geomática: Câmara y Medeiros (1998), definen la geomática o también llamadas: geotecnologías y geoprocесamientos, como una disciplina de conocimiento que utiliza técnicas matemáticas y computacionales para el tratamiento de informaciones geográficas, donde el instrumento computacional del geoprocесamiento es llamado SIG. Su objetivo es el manejo riguroso de los datos georeferenciados, integrando las disciplinas que estudian el ambiente utilizando herramientas provenientes de: fotogrametría, percepción remota, sistemas de información geográfica, cartografía, topografía y tecnología GPS (Global Positioning System) aunadas a una plataforma computarizada.

Chuvieco (1996), define la percepción remota como una técnica a través de la cual se obtiene información de un objeto sin estar en contacto directo con él. Esta disciplina, permite la producción de grandes volúmenes de información, dando apoyo a diversas ciencias, actualizando el conocimiento del entorno circundante. Además, presenta una complejidad intrínseca ya que en ella influyen la fuente de energía, la cobertura terrestre, el sensor y la atmósfera.

Para Aronoff, (1995), las imágenes provenientes de sensores remotos, dado su formato, permiten su manipulación por computadoras y el tratamiento digital permite rapidez y exactitud en las salidas cartográficas y poseen una estrecha relación con los SIG. Él

define un SIG, como un sistema computarizado que efectúa tratamientos a los datos geográficos a partir de los siguientes cuatro conjuntos de operaciones para tratar datos georeferenciados: 1) entrada de datos; 2) uso de los datos a través de almacenamiento y recuperación; 3) manipulación y análisis; 4) Salida. Para Câmara y Medeiros (1998), los SIG relacionan información de ¿dónde están las cosas? con información de ¿cómo son esas cosas? (atributos), pudiendo combinar digitalmente diferentes mapas o niveles de información. Cada una de estas capas puede contener un tipo de información particular de cada fenómeno o procesos Burrough y McDonnell, (1998).

Las técnicas geomáticas son herramientas potentes para realizar análisis del territorio a través de superposición de capas de información (mapas). Una de sus posibles aplicaciones es la utilización en los procesos de toma de decisiones. En este sentido, estas técnicas han ido incorporando herramientas de ayuda a la toma de decisión, entre las que se encuentra el método desarrollado por Saaty (1980) citado por Barredo (1996) denominado AHP, que es la metodología que se usó en este trabajo.

El AHP es una metodología de modelado multicriterio, basada en la lógica de comparación pareada, propuesta por Thomas Saaty en (1978). El método comienza por establecer una matriz en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de factores a ponderar, así se establece una matriz de comparación entre pares de factores a ponderar, comparando la importancia de uno sobre cada uno de los demás. Posteriormente, se determina el vector propio (eigenvector) principal, el cual establece los pesos y el valor propio (eigenvalor), que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valores entre pares de factores. Barredo, (1996) y Câmara et al, (2001).

El método requiere la estructuración de un modelo jerárquico el cual será compuesto por criterios en un proceso de comparación pareada, por importancia relativa, preferencia o probabilidad entre dos criterios, sub-criterios y alternativas con relación al criterio con un nivel superior. Con base en la comparación, el AHP pondera todos los sub-criterios y criterios y calcula un valor de razón de consistencia entre (0, 1) con 0 indicando la completa consistencia del proceso mostrando buena relación entre los criterios y parámetros bajo análisis (Câmara et al, 2001).

El AHP forma parte de las técnicas de evaluación y análisis de decisiones multicriterio que se encuentran en los programas de sistemas de información geográfica Barredo, (1996). Dicha metodología permite construir un modelo jerárquico que representa el problema objeto de estudio, mediante criterios físico naturales, para luego poder deducir, cuál o cuáles son las áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa.

La evaluación multicriterio en el entorno de las técnicas geomáticas, se basa en que cada factor esté representado por una capa de información cartográfica georeferenciada, en la cual todos los puntos del territorio toman un valor con respecto a las variables bajo estudio de decisión. Todas las capas de información cartográfica deben ser transformadas y normalizadas para que todas fluctúen dentro de un mismo rango de valores, en este caso a partir del método AHP. La metodología de evaluación consiste en hacer una escogencia entre alternativas tomando en cuenta varios criterios. Los valores de los criterios representan el grado con que una alternativa se relaciona a un cierto criterio en la evaluación (Miranda, 2010).

A partir del establecimiento de criterios de comparación para cada combinación de factores, es posible determinar un conjunto óptimo de pesos que pueden ser utilizados para la combinación de los diferentes mapas (Irigaray y Chacón, 2002).

De un modo general, los principales tipos de mapas de susceptibilidad a movimientos de masa, son elaborados a partir del análisis de: distribución y análisis de actividad de los movimientos de masa; densidad de movimientos de masa; análisis geomorfológicos-geotécnicos (heurísticos); modelos estadísticos bivariantes y multivariantes; modelos determinísticos; método Booleano (operadores lógicos); media ponderada de factores y de análisis cualitativo (Irigaray y Chacón, 2002). Muchas de estas metodologías se complementan y son usadas en combinación en este tipo de proceso cartográfico.

Tal como se muestra en el Cuadro 1, son varios los factores condicionantes para determinar niveles o grados de susceptibilidad y diversos los métodos tomados en consideración en el proceso cartográfico tal como se mencionó. Sin embargo, no todos los factores tienen la misma importancia en la zonificación. En tal sentido, Càrrara

(1992) define grados de incertidumbre para un grupo importante de factores condicionantes.

Cuadro 1. Principales factores asociados a zonificación de susceptibilidad a movimientos de masa y selección de factores para la aplicación del método AHP

FACTOR CONDICIONANTE	GRADO DE INCERTIDUMBRE
Pendiente	Baja
Aspectos	Baja
Forma del relieve	Baja
Litología general	Baja
Tectónica general	Baja
Aceleración sísmica	Alta
Distribución de la lluvia	Intermedio
Geomorfología general	Baja
Distribución de movimientos de masa actuales	Intermedio
Tipología de los movimientos de masa	Intermedio
Distribución de los movimientos de masa pasados	Alta
Distribución de los tipos de suelo	Baja
Espesura del suelo	Alta
Condición del agua subterránea	Alta
Uso del suelo y vegetación	Baja
Condiciones climatológicas pasadas	Alta

Fuente: modificado de Càrrara (1992)

2.3. Consideraciones sobre los movimientos de masa: Los movimientos de masa, que resultan ser una de las variables más significativas en la aplicación de la metodología, se definen como el desplazamiento descendente de materia por la influencia directa de la gravedad (González de Vallejo et al, 2002). Este material se mueve a velocidades que van desde imperceptibles a muy rápidos. Casi todos los movimientos de masas resultan del desgaste de los suelos y el material rocoso suelto, que por lo regular comprenden material superficial de la corteza terrestre. Aunque la humedad puede ser un condicionante importante, el incesante efecto de la gravedad es la fuerza principal del movimiento de masa (Wicander y Monroe, 2000).

La ocurrencia de movimientos de masa amerita interpretar la dinámica de los mismos, a través de los estudios de susceptibilidad de un determinado espacio geográfico, en este caso, con el apoyo de técnicas geomáticas.

La susceptibilidad es definida como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, expresado en diversos grados o niveles cualitativos y relativos, siendo dependiente de los factores que controlan y condicionan la ocurrencia de los procesos que puedan ser intrínsecos de los propios materiales geológicos o externos (Ramírez, 1998; González de Vallejo et al, 2002).

Los factores condicionantes bajo análisis, permiten la evaluación de la susceptibilidad de una zona o conjunto de áreas homogéneas. Esta susceptibilidad representa el establecimiento de una relación entre los movimientos de masa observables, fruto de la acción de factores condicionantes, de evolución lenta y factores desencadenantes de variación más rápida, a lo largo de un horizonte temporal y un conjunto de factores como pendiente, litología, uso de la tierra, entre otros, que se extrapolan a las zonas sin movimientos con el objeto de evaluar su propensión a los mismos (Ayala y Corominas, 2002).

Algunos movimientos de masa han sido clasificados y diferenciados de manera general en el Cuadro 2, a partir de sus características resaltantes y tomando como referencia estándares propuestos por el Proyecto Multinacional Andino en 2007.

Cuadro 2. Clasificación general de los movimientos de masa

Tipo	Subtipo
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo). También denominados derrumbes.
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque), Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca y suelo	Deslizamiento rotacional, deslizamiento en cuña y deslizamiento traslacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta y Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos, Flujo de lodo y tierra, Flujo de turba, Avalancha de detritos y rocas, Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos, Solifluxión, gelifluxión (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	

Fuente: Varnes (1984) y Proyecto Multinacional Andino (2007)

www.bdigital.ula.ve

Los tipos de movimientos de masa más comunes se pueden apreciar en la Figura 2, resaltando el hecho de que los de mayor ocurrencia en el área de estudio son los deslizamientos, caídas de rocas, la reptación y los flujos.

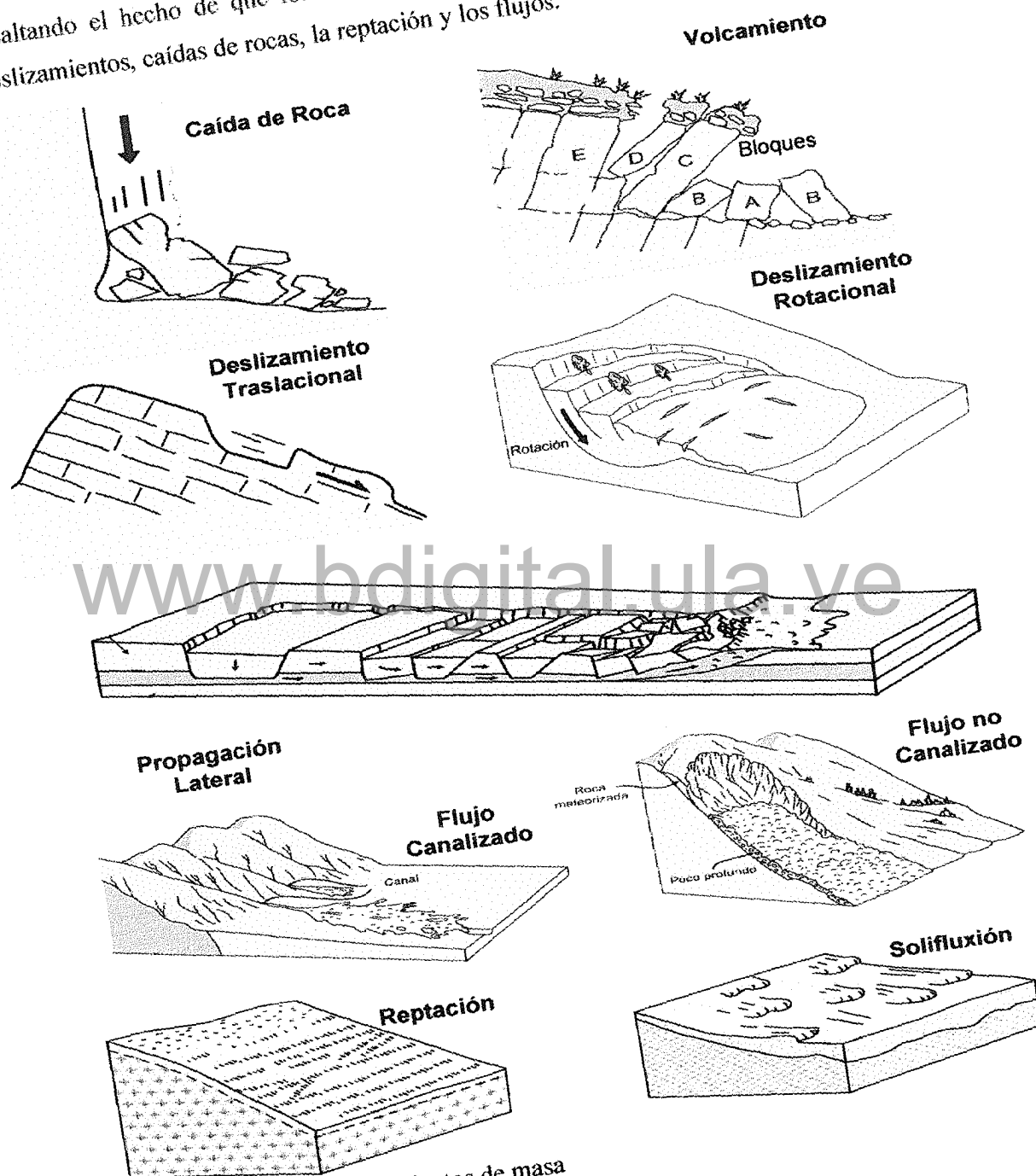


Figura 2. Tipos de movimientos de masa
Fuente: Proyecto Multinacional Andino2007



CAPITULO III

CAPITULO 3. LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área en estudio se enmarca en un tramo correspondiente a la cuenca media del río Chama. Políticamente, se encuentra en jurisdicción de los Municipios Libertador, Santos Marquina y Campo Elías del Estado Mérida y cubre una superficie de aproximadamente 123,2 km² y un perímetro de 49378 m. (Figuras 3 y 3.1). Las microcuencas que drenan hacia el área de estudio desde la vertiente norte son; Milla, El Rincón, Gavidia, La Resbalosa, La Pedregosa, Carvajal y La Negra, las cuales drenan desde la vertiente sur de la Sierra de La Culata y conforman la hoya hidrográfica del río Albarregas. De la Sierra Nevada al sur, drenan otro conjunto de afluentes hacia la zona urbana del eje urbano Don Perucho – El Chama, destacándose las quebradas, La Astillera, La Fría, San Jacinto, La Perla, El Cafetal, La Fría de El Arenal y EL Volcán.

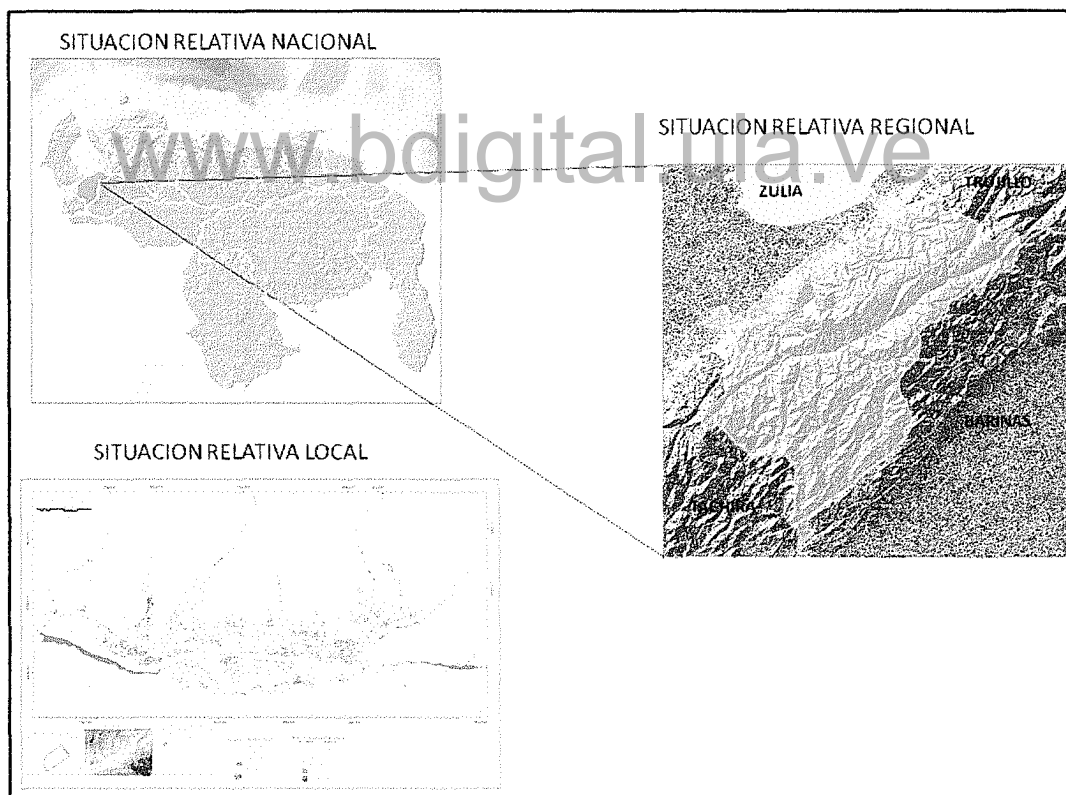


Figura 3. Localización del Área de Estudio.

Fuente: Imagen Aster 15m. RE, año 2003. Shapefile de proyecto Venutm.

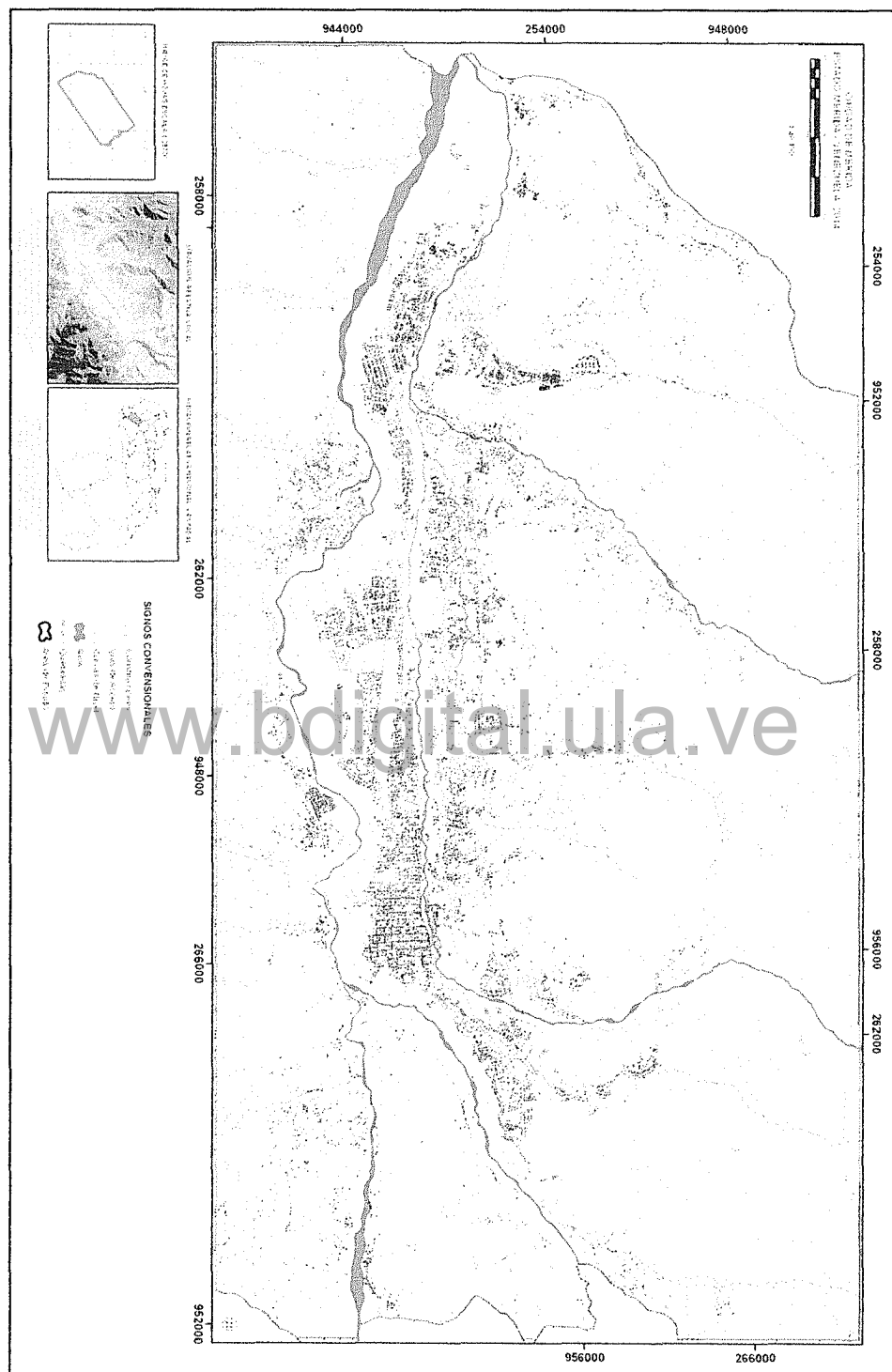


Figura 3.1. Localización del Área de Estudio. Mapa reducido de la versión original

De acuerdo al datum de la Red Geodésica Venezolana - Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur (REGVEN -- SIRGAS) en el Huso Horario 19 N, el área de estudio está definida por las coordenadas U. T. M. mostradas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Localización del área de estudio

Coordenadas	Norte Inicial	Norte Final	Este Inicial	Este Final
REGVEN-SIRGAS, Elipsoide GRS80 U.T.M.	938988 m. N	966877 m. N	254341 m. E	271181 m. E

El área se localiza geográficamente de acuerdo a los topónimos considerados puntos limítrofes en el cuadro 4.

Cuadro 4. Límites Geográficos del Área de Estudio

NORTE:	Sierra de La Culata en la vertiente derecha del río Chama, entre los páramos La Pedregosa, Los Conejos, El Salado y Páramo de Los Leones, dentro de los límites político administrativos del municipio Libertador hasta la cuenca de la quebrada La Cuesta.
SUR:	Sierra Nevada, en la vertiente izquierda del río Chama, entre el Filo Los Tres Palos, Páramo El Cocuy y las cumbres de los picos El León, El Toro y Loma Redonda.
ESTE:	Por la divisoria de agua y vertiente izquierda de la quebrada La Cuesta, aguas abajo hasta el río Mucujún, asciende por la divisoria de agua en su sección topográfica más definida y atravesando el sector El Vallecito, luego, al llegar hasta la fila El Escorial en su cota 2300 toma la divisoria de aguas más definida hasta cortar el Río Chama en Los Llanitos de Tabay, luego se prolonga hasta el sector Loma Linda y se dirige por la divisoria de aguas al este de la quebrada El Volcán.
OESTE:	De sur a norte por La quebrada La Gavidia en la margen izquierda del Río Chama, hasta su confluencia con el río Chama, siguiendo por el río Albarregas hasta su confluencia con el Río Montalbán luego se dirige por la divisoria de aguas buscando la Sierra de La Culata, excluyendo la subcuenca del Río Montalbán.

Fuente: Información extraída de mapas topográficos de Cartografía Nacional. (1976–1981).

3.1 Descripción física

El área de estudio presenta las siguientes características físico-ambientales, que la describen de manera resumida.

3.1.1. Geomorfología y geología general

El área se encuentra en el ramal septentrional de la Cordillera de Los Andes, la cual está conformada por la Sierra de La Culata y por la Sierra Nevada de Mérida. Schubert, (1980) citado en La Marca, (1997). Estas poseen un relieve montañoso escarpado en las zonas más altas y con escasas áreas planas, generando distintos tipos de geoformas. Entre estos se puede mencionar glaciares, periglaciares, aluviales y coluviales, (Schubert y Vivas, 1993). Según Schubert, (1993) citado por La Marca, (1997), ambas cordilleras están separadas por el graben del río Chama. Este río está controlado estructuralmente por la falla de Boconó que es el principal sistema geológico estructural del occidente de Venezuela, la cual tiene una dirección aproximada N45° E.

El área de la terraza de Mérida, se caracteriza por una aparente homogeneidad geomorfológica, consecuencia tanto de la estructura geológica como de la tendiente uniformidad litológica, caracterizada por el predominio de complejos metamórficos, sedimentos altamente metamorfizados y materiales recientes de relieve suave conocidas como acumulaciones cuaternarias relativamente planas, pero cortadas por profundas y abruptas incisiones de los ríos Chama, Mucujún y Albarregas denominados taludes o escarpes. Estas acumulaciones se presentan en el área de estudio en forma de una gran terraza y numerosos depósitos aluviales perpendiculares en el valle del río Chama y sus afluentes principales, alcanzando una extensión considerable (Schubert y Vivas, 1993).

En el valle del río Chama, la terraza de Mérida ha sido formada principalmente por aportes longitudinales y transversales. La pendiente sobre la terraza es relativamente suave, raras veces sobrepasa los 5° y disminuye sensiblemente al este de la ciudad para convertirse en una superficie bastante plana. Su escarpe esta irregularmente entallado por el río Chama con desniveles aproximados entre 100 a. 150m. Por otro lado, su borde norte, entallado por el río Albarregas, es más regular y menos pronunciado con aproximadamente 50 - 30 m. de desnivel.

Los conos de deyección y abanicos aluviales, generalmente perpendiculares al valle de los ríos Chama y Albarregas, son muy abundantes y extensos. Sus pendientes son mayores que las de la terraza de la ciudad de Mérida, se acercan por lo regular a los 10°; algunos, como los situados en la margen derecha del río Chama, superan este valor y terminan en una escarpa abrupta.

La unidad de relieve vertiente, se caracterizan por ser los espacios más inclinados en conjunto con los taludes, con valores de pendientes superiores a 45°, las cuales delimitan la fosa que conforma el ámbito territorial del río Chama. Este conjunto de relieve corresponde principalmente a los flancos sur y norte de la Sierra de La Culata y de la Sierra Nevada, respectivamente. La vertiente izquierda (Sierra Nevada) está formada por rocas que le imprimen un carácter de material rocoso duro en fuertes pendientes. Los sectores de vertiente de la Sierra Nevada que están provistos de vegetación se caracterizan por contener torrentes con fuerte poder de arrastre, dada la elevada inclinación de sus perfiles longitudinales. Esta vertiente, cuyo contacto con el fondo del valle del río Chama es muy brusco, es propensa a la acción de complejos y variables movimientos de masa debido a la combinación de fuertes pendientes, presencia de rocas muy fracturadas y a las intensas precipitaciones características del periodo lluvioso.

Por el contrario, la vertiente derecha del río Chama (Sierra de La Culata - El Escorial), es más extensa, con pendientes menores, mayor densidad de drenaje concentrado y su contacto con el fondo de valle es más suave, mediante geoformas de tipo abanicos aluviales.

Las colinas o lomas, se caracterizan por ser formaciones intermedias de forma redondeada o aplanada en sus cimas; sin embargo, los flancos que las individualizan presentan pendientes elevadas, en algunos casos superiores a 25°. Todas estas formas de relieve constituyen un conjunto de transición entre las vertientes propiamente dichas y los depósitos aluviales que ocupan el fondo del valle.

Estas colinas tienen un modelado dependiente principalmente del escurrimiento. Una fuerte alteración ha dado origen a fenómenos modeladores representados por el escurrimiento difuso intenso, en función de la pendiente y de la fragilidad del material.

Esta fragilidad ha hecho que estos relieves sean poco resistentes a la erosión, siendo propicios a los desprendimientos superficiales o profundos de los suelos, como es el caso de deslizamientos y procesos erosivos en las lomas conocidas como Loma de La Virgen, Loma de Los Maitines y Loma de Los Ángeles.

En las colinas ubicadas al oeste y noroeste, los materiales de la Formación Sabaneta (meta limolitas y meta areniscas de grano fino), constituyen futuras fuentes para el suministro de materiales finos, con el consecuente riesgo de colmatación e incremento de cárcavamiento. El Cerro Las Flores con las filitas pizarrosas de la Formación Palmarito, muestra una gran diversidad de deslizamientos, flujo de barros, solifluxión y reptación continua, que hace que esta área tenga un comportamiento sumamente activo desde el punto de vista geomorfológico (Chacón y Uzcátegui, 2004).

