

MAPA DE UNIDADES DE SUELO Y LITOLOGÍA SUPERFICIAL COMO CONTRIBUCIÓN AL PROYECTO GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS EN ESPACIOS URBANOS - FASE MÉRIDA, VENEZUELA

David Medina¹; Ninfa Montilla¹; Laura Pimstein²

Forma de citar: Medina, D., Montilla, N., y Pimstein, L. 2015. Mapa de unidades de suelo y litología superficial como contribución al proyecto gestión integral de riesgos en espacios urbanos – fase Mérida, Venezuela. Boletín de Geología, 37 (1): 83-97.

RESUMEN

La investigación llevada a cabo dentro del proyecto intitulado “Gestión integral de riesgos en espacios urbanos (Fase Mérida)” enmarcado en el macro proyecto Misión Ciencias, tuvo como objetivo en su componente geológico_ geomorfológico_ geotécnico elaborar un mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa en el área metropolitana del Municipio Libertador del estado Mérida, el cual resultado de la integración de cinco variables condicionantes a la estabilidad: pendiente, vegetación, geomorfología, cinemática y unidades de suelo, y litología superficial. Para efectos del artículo se expondrá una de las principales variables utilizadas, el mapa de unidades de suelo y litología superficial. Este mapa representa una propuesta a ser incluida dentro de los mapas de susceptibilidad, ya que permite cartografiar la distribución areal de los materiales geológicos superficiales en base a su estado físico-geomecánico, condición no considerada en los análisis clásicos. En función de esta nueva metodología, se logró caracterizar diecisiete unidades de material superficial, considerando: resistencia, grado de fracturamiento, meteorización y comportamiento geomecánico de los materiales, estableciéndose además niveles de propensión a la inestabilidad.

Palabras clave: susceptibilidad, unidades de suelo, litología superficial, estado físico-geomecánico, cartografía.

MAP OF SOIL UNITS AND SURFACE LITHOLOGY AS A CONTRIBUTION TO THE OVERALL PROJECT RISK MANAGEMENT IN URBAN SPACES - MÉRIDA PHASE, VENEZUELA

ABSTRACT

Research carried out within the project entitled “Integrated risk management in urban areas (Mérida Phase)” framed in Science Mission project, had as main objective (geological – geotechnical- geomorphological component) produce a map susceptibility to mass movements in the metropolitan area of Libertador Municipality of Mérida, which resulted from the integration of five conditions to the stability variables: slope, vegetation, geomorphology, kinematics and ground units and surface lithology. For purposes of the article will present one of the main variables used, the map units of soil and surface lithology. This map represents a proposal to be included within the susceptibility maps, allowing mapping the distribution area of surface geological materials based on their physical and geomechanical state, condition not considered in the classical analysis. Based on this new method, it was possible to characterize seventeen units surface material, considering: resistance, degree of fracturing, weathering and geomechanical behavior of materials, also establishing levels of propensity to instability.

Keywords: Susceptibility, soil units and surface lithology, physical-mechanical mapping state.

¹ Departamento de Geología, Instituto Nacional de Geología y Minería, INGEOMIN, Mérida, Venezuela - davidbmedinag@gmail.com, ninfa.10.11@gmail.com.

² Escuela de Geología, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela: laurapimstein@yahoo.es

INTRODUCCIÓN

El proyecto “Gestión integral de riesgos en espacios urbanos” nace como un plan estratégico del estado enmarcado dentro del macroproyecto Misión Ciencias, llevado a cabo por el Ministerio para el Poder Popular de Ciencia y Tecnología, el cual dentro de sus objetivos, promueve el conocimiento de las diversas amenazas y riesgos de índole natural que afectan a las comunidades de las principales ciudades del país, bajo el propósito de establecer herramientas estratégicas para la toma