Al norte, en la secuencia correspondiente a la Formación Mucujún predominan los derrumbes y el escurrimiento concentrado. Al noreste la dinámica asociada estrechamente con la Granodiorita del Carmen, corresponde con deslizamientos rotacionales en secciones profundamente meteorizadas y tectonizadas.

Los procesos de modelado han actuado y están actuando a lo largo de los taludes de incisión de los ríos Mucujún, Albarregas y Chama. Los sedimentos expuestos tienden a deslizarse en paquetes como consecuencia del socavamiento basal, sobresaturación local y posiblemente por efecto de la sismicidad (Ferrer, 1982).

Cabe destacar que las colinas al norte y al noreste de la ciudad están representadas por facies litológicas graníticas, gneises, pizarras y lutitas, estas muy fracturadas y alteradas, dando origen a formaciones poco resistentes a los agentes modeladores, los cuales siempre encuentran material suelto que arrastrar (Chacón y Uzcátegui, 2004).

Cerca de la confluencia de los ríos Chama y Mucujún, las condiciones del modelado cambian fuertemente, la destrucción de la vegetación y el trazado de la carretera, ha disminuido la infiltración pero, los procesos cobran una gran intensidad y el escurrimiento intenso es el principal factor del modelado, donde se llegan a formar algunos procesos erosivos y movimientos de masa.

El rasgo tectónico más importante de los Andes Venezolanos, es la zona de falla de Boconó. Esta zona representan una magnífica expresión topográfica con valles y depresiones lineales, escarpes, fosas, lomos de falla alineados, drenajes desplazados y rocas profundamente tectonizadas, con una amplitud de 1 a 5 km. y con un rumbo aproximado de N45°E (Schubert y Vivas, 1993).

En la Cordillera de Mérida y de manera especial a lo largo de la falla de Boconó, es donde se han reportado las manifestaciones principales de la actividad tectónica cuaternaria venezolana, en lo relativo a sus expresiones morfológicas más grandes. Schubert (1992) citado por Carlini y Vera (2004), hace referencia a algunos rasgos morfológicos presentes a lo largo de esta geoestructura como son: escarpes de falla, lomas, depresiones angostas, valles rectilíneos, trincheras de falla, ensilladuras en pasos de montañas y zonas de roca triturada. Además hace referencia a los valles alineados, conos aluviales, lagunas, lomas y trincheras de falla, así como desplazamiento de rumbo de lechos de quebradas.

La sismicidad del área, según criterios históricos y datos geofísicos recientes, muestra una constante actividad y la misma se refleja en el intenso fallamiento local. La gran mayoría de las fallas reconocidas dentro y en las cercanías inmediatas parecen ser activas. Las mismas siguen el patrón general N45°E y se disponen a manera de escalones paralelos entre sí. La interacción de fallas menores pero de alto riesgo para Mérida pueden ser indicativo de estructuras de ajuste; son especialmente las fallas del Albarregas, Las Tapias (rumbo NO), San Jacinto y El Teleférico (rumbo NE), Jají (rumbo OE) y La Hechicera (rumbo SE) (M.O.P., 1976).

Entre las fallas más importantes del área identificadas por Cabello (1966) y Oliveros (1997), se encuentran las siguientes: falla de Boconó, falla del Albarregas, falla del Chama, falla de La Hechicera, falla de Jají y falla del Mucujún. Las mismas son interpretadas sobre curvas de nivel y modelado digital del relieve, en conjunto con alineamientos geológicos sobre las imágenes de percepción remota utilizadas en este estudio: Aster, Spot 5 y ortofotomapas y se pueden apreciar sobre la Figura 4.

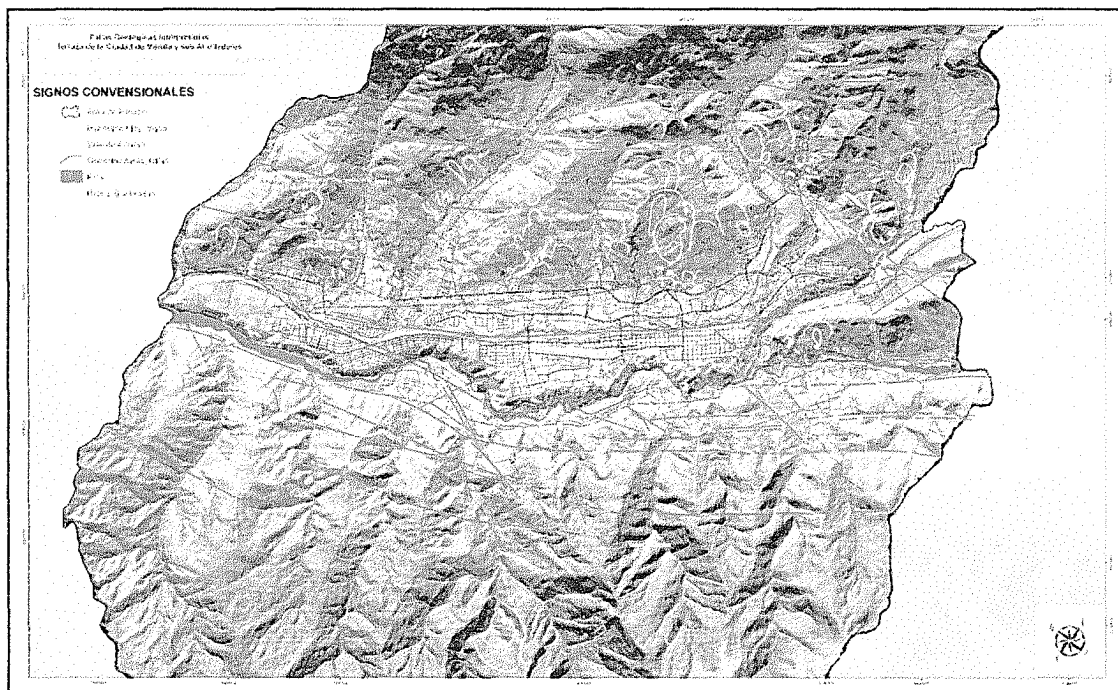


Figura 4. Alineamientos geológicos interpretados sobre imagen de satélite

Fuente: Imagen Aster 15 m. resolución espacial, (2003) archivo .shp Fallas Geológicas FUNVISIS, 2010.
(Mapa reducido de la versión original)

Algunos de los movimientos sísmicos más importantes de la región andina, sus máximas intensidades y magnitudes, asociadas al sistema de falla de Boconó se resumen en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Máximas intensidades y magnitudes de la sismicidad en la región de Mérida

Fecha	Hora local	Coordenadas epicentro	Magnitud	Intensidad máxima
3-2-1610	15:00	8.3 N-71.8 W	7.3	10
1625	-	8.5 N- 70.3 W	6.7	-
16-1-1644	5:30	7.4 N- 72.2 W	7.3	10
26-3-1812	16:07	8.5 N- 71.3 W	7.0	10
18-5-1875	11:30	7.9 N- 72.4 W	7.32	10-11
28-4-1894	22:15	8.5 N- 71.7 W	7.0	10-11
10-4-1911	14:30	9.0 N- 74.0 W	7.2	9
14-3-1932	17:40	8.25 N- 71.75 W	6.75	9

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, M.O.P. (1976)

3.1.2. Geología estratigráfica

La geología estratigráfica de la región permite destacar las características generales de las unidades geológicas que afloran en el área de estudio, tales como:

- Asociación Sierra Nevada. Precámbrico. (Proterozoico Tardío): Esta unidad ocupa el centro de la Cordillera de Los Andes, constituyendo tanto el basamento de la Sierra de La Culata como el de la Sierra Nevada de Mérida; está constituida esencialmente por esquistos y gnéises cuarzo-feldespáticos, en el grado de la anfibolita del metamorfismo regional, los cuales se evidencian por la presencia de silimanita y migmatita. Los otros tipos petrológicos están representados por rocas muy silíceas y localmente se encuentran lentes de anfibolita, metareniscas y cuarcitas, las cuales por lo general aparecen intrusivas por diques pegmatíticos. González de Juana et al, (1980) en Carlini y Vera (2004), distinguen tres unidades informales para ésta unidad, una basal gnéisica migmatítica, una intermedia esquistosa-anfibolítica y otra intrusiva granítica-pegmatítica. Esta formación ocupa la mayor parte del área de estudio, presenta buena cobertura de vegetación de páramo y bosque húmedo, hasta cierta altitud, en donde dominan los afloramientos rocosos en mayor presencia a partir de los 3800 m.s.n.m.

- Formación La Quinta (Jurásico): Se presenta en contacto de falla infrayacente a la Asociación Sierra Nevada en la vertiente norte y suprayacente también en contacto de falla, con las Formaciones Palmarito y Sabaneta. La unidad se caracteriza por presentar areniscas conglomeráticas rojizas, fuertemente diaclasadas, con microalineación de granos posiblemente relacionados a la existencia de las fallas regionales (La Marca, 1997). También presenta lutitas y limolitas. Las areniscas y conglomerados de vertientes empinadas son rocas más coherentes y menos fracturadas. En cambio las areniscas, lutitas y limolitas en colinas y lomas están muy alteradas, son blandas y altamente susceptibles a la erosión en surcos y cárcavas (Chacón y Uzcátegui, 2004).

- Paleozoico. Formación Sabaneta (Carbonífero Tardío-Pérmico Temprano): En Los Andes Venezolanos, Arnold (1966) en La Marca (1997) postula la sedimentación de ésta formación en una cuenca relativamente estrecha, cuyo borde está caracterizado por grandes escarpes de falla que produjeron la sedimentación de las espesas brechas que

caracterizan a la Facies Mérida, en las cuales el tamaño y angularidad de los granos disminuye con la distancia a los escarpes.

La litología predominante muestra una secuencia de areniscas cuarzosas, gruesas, de colores; gris a gris verdoso que gradan hacia arriba a una intercalación de limolitas y areniscas de color rojo a violeta. La distribución de la Formación Sabaneta está estrechamente asociada al hecho de que ella consiste en abruptas y delgadas cuñas de rocas clásticas de material terrígeno, continental. Cerca de las áreas de origen, la formación es gruesa, poco deformada y bien preservada; lejos del área tipo es delgada, plegada y localmente imbricada (González de Juana, 1980). Esta Formación aflora en la parte media y baja de la microcuenca de la quebrada Carvajal y al norte de los sectores Pan de Azúcar y Las Cruces y presenta varios movimientos de masa y degradación general.

- Formación Palmarito (Pérmico Medio): Es una secuencia de lutitas, principalmente marinas, limos, arenas y margas, que gradan hacia arriba a calizas marinas. Arnold (1966) en La Marca (1997), la dividió en un miembro inferior clástico y un miembro superior de calizas. El miembro clástico inferior comienza con una secuencia arenosa a limosa, con restos de plantas y lechos delgados de carbón en el tercio inferior; las areniscas se hacen calcáreas hacia arriba, y hacia la parte media del complejo o algo más arriba, aparecen fósiles marinos; siguen lutitas y lutitas limosas calcáreas de color gris oscuro, con algunos lechos de margas arenosas de color negro y algunas capas de caliza fosilífera. El miembro superior de calizas, consiste predominantemente de calizas duras, a veces cristalinas, de color gris oscuro en capas gruesas a medianas, con delgadas intercalaciones de margas fosilíferas.

Según, Guerrero (1997) en Prieto (2004), los afloramientos de la Formación Palmarito se caracterizan litológicamente por presentar hacia la base de éstos, una intercalación de calizas cristalinas con espesores variables de 2 a 10 m. aproximadamente, intercaladas con filitas negras carbonáticas que alcanzan espesores de hasta 5 m. y metareniscas cuarzosas ligeramente metamorizadas con espesores menores de 1 a 3 m. Hacia el tope de esta unidad los estratos de caliza disminuyen hasta desaparecer de los afloramientos y se desarrolla una secuencia espesa de metareniscas cuarzosas con filitas cuarzo

sericíticas y filitas negras carbonáticas con espesores variables. Esta secuencia de filitas disminuye progresivamente hacia el tope, hasta desarrollar laminaciones de 1 a 5 cm. de espesor.

La secuencia de metareniscas cuarzosas se hace más espesa y llega a alcanzar un espesor de 50 metros aproximadamente. Las metareniscas, poseen una mineralogía conformada por altos porcentajes de cuarzo y menores de moscovita, sericita y epidoto. Texturalmente, se presenta con un empaquetamiento apretado (contacto grano-grano) y fuerte orientación de los granos. Mientras que las calizas cristalinas poseen altos porcentajes de cuarzo (extraclastos) y ortoquímicos, se aprecian procesos de dolomitización y neomorfismo calcita-dolomita, y abundantes microfracturas rellenas con calcita- hematita (Chacón y Uzcátegui, 2004).

Al norte de la ciudad de Mérida, el miembro calcáreo en sección fina de roca presenta neomorfismo de calcita-dolomita y dolomitización, desarrollados posiblemente en un ambiente de sedimentación del tipo freático marino. Por su parte, el miembro clástico sugiere según análisis de minerales pesados una posible procedencia de detritos de rocas con metamorfismo de alto a bajo grado. Según la disposición estratigráfica que conforma esta unidad geológica, se puede señalar que este miembro pudo haberse depositado en ambientes sedimentarios transicionales fluviales a marinos (Prieto, 2004).

- Granodiorita del Carmen: Kovisars (1972) en La Marca (1997), describe este cuerpo como un *sill* granítico prominente, paralelo a la directriz andina principal al norte del río Chama, al noreste de Mérida. La granodiorita es un afloramiento que está constituido por granitos ácidos muy homogéneos, con abundante roca cuarzo-feldespática-muscovítica-biotítica (mica negra, feldespatos y berilios), caracterizándose por ser de grano fino - medio, con cuarzo y ortosa como minerales predominantes y las micas moscovitas y biotita como subordinados con muy pocos minerales accesorios. A menudo están intrusionados por diques de pegmatita. Estos granitos se encuentran muy diaclasados y alterados, principalmente los feldespatos y la biotita. Esta unidad está conformada por el Cerro El Escorial localizada al norte de los sectores Las Calaveras y Virgen del Carmen, vía a Tabay.

En aquellos lugares donde la meteorización ha producido abundante material arcilloso, se originan deslizamientos que obstaculizan la Carretera Transandina o Trocal T007. La baja calidad de la roca es un factor que favorece los movimientos de masa, algunos influenciados por los cortes realizados para hacer la vía.

- Cenozoico. Formación Mucujún (Mio-Plioceno): Aflora en la zona del valle de San Javier, ubicada al noreste de la ciudad de Mérida en la cuenca del río Mucujún, así como en las vertientes de la subcuenca del río Milla. (Ghosh y Odreman (1987) citado en La Marca (1997), afirman que su área tipo está caracterizada por la naturaleza lenticular de las litofacies arenosas y lutáceas, ausencia de fósiles marinos, abundancia de resto vegetales y carbonáceos, un color moteado de las lutitas y lodositas. La sedimentación representa un ambiente continental definidos por corrientes fluviales que muestran los diferentes sistemas depositacionales como son: redes anastomosadas, depósitos de canales de alta sinuosidad, y afluentes que emigran lateralmente a través de una llanura de inundación de suaves pendientes. Las areniscas que conforman la formación son de grano fino, muy mal escogidas, con asimetría hacia los finos, que definen la fase inferior de baja energía de deposición de materiales y baja pendiente. La facies media es bimodal con talla media de selección normal y granos minerales moderadamente mal escogidos. El tope muestra granos de talla gruesa con modos polimodales, moderado escogimiento de selección normal, lo que demuestra una variación de energía en la deposición.

- Depósitos Pleistocénicos: Vivas (1992) describe que en la Cordillera de Mérida las expresiones longitudinales y transversales que conforman la representación cuaternaria son un hecho sobresaliente, tanto por la extensión que ocupan, como por su papel en las actividades humanas que se desarrollan en esa región. En sentido longitudinal, de SO-NE y paralelamente a los ejes mayores del relieve cordillerano, se dispone una alineación de depresiones por las que discurren los cursos de los ríos más importantes que las colmataron a lo largo del Cuaternario, conjuntamente con sus tributarios tal como se muestra en la Figura 5. Por su parte, en sentido transversal a esos mismos ejes de relieve se destacan algunos valles andinos que pueden ser segmentos inferiores de los cursos longitudinales o ríos independientes de aquellos. La depresión del Río Chama es

longitudinal desde sus comienzos en el Páramo de Mifafi hasta Estanques. En general, se asemeja a un graben localizado entre el Horst de la Sierra de La Culata al norte y el de la Sierra Nevada al sur. En sus cabeceras el valle del Río Chama y los de sus afluentes más destacados, coinciden con los relieves glaciares y periglaciares del núcleo andino meridiano; pero a partir aproximadamente de los 2000 a 3000 m.s.n.m. se hacen coluvio-aluviales, puesto que sus fondos han sido colmatados, no sólo por sedimentos transportados por los cursos de agua sino también por las masas deslizadas o derrumbadas en las vertientes que los delimitan.

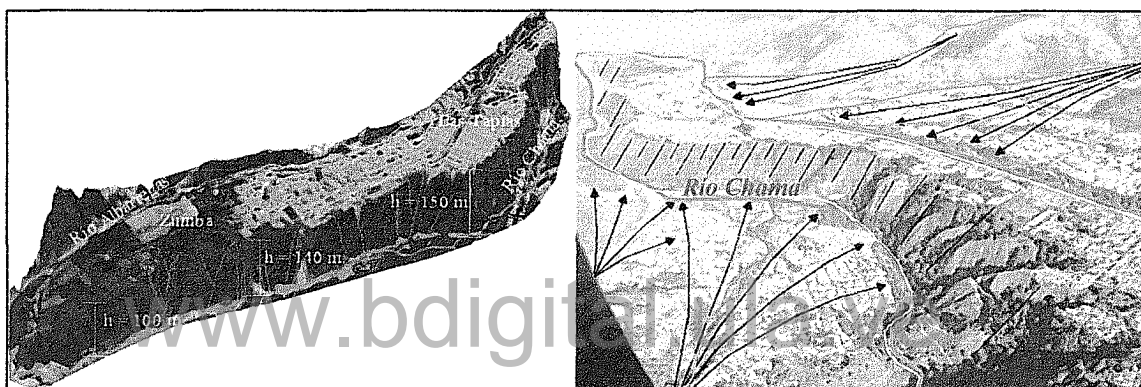


Figura 5. Depósitos aluviales Cuaternarios

La complejidad litológica del área de estudio desde el punto de vista litoestratigráfico, se resume en la Figura 6 referente a la columna estratigráfica regional.

ERA	PERIODO	ÉPOCA	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	AMBIENTE DEPOSITACIONAL
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS RECIENTES		MATERIAL ALUVIO-COLUVIAL PIEMONTINO, ZONAS DE CANTOS, PEDREGOS, GRAYAS Y ARENAS, CON POCOS FINOS, CON INTERCALACIONES DE PEQUEÑOS Y DELGADOS LENTES DE ARENA LIMPYA O DE GRAYAS (GRUESAS O FINAS)	
		PLEISTOCENO				
		PLIOCENO	BETIJOQUE		LOS ELEMENTOS MAS DESTACADOS SON CAPAS DE CONGLOMERADOS MACIZOS, LA MAYOR PARTE DE LA UNIDAD CONSISTE DE ARCILLAS MACIZAS DE COLOR GRIS VERDOSO OSCURO QUE GRADA LOCALMENTE A PARDOS Y NEGRO	SU AMBIENTE DE SEDIMENTACION ESTA REPRESENTADO POR ABANCAOS FLUVIALES COALESCENTES Y LLANURAS DE INUNDACION
		MIOCENO	ISNOTÚ		PREDOMINANTEMENTE ARCILLAS, CON NUMEROSAS ARENSICAS INTERCALADAS Y CAPAS SUBORDINADAS DE ARCILLA LAMINAR, CARBON Y CONGLOMERADO	AMBIENTE NETAMENTE CONTINENTAL
			PALMAR		ARENSICAS DURAS AMARILLAS CON LAMINA DE LIGNITO, LUTITAS Y LUTITAS ARENSICAS, ALTERNAN CON NUMEROSAS CAPAS DE CARBON	SE PUEDE VERSE COMO VARIABLE ENTRE LAGUNAR, SALOBRE Y MARINO SOMERO
		OLIGOCENO	MUCUJÚN LEÓN		PRESENCIA DE ARCILLAS Y CON DELGADAS INTERCALACIONES DE LIMOLITAS LENTICULARES Y RARAMENTE ARENSICAS FINAS, LUTITAS CRISAS Y NEGRAS, BLANDAS, CON NUMEROSOS NEVELES DE CONCRECIONES DE ARCILLITA FERRUGINOSA	AMBIENTE NETAMENTE CONTINENTAL
		EOCENO	CARBONERA		ARCILLAS Y LUTITAS CRISAS Y NEGRAS, BLANDAS, CON NUMEROSOS NEVELES DE CONCRECIONES DE ARCILLITA FERRUGINOSA	AMBIENTE DE AGUAS SALOBRES DE SALINIDAD MODERADA, LUTITAS FERRUGINOSAS
		PALEOCENO	LOS CUERVOS		ARCILLAS Y LUTITAS CON CAPAS DE CARBON EN LA BASE Y ALGUNAS CAPAS DE ARENSICA A TRAVES DE LA SECCION	LOS SEDIMENTOS REPRESENTAN, BASICAMENTE, UN AMBIENTE DE AGUAS SALOBRES O SALINIDAD MODERADA, LUTITAS FERRUGINOSAS
			BARCO		ARENSICAS DE COLOR GRIS, ARCILLAS, DE GRANO MUY FINO A MEDIO, BIEN ESCOGADAS, LUTITAS Y LIMOLITAS INTERCALADAS	LA FORMACION BARCO REPRESENTA LA SECCION DEL TERCER ALTO DEL PARAGUAY, EN LA PARTE SUPERIOR
					TUBEROSAS Y LUTITAS CRISAS Y NEGRAS, BLANDAS, CON NUMEROSOS NEVELES DE CONCRECIONES DE ARCILLITA FERRUGINOSA	LA FORMACION BARCO REPRESENTA UN AMBIENTE DE AGUAS SALOBRES O SALINIDAD MODERADA, LUTITAS FERRUGINOSAS
MESOZOICO	CRETACICO	MAESTRICIENSE			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	APARENTEMENTE SE DEPOSITO EN UN AMBIENTE FLUVIAL DE AGUAS CUYA PROFUNDIDAD HA SIDO OBJETO DE MUCHA CONTROVERSI
		CAMPANIENSE	LA LUNA		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		SANTONIENSE			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		CONIACIENSE			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		TURONIENSE			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		CENOMANIENSE	CAPACHO		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		ALBIENSE	AGUARDIENTE		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		APTIENSE	APON		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		BARREMIENSE	RÍO NEGRO		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		NEOCOMIENSE			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
PALEOZOICO	MESOZOICO	JURASICO	LA QUINTA		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		TRIASICO			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		PERMIANO	PALMARITO		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
			SABANETA		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		CARBONIFERO	ASOCIACION		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		DEVONICO			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		SILURICO			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		ORDOVICICO			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		CAMBRIICO			ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	
		PRECAMBRICO	ASOCIACION		ARCILLAS Y LUTITAS CALCREAS PETIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGANICA LAMINADA Y FRAGMENTOS DE PLANTAS	

Figura 6. Columna estratigráfica regional.

Fuente: Cerrada y Mora, 2007

3.1.3. Aspectos climáticos

El área de estudio presenta un relieve, que origina una variedad de pisos climáticos, que se ubican entre los bosques húmedos y montano bajos, con una temperatura media anual de 18,95°C y 1747 mm de precipitación anual. Según las estadísticas climatológicas de Venezuela (PDVSA, 1993) citado por Chacón y Uzcátegui (2004), entre el periodo 1951-1990 se tienen los registros de temperatura y precipitación que pueden ser verificados en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Temperatura y precipitaciones de la ciudad de Mérida

Años	Temperatura media (°C)	Precipitación Total (Ppmm.)
51-60	18.7	1633
61-70	19.0	1714
71-80	18.9	1754
81-90	19.2	1887

Fuente: Estadísticas climatológicas de Venezuela, PDVSA (1993)

Citado en Chacón y Uzcátegui (2004)

La precipitación se caracteriza por la presencia de dos periodos lluviosos hacia la parte más elevada (hacia el norte), durante los meses de Abril, Mayo, Septiembre y Octubre, así como dos mínimos en los meses de Enero, Febrero, Julio y Agosto. Esto se debe a la doble influencia de los vientos alisios del noreste que atraviesan el cañón del río Chama y por el efecto del avance de la zona de convergencia intertropical en su movimiento hacia el norte. El promedio anual oscilante es de 1000 a 1700 mm/año según PDVSA (1993) en Carlini y Vera (2004).

Otro factor importante en las precipitaciones es un mecanismo que proviene del enfriamiento abrupto provocado por el aire frío de la montaña cuando baja hacia el valle, según un horario bastante regular. A menudo cuando llueve en la ciudad de Mérida las precipitaciones empiezan en el valle superior del Albarregas, el valle inferior del Mucujún y sobre la vertiente izquierda del valle del Chama.

3.1.4. Uso de la tierra y cobertura vegetal

La descripción del uso de la tierra y la cobertura vegetal, son tomadas de la Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos, Agropecuarios y Ambientales (UFORGA- ULA 1997). Las características generales de la vegetación natural están determinadas por las condiciones físico-naturales, fundamentalmente las de orden bioclimático y la exposición de las vertientes, así como por los usos particulares que históricamente han sometido al territorio. En el área de estudio la vegetación predominante es la siguiente:

- Bosque denso alto: Está integrado por formaciones vegetales de selva nublada y selva estacional montana. La selva nublada, se desarrolla principalmente en los ambientes de montaña, en el área de estudio se ubica entre los 1700 y los 3000 m.s.n.m. donde el factor pluviométrico no es limitante en ninguna época del año y las condiciones térmicas se corresponden con el piso mesotérmico. La selva estacional montana, está localizada a altitudes que van desde los 1000 hasta los 1700 m.s.n.m. Se encuentra representada por un bosque secundario con uno o dos estratos arbóreos; el superior entre 20 y 25 m. de altura y el inferior entre los 12 y 20 m. de altura.

En aquellos sectores en los que la vegetación boscosa original ha sido muy intervenida, quedan sólo algunas manchas de esta formación. Es así que en la vertiente derecha, la vegetación ha sido intervenida fuertemente para dar paso a la frontera agrícola y otras actividades económicas.

- Páramo y los afloramientos rocosos: Son caracterizados por una vegetación baja, casi rastrera, representada por musgos, helechos y arbustos. El frailejón (*Espeletiaschultzei*) es la especie más representativa, otras especies típicas del páramo son el romerito y el coloradito o indio desnudo. Estas especies cubren las partes altas de los Parques Nacionales Sierra Nevada y Sierra de La Culata, a partir de aproximadamente los 3200 m.s.n.m. en donde comienzan a dominar los afloramientos rocosos.

Esta formación vegetal, en la actualidad, está en su mayor parte protegidas bajo la figura jurídica de Parque Nacional, territorio administrado por el Instituto Nacional de Parques (INPARQUES) adscrito al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

- Pastos y cultivos: Se localizan dispersamente, coincidiendo con las áreas ocupadas por la actividad agrícola y ganadera extensiva semicomercial. Dentro de los pastos naturales también se incluyen aquellos pastizales que tienen escaso aprovechamiento ganadero.

Frecuentemente, en épocas de sequía, los pastos naturales y otras formaciones vegetales son sometidos a quemas cuyas consecuencias se traducen en pérdidas de la cobertura vegetal y en procesos iniciales de degradación de los suelos. Los cultivos por lo general son de pequeñas dimensiones en las zonas de contacto entre la poligonal urbana y las áreas bajo régimen de administración especial, así como en las zonas periféricas al casco urbano de la ciudad de Mérida.

- Áreas urbanas y rurales, resaltan el área urbana de la ciudad de Mérida, así como contiguas comunidades rurales o en transición hacia lo urbano, localizadas en las vertientes que comunican el casco urbano capital con las áreas rurales de los pueblos del sur, la zona panamericana y la zona del páramo. La dinámica del área de estudio principalmente en su ámbito urbano para el periodo 1952 – 2009, se puede apreciar en la Figura 7.

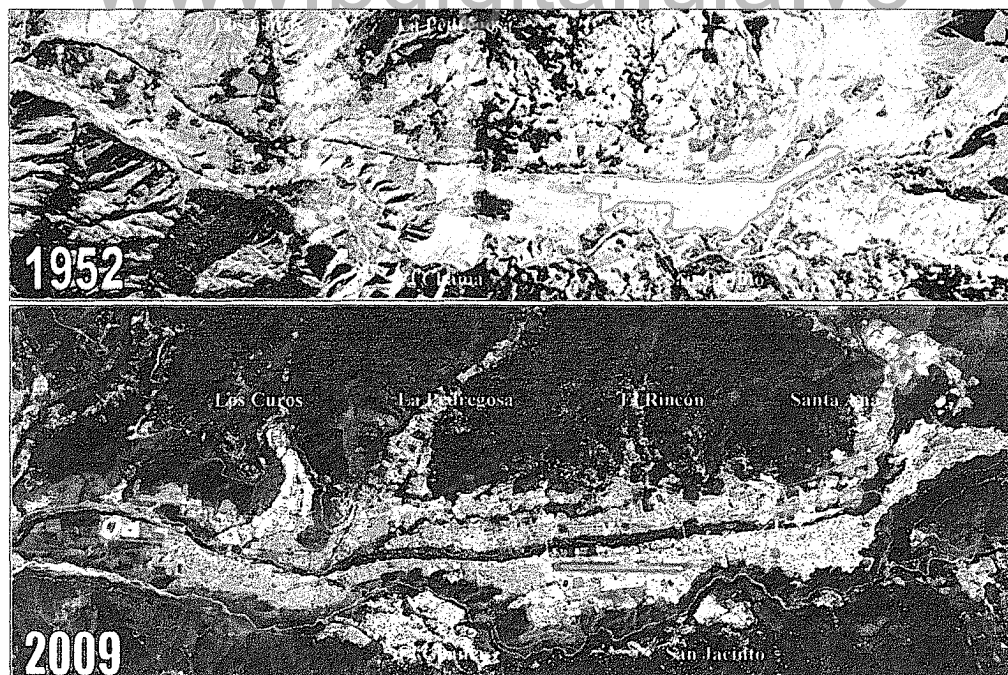


Figura 7. Cambios espaciales en la ciudad de Mérida en el periodo 1952 – 2009

Fuente: Foto aérea Misión A34 (1952) Escala 1:35000 e imagen Spot 5 2,5 m. (2009)

- Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE): En el área de estudio existen los Parques Nacionales Sierra Nevada y Sierra de La Culata. Estas ABRAE son áreas que de acuerdo a sus peculiares características ecológicas y paisajísticas, han sido protegidas mediante figuras jurídicas, confiriéndoles regímenes de administración especial. Son unidades del territorio, donde los usos y actividades que puedan establecerse están sometidos a limitaciones y restricciones, a fin de garantizar la conservación, defensa, mejoramiento del ambiente y de los recursos naturales renovables y además de la prestación de servicios ambientales. En consecuencia, son áreas de manejo ambiental estratégico sancionadas para la protección de ecosistemas de alta fragilidad físico-natural y sociocultural en la entidad (UFORGA -- ULA, 1997).

Las ABRAE son a su vez, ecosistemas que permanecen relativamente inalterados o no han sido afectados significativamente por la acción del hombre. Las actividades permisibles están contempladas en los correspondientes planes de ordenamiento y reglamento de uso, sobresaliendo las actividades referidas a la conservación e investigación, así como turísticas recreacionales de bajo impacto.

De acuerdo con el análisis de las condiciones físico -- naturales y de amenazas naturales elaborado por UFORGA -- ULA (1997), estas áreas corresponden a zonas de alta y muy alta sensibilidad a la intervención, ya normadas por figuras legales específicas. Por estas razones, no presentan terrenos susceptibles de ser destinados al emplazamiento de actividades económicas concentradas, salvo aquellas que de acuerdo a su naturaleza científica, cultural, recreacional y artesanal no rompen con las disposiciones establecidas en los planes de ordenamiento y en los reglamentos de uso, aprobados y en vigencia.

También resalta en el área bajo estudio, la Zona Protectora Decreto 1.379. publicado en Gaceta Oficial 30.186 del 22 -- 08 -- 1973; el Área Crítica con Prioridad de Tratamiento Decreto 194 publicada en Gaceta Oficial 31.170 del 03 -- 07 -- 1979, y el Parque Metropolitano Albarregas Decreto 1.515 Gaceta Oficial 32.492 del 09 -- 06 -- 1982, todas en la cuenca del río Albarregas.

3.1.5. Hidrografía

La red hidrográfica principal de la zona está compuesta por los ríos Mucujún, Albarregas, Chama y sus afluentes, que se han encargado de modelar la terraza. Esta red hidrográfica presenta un control estructural ocasional, siendo el caso más representativo el del río Albarregas que sigue la traza de la falla que controla la dirección de su cauce.

Entre los principales afluentes que conforman el área de estudio y que drenan a los ríos Chama y Albarregas están: La Fría de El Arenal, San Jacinto, El Volcán, La Perla, La Fría de El Chama, La Astillera, Milla, El Rincón, La Resbalosa, La Pedregosa, Gavidia, La Negra y Carvajal. Algunas características se presentan a continuación.

Para interpretar la dinámica de las geoformas depositacionales y el relieve de la zona de captación y transporte, se calculan algunos datos de las principales subcuencas analizadas en la zonificación de las áreas susceptibles a movimientos de masa. Los datos son obtenidos a partir de las curvas de nivel subíndices con equidistancia de (20 m.) de la cartografía a escala 1:25000 que cubre el área de estudio. Una de las características importantes que reflejan las cuencas del área de estudio, son los cambios en la pendiente a lo largo de su cauce principal, manifestándose caídas o cascadas y zonas depositacionales en los conos y abanicos aluviales, así como cambios en la dirección del drenaje. Estas características se observan en el Cuadro 7 y Figura 8 elaboradas para este estudio.

Cuadro 7. Datos morfométricos de las subcuencas más importantes del área de estudio.

Superficie (Km ²)	Perímetro (m.)	Nombre de la Subcuenca	Cota max. m.s.n.m.	Cota min. m.s.n.m.	Longitud Cauce (m.)
8,75	19580	Milla	3200	1624	8241
4,94	10030	El Rincón	2200	1523	3942
40,24	31410	La Pedregosa	3800	1283	14815
9,26	16200	Carvajal	2800	1210	7675
38,01	34900	Albarregas	3900	1624	14031
3,42	10700	La Perla	3100	1398	4723
9,86	16473,9	La Fría El Arenal	4100	1400	9419
5,07	12748,79	El Volcán	2920	1490	5052
14,3	20189	San Jacinto	3600	1380	7530
37,14	29378	La Fría de El Chama	3520	1160	11197
14,90	21513	La Astillera	3440	1135	10045

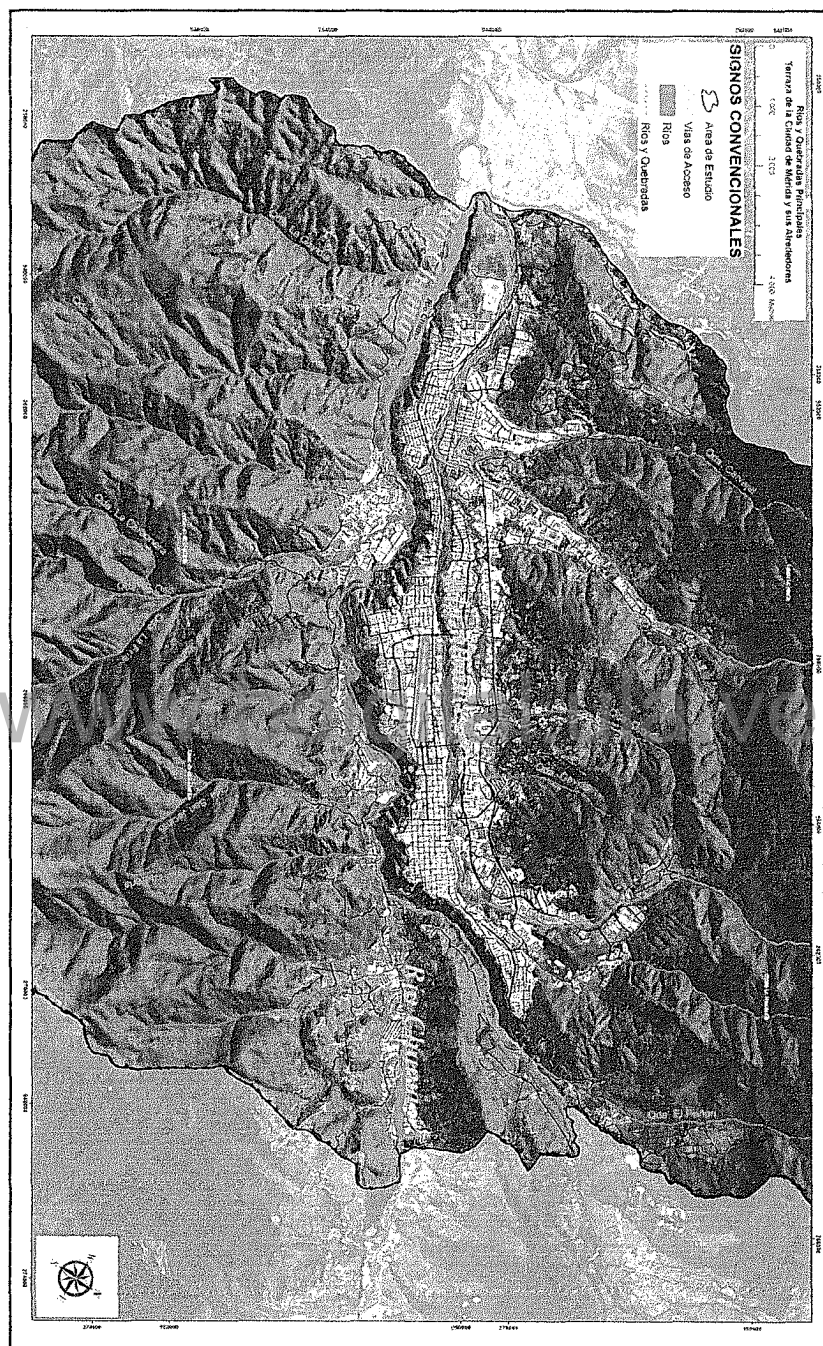


Figura 8. Imagen de la hidrografía más importante del área de estudio
Fuente: Dirección de Cartografía Nacional. Hoja 5941, Escala 1:100.000,
(1979) e Imagen Spot 2.5 m. de resolución espacial, año 2009
(Mapa reducido de la versión original)



CAPÍTULO IV

CAPITULO 4. EVALUACIÓN METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS SUSCEPTIBLES A MOVIMIENTOS DE MASA

Para efecto de las aplicaciones geomáticas propuestas en este trabajo, se utilizó la información básica y temática disponible en bancos de datos levantados por varias instituciones e investigadores. Partiendo de este objetivo, el trabajo de investigación se realizó a través de los siguientes materiales y métodos:

4.1. Información cartográfica e imágenes de percepción remota utilizadas

La información cartográfica, satelital y aerofotogramétrica, útil para la aplicación de técnicas geomáticas en este trabajo son presentadas en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Información cartográfica e imágenes de percepción remota

Mapas	Datos	Escala/ Resolución	Año/Fecha de Colecta	Fuente	Formato
Hipsometría	Curvas de Nivel	1:25.000	1976-1979	Cartografía Nacional	Vector
Hipsometría	Curvas de Nivel	1:5.000	1996	INPRADEM	Vector
Geología	Litologías	1:25.000	2008	INGEOMIN	Matricial
Geología	Litologías	1:25.000	1990	UCV Escuela de Geología y Geofísica	Matricial
Geología	Litologías	1:25.000	2008	ULA Escuela de Geología	Vector
Geología	Litologías	1:15.000	1976	Ministerio de Obras Públicas	Matricial
Lineamientos Geológicos	Estructuras / Fallas	1:15000	2008	INGEOMIN	Vector
Geomorfología	Unidades Geomorfológicas	1:15.000	2004	ULA Escuela de Geología	Vector
Movimientos de Masa	Inventario	1:25.000	2008	INPRADEM	Vector
Usos de la Tierra y Cobertura Vegetal		1:5.000	2008	INPRADEM	Vector
Ortofotomapas	Pixel	1:5.000	1996	INPRADEM	Matricial
Fotos Aéreas	Pixel	1:5000-	1996	INPRADEM	Matricial

		1:80001:65000- 1:40000-1:35000	1996 1952	Ministerio del Ambiente Mérida	
Imagen Spot 5	Pixel	2,5 m (PAN) 10 m (Multispectral)	2009 01 11	LPAIS -- CPDI	Matricial
Imagen Aster	Pixel	Sintética	2003	LFSR -- ULA	Matricial
Imagen Landsat ETM+006/054	Pixel	15 m (PAN) 30 m (Multispectral)	20010616	ORTHO, GEOCOVER NASA Landsat Program	Matricial

El área bajo estudio se corresponde con la superficie cubierta por la información cartográfica existente a escala 1:5000 en la cual las curvas de nivel fundamentales para la mayoría de los análisis cartográficos y la elaboración del mapa base delimitan la zona bajo análisis. Teniendo el área de estudio delimitada, se dio inicio a la evaluación, selección y actualización de los parámetros o factores condicionantes que tienen mayor influencia en la ocurrencia de movimientos de masa.

Con el algoritmo de la metodología AHP la cual se detalla más adelante, se calcularon los parámetros para la construcción del mapa de zonificación de la susceptibilidad a movimientos de masa del área de estudio. Para este mapa se usaron 5 niveles de susceptibilidad correspondientes a su vez a 5 pesos asignados (muy alto (5), alto (4), moderado (3), bajo (2) y muy bajo (1)). Cada capa de información cartográfica considerada como condicionante, tiene una base de datos que describe las características de las variables consideradas como condicionantes en el análisis de la susceptibilidad a movimientos de masa. En función de estas características físicas de cada variable, fueron asignados pesos para cada nivel de susceptibilidad. Es importante acotar que la ponderación o pesos asignados a las capas de información consideradas como condicionantes fue hecha a través de criterios basados a la experiencia de campo y el conocimiento de los condicionante físicos seleccionados en este trabajo. Esta acotación se realiza debido a que en principio se realizó una entrevista a expertos para conocer cuál era su opinión en cuanto a los pesos que ellos usarían en caso de superponer y ponderar los condicionantes bajo estudio y debido a que los pesos sugeridos por el grupo especialistas no permitían un buen ajuste del método AHP y su razón de

consistencia. En tal sentido y luego de aplicar el modelo bajo la plataforma SIG con varios pesos a las variables físicas consideradas condicionantes, se optó por usar una asignación de pesos acorde al conocimiento de campo y la experiencia del autor, reflejando una razón de consistencia más aceptable. Estos pesos se muestran posteriormente en la aplicación del método AHP y se realiza una tabla síntesis para dar a conocer los pesos utilizados.

Los mapas de factores condicionantes con la asignación de pesos según las características particulares de cada variable y que son utilizados en el método AHP se muestran a continuación:

4.1.1. Mapas base: Inicialmente se elaboró el mapa topográfico a través de la información vectorial existente sobre las capas referentes a hidrografía, vialidad, topónimos y curvas de nivel, en la cual esta última, sirvió de base para la elaboración de los mapas de sectores o rangos de elevación del terreno, la construcción de un modelo digital de elevación (MDE) y derivar los rangos de pendiente siguiendo las extensiones de análisis existente en el programa utilizado. Dentro de estas bases topográficas resaltan las capas facilitadas por el Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del Estado Mérida a escala 1:5.000 con equidistancias de curvas de nivel de 5 m. y la información a escala 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional 1976 – 1979 con curvas de nivel con equidistancia de 20 m. La topografía fue un factor útil para la interpretación de los rangos de pendiente, la representación hidrográfica y geomorfológica, así como la elaboración de un modelo de elevación digital del terreno con resolución espacial de 5 metros fundamental para la sectorización de las pendientes y el análisis de la información.

4.1.2. Mapa de rangos de pendiente: La inclinación de las vertientes o taludes aumenta la geodinámica de los procesos geomorfológicos, en tal sentido el análisis de las pendientes, es un elemento fundamental para evaluar la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa. La inclinación topográfica aumenta la acción geodinámica de los procesos modeladores de la superficie terrestre y en consecuencia, establece en alto grado la mayor susceptibilidad de un espacio dado de inclinación considerable. En un ambiente montañoso la pendiente es fundamental al momento de

determinar áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa. En tal sentido, y con la ayuda de técnicas de superposición y el método AHP bajo plataforma SIG, se analizan las relaciones entre los niveles de susceptibilidad a movimientos de masa y los rangos de pendiente propuestos, a partir del análisis de los siguientes rangos de pendiente, los cuales se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Niveles de susceptibilidad según pendiente

Niveles de Susceptibilidad	Sectores de Pendiente	Ponderación	Descripción y Características
Muy Alto	$> 45^\circ$ ($> 100\%$)	5	Extremadamente Inclinado
Alto	$30 - 45^\circ$ ($58 - 100\%$)	4	Muy Inclinado
Moderado	$15 - 30^\circ$ ($27 - 58\%$)	3	Moderadamente Inclinado
Bajo	$5 - 15^\circ$ ($9 - 27\%$)	2	Poco Inclinado
Muy Bajo	$< 5^\circ$ ($< 9\%$)	1	Plano - Muy Plano

4.1.3. Mapa de geología: Para la superposición cartográfica de los condicionantes involucrados en el análisis y zonificación de las áreas susceptibles a ocurrencia de movimientos de masa, se analizaron las características generales de las unidades litológicas y los alineamientos geológico-estructurales interpretados, como insumos de interés para la interpretación cartográfica, tal como se muestra en el Cuadro 10.

Este condicionante geológico fue apoyado en la interpretación y procesamiento del material acrofotogramétrico y proveniente de sensores remotos, a escalas anteriormente mencionadas.

La aplicación de técnicas de combinación de bandas en el rango del visible, mejoramiento de contrastes y filtros (paso alto) sobre las imágenes, permitieron apoyar la interpretación de las fallas geológicas y el inventario de los movimientos de masa.

Cuadro 10. Niveles de susceptibilidad según geología

Niveles de Susceptibilidad	Geología	Ponderación	Descripción y Características
Muy Alto	Taludes en Depósitos Aluviales	5	Material suelto en taludes, áreas de acumulación de sedimentos o coluviones y contactos entre depósito aluvial y vertientes-taludes.
Alto	Formaciones (La Quinta, Palmarito y Mucujún)	4	Roca blanda poco resistente. Arcillas. Estratos de areniscas y limonitas muy diaclasadas.
Moderado	Formación Granodiorita del Carmen	3	Predominio de roca blanda con intercalaciones de roca resistente muy fracturada.
Bajo	Formación Sabaneta y Asociación Sierra Nevada	2	Predominio de roca masiva resistente con intercalación de rocas menos resistentes. Roca masiva resistente, Gneis, granito.
Muy Bajo	Depósitos Cuaternarios	1	Material sedimentario dentro de la Terraza de la ciudad de Mérida y en abanicos aluviales, ambos retirados de áreas de taludes.

4.1.4. Mapa de geomorfología (Posiciones geomorfológicas y procesos): Se usó una representación cartográfica contentiva de las unidades o posiciones geomorfológicas interpretadas y un inventario de los movimientos de masa, en la cual se resalta la fotointerpretación de las imágenes de satélite y ortofotomapas y el apoyo de datos obtenidos en campo. Se utilizó como base levantamientos geomorfológicos elaborados para el área de estudios a escalas 1:15.000 y 1:25.000 por el Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del Estado Mérida.

El inventario de movimientos de masa es uno de los documentos cartográficos que apoyó la caracterización de los procesos geomorfológicos presentes en el área bajo estudio, en tal sentido el inventario existente pasó por una fase de chequeo con el uso de técnicas de procesamiento digital de las imágenes de satélite, ortofotomapas y fotografías aéreas de diferentes fechas y escalas. El mismo se contribuyó con la

identificación, actualización y posterior representación cartográfica de los procesos de remoción en masa y sirvió de base para comparar el desempeño de la zonificación de niveles de susceptibilidad, a partir del método de las jerarquías analíticas AHP el cual se describe posteriormente. Las características generales de las unidades geomorfológicas y la asignación de pesos se exponen en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Niveles de susceptibilidad según posiciones geomorfológicas

Niveles de Susceptibilidad	Posición Geomorfológica	Ponderación	Descripción y Características
Muy Alto	Taludes	5	Formas del relieve extremadamente inclinadas que representan cortes y desniveles considerables, compuestas por sedimentos no consolidados e inestables.
Alto	Vertientes	4	Topografía inclinada y muy inclinada con desniveles considerables.
Moderado	Colinas	3	Las colinas son formaciones intermedias de forma redondeada y aplanada en sus cimas colindantes con vertientes y zonas bajas.
Bajo	Abanicos Aluviales Conos de Deyección	2	Depósitos aluviales sobresalientes, de poca pendiente en contacto con terrazas y vertientes Constituyen un conjunto de transición entre las vertientes propiamente dichas y los depósitos aluviales que ocupan el fondo del valle.
Muy Bajo	Terraza Cono Terrazas Lechos	1	Depósitos coluvio-aluviales altos, con espesores considerables de topografía plana a suavemente inclinadas, bordeados por taludes y vertientes. Lechos de río en los fondos de valle.

4.1.5. Mapa de usos de la tierra y cobertura vegetal: Para la aplicación de las técnicas geomáticas, se consideró la capa de información espacial referente al uso de la tierra y cobertura vegetal, debido a que el autor cree que existe una relación importante entre la activación de movimientos de masa, el tipo cobertura de la tierra y el uso que el factor antrópico le da a los suelos. En este análisis se asume que un suelo totalmente cubierto por una masa boscosa es más estable y menos susceptible a la activación de

procesos geomorfológicos y que las zonas desprovistas de vegetación poseen en consecuencia mayor susceptibilidad a la activación de movimientos de masa.

Este mapa se obtuvo a partir de ortofotomapas de Protección Civil Mérida, a escala 1:5000 del año 1996, existentes para toda la superficie que se extiende por debajo de la línea de los Parques Nacionales Sierra de La Culata y Sierra Nevada de Mérida y fue actualizado y completado hasta las líneas divisorias de aguas en la cabecera de las subcuencas que cubren el área de estudio, con el uso de las imágenes de satélite; Aster (2003) y Spot 5 (2009).

En la elaboración de esta capa cartográfica temática se realizó una interpretación analógica y posteriormente el tratamiento digital de las imágenes anteriormente descritas, lo cual permitió separar las unidades de cobertura vegetal e identificar el uso general que se le da a estos espacios. Las características que permiten agrupar el uso de la tierra y la cobertura vegetal en unidades homogéneas y asignarles ponderaciones se muestran en el Cuadro 12.

www.bdigital.ula.ve

Cuadro 12. Niveles de susceptibilidad según uso general de la tierra y cobertura vegetal

Niveles de Susceptibilidad	Cobertura vegetal y uso general de la tierra	Ponderación	Descripción y Características
Muy Alto	Suelo desnudo – descubierto Afloramiento rocoso, Lechos secos de cauce	5	Suelos intervenidos cuya recuperación de vegetación secundaria no ha podido regenerarse. Áreas con presencia de afloramientos rocosos asociados a aspectos ambientales, que impiden el crecimiento de vegetación. Áreas descubiertas de vegetación y sin uso, en ocasiones sin capa de suelo, totalmente degradadas, con procesos geomorfológicos y movimientos de masa activos. Afloramientos rocosos con presencia de diaclasas.
Alto	Cultivos, Pastos naturales - gramíneas	4	Áreas agrícolas con alto grado de intervención, cultivos sin técnicas de conservación de suelos. Pastos naturales. Áreas utilizadas para pastoreo y espacios abiertos con presencia de gramíneas (sin presencia abundante de cobertura arbórea). Susceptibles a los procesos erosivos y la activación o reactivación de movimientos de masa.
Moderado	Asociaciones vegetales de bosques y matorrales intervenidos. Usos urbanos.	3	Se incluyen las áreas ocupadas por usos urbanos, los cuales tienen influencia sobre la dinámica de los movimientos de masa, así como las asociaciones de matorrales y árboles dispersos. Se corresponde con áreas que presentan una mezcla de usos agrícolas y construcciones dispersas principalmente en relieve de vertientes y colinas.
Bajo	Bosque medio, ralo e intervenido parcialmente, Arbustal/Matorral	2	Áreas cubiertas por vegetación intervenida por usos agrícolas, la vegetación predominante es el arbusto y plantas menores de la sucesión secundaria. Se incluyen las plantaciones forestales de pino y la condición singular de la vegetación de páramo. Algunas manchas de bosque medio, ralo e intervenido en áreas de taludes, vertientes y colinas.
Muy Bajo	Bosque denso	1	Involucra el bosque denso primario distribuido en la parte alta de las subcuencas, resaltantes en algunas vertientes de los parques nacionales.

4.2. Aplicación de las técnicas de geoprocésamiento

El método se fundamentó en el hecho de considerar a la ocurrencia de los movimientos de masa, como un fenómeno que se produce bajo una combinación de las condiciones físicas mencionadas anteriormente y asume que existen altas posibilidades de colapsos potenciales en los sitios en donde esas combinaciones se repiten. Para ello, se aplican algunas herramientas geomáticas para apoyar la zonificación, específicamente el AHP el cual se realizó desde las herramientas del Sistema de Procesamiento de Informaciones Georeferenciadas (SPRING).

La aplicación de técnicas geomáticas en esta investigación, tuvo como objetivo, determinar, de acuerdo con la concatenación de algunos condicionantes de la susceptibilidad predefinidos, aquellas zonas que muestran una propensión al desarrollo de movimientos de masa, en las vertientes y demás geoformas que cubren la ciudad de Mérida, a una escala 1:40.000.

En el AHP se desarrolla una matriz de comparación por pares de factores empleando una escala con valores de 1 a 9 para valorar la preferencia entre dos factores (Cuadro 13). Exige la definición de los pesos de cada factor condicionante, a través de un análisis pareado. Esta técnica requiere del conocimiento del área de estudio, para disminuir la incertidumbre relacionada con el grado de importancia relativa entre las variables bajo análisis. En SPRING, el módulo de análisis espacial permite calcular automáticamente los autovalores de la matriz de pesos, los cuales corresponden a las ponderaciones de los factores tomados en consideración y la razón de consistencia (RC) que es un parámetro que indica la coherencia en las opiniones y que debe ser menor que 0,10. Una vez conocida a través de entrevistas a juicio de expertos y ponderadas las capas consideradas como factores condicionantes, se aplicó el método reiteradas veces asignando varios pesos obteniéndose como resultados salidas cartográficas que reflejan la susceptibilidad. Sin embargo, fue el conocimiento de campo y la asignación final de los pesos que se muestra posteriormente en el punto 4.2.1. (Asignación de pesos bajo el método AHP), el que mejor razón de consistencia reflejó. De esta manera fueron procesados los factores condicionantes: Pendiente, Geología, Geomorfología y Uso de la Tierra y Cobertura Vegetal, para obtener una representación cartográfica sobre los

niveles de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa. Vale la pena resaltar que algunos paquetes o programas de Sistema de Información Geográfica poseen los asistentes o algoritmos necesarios para correr estas metodologías en formato raster.

Cuadro 13. Escala AHP de comparaciones pareadas

Intensidad de importancia	Definición y explicación
1	Igual importancia. Los dos factores contribuyentes igualmente.
3	Moderada importancia. Un factor es ligeramente más importante que otro.
5	Fuerte importancia. Un factor es claramente más importante que otro.
7	Importancia Muy fuerte. Un factor es fuertemente favorecido y su mayor relevancia fue demostrada en la práctica.
9	Importancia extrema de un elemento sobre otro. La diferencia entre los factores es del mayor orden posible.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre intensidades. Posibilidad de compromisos adicionales.

Fuente: Saaty (1980), Barredo (1996) y Cámara et al, (2001)

4.2.1. Asignación de pesos bajo el método AHP

Con base a la aplicación del método de jerarquías analíticas AHP, en el Cuadro 14, se muestra la matriz de comparación entre los factores condicionantes bajo análisis, la normalización de los valores de cada atributo (factor condicionante), el cálculo de los pesos correspondiente para cada factor condicionante y la razón de consistencia de los pesos.

Cuadro 14. Normalización de valores, asignación de pesos y razón de consistencia de los datos

Método de Jerarquías Analíticas AHP

Matriz de comparación

Atributo	Pendiente	Geología	Geomorfología	Uso y vegetación
Pendiente	1,00	1,00	3,00	5,00
Geología	1,00	1,00	5,00	5,00
Geomorfología	0,33	0,20	1,00	3,00
Uso y vegetación	0,20	0,20	0,33	1,00
Sumatoria	2,53	2,40	9,33	14,00

Matriz de normalización

Atributo	Pendiente	Geología	Geomorfología	Uso y vegetación	PESO
Pendiente	0,39	0,42	0,32	0,36	0,37
Geología	0,39	0,42	0,54	0,36	0,43
Geomorfología	0,13	0,08	0,11	0,21	0,13
Uso y vegetación	0,08	0,08	0,04	0,07	0,07
Sumatoria	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Software de Apoio à Decisão (AHP)

Critério		Peso		Critério	
PEND	1	Igual	GEOL	<=>	
PEND	3	Algo Melhor	GEOM	<=>	
PEND	5	Melhor	COBUSE	<=>	
GEOL	5	Melhor	GEOM	<=>	
GEOL	5	Melhor	COBUSE	<=>	
GEOM	3	Algo Melhor	COBUSE	<=>	
		Igual		<=>	
		Igual		<=>	
		Igual		<=>	
		Igual		<=>	

Razão de Consistência: 0.043

Calcular Peso Fechar Ajuda

Estimación de razón de consistencia

Atributo	PASO A	PASO B
Pendiente	1,537	4,127
Geología	1,805	4,238
Geomorfología	0,545	4,068
Uso y vegetación	0,273	4,055

Promedio del vector de consistencia

LANDA $\hat{\lambda}$ =	4,123
Índice de Consistencia	
CL =	0,041
Razón de Consistencia	
CR =	0,043

Relación o Razón de Consistencia CR (0,043) < 0,10

Modificado de Ramírez, N. y Saito, S. 2011

El procedimiento y aplicación del método AHP se efectuó bajo el sistema SPRING. Los mapas escogidos para la superposición fueron insertados en la herramienta de soporte de decisión AHP, en el cual fueron atribuidos los criterios de importancia para cada mapa, donde la razón de consistencia final fue de 0,045. (Apéndice A).

Después de esta etapa, fue generado un “*Script*” con extensión .alg disponible en SPRING y se realizó la programación de análisis cartográfico en el lenguaje espacial para geoprocésamiento algebraico (LEGAL). (Apéndice B).

De este procesamiento se obtuvo como resultado una matriz numérica referente a la media ponderada de las variables analizadas. Luego, se realizó una división por intervalos de las matrices ponderadas, en el cual fueron creadas las clases jerárquicas de los niveles de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa y descritas de manera general sus características generales, tal como se muestra en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Niveles de susceptibilidad a movimientos de masa

Niveles de susceptibilidad	Características generales
Muy Alta	Relieve extremadamente inclinado $> 45^{\circ}$ ($> 100\%$) fuertes condicionantes para la generación de movimientos de masa. Material suelo en taludes, áreas de deposición y contactos entre depósito aluvial y vertientes-taludes. Baja calidad relativa de las rocas aflorantes. Presencia de movimientos de masa activos. Restricciones asociadas a borde de taludes muy inclinados e inestables. Usos de la tierra y vegetación que intervienen significativamente en la dinámica de los procesos geomorfológicos, la consecuente ocurrencia de movimientos de masa. Vertientes y taludes en zonas de falla. Alto potencial de ocurrencia de movimientos de masa durante eventos hidrometeorológicos intensos y prolongados. Muy fuertes restricciones para su ocupación.
Alta	Relieve muy inclinado. $30 - 45^{\circ}$ ($58 - 100\%$). Roca blanda poco resistente. Áreas inmediatas a los procesos geomorfológicos activos. Restricciones asociadas a borde de taludes inclinados e inestables. Usos de la tierra y vegetación que intervienen relativamente en la dinámica de los procesos geomorfológicos, la consecuente ocurrencia de movimientos de masa. Vertientes en zonas de falla. Fuertes restricciones para su ocupación.
Moderada	Relieve de pendiente moderadamente inclinada. Comprendidos entre $15 - 30^{\circ}$ ($27 - 58\%$). Predominio de roca blanda con intercalaciones de roca resistente. Moderados procesos geomorfológicos en ocasiones controlados por la vegetación. Posiciones geomorfológicas intermedias, medianamente retiradas de bordes de taludes. Usos de la tierra y vegetación que no intervienen representativamente en la dinámica de los movimientos de masa. Restricciones considerables para su ocupación que ameritan evaluación geotécnica.
Baja	Relieve poco inclinado con rangos entre $5 - 15^{\circ}$ ($9 - 27\%$). Predominio de roca masiva resistente con intercalación de rocas menos resistentes. Áreas retiradas de taludes y de superficies de ruptura o fallas, con pocas posibilidades de ocurrencia de movimientos de masa y sin presencia de procesos geomorfológicos. Posiciones geomorfológicas medias y superiores de los fondos de valle y depósitos aluviales. En ocasiones cubierta de vegetación arbórea abundante, poco intervenida y con condiciones de relativa estabilización sobre las vertientes o taludes. Pocas restricciones para su ocupación y desarrollo.
Muy Baja	Relieve plano con gradientes inferiores a 5° ($< 9\%$) pero sobre posiciones geomorfológicas altas o superiores dentro de la terraza de la ciudad de Mérida y sobre secciones de abanicos aluviales. Zonas bastante retiradas de los bordes de taludes, de las superficies de ruptura y vertientes con pendiente abrupta, así como distantes a zonas de contacto coluvio aluvial con presencia de movimientos de masa activos. Material sedimentario dentro de la Terraza de la ciudad de Mérida en posiciones geomorfológicas altas y estables. Vegetación arbórea muy abundante, sin intervención y alta condición forrajera y protectora a los agentes meteorológicos desencadenantes. Áreas sin restricciones para la ocupación.

Posteriormente, se realizó la comparación gráfica y porcentual entre los factores físico naturales condicionantes, los niveles de susceptibilidad obtenidos en el resultado del proceso AHP y el inventario de movimientos de masa. Con el uso de la interpretación y análisis cartográfico de los resultados, se obtuvo la zonificación definitiva de la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa en cinco niveles siguiendo el esquema metodológico que como se muestra en la Figura 9.

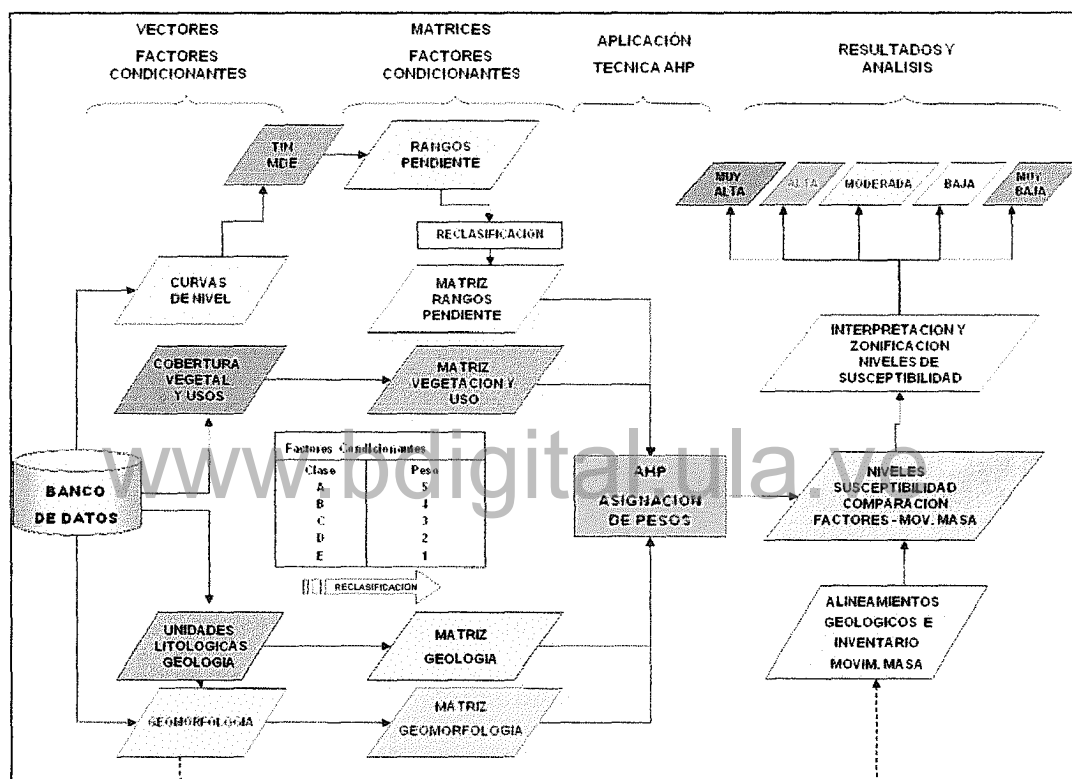


Figura 9. Geoprocésamiento y obtención de resultados

El proceso mediante el cual se emplean pesos a cada clase en cada una de los mapas de factores condicionantes, se conoce como procesos de reclasificación y su aplicación y asignación de pesos cuantitativos es fundamental para el método AHP, el cual se aprecia en el ejemplo para el condicionante: Rangos de Pendientes, en la Figura 10.

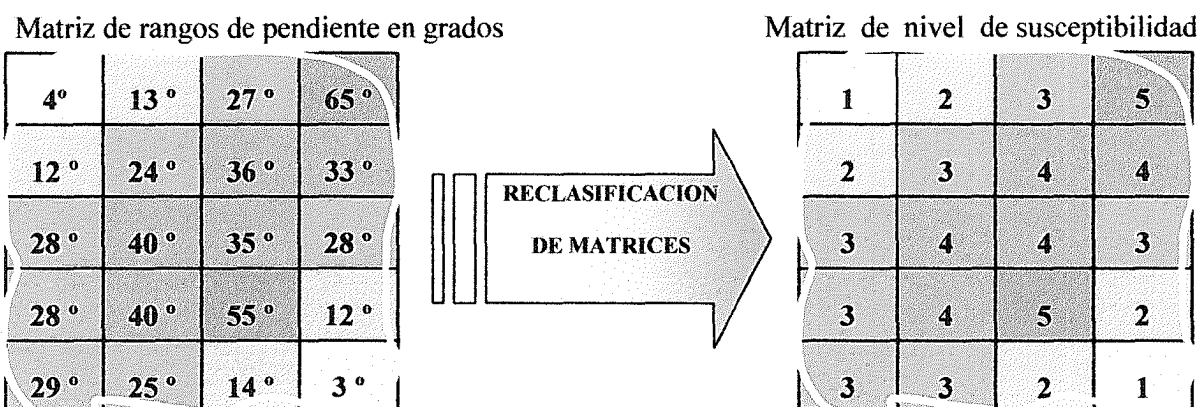


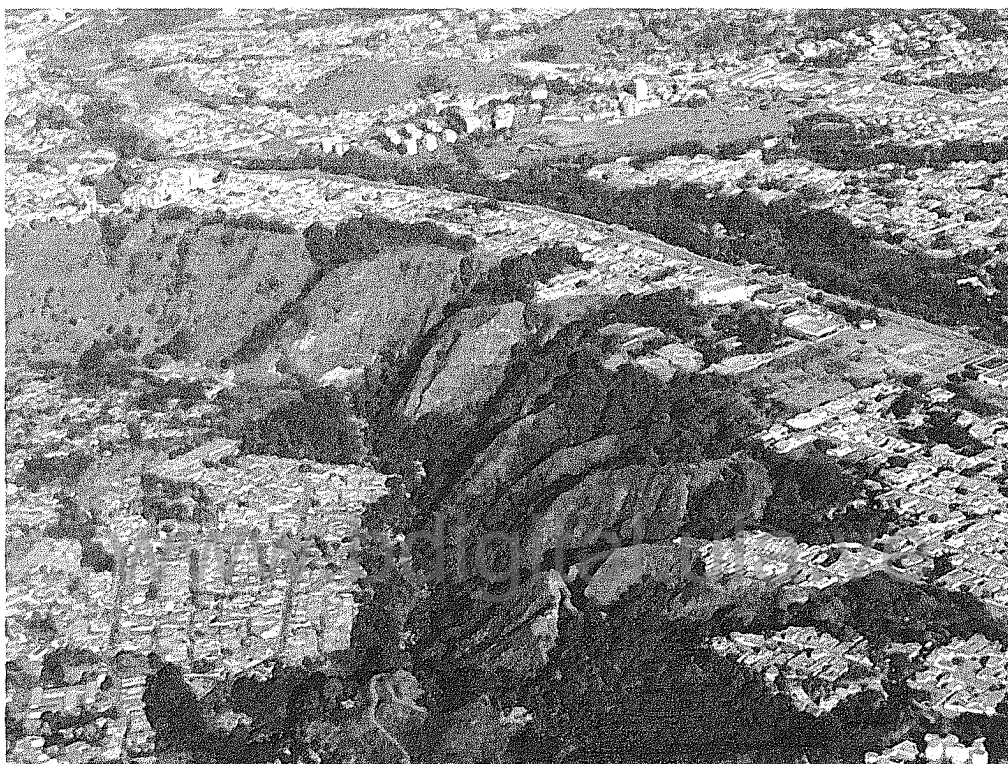
Figura 10. Reclasificación de mapas y asignación de pesos al condicionante: rangos de pendiente.

Fuente: Modificado de Ramírez, N. y Saito, S. 2011

Tal como se puede apreciar en el proceso de reclasificación, se sustituye el valor individual por un nuevo valor agrupado a través de cinco intervalos, correspondientes a los cinco rangos de pendientes establecidos para separar las formas del relieve y la topografía.

Una vez ponderadas y procesadas las capas cartográficas consideradas condicionantes a través del método AHP, se realiza la correlación de cada una de las capas con el inventario de los movimientos de masa interpretados y visitados en campo, obteniéndose el porcentaje de movimientos de masa presentes en cada una de los condicionantes: rango de pendiente, unidad geológica, posición geomorfológica y cobertura vegetal – uso general de la tierra. Estos resultados son mostrados a continuación en capítulo siguiente referente a los resultados y análisis.

La interpretación de los movimientos de masa fue realizada sobre fotografías aéreas e imágenes de satélite a diversas escalas o resoluciones especiales respectivamente tal como se mostró en el cuadro 8. Las fotos aéreas datan desde 1952 en la misión A-34 las cuales reposan en el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo, Hábitat y Vivienda, así como fotos de las misiones 010486; 010493 levantadas por INPRADEM para el año 1996. Esta interpretación de los movimientos de masa es mostrada a continuación como el resultado cartográfico que permitió validar la aplicación del método AHP a través de la correlación con los factores condicionantes.



CAPITULO V

CAPITULO 5. RESULTADOS Y ANALISIS

En este capítulo se muestra parte del material fundamental para inventariar los movimientos de masa dentro del área de estudio, para ello se utilizan fotografías aéreas a diversas escalas, ortofotomapas de alta resolución espacial, imágenes de satélite Spot 5 y Aster, y un registro fotográfico de los procesos inventariados por INPRADEM.

5.1. Inventario de los movimientos de masa

La mayoría de los movimientos de masa son interpretados de manera digital a través de la vectorización y representación cartográfica sobre las imágenes satelitales y ortofotomapas existentes y posteriormente se ubican a través de coordenadas de sistemas de posicionamiento global tomados en campo y cartografía georeferenciada. Algunos de los movimientos de masa fueron interpretados a través de pares estereoscópicos y ortofotos a escala 1:1.000, 1:5.000, 1:8.000, 1:40.000 y 1:65.000 dependiendo del cubrimiento y las dimensiones. El material aerofotogramétrico se muestra en la Figura 11.

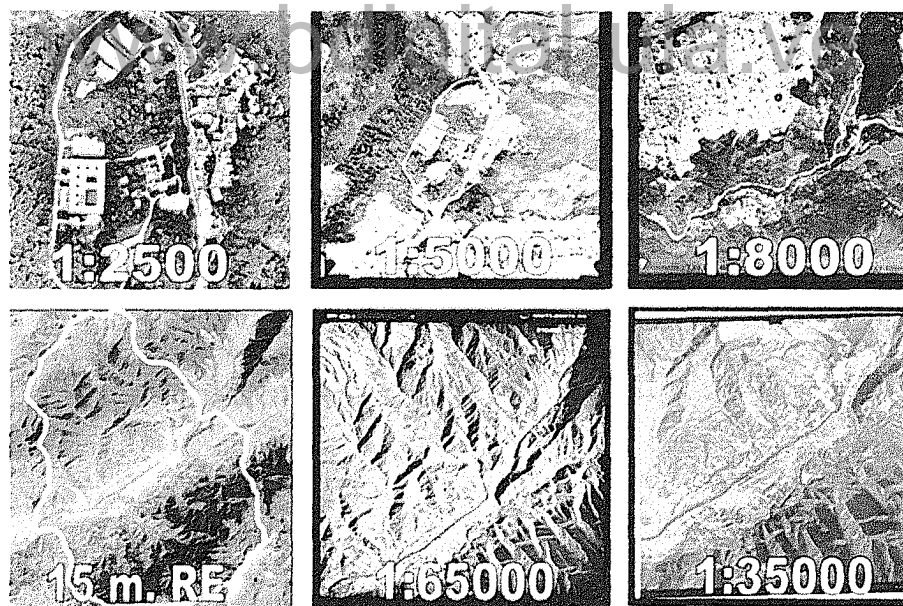


Figura 11. Escala y resolución del material fotogramétrico y de sensores remotos.

Fuente: INPRADEM 1996 y Laboratorio de Sensores Remotos U.L.A. 2003

El inventario de movimientos de masa que se muestra en la Figura 12, intenta resumir la actividad geomorfológica visible en las imágenes de percepción remota, conocer la distribución espacial de los movimientos de masa y posteriormente compararlos con los

factores condicionantes y la zonificación resultante, a fin de evaluar el desempeño del método aplicado. Parte de los movimientos de masa se agrupan en tres categorías: 1. Secciones de taludes inclinados, muy inclinados y extremadamente inclinados, 2. Localizados en vertientes y 3. Ubicados en colinas o lomas, los mismos se muestran seguidamente.



Figura 12. Inventario de los movimientos de masa sobre imagen Spot 5, Enero de 2014.
Fuente: Imagen Spot 5 2,5 m. Resolución espacial Enero 2009
(Mapa reducido de la versión original)

Parte del inventario de movimientos de masa levantado por INPRADEM se presenta a continuación a través del siguiente registro fotográfico e imágenes editadas:

5.1.1. Movimientos de masa en secciones de taludes

Seguidamente se muestran algunos ejemplos de la dinámica de los movimientos de masa presentes en las secciones de taludes del área de estudio (Figuras 13 y 14).

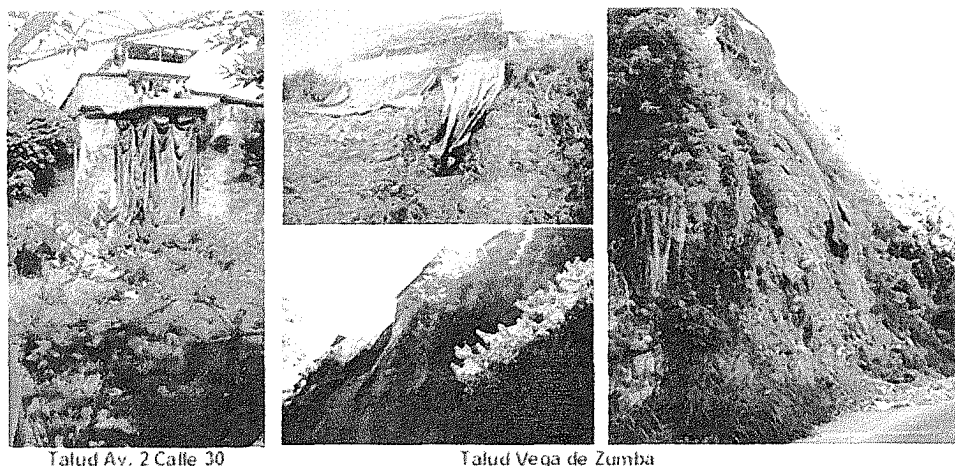


Figura 13. Condiciones de inestabilidad del talud del río Albarregas.

Fuente: INPRADEM 2008



Figura 14. Condiciones de los taludes de los ríos Albarregas, Mucujún y Chama.

Fuente: INPRADEM 2008

Los taludes de la terraza de la ciudad de Mérida presentan movimientos de masa en sus bordes, pared y pie, que afectan tanto a las comunidades que se emplazan sobre la terraza, como aquellas que han ocupado las áreas periféricas al pie de estos depósitos aluviales. La ocupación de los bordes es la situación más preocupante, ya que algunas construcciones no tienen el retiro prudencial y se ubican próximos a movimientos de masa, tal como se muestra en este registro fotográfico (Figuras 15 y 16).

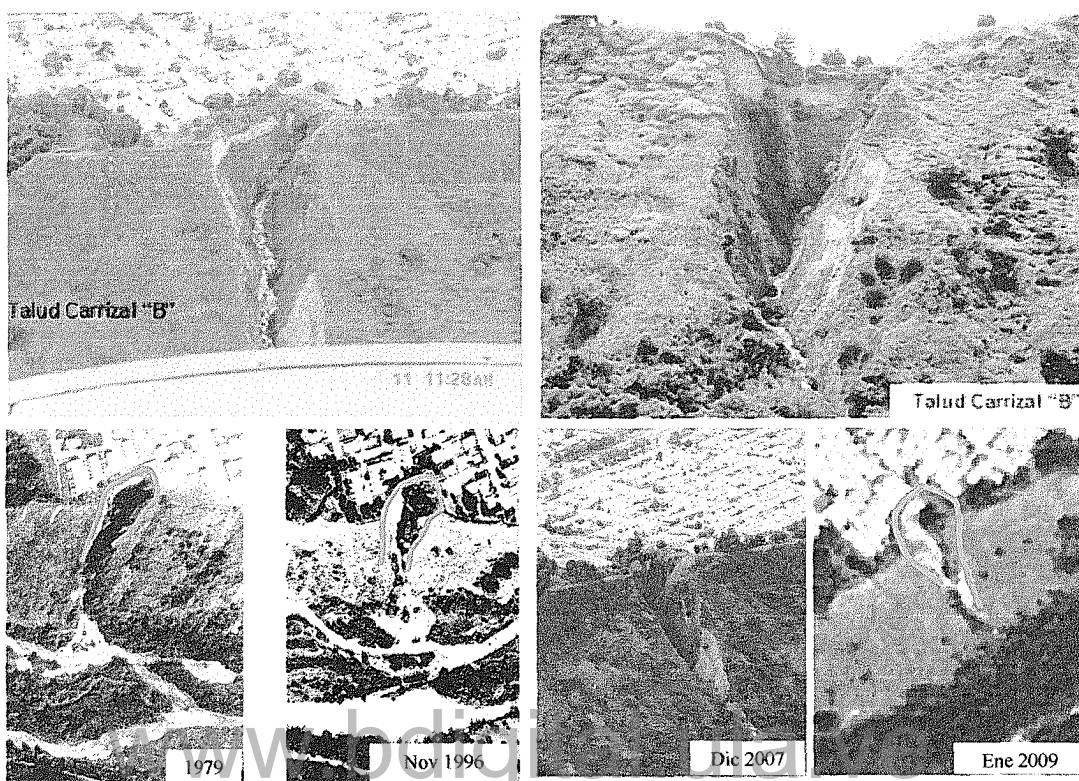


Figura 15. Condiciones del talud del río Chama, inestable, húmedo, con movimientos de masa y con edificaciones en su borde.
Fuente: INPRADEM

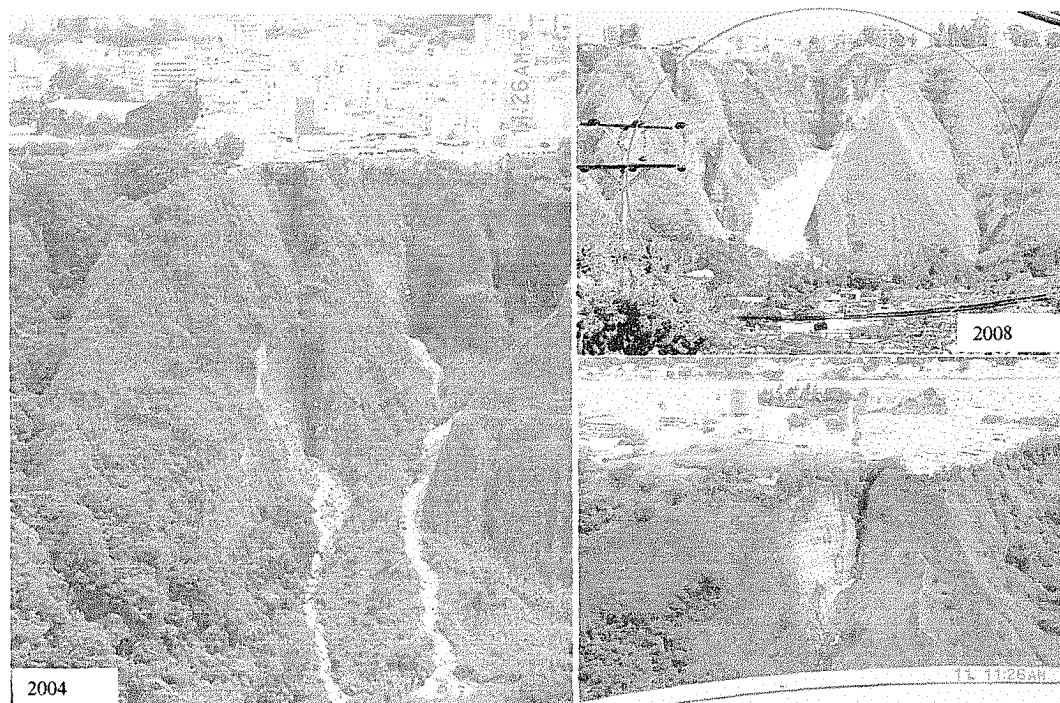


Figura 16. Evaluación de los movimientos de masa en el talud del río Chama. Paseo de Las Ferias y Santa Elena.

Fuente: INPRADEM 2004

5.1.2. Movimientos de masa localizados en vertientes

Las vertientes, localizadas en la mayor parte del área de estudio, regularmente presentan ocurrencia de movimientos de masa, algunos casos significativos se muestran a continuación en la Figura 17.

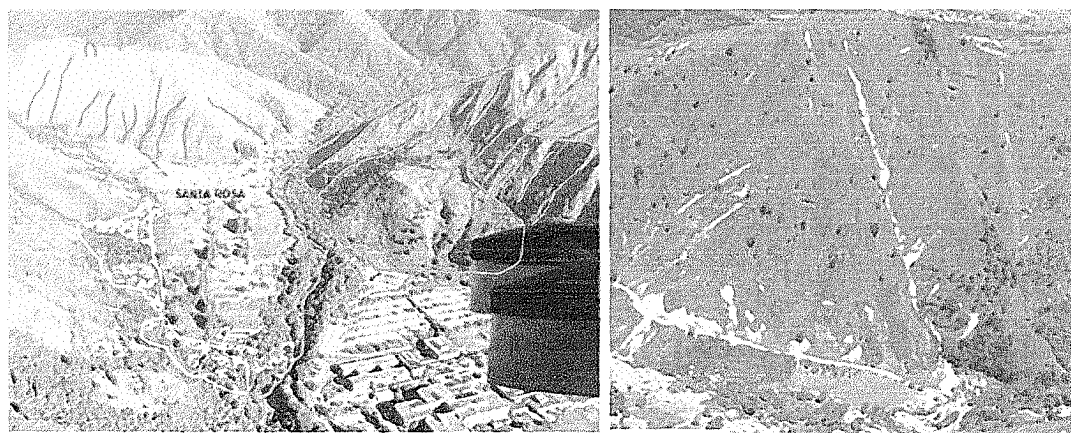


Figura 17. Condiciones de las vertientes inestables, con procesos erosivos, movimientos de masa y con edificaciones.

Fuente: INPRADEM 2008

Las Figuras 18 a 20 muestran la dinámica de las vertientes en diferentes subcuencas del área de estudio y representan parte del inventario de movimientos de masa activos y latentes, que pueden tener incidencia sobre las comunidades.

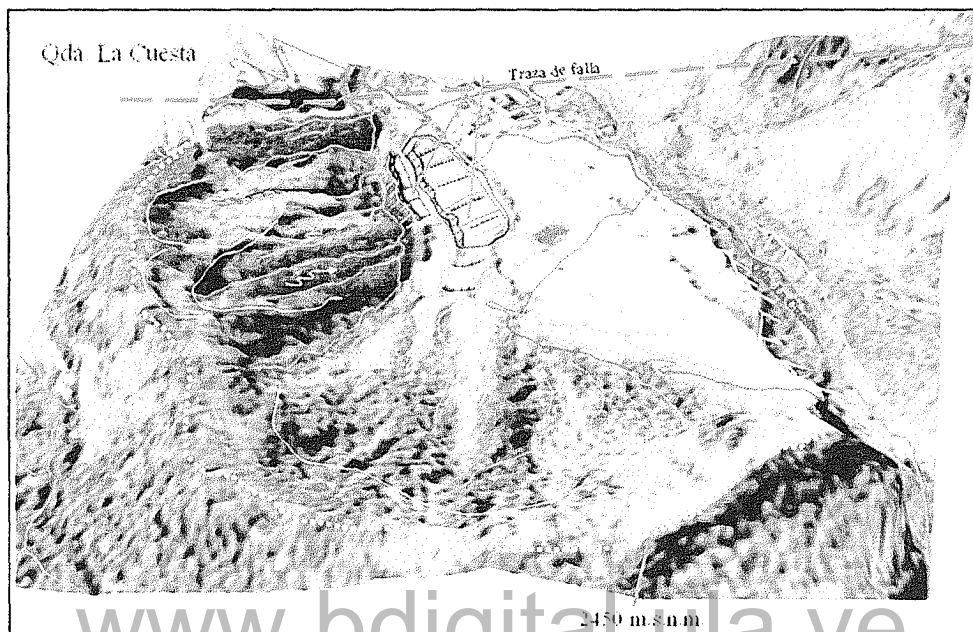


Figura 18. Sector Qda. La Cuesta, Evidencias de Procesos geomorfológicos activos.

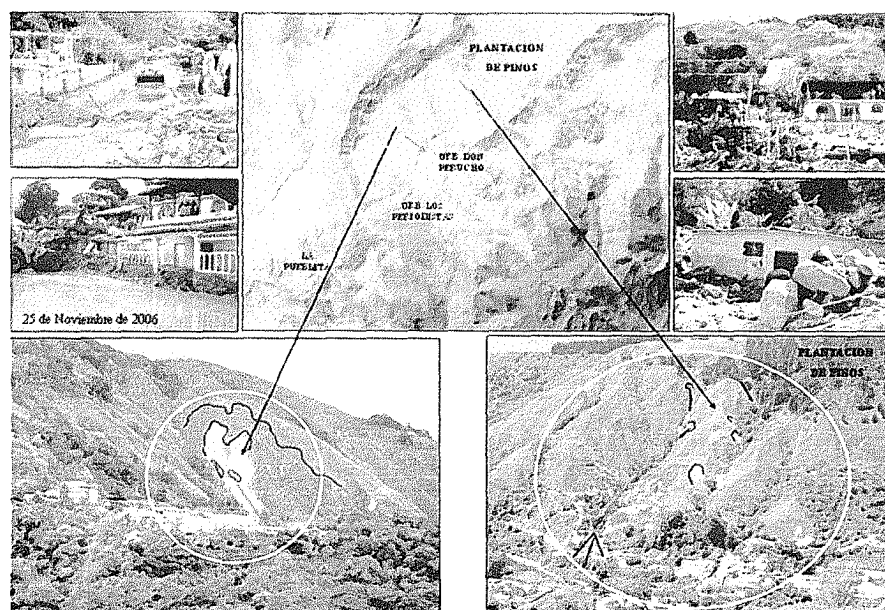


Figura 19. Procesos hidrogeomorfológicos en la vertiente sur del Filo El Escorial. Movimientos de masa múltiples y complejos con afectación de áreas urbanas
Fuente: Noviembre 2007.



Figura 20. Evidencias y evaluación de los movimientos de masa en la subcuenca de la quebrada El Oso, afluente de la quebrada La Fría en 2004.

5.1.3. Movimientos de masa ubicados en colinas o lomas

El relieve de colinas igualmente activo por la ocurrencia de movimientos de masa, es representado a partir de los siguientes eventos recientes (Figuras 21 – 24).



Figura 21. Deslizamientos en Loma Jajó, con afectación sobre en el sector Don Peruchio.
Fuente: Ortofotomapa a escala 1:5000 INPRADDEM 1996

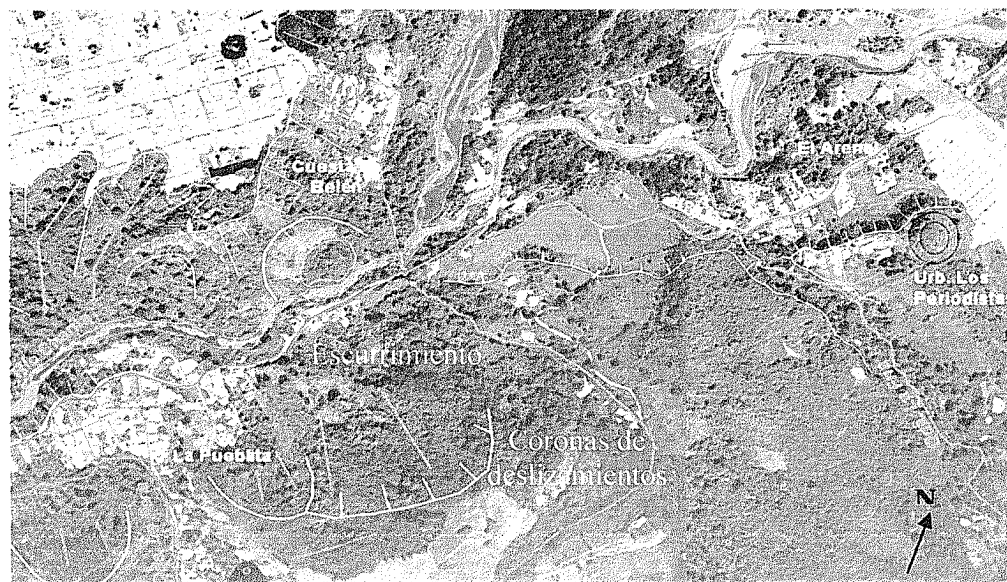


Figura 22. Interpretación de los movimientos de masa. Eje urbano El Arenal – La Pueblita.

Fuente: Foto aérea escala 1:8000 INPRADEM 1998, Edición e interpretación 2010.

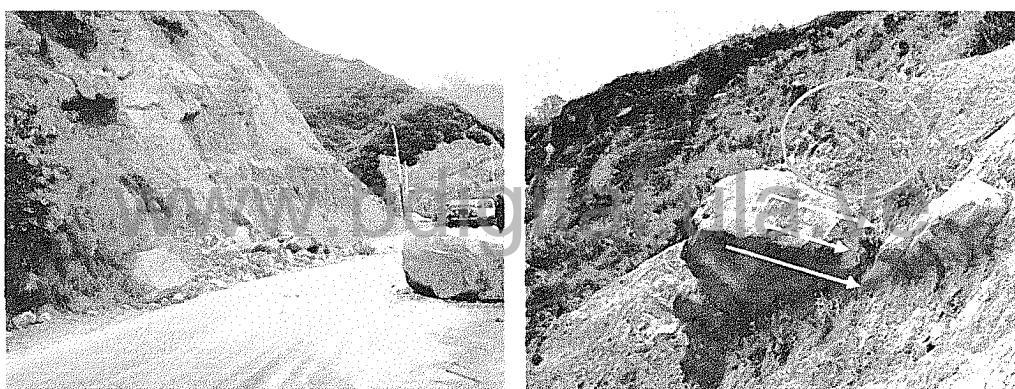


Figura 23. Caída de rocas en el Cerro La Pava, vía a El Valle – Playón Bajo.

Fuente: INPRADEM 2009

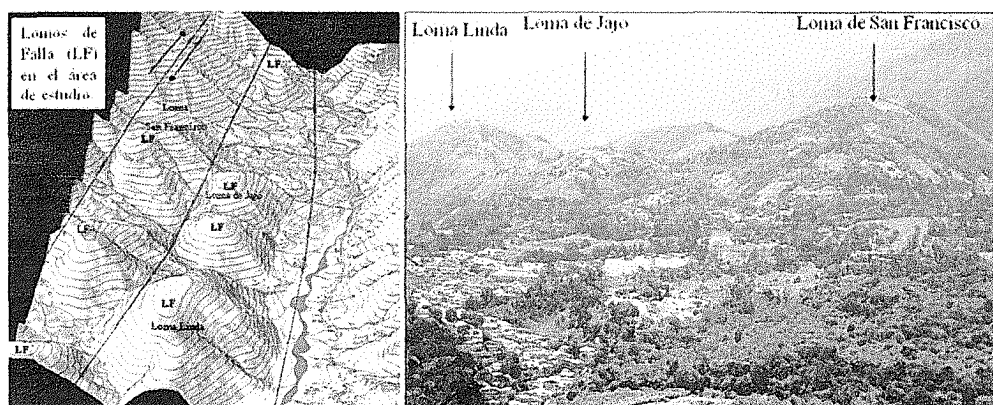


Figura 24. Lomos de falla en la margen izquierda del río Chama, sector El Arenal.

Fuente: INPRADEM 2009

5.2. Correlación entre los factores condicionantes y el inventario de movimientos de masa

Para efectos del análisis de los resultados se realizó una comparación preliminar entre los mapas temáticos considerados factores condicionantes y el porcentaje de cicatrices interpretadas como coronas de movimientos de masa, la cual se muestra a continuación.

5.2.1. Correlación entre el factor condicionante pendientes y el inventario de movimientos de masa

Este factor condicionante presentó mayor frecuencia de movimientos de masa con un 46,39% en el intervalo entre 15 y 30° de inclinación, perteneciente a relieve de vertientes moderadamente inclinadas y a su vez es el rango que ocupa mayor cantidad de superficie (43,73 km²), seguido de los sectores con fuerte inclinación con 27,84% de los movimientos de masa, representados por zonas de vertientes y zonas inclinadas de las colinas (29,32 km²) como es posible verificar en las Figura 25 y 26. Las zonas de vertientes extremadamente inclinadas, incluidos los taludes del área de estudio, con (5,95 km²) presentaron 7,49% del total de cicatrices del inventario de movimientos de masa, restando para las pendientes poco inclinadas y áreas planas en donde se emplaza la mayor parte de la población un 7,89 y 10,39% de los movimientos de masa respectivamente.

En líneas generales para las pendientes superiores a 30° presentan más del 35% de los movimientos de masa inventariados, interpretándose que por encima de este gradiente, la actuación de la gravedad ejerce un factor condicionante potencial para la ocurrencia de los mismos. La ocurrencia de movimientos de masa en áreas de mayor pendiente, mantienen una fuerte amenaza sobre las posiciones ubicadas en las zonas planas mayormente ocupadas por la población.

De manera muy resaltante el 7,49 % de los movimientos de masa está presente en el rango de pendiente superior al 45° (> 100%), el cual se encuentra representado en su mayoría por los taludes muy inclinados que bordean la terraza de la ciudad de Mérida y que se corresponden con una pequeña superficie de tan solo 6,95 km² (5,64%) del área de estudio.

Rangos de Pendiente	Superficie km ²	Superficie %	% Mov. masa
< 5° (< 9 %)	23,04	18,70	10,39
5 - 15° (9 - 27 %)	21,17	17,18	7,89
15 - 30° (27 - 58 %)	43,73	35,49	46,39
30 - 45° (58 - 100 %)	29,32	23,80	27,84
> 45° (> 100 %)	5,95	4,83	7,49

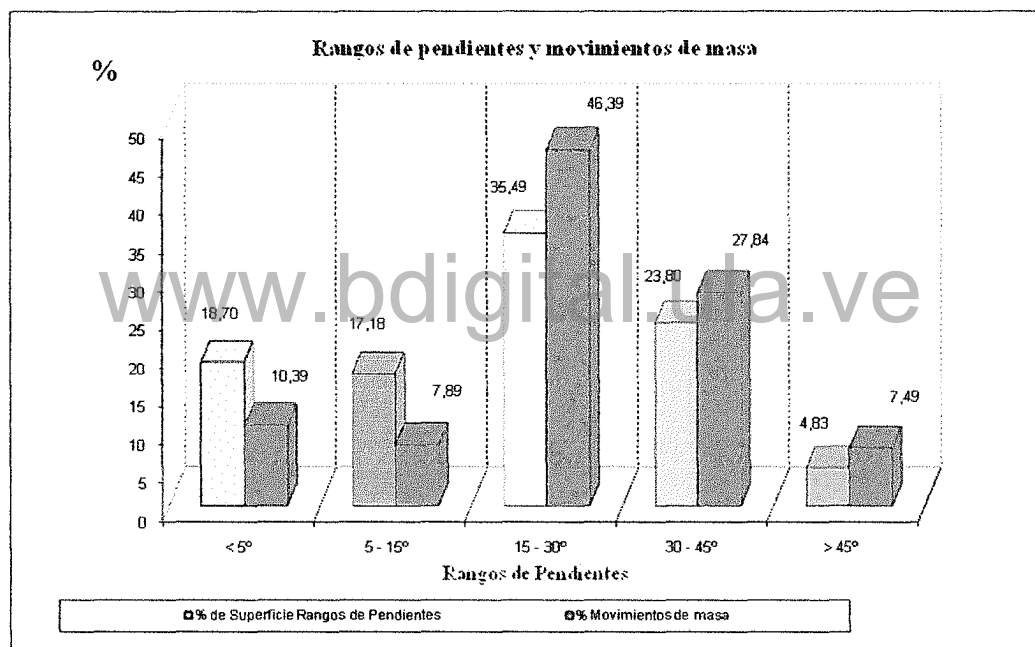


Figura 25. Relación entre rangos de pendientes y porcentaje de movimientos de masa.

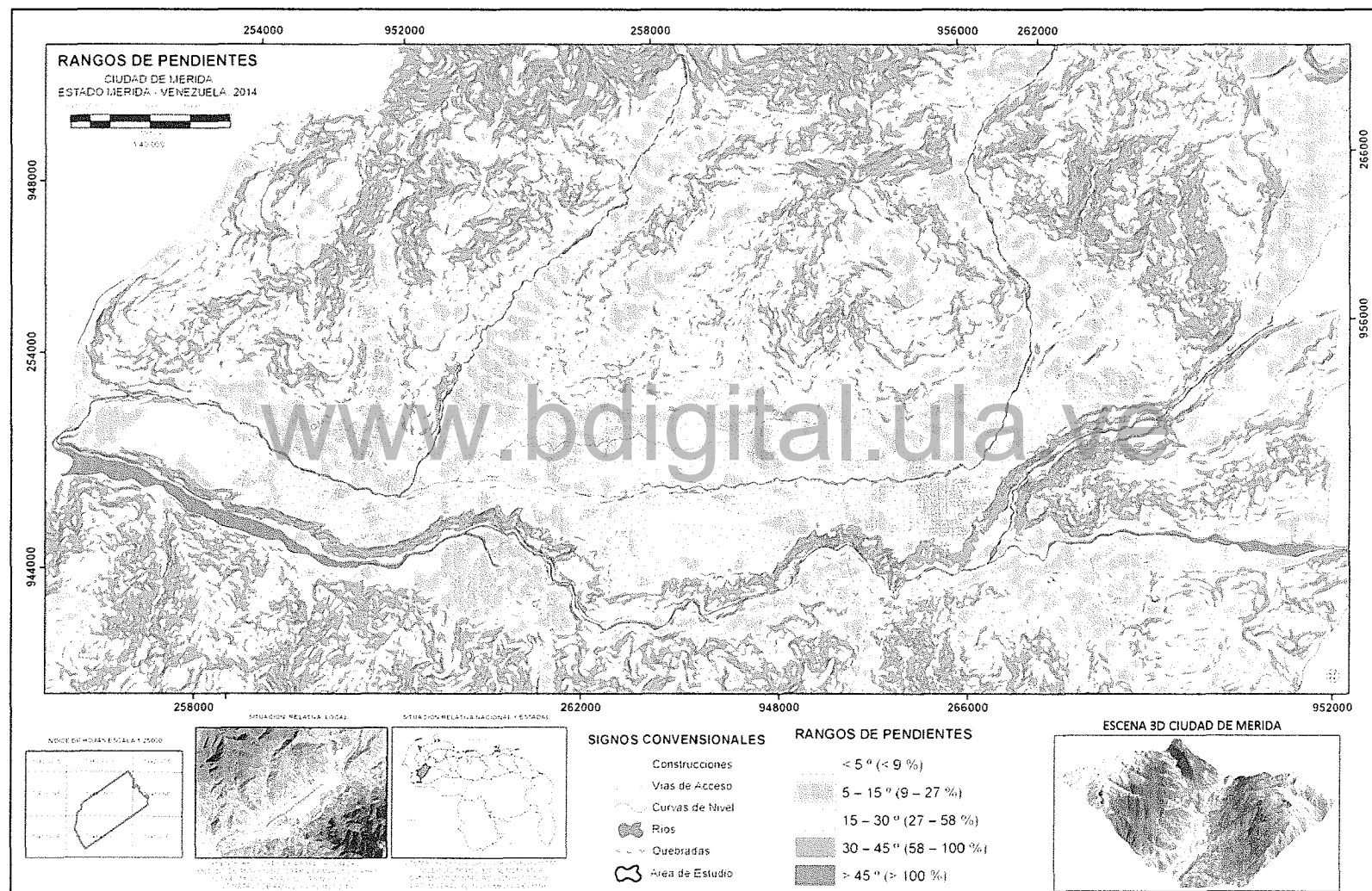


Figura 26. Rangos de pendientes (Mapa reducido de la versión original)

5.2.2. Correlación entre el factor condicionante geología y el inventario de movimientos de masa

En la Figura 27 se puede observar que la mayoría de los movimientos de masa se localizan en la Formación Palmarito (44,99%), considerada muy susceptible por las características físicas de las rocas predominantes. El Granito del Carmen y la Formación Sabaneta poco representativas en superficie, reflejan su dinámica en la distribución espacial de los complejos movimientos de masa presentes en estas unidades geológicas con 6,25 y 5,25% respectivamente.

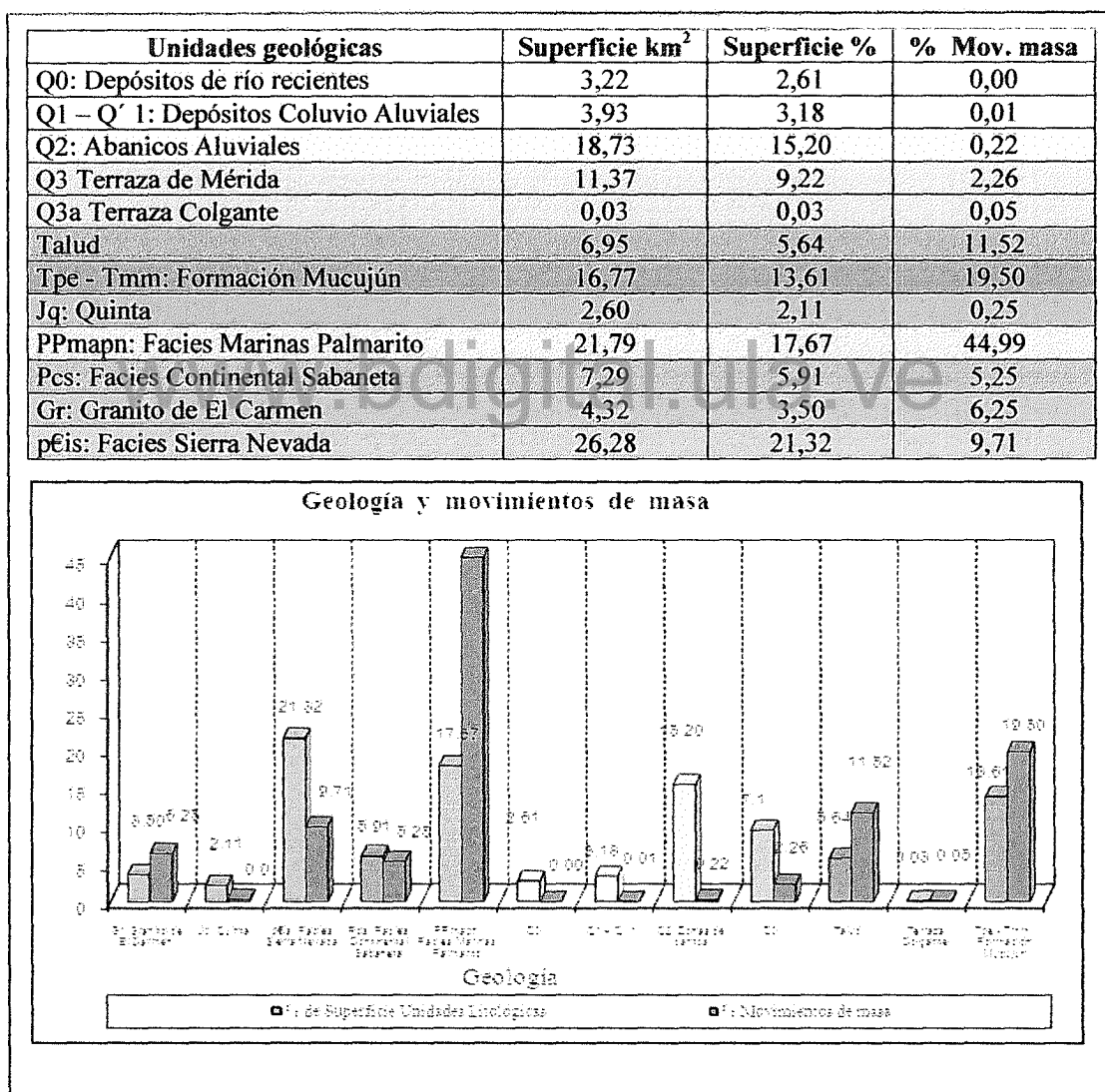


Figura 27. Relación entre geología y el inventario de movimientos de masa.

Las zonas correspondientes a los taludes extremadamente inclinados y muy inclinados, de los ríos Chama, Mucujún y Albarregas, poseen un 11,52% de los movimientos de masa, pero es una de las unidades con poca superficie dentro del área bajo estudio. Las zonas depositacionales tales como terrazas, abanicos aluviales, conos de deyección, lechos de ríos, zonas planas de las colinas y las áreas planas de los depósitos aluviales Cuaternarios, reflejan muy bajo porcentaje de este tipo de procesos, sumando 2,54% del total de movimientos inventariados. En la Figura 28, se muestra la condición particular de la Formación Mucujún, de generar derrumbes o caídas de bloques, con 19,50% de las cicatrices en una pequeña porción de territorio de (16,77 km²).

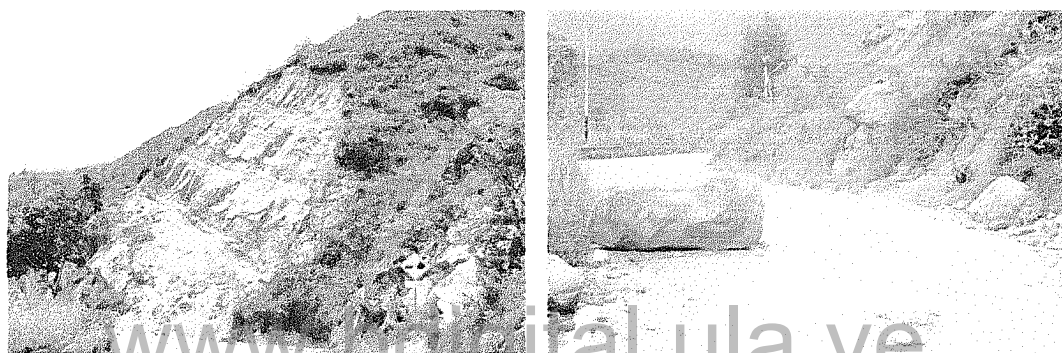


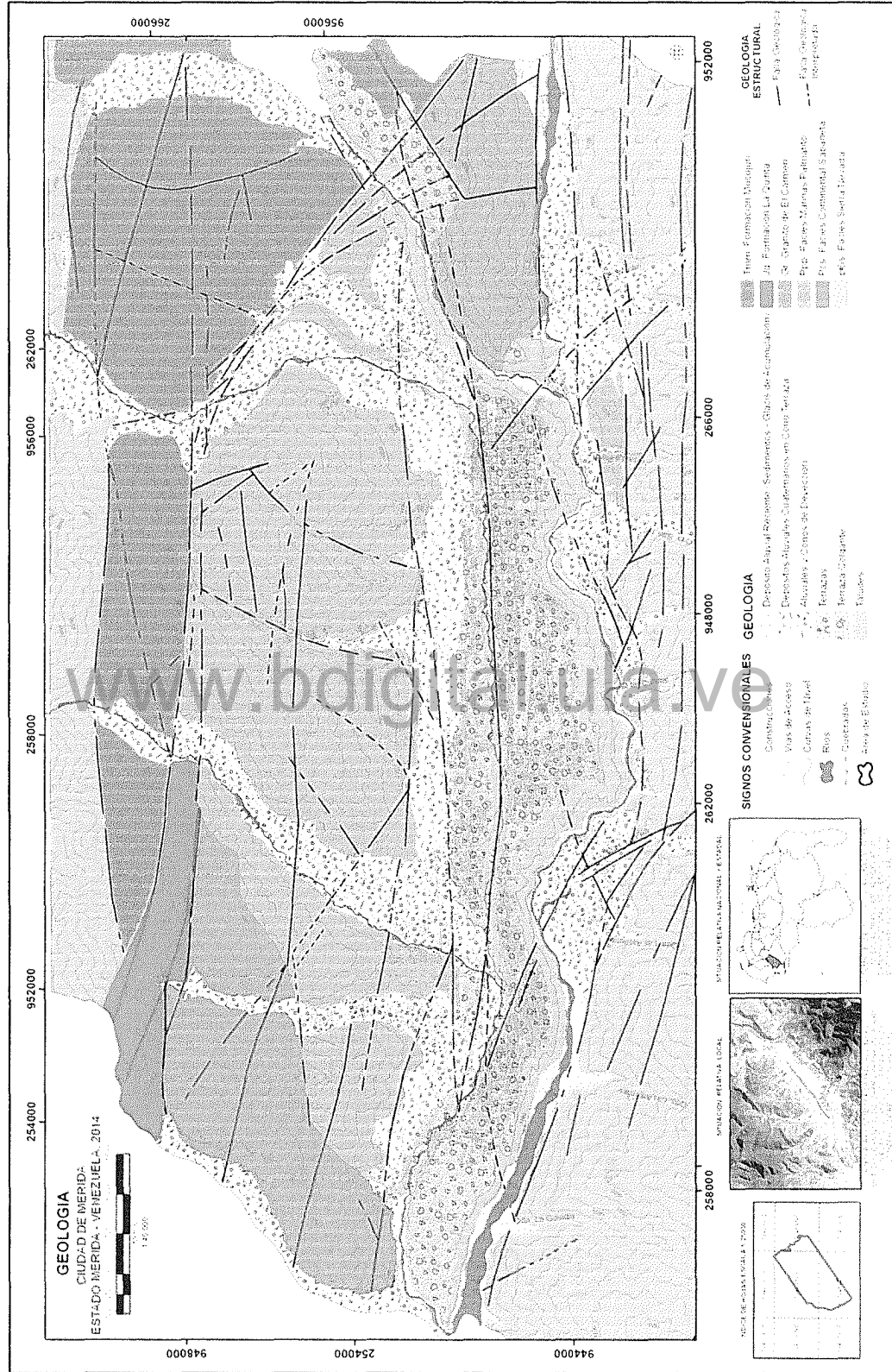
Figura 28. Caídas de roca (derrumbes) en la Formación Mucujún. Sector El Playón.

Fuente: INPRADEM 2009

La mayoría de estas rocas se encuentran surcadas o separadas por geoestructuras asociadas al sistema de fallas de Boconó, condición que hace realmente complejo el análisis del comportamiento de la litología ante la dinámica de la sismicidad y la ocurrencia de movimientos de masa. Las fallas geológicas interpretadas se muestran en el Capítulo 3.

Como se puede apreciar en la Figura 29, la Asociación Sierra Nevada considerada estable de manera general y acorde a la escala de trabajo, representa la mayor extensión del área de estudio (26,28 km²) y posee solo el 9,71 % de los movimientos de masa inventariados. Estas zonas de vertientes inclinadas y muy inclinadas están en gran parte cubiertas por vegetación densa en los Parques Nacionales Sierra Nevada y Sierra de La Culata y aunque se interpretan cicatrices de deslizamientos antiguos se muestra como una unidad estable y de baja susceptibilidad, en donde se aprecia poca dinámica de los procesos geomorfológicos asociados a movimientos de masa.

Figura 29. Mapa Geología (Mapa reducido de la versión original)



5.2.3. Correlación entre el factor condicionante geomorfología y el inventario de movimientos de masa

Para las 9 posiciones geomorfológicas, se determinan los porcentajes de movimientos de masa en la Figura 30.

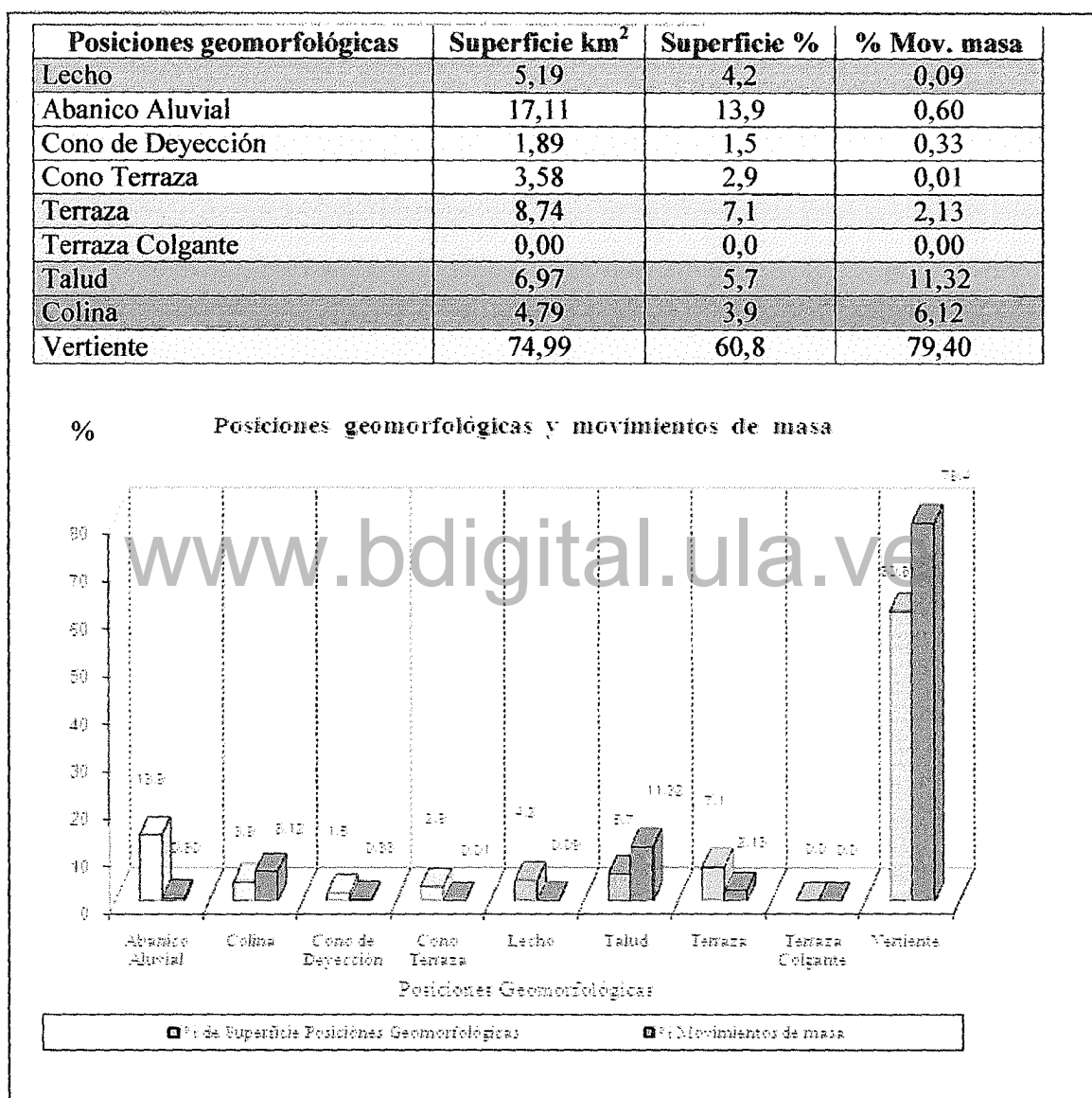


Figura 30. Relación entre posiciones geomorfológicas y movimientos de masa.

Se puede afirmar que el 79,40 % del total de cicatrices se encuentran distribuidas dentro del relieve de montañas inclinadas y muy inclinadas denominadas vertientes, las cuales

ocupan (74,99 km²), que representan el 60,8 % del área bajo estudio. Esta unidad es la más extendida y posee gran actividad geomorfológica por tratarse de zonas con fuertes pendientes en donde los procesos hidrogeomorfológicos gravitacionales son más intensos y dinámicos, especialmente en las Formaciones Geológicas más inestables. Está surcada por fallas geológicas perpendiculares a la dirección de los drenajes y en algunos casos se encuentran en contacto con lomos de fallas alineados (colinas) y fondos de valle. Las diferencias altitudinales en las unidades de vertiente sobrepasan los 3000 m. de desnivel, condición que las coloca entre las unidades a las cuales se les debe prestar mayor atención (Figura 31).

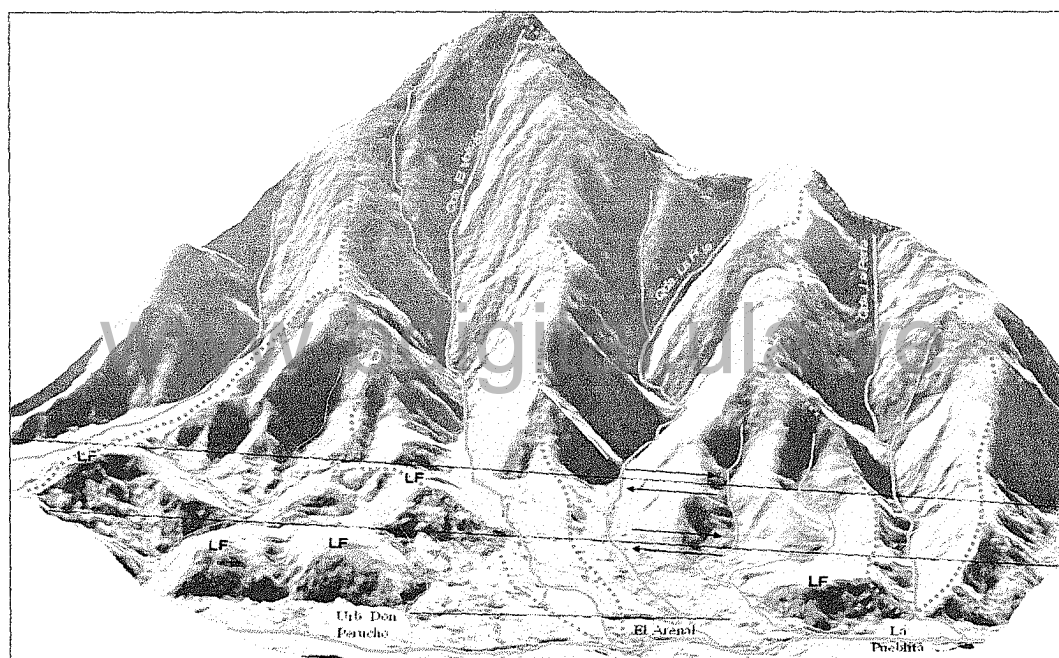


Figura 31. Escena digital del terreno. Relieve de colinas y vertientes surcado por fallas en el eje La Joya – El Arenal – La Pueblita.

Fuente: Ortofotomapa INPRADEM 2009.

Las colinas o lomas ubicadas casi en su totalidad en la margen izquierda del río Chama, se corresponden con geoformas denominadas lomos de fallas, y se encuentran surcadas por trazas de fallas geológicas activas que fracturan el material rocoso y dinamizan los procesos de remoción en masa. En esta posición geomorfológica fueron interpretados el 6,12 % de los movimientos de masa, en una superficie de tan solo (4,79 km²). Las zonas urbanas localizadas en el eje vial Chama - Don Perucho, son las más representativas de colinas con presencia de movimientos de masa, las cuales afectan a las comunidades

localizadas en las posiciones geomorfológicas más bajas tales como; abanicos aluviales, conos de deyección y lechos de río (Figura 32).

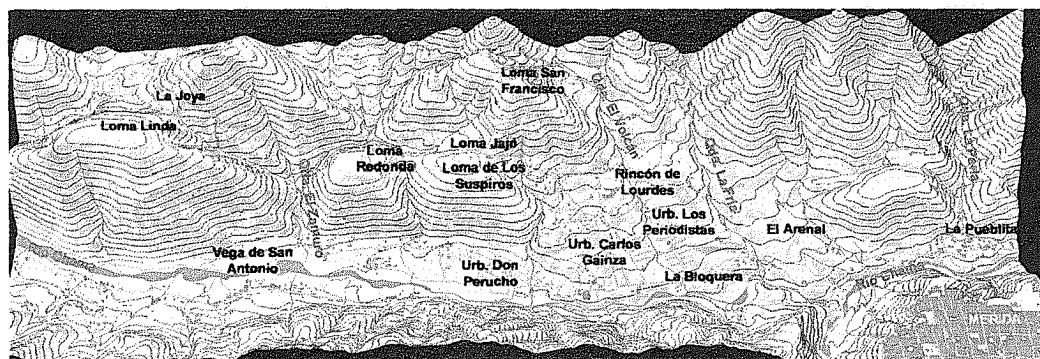


Figura 32. Relieve de colinas en el Sector La Joya - El Arenal.

Fuente: INPRADEM 2014

El inventario de movimientos de masa permite afirmar que una de las posiciones geomorfológicas más activas son los taludes que bordean los depósitos aluviales principalmente en la terraza de la ciudad de Mérida, en donde se puede interpretar que los bordes, paredes y bases de los taludes, presentan variedad de procesos, los cuales se mantienen activos y latentes. Estos taludes son las áreas con mayor inclinación y representan 11,32 % de los movimientos de masa según este condicionante en una superficie de 6,97 km² (5,7 %) del área de estudio. (Figura 33).

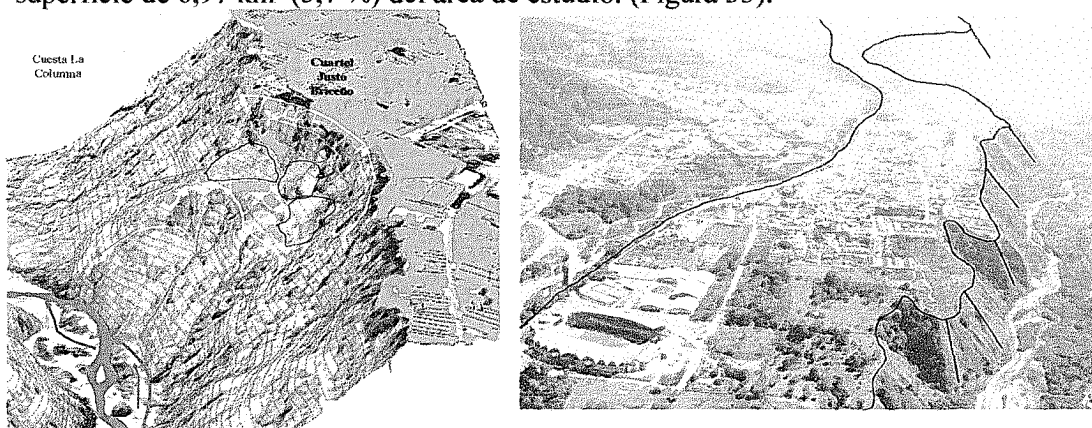


Figura 33. Interpretación de los procesos en el talud del río Mucujun y panorámica del talud del río Chama en el sector Zumba.

Fuente: INPRADEM 2009

Las terrazas, conos terrazas, conos de deyección y abanicos aluviales que se encuentran en contacto con otras unidades de vertientes, colinas o taludes, presentan baja cantidad de movimientos de masa, sin embargo, pueden ser afectadas debido a que son

colindantes a zonas con gran dinamismo y presencia de movimientos de masa activos y zonas identificadas como de alta y muy alta susceptibilidad. El valle del río Chama y las posiciones geomorfológicas inmediatas se aprecian en las Figuras 34.

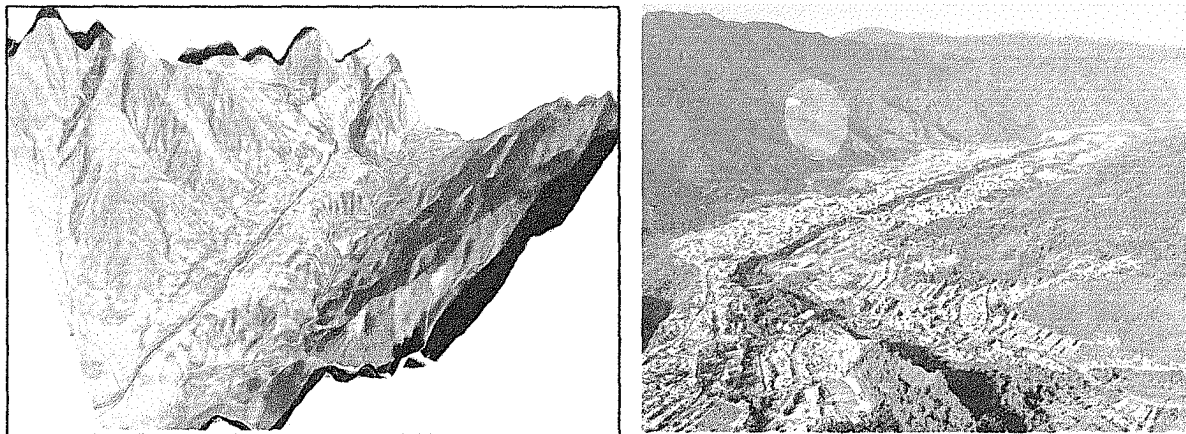


Figura 34. Posiciones geomorfológicas vistas desde una escena digital del terreno y una fotografía panorámica de la ciudad de Mérida y sus alrededores.

Fuente: INPRADEM 2009

La representación cartográfica de la geomorfología del área bajo estudio se aprecia en la Figura 35, la cual es una imagen reducida del mapa original y es apoyada en la representación digital del relieve que se aprecia en el (Apéndice D).

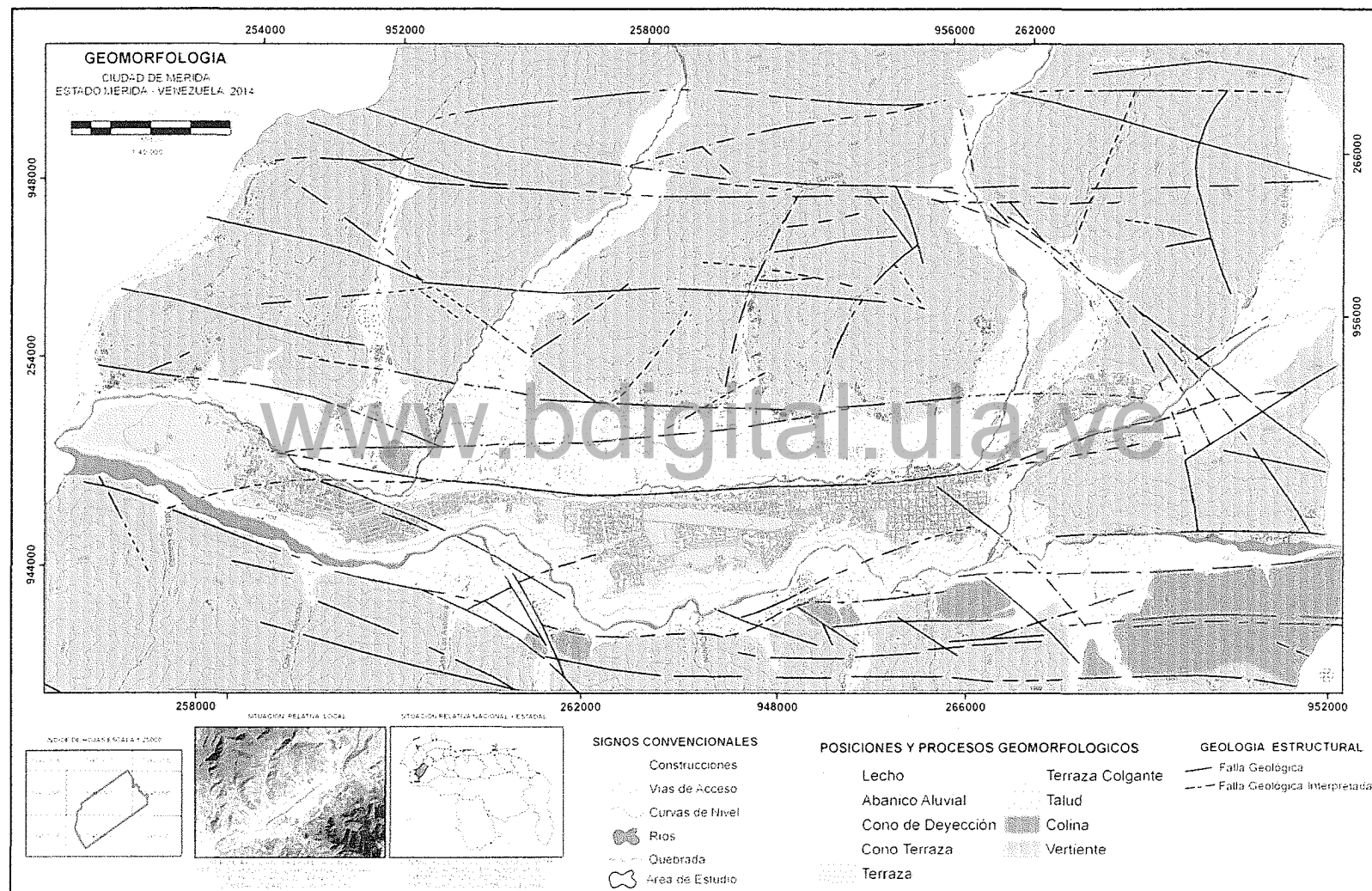


Figura 35. Mapa de Geomorfología (Mapa reducido de la versión original)

5.2.4. Correlación entre el factor condicionante uso de la tierra - cobertura vegetal y el inventario de movimientos de masa

Se observa que la mayor frecuencia de movimientos de masa ocurre en la clase bosque intervenido por usos agrícolas, presencia de gramíneas y matorrales con 46,67 % y esto se debe a que esta unidad se comporta como una asociación en la cual la fuerte intervención dinamiza el comportamiento de los procesos, además de coincidir estos usos de la tierra y tipo de cobertura vegetal, con zonas de vertiente a la periferia del uso urbano de la ciudad de Mérida que ocupa una extensión de (57,85 km²) de los (123,2 km²) del área bajo estudio. Figura 36.

Los bosques medios ralos e intervenidos, con presencia de arbustos distribuidos en vertientes y paredes de los taludes, en conjunto con el bosque denso en su mayoría dentro de las áreas bajo protección (Parques Nacionales Sierra de La Culata y Sierra Nevada) y distribuidos sobre vertientes con pendientes considerables, presentan más del 29,26 % de los movimientos de masa.

El manto protector del bosque denso el cual ocupa (16,45 km²) del área total, posee 5,92 % de los movimientos de masa, valiendo acotar que la mayoría de los movimientos de masa interpretados son recientes y no están relacionados con intervenciones antrópicas.

Las áreas intervenidas por usos urbanos y descubiertos de cobertura vegetal, condicionan de manera directa en la presencia y activación de movimientos de masa, reflejando 6,45 % del total de cicatrices en 20,47 km². Los procesos dentro de esta unidad, se encuentran mayormente distribuidos sobre bordes, pared y pie de los escarpes o taludes, en cortes de vías y zonas de vertientes o colinas que han sido ocupadas por viviendas aisladas. En esta clase resalta la ocupación por parte de usos urbanos sin el retiro prudencial con respecto a los taludes que cortan los depósitos aluviales principalmente en la terraza de la ciudad de Mérida.

Uso de la tierra y cobertura vegetal	Superficie km ²	Superficie %	% Mov. masa
Usos urbanos y descubierta de vegetación	20,47	16,62	6,45
Bosque denso	16,45	13,34	5,92
Bosque intervenido por usos agrícolas gramíneas y matorrales	57,85	46,93	46,67
Bosque medio ralo e intervenido, arbusto	20,78	16,85	29,26
Cuerpos de agua	1,03	0,83	0,01
Pasto natural	4,41	3,58	9,97
Plantación forestal	2,15	1,74	1,71
Suelo descubierto	20,48	0,10	0,00

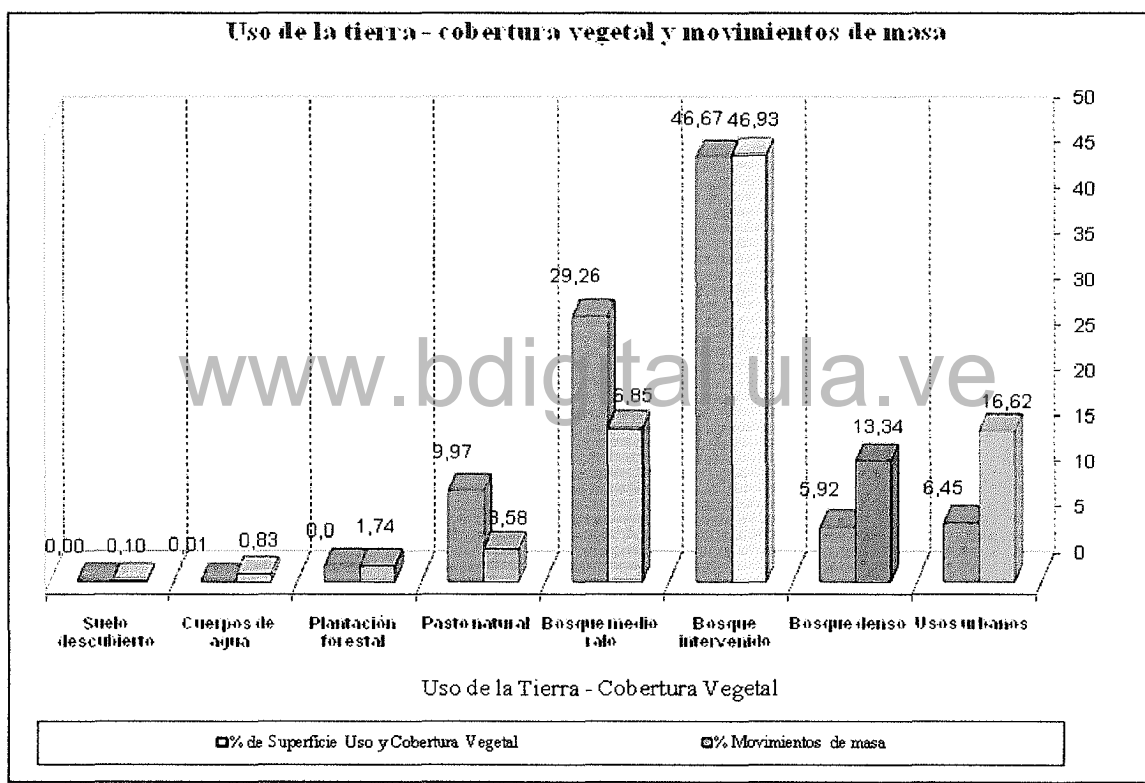


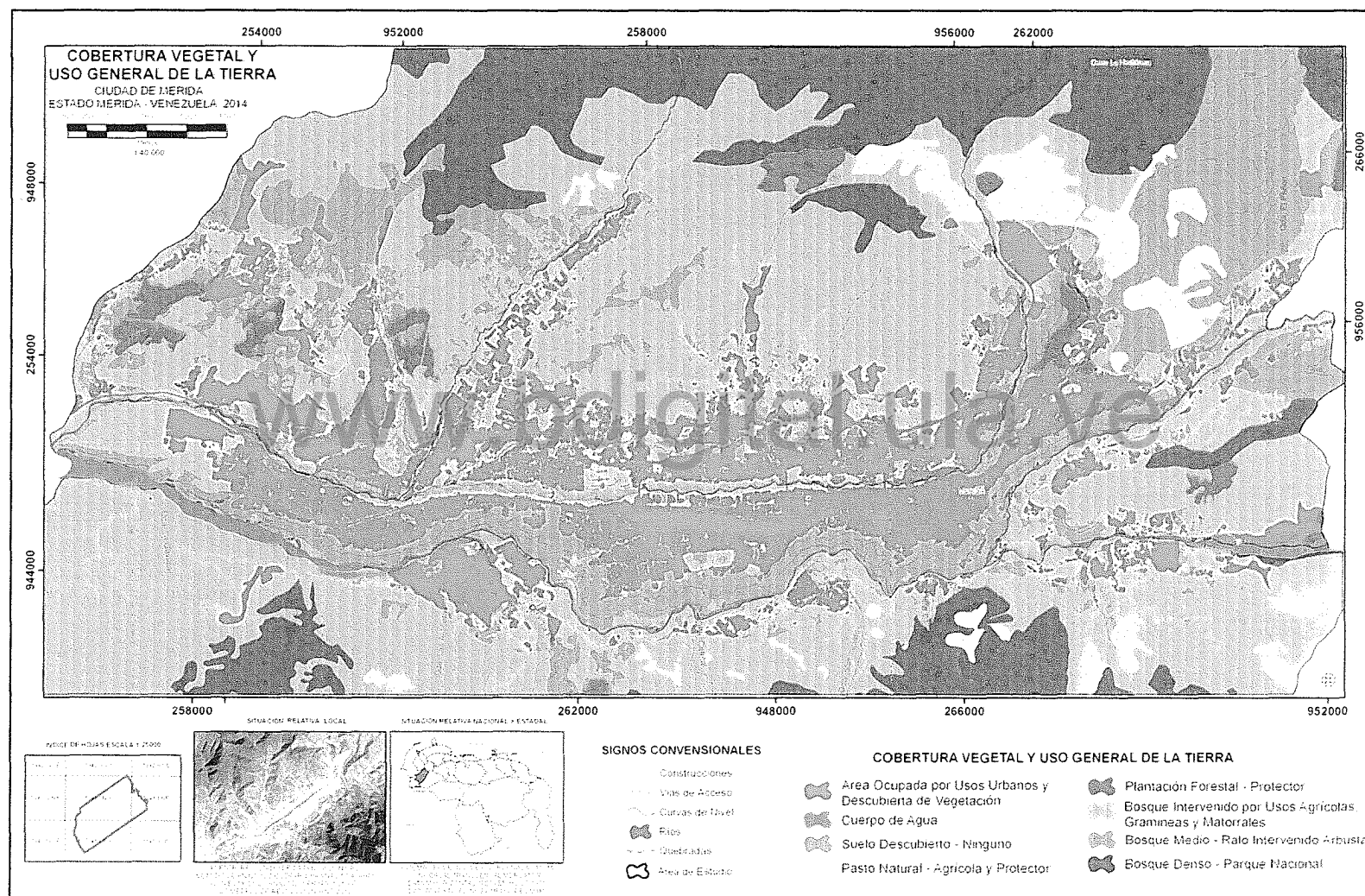
Figura 36. Relación entre uso de la tierra, cobertura vegetal y movimientos de masa.

Las zonas con presencia de pasto natural que representan (4,41 km²) poseen 9,97 % de los movimientos de masa, esto debido principalmente a que se encuentran sobre áreas de vertientes inclinadas y sobre unidades geológicas inestables, como las Formaciones Mucujún y Palmarito. Las zonas puntuales con predominio de pastos, ubicadas en rocas de la Asociación Sierra Nevada, presentan pocas cicatrices de movimientos de masa. Se puede interpretar que el efecto protector de la vegetación juega un factor muy importante en la dinámica de los procesos de remoción de masa.

Algunas zonas del área bajo estudio están cubiertas por plantaciones forestales, en pequeñas manchas que delimitan un área de 2,15 km². En las mismas se han podido cuantificar 1,71 % de los movimientos de masa en la cual la distribución de los mismos predomina en las vertientes de las Formaciones Sabaneta, Palmarito, Mucujún y Granito El Carmen (Figura 37).

www.bdigital.ula.ve

Figura 37. Mapa de uso de la tierra y cobertura vegetal
(Mapa reducido de la versión original)



5.3. Mapa de susceptibilidad a movimientos de masa a partir de la evaluación multicriterio AHP

De las aplicaciones y técnicas geomáticas y especialmente del método AHP anteriormente analizadas, se obtuvo como resultado; la cuantificación de las superficies ocupadas por cada nivel de susceptibilidad, el porcentaje de movimientos de masa para cada nivel y su representación cartográfica, con lo cual se analiza y se define la zonificación de la susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos de masa en el espacio geográfico analizado. (Apéndice C).

5.3.1. Zonificación de niveles de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa e interpretación de los resultados

Del cruce de los mapas temáticos se obtuvo que el área bajo estudio, suma un área total de 43,9 km² con niveles de susceptibilidad entre altos (A) y muy altos (MA), representativos del 35,6 % de la superficie total, con 67,45 % de cicatrices interpretadas como movimientos de masa. De este total de superficie, la mayor parte de zonas con estos niveles de susceptibilidad considerados críticos y de mucho interés para la gestión de riesgos en Mérida, se distribuyen espacialmente sobre los taludes que cortan los depósitos aluviales y las vertientes de las Formaciones Mucujun, Palmarito, La Quinta y Granito del Carmen. Todos estos sitios sometidos a una fuerte presión demográfica y actualmente intervenidos por construcciones dentro de la ciudad y en las áreas de transición urbano - rural.

En el intervalo de alta susceptibilidad se calculó 57,79 % de los movimientos de masa distribuidos en 48,96 % del espacio bajo análisis. Las zonas con niveles de susceptibilidad muy altos con 9,66 % de movimientos de masa inventariados y sobre una superficie de 8,14 % del territorio, se localizan en los taludes de la terraza de Mérida y puntualmente, en secciones de las vertientes, en donde predominan los efectos que ejercen los factores condicionantes a favor de la ocurrencia de movimientos de masa. Este nivel de susceptibilidad representa las áreas muy activas e inestables, consideradas como críticas ya que representan las áreas o zonas con fuertes restricciones para su ocupación y uso (Figura 38).

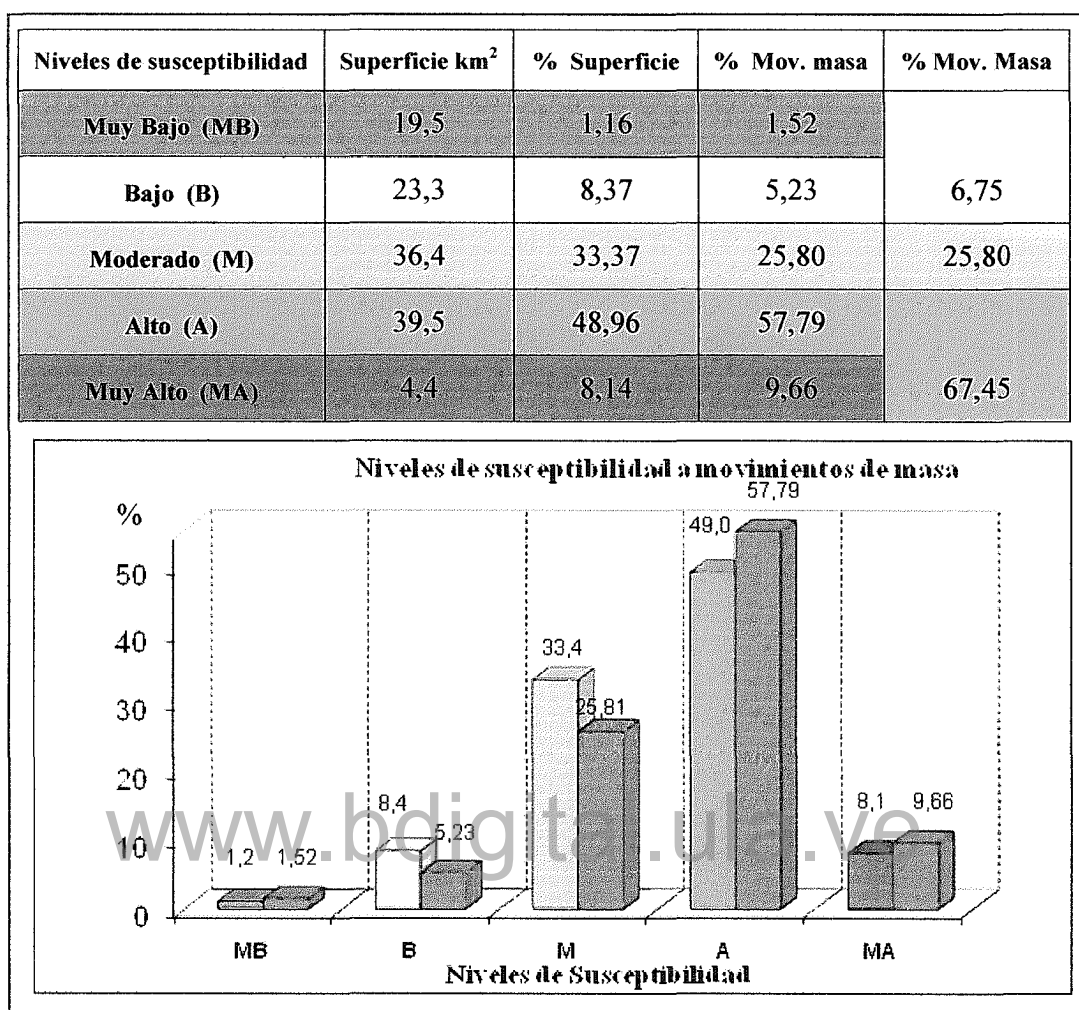


Figura 38. Niveles de susceptibilidad y movimientos de masa.

Dentro de los sectores poblados que ocupan estos niveles de susceptibilidad alto y muy alto resaltan: Secciones del talud izquierdo de los río Mucujún y Chama, en los sectores San Benito, Vuelta de Lola, Hoyada de Milla, Milla, Belén, Paseo de Las Ferias con final de la calle 31 Yunin, Norte del Hotel Prado Río y sur del barrio La Isla, Avenida 2 Lora y el barrio La Vega del Hospital, talud de la Cuesta del Teleférico, talud perpendicular a las confluencias de las quebradas San Jacinto y La Fría y el talud en el sector Piedra del Tigre. Puntualmente, se reconocen las áreas comprendidas entre el barrio Pueblo Nuevo y el Viaducto Vicente Campo Elías. Resalta en algunas secciones del talud del río Chama los sectores Carrizal “B” y la Meseta de Zumba.

La muy alta susceptibilidad de estas unidades a los movimientos de masa, está dada por; presentar pendientes fuertes a muy fuertes superiores a 45° e incluso se acercan a la verticalidad, debido a la activación recurrente de procesos de movimientos de masa, caída de rocas, reblandecimiento de materiales rocosos y sedimentos por la aparición de manantiales, presencia de cárcavas activas, socavamiento basal por las aguas de los ríos y asentamientos diferenciales de los suelos.

Se consideraron además las vertientes muy inclinadas de los drenes Milla, El Rincón, Gavidia, La Resbalosa, La Pedregosa, Carvajal, La Negra y La Ceibita, las cuales escurren desde la vertiente sur de la Sierra de La Culata y conforman la hoya hidrográfica del río Albarregas. De la Sierra Nevada drenan otro conjunto de afluentes hacia la zona urbana del eje Urbano Don Perucho– El Chama, destacándose algunas áreas de las vertientes de las quebradas Las Adjuntas, La Astillera, La Fría, San Jacinto, La Perla, El Cafetal, La Fría de El Arenal y El Volcán, como de alta y muy alta susceptibilidad. Se incluyen al norte del río Chama las vertientes localizadas al noreste de La Hechicera, el Parque Los Chorros de Milla, La Calera, El Playón Bajo y el eje vial Mucujún hasta Las Calaveras.

En la vertiente derecha del barrio Santa Rosa en La Hechicera, al norte de los barrios: Santa Ana Norte, Santa Anita, Bella Vista, Vista Hermosa, Primero de Mayo, vertiente del barrio La Calera y norte del barrio El Amparo, al noroeste del barrio La Providencia, al norte del barrio San José de Las Flores, al norte de la Av. Los Próceres, en las vertientes de las subcuencas El Rincón, Gavidia, Pedregosa Media, Loma de La Virgen, Loma de Los Maitines, Loma de Los Ángeles y barrio San Isidro. Puntualmente resaltan en la margen derecha del río Albarregas a la altura del distribuidor 5 Águilas Blancas, pequeños lotes en los sectores Las Cruces, Pan de Azúcar, vía hacia Manzano Alto entre Loma de Los Ángeles y la quebrada La Ceibita.

En la divisoria de aguas de la Sierra de La Culata y Sierra Nevada de Mérida, se obtuvo puntuales zonas con alta y muy alta susceptibilidad, especialmente en aquellas áreas con muy fuertes pendientes en la base de los picos más altos de la Cordillera, en donde se aprecian procesos de gelifracción y caída de rocas que están en dirección hacia los fondos de valle intramontanos.

La susceptibilidad moderada (M) presentó 25,80 % de los movimientos de masa inventariados, distribuidos en 33,37 % del ámbito evaluado. Se observó que este nivel de susceptibilidad está presente en su mayor proporción, en las vertientes de la Asociación Sierra Nevada y la Formación Sabaneta que drenan hacia las zonas urbanas. Incluye las áreas con menor rango de pendiente, los topes de las colinas y crestas divisorias del escurrimiento de agua.

El nivel de moderada susceptibilidad está expuesto a comportamientos hidrogeomorfológicos complejos, en presencia de elementos desencadenantes como por ejemplo fuertes precipitaciones y movimientos sísmicos.

En este nivel de susceptibilidad se localizan las comunidades: Loma de San Rafael, Loma Linda, Loma de Jajó, Loma de Los Suspiros, Loma San Francisco, al sur del río Chama y parte alta de los sectores Loma de La Virgen, Loma de Los Maitines y el Cerro Las Flores, al norte del río Albarregas.

Los niveles de baja (B) y muy baja (MB) susceptibilidad están ocupando áreas pobladas localizadas sobre emplazamientos superiores sobresaliente y con buenas condiciones geomorfológicas. En estas zonas de poca pendiente, no existen condiciones para que se activen movimientos de masa, no obstante, algunos sectores pertenecientes a este grupo son susceptibles a los procesos geomorfológicos generados en las zonas contiguas, como por ejemplo, en las áreas colindantes a los taludes, vertientes inclinadas y en fondos de valles estrechos Ver Figura 39 Terraza de la ciudad de Mérida, zonas de muy baja susceptibilidad.



Figura 39. Terraza de la ciudad de Mérida. Se identifican las zonas de muy baja susceptibilidad.

Fuente: INPRADEM 2008

Las áreas pobladas que ocupan un bajo nivel de susceptibilidad son: la vertiente izquierda de la quebrada La Mónica en el barrio Santa Rosa en La Hechicera, el sector Santa Ana Norte, Alto Prado, sector Lumonty y Urb. Villa Jardín. También entran en esta categoría, las áreas ocupadas por la Urbanización Mocoties, las terrazas ligeramente sobresalientes de los barrios Andrés Eloy Blanco, Simón Bolívar y Pueblo Nuevo. Se incluyen en esta categoría las Urbanizaciones La Linda, La Pedregosa Pozo Azul, Bicentenario, Urb. J.J. Osuna Rodríguez, barrio Escondido, barrio Kosovo, barrio San Buenaventura, las invasiones localizadas en la margen derecha de la Av. Andrés Bello en la margen izquierda del río Albarregas (Parque las Mérida del Mundo), Urb. La Estancia parte baja pegada a la margen izquierda de la quebrada Gavidia y el sector Campo Claro. En la margen izquierda del río Chama destaca la terraza media en donde

se emplaza el Liceo El Arenal, diagonal a la Urb. Carlos Gainza, y algunas terrazas medias remanentes en los abanicos aluviales de las quebradas San Jacinto y La Fría y terrazas o depósitos bajos sometidas a movimientos de tierra para urbanismos.

Se consideran los terrenos conformados por los abanicos aluviales en posiciones geomorfológicas “medias y altas” relativamente estables de los ríos Albarregas, Milla, Carvajal, El Rincón y Gavidia y La Pedregosa; La Terraza de Mérida y Zumba y las terrazas artificiales localizadas en la Urbanización Say-Say, entrada a Belenzate, Viaducto Miranda, Residencias La Rivera, aguas abajo del Puente La Cruz Verde de El Llano. Todos estos espacios emplazados ligeramente en posiciones geomorfológicas alejadas de procesos hidrogeomorfológicos activos y latentes y de bordes de taludes y llanuras aluviales susceptibles a crecidas excepcionales asociadas a movimientos de masa.

La baja susceptibilidad a los procesos movimientos de masa, está dada por los retiros relativos y prudenciales con respecto a los taludes, vertientes y cauces de los ríos y quebradas que drenan de la Terraza de Mérida y los abanicos aluviales perpendiculares a los ríos Albarregas y Chama. Los valores bajos de pendiente y la posición geomorfológica relativamente alta, en correlación con la estabilidad morfo-dinámica de estos terrenos, restringen la activación o afectación por parte de los procesos geomorfológicos asociados a movimientos de masa.

Se considera difícil diferenciar las unidades de baja y muy baja susceptibilidad. Sin embargo, existen áreas dentro de la terraza de la ciudad de Mérida que poseen muy buen emplazamiento y que realmente están exentas totalmente a los movimientos de masa. Pudieran existir procesos influidos por agentes relacionados con urbanismos, como por ejemplo; hundimientos puntuales producto de fugas de aguas servidas o tuberías rotas, mal drenaje y por falta de compactación de zonas intervenidas, pero que no representan eventos asociados a los condicionantes bajo estudio.

Sin embargo, los sitios de muy baja ($19,5 \text{ Km}^2$) y baja ($23,3 \text{ Km}^2$) susceptibilidad se pueden apreciar en campo en posiciones muy favorables con pocas limitaciones. Estas categorías no han sido afectadas por eventos hidrogeomorfológicos recientes. En tal sentido, pudieran agruparse las categorías de baja y muy baja susceptibilidad ya que en

el análisis resultante de campo es muy difícil apreciar sus diferencias y sólo cuando se obtienen los resultados de las técnicas geomáticas, es cuando se pueden estimar.

Una posible diferencia radica en los retiros a los bordes de taludes, en tal caso aquellas zonas retiradas de los bordes de taludes tendrán baja susceptibilidad y aquellas muy retiradas, se catalogan como de muy baja susceptibilidad. En tal sentido, la gestión del riesgo de estos dos niveles amerita de estudios geotécnicos, levantamientos de mecánica de suelos, estabilidad de taludes, simulación geomecánica de suelos, entre otros estudios científicos, por parte de equipos interdisciplinarios para su jerarquización, diferenciación y toma de decisiones.

Aunque el área de la Ciudad de Mérida es considerada de manera general, una zona de alta susceptibilidad ante los procesos hidrogeomorfológico, cuando se realizan análisis espaciales a escalas más detalladas, se pueden encontrar espacios geográficos con potencialidades para su ocupación con muy baja susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos de masa, como se resalta entre líneas amarillas en la Figura 40. En este nivel o categoría de muy baja susceptibilidad destacan las zonas dentro de la terraza de la ciudad de Mérida, con un retiro prudencial con respecto a los bordes de los taludes. Se corresponden con lugares de topografía plana con pendientes inferiores a 5° ($< 9\%$) pero sobre emplazamientos sobresalientes o superiores dentro de la terraza de la ciudad de Mérida y sobre secciones de abanicos aluviales no funcionales. Incluyen zonas retiradas de las cicatrices de deslizamientos y de vertientes inestables. Dentro de esta categoría, se destacan el casco histórico de la ciudad y zonas planas a los alrededores de las avenidas Urdaneta y 16 de Septiembre.

Los sectores que reflejan este nivel de susceptibilidad se resumen y se reconocen como: terrenos de la Meseta de Zumba ubicados en las cercanías del Complejo Deportivo 5 Águilas Blancas (Estadio Metropolitano). Urbs. La Alameda, La Mara, Alto Chama, Parte del sector (La Parroquia, Parte de las Urbs. Carrizal “A” y “B”, La Sabana, Central, La Mata, Las Tapias, El Entable, J.J. Osuna Los Curos, Campo Claro, La Pedregosa, El Castor, Las Ardillas, La Trinidad, Piedras Blancas, Barrio Nueva Bolivia, Zonas Industriales Los Curos, Herdeca y Los Andes, La Floresta, La Horqueta, Belenzate, Urb. San Antonio, San Cristóbal, Las Delias, Pinto Salinas, Fray Juan Ramos

de Lora, Mariano Picón Salas), barrios Pie del Llano, Campo de Oro, San José Obrero, parte de Santa Elena, Cuatricentenario, Santa Bárbara, Urbs. Humboldt, La Licha, El Rosario, Parte de la Urb. El Bosque y sector El Tejar, barrio La Plata a excepción de las casas ubicadas dentro del cauce de la quebrada Gavidia, Res. La Huaca, Parte de las Urbs. Bugam's Ville y Los Pinos, Urb. San José, Parte de la Urb. Villas Verónica, barrio Gonzalo Picón, Urb. El Encanto a excepción de zonas al borde del talud del río Albarregas, Conjuntos Residenciales Parque Las Américas, Los Samanes, Luis Fargier Suárez, El Rodeo, Los Sauzalez, Don Pancho, Pompeya, Araguaney, barrio El Llanito, barrio Sucre, sector El Campito, Parte del barrio Santo Domingo exceptuando las zonas inmediatas al talud norte del río Albarregas, Res. San Eduardo, El Viaducto a excepción de las zonas cercanas al talud, Las Marías, barrio San Juan Bautista, parte del sector La Liria y la Urb. Santa Ana Sur.

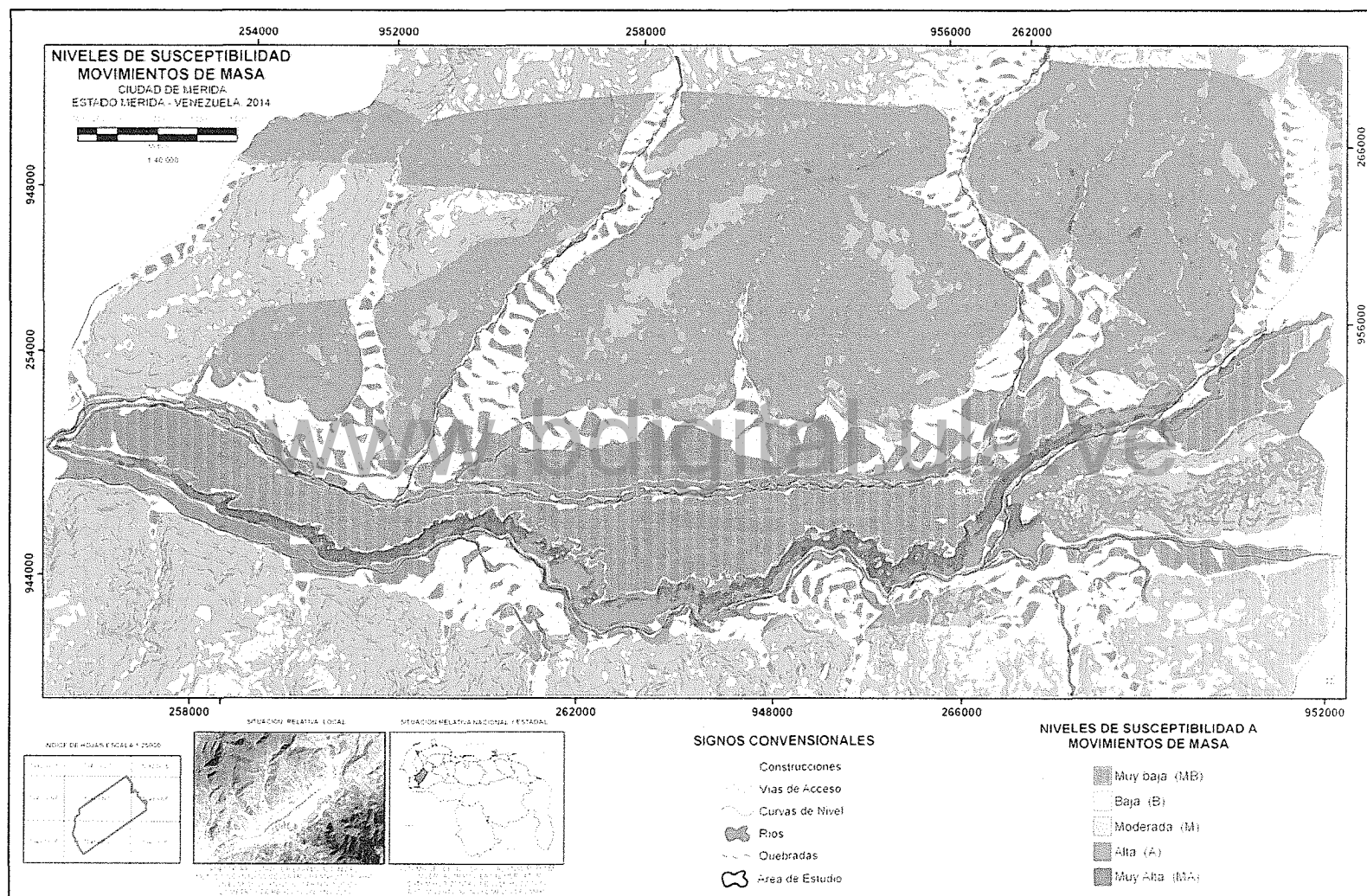


Figura 40. Centro de la Ciudad de Mérida. Se observa la Ciudad delimitada por los ríos Albarregas y Chama y se resaltan las Zonas de Muy Baja Susceptibilidad.

Fuente: INPRADEM 2008

En el casco urbano concentrado de la ciudad de Mérida, resaltan los sectores ubicados entre Glorias Patrias y Milla retirados de los surcos de erosión y bordes de los taludes de los ríos Albarregas y Chama. Incluyendo los sectores ubicados entre las avenidas 2 hasta la 8 y parte de la avenida 9, siempre en zonas suficientemente retiradas de los bordes de taludes. Todos los niveles de susceptibilidad se ilustran en la Figura 41.

Figura 41. Niveles de susceptibilidad a ocurrencia de movimientos de masa
(Mapa reducido de la versión original)



CONCLUSIONES

De la elaboración de este trabajo de investigación se desglosan las siguientes conclusiones:

En este trabajo, las imágenes de satélite Aster y Spot V, así como los ortofotomapas, permitieron interpretar la cobertura vegetal y el uso general de la tierra, analizar los eventos hidrogeomorfológicos asociados a movimientos de masa antiguos y recientes, así como posteriormente superponer capas de información espacial fundamentales para obtener los niveles de susceptibilidad identificados. Esta bondad de la metodología y de las imágenes de percepción remota utilizadas, permitió obtener mapas temáticos sobre las variables bajo análisis y reafirmar los resultados a través de escenas digitales del terreno, interpretaciones de los procesos geodinámicos externos mostradas en ventanas cartográficas detalladas y apoyar la zonificación resultante.

La zonificación de áreas susceptibles a movimientos de masa puede ser utilizada como base cartográfica preliminar, para la determinación de posibles áreas que podrían ser afectadas, en un futuro, por estos tipos de procesos. A través de estos mapas se pueden establecer diferentes niveles de restricciones para la ocupación o expansión urbana, los cuales servirían de base para desarrollar estrategias que permitan prevenir o minimizar los riesgos.

La Evaluación Multi-Criterio (EMC), a través del método de las jerarquías analíticas (AHP), resultó ser una metodología recomendable para este tipo de análisis de susceptibilidad, debido a que permite al usuario la manipulación de distintas coberturas cartográficas relativas al problema planteado y finalmente permite obtener resultados satisfactorios en corto tiempo.

Los sistemas de información geográfica utilizados en el método AHP y sus algoritmos para el procesamiento digital, son una herramienta muy útil para los trabajos que realizan análisis e interpretación de bancos de datos espaciales a través de datos raster o vectoriales, en especial para la superposición y cruce de coberturas cartográficas temáticas, en donde se requiere ponderar o jerarquizarlas en función de su importancia relativa, facilitando la interpretación y análisis cartográfico con el uso de geotecnologías

y con resultados fundamentales y apropiados para el alcance de los objetivos propuestos.

Uno de los aspectos importantes de la aplicación de esta metodología fue que los resultados fueron validados con chequeo de campo y el conocimiento del área de estudio.

La metodología empleada para la zonificación de áreas susceptibles a ser afectadas por movimientos de masa, reflejó ser una buena herramienta para derivar mapas síntesis de niveles de susceptibilidad y permitió obtener excelentes comparaciones de los resultados con el inventario de los movimientos de masa y áreas afectadas anteriormente.

Cada nivel de susceptibilidad es un resultado que refleja la realidad geográfica del área bajo estudio, en función de los factores condicionantes utilizados. Sin embargo, la ocurrencia de los movimientos de masa, es un fenómeno complejo que se produce bajo una combinación de condiciones físico ambientales y se asume que existen altas posibilidades de colapsos potenciales en los sitios en donde esas combinaciones se repiten.

Es oportuno indicar que los niveles de susceptibilidad cartografiados no consideran procesos hidromorfológicos complejos ante la presencia de factores detonantes o desencadenantes, tales como eventos hidrometeorológicos y sísmicos de gran magnitud.

RECOMENDACIONES

La aplicación de la metodología para zonificar áreas susceptibles a ser afectadas por movimientos de masa va a depender de la escala de trabajo y de acuerdo a esto, podría incorporar otras variables físicas consideradas como condicionantes también para activar movimientos de masa latentes o dinamizar aquellos que se encuentran activos. En tal sentido se sugieren: estudios geotécnicos que involucren la resistencia al corte, los perfiles de meteorización, los índices de plasticidad y humedad, así como estudios sedimentológicos y geológicos detallados que sean pertinentes para la escala escogida. Igualmente, son de vital importancia los análisis de las condiciones meteorológicas y sísmicas como factores desencadenantes de los procesos de remoción en masa.

Se exhorta a las instituciones competentes en materia de gestión de riesgos y administración de desastres y en especial a los entes promotores de construcción de viviendas, a unir esfuerzos para promover la aplicación de métodos orientados a la zonificación de susceptibilidad, amenazas, vulnerabilidad y riesgos, aplicando técnicas modernas, justificadas por la necesidad de ordenar el territorio en base a los niveles de peligrosidad característicos de cada lugar.

Se sugiere usar los resultados cartográficos de la presente investigación, como base para la aplicación y corrección de posteriores estudios relacionados con esta temática, tomando en consideración levantamientos aerofotogramétricos actualizados, nuevas imágenes de satélite de igual o mejor resolución espacial, equipos de mayor precisión y potencia para el procesamiento digital de la información, todo acorde a las técnicas de geoprocесamiento aplicadas.

La zonificación de niveles de susceptibilidad resultante, podría servir de base para la gestión interna de los entes del desarrollo de la ciudad de Mérida, con la finalidad de orientar la toma de decisiones, principalmente de aquellos sitios considerados como de muy alta y alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa. Igualmente, se debe prestar atención a las zonas con moderada susceptibilidad, ya que existen importantes posibilidades de ocurrencia de eventos extremos, los cuales ameritan también atención especial.

La información temática referente a: la geología, geomorfología, hidrografía, usos del suelo, vegetación, topografía, sectores de pendiente, suelos entre otros, para el área de estudio, se encuentra desactualizada, en formato analógico, en diferentes sistemas de coordenadas, a escalas diferentes, poco detalladas y construidas con metodologías analógicas, que lamentablemente distorsionan la realidad de los procesos y geodinámicas de las variables analizadas, lo cual dificulta el uso de técnicas geomáticas y en consecuencia la obtención de los resultados de calidad. Por este motivo, se recomienda que las instituciones competentes produzcan información cartográfica base y temática actualizada, a escalas estandarizadas que permitan facilitar la aplicación de esta metodología.

En la gestión integral del riesgo, la zonificación de áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa, constituye una verdadera herramienta de comunicación entre las instituciones y las comunidades porque facilita a los primeros, el análisis de las áreas con diferentes restricciones para la ocupación y en consecuencia la toma de decisiones y a los segundos, posiblemente la información adecuada para concienciarla al respecto.

Es importante concluir estas recomendaciones indicando que la escala de este trabajo podría servir de guía preliminar para evaluar escenarios de riesgos, sin embargo, cuando se tomen decisiones para desarrollar urbanísticamente zonas identificadas como de alta y muy alta susceptibilidad se recomiendan hacer estudios detallados de sitio que involucre sus características geotécnicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA, C. y COROMINAS, J. 2002. **Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG**. Instituto Geológico y Minero de España. 153 p. Disponible en: <http://ggyma.geo.ucm.es/articulos/articulo.pdf>. Acceso el: 4 Ago. 2010.
- ARONOFF, S. 1995. **Geographic information systems: A management perspective**. Canada. WDL Publications. 294 p.
- BARREDO, J. (1996). **Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio**. Madrid, España: Ra-Ma. 264 p.
- BRABB, E. PAMPEYAN, E. Y BONILLA, M. 1972. **Landslides susceptibility in San Mateo Country**, California. U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map, MF – 360 p.
- BURROUGH, P. y MCDONNELL, R. 1998. **Principles of geographical information systems**. Editorial Oxford. 333 p.
- CABELLO, O. 1966. **Estudio geomorfológico de Mérida y sus alrededores**. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de geografía. Mérida. 105 p.
- CABELLO, O. y FERRER, C. 1983. **Síntesis de las principales características geomorfológicas de la cuenca del Río Tórbes**. Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales. ULA.
- CÂMARA, G., DAVIS, C. y MONTEIRO, A.M.V. (ED.). 2001. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 344 p. (INPE-10506-RPQ/249). Disponible en: <http://urlib.net/sid.inpe.br>. Acceso el: 27 Ago. 2010.
- CÂMARA, G. y MEDEIROS, J. 1998. Princípios básicos em geoprocessamento, In: Delgado, E.; Eyji, E. (Org). **Sistema de informações geográficas. Aplicações na agricultura**. Editora Embrapa, cap. 1, 3 – 11 p.
- CÁRDENAS, A. 2000. **Análisis del fenómeno ocurrido en el litoral venezolano en diciembre de 1999**. Revista Geográfica Venezolana. 41 (2). 273 – 280 p.
- CARRARA, A. 1992. **Landslide hazard assessment**. 1er Simposio internacional sobre sensores remotos y sistemas de información geográfica para el estudio de riesgos naturales, Bogotá, Colombia, 329 – 335 p.
- CARLINI, A y VERA, A. 2004. **Estudio de los riesgos geológicos-ambientales del área ocupada por el sector La Joya-San Jacinto, Estado Mérida**. Escuela de Ingeniería Geológica. ULA, trabajo final de grado, Mérida. 125 p.
- CERRADA, P. y MORA, B. 2007. **Caracterización geofísica mediante la aplicación de sísmica de refracción entre los sectores Zumba-La Parroquia y la avenida Andrés Bello**. Estado Mérida. Escuela de Ingeniería Geológica. ULA, trabajo final de grado, Mérida. 142 p.

- CHACÓN, G. y UZCÁTEGUI, A. 2004. **Actualización geomorfológica de la ciudad de Mérida y sus alrededores**. Escuela de Ingeniería Geológica. ULA, trabajo final de grado, Mérida. 157 p.
- CHUVIECO, E. 1996. **Fundamentos de teledetección espacial**. Rialp. Madrid. ES. 3. ed. Rev. 568 p.
- DUGARTE, M. 2002. **Evaluación de áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa en la cuenca del Río Mocotíes del estado Mérida**. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. ULA. Tesis Magíster Scientiarum. 111 p.
- FERRER, C. 1987. **Influencia de las condiciones geomorfológicas en el desarrollo y expansión de la ciudad de Trujillo (estado Trujillo), Andes Venezolanos**. Revista Geográfica Venezolana. XXVIII: 93 – 136 p.
- _____. 1988. **Metodología para la evaluación geomorfológica de la estabilidad relativa de terrenos de la conurbación Valera Trujillo**. Revista Geográfica Venezolana. XXIX: 5 – 64 p.
- _____. 1996. **Evolución Geológica de un Segmento de la Falla de Boconó Durante el Neógeno: Implicaciones Tectónicas y Sedimentológicas del Sector Tabay – Estánques (estado Mérida)**. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. ULA.
- _____. 1999. **Represamientos y rupturas de embalses naturales (lagunas de obturación) como efectos cosísmicos: algunos ejemplos en Los Andes Venezolanos**. Revista Geográfica Venezolana. 40 (1): 109 – 121 p.
- FERRER, C. y DUGARTE, M. 1993. **Segundo simposio de fallas activas y deforestaciones cuaternarias en la Cordillera de Los Andes**. Revista Geográfica Venezolana. 34 (1): 129 – 143 p.
- FERRER, C. LAFFAILLE, J. Y RENGIFO, M. 1998. (eds.). **Primeras jornadas de sismicidad histórica en Venezuela**. Revista Geográfica Venezolana. 39 (1 y 2): 353 p.
- FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2002. Ejido. 1947: **Un interesante ejemplo de formación y ruptura de laguna de obturación de la cuenca media del Río Chama. Mérida – Venezuela**. III Jornadas Venezolanas Sismicidad Histórica. Serie Técnica N° 1 200 – 203 p.
- _____. 2004. **Un ensayo de zonificación física para la habilitación física de barrios en Los Andes Venezolanos**. Revista Geográfica Venezolana. 45 (1): 11 – 34 p.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C. 1980. **Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas**. Caracas. Tomo I y II. Ediciones Foninvest.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, FERRER, M. ORTUÑO, L. y OTEO, C. 2002. **Ingeniería geológica**. Editorial Prentice Hall. Madrid – España. 695 p.
- GONZÁLEZ, M. 1991. **Zonificación de los riesgos naturales para la ciudad de San Cristóbal y sus alrededores**. Un Enfoque Geomorfológico. Escuela de Geografía. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. ULA. Mérida. 77 p.

HANSEN, A. 1984. **Landslide hazard analysis**. En: Brunsden, D. y Prior, D. (eds.) Slope Instability. Wiley & Sons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. 523 – 592 p.

IANNUZZI, L. 1997. **Aplicación de una metodología orientada a objetos para el desarrollo de sistemas de información geográfica en apoyo a la gestión y administración de desastres naturales**. CIDIAT - ULA. Tesis de Maestría. 199 p. + Apéndice.

IRIGARAY, C. y CHACÓN, J. 2002. **Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG**. Madrid España. 21 – 36 p.

LA MARCA, E. 1997. **Origen y evolución geológica de la Cordillera de Mérida**. Cuadernos de la Escuela de Geografía # 1, ULA. Mérida. 110 p.

MEJÍAS – NAVARRO, M. WOHL E. y OAKS S. 1994. **Geological hazards, vulnerability and risk assesment using gis: model for glenwood sprongs, Colorado**. Geomorphology. 10: 331 – 354 p.

MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO, 1998, **Plan de ordenación urbanística del área metropolitana de Mérida – Ejido – Tabay**, estado Mérida. Dirección General Sectorial de Ordenamiento Urbanístico. Resolución N° 3001. 71 p.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. 1976. **Microzonificación sísmica de la meseta de Mérida**. Tomos I y II. Caracas.

MIRANDA, J. 2010. **Fundamentos de sistemas de informacoes geográficas**. Editorial Embrapa. Brasil. 433 p.

MOLINA, L. y ROJAS, Y. 1982. **Estudio teórico – metodológico en la estimación de riesgos naturales en la ciudad de Mérida**. ULA, Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales. 110 p.

OLIVEROS, O. 1997. **Estudio geotécnico de la ciudad de Mérida y sus alrededores**. Congreso Geológico Venezolano V, Ministerio de Energía y Minas.- Sociedad Venezolana de Geólogos TIV. 1779 – 1798 p.

PACHECO, C. Y POZZOBON, E. 2006. **Manual de ejercicios de laboratorio. fotogrametría y fotointerpretación**. Publicaciones Vicerrectorado Académico. CODEPRE. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. ULA / Mérida. 49 – 69 p.

POZZOBON, E. y GUTIERREZ, J. 2003. **Utilización de un sistema de información geográfica para la selección y priorización de áreas a reforestar en los alrededores de la ciudad de Mérida, Venezuela**. Revista Forestal Venezolana. 47(2) 2003. 61 – 72 p.

PRIETO, D. 2004. **Caracterización sedimentológica de la terraza de Mérida**. Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Geológica. 193 p.

PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS. 2007. **Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas**. Servicios Nacionales de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p. CD-ROM.

RAMIREZ, N. y SAITO, S. **Zonificación de áreas susceptibles a los movimientos en masa: terraza de la ciudad de Mérida y sus alrededores**. Simposio Brasileiro de Sensoramiento Remoto, Curitiba, 2011. 8 p.

RAMÍREZ, R. 1998. **Aplicación de una metodología para la determinación de áreas susceptibles a movimientos de masa Caso: Microcuenca La Piñalera. Cuenca del río Dorada. estado Táchira – Venezuela**. Centro de Estudios de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. ULA. Tesis de Maestría. 35 p.

_____. 2005. **Una zonificación geomorfológica utilizando el concepto de estabilidad relativa aplicado a la microcuenca Los Tapiales, Río Mucujún, El Vallecito, estado Mérida – Venezuela**. Revista Geográfica Venezolana. 46 (2): 235 – 252 p.

REGINALD, H. JACKSON, L. HUNGR, O. JAKOB, M. Y PORTER, M. 2005. **Movimientos de masa**. Servicio Geológico Canadiense. Proyecto Multinacional Andino. INGEOMIN. 432 p.

ROA, J. **Aproximación al mapa de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos de la ciudad de Trujillo, Venezuela. ÁGORA -Trujillo**. Venezuela. ISSN 1316-7790-AÑO 9- N° 17 - ENERO - JUNIO - 2006. 45-83 p.

RODRÍGUEZ, J. y AUDEMARD, F. 2003. **Sobreestimaciones y limitaciones en los estudios de sismicidad histórica con base en casos venezolanos**. Revista Geográfica Venezolana. 44 (1) 47 – 75 p.

SAATY, T. 1980. **The analytical hierchy process**. New York. USA, McGraw Hill. Pittsburgh: RWS Publications. 192 p.

SCHUBERT, C. y VIVAS, L. 1993. **El Cuaternario de la Cordillera de Mérida**. ULA / Fundación Polar, Mérida. 345 p.

UFORGA – ULA. 1997. **Evaluación ambiental - territorial del ámbito geográfico de la Zona Libre Cultural, Científica y Tecnológica del Estado Mérida**. ULA. Mérida. Tomos.

VARNES, D.J. 1984. **Landslide hazard zonation. A review of principles and practice**. UNESCO press, Paris, 63 p.

VIVAS, L. 1996. **El Cuaternario**. Universidad de Los Andes. Consejo de Publicaciones, Mérida. Venezuela. 266 p.

WICANDER, R. y MONROE, J. 2000. **Fundamentos de geología**. Internacional Thomson Editores S.A., Segunda Edición. México. 456 p.

APENDICE A - Soporte de decisión desde el sistema para procesamiento de informaciones georeferenciadas (SPRING).

Suporte à decisão (AHP)

Categorias

COBUSO
GEOL
GEOM
PEND

Exibir

	Critério	Peso	Critério
PEND	1	Igual	GEOL
PEND	3	Algo Melhor	GEOM
PEND	5	Melhor	COBUSO
GEOL	5	Melhor	GEOM
GEOL	5	Melhor	COBUSO
GEOM	3	Algo Melhor	COBUSO
		Igual	
		Igual	
		Igual	
		Igual	

Razão de Consistência 0.043

Calcular Peso Fechar Ajuda

Figura 2 A. Soporte de decisión desde el sistema para procesamiento de informaciones georeferenciadas (SPRING).

APENDICE B - Programación en Legal

```
{
// Pesos a ser aplicados
// COBUSO = 0.066
// GEOL = 0.434
// GEOM = 0.131
// PEND = 0.370
// Razón de consistencia
// CR = 0.043

// Programa en LEGAL
// Este programa debe ser completado
// por el usuario para incluir los datos
// representados entre los signos de <>

// Definición de los datos de entrada

Imagen var1 ("USOCOBERT");
Imagen var2 ("GEOLOGIA");
Imagen var3 ("GEOMORFOLOGIA");
Imagen var4 ("PENDIENTE");

// Definición de dato de salida

Numérico var5 ("ahpcondicionantes");

// Recuperación de los datos de entrada

var1 = Recupere (Nombre="USOCOBERT");
var2 = Recupere (Nombre="GEOLOGIA");
var3 = Recupere (Nombre="GEOMORFOLOGIA");
var4 = Recupere (Nombre="PENDIENTE");

// Creación de los dato de salida

var5 = Nuevo (Nombre="AHP1", ResX=5, ResY=5, Escala=10000, Min=0, Max=1);

// Generación de la media ponderada

var5 = 0.066*Numérico(var1) + 0.434*Numérico(var2)+ 0.131*Numérico(var3)+
0.370*Numérico(var4);
}
```

APENDICE C - Imagen resultante del procesamiento del método AHP desde SPRING.

Muestra el archivo matricial en formato GRID, el cual contiene los valores digitales de cada nivel de susceptibilidad y las coordenadas (x; y) fundamentales para realizar la salida cartográfica final.

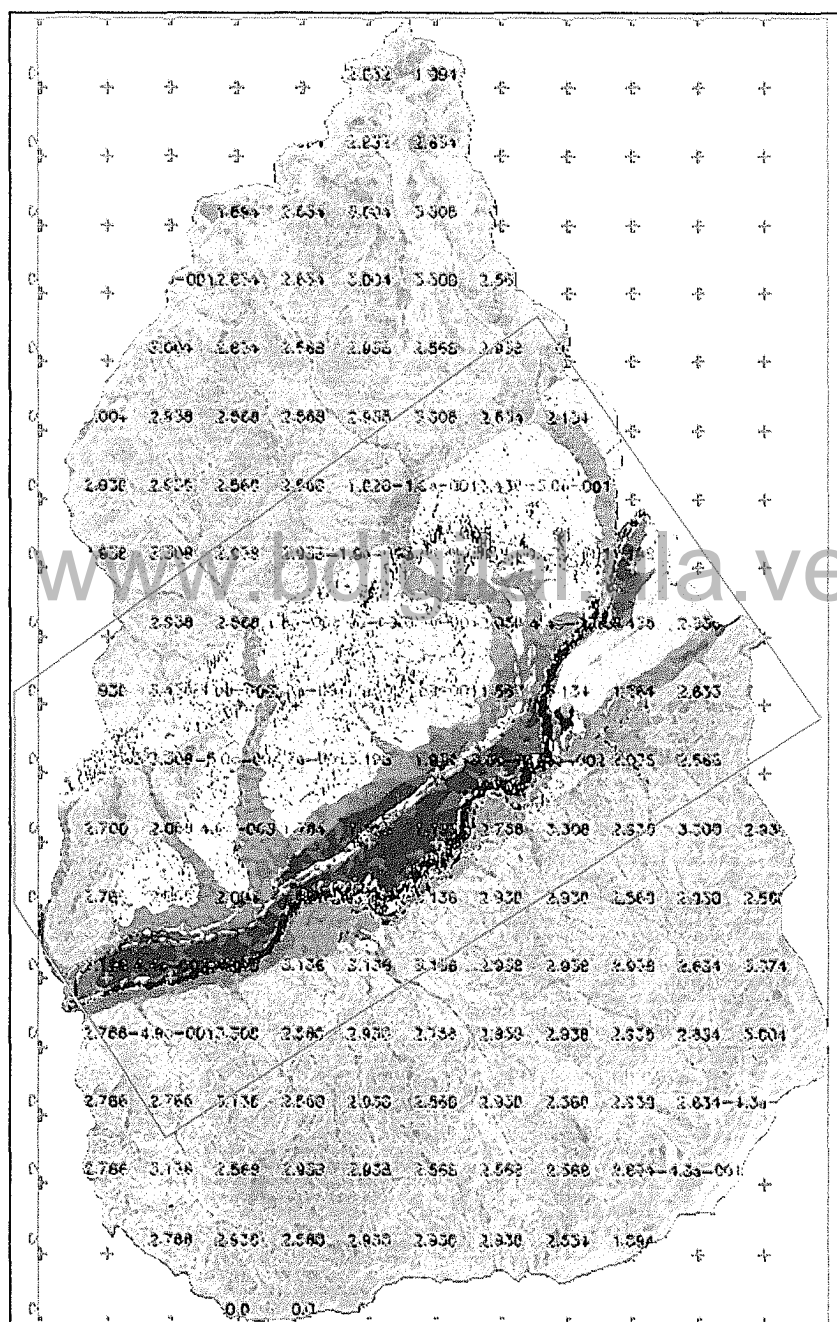


Figura 3 C. Imagen resultante del procesamiento del método AHP desde SPRING.

APENDICE D- Representación digital del relieve del área de estudio usando las curvas de nivel y las aplicaciones de análisis espacial 3D. En esta imagen se pueden visualizar algunas características del relieve y permitió apoyar la interpretación de las fallas geológicas. (Mapa reducido de la versión original)

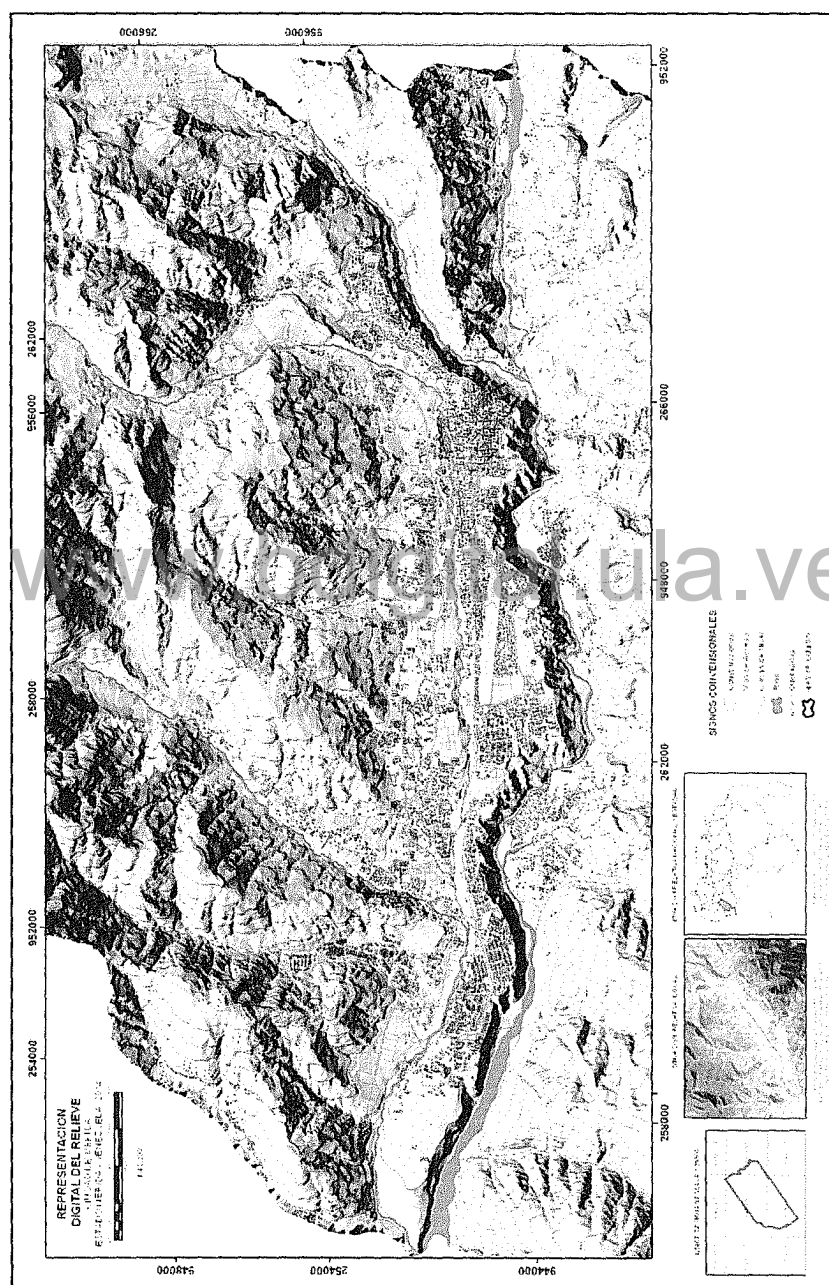


Figura 4D. Representación digital del relieve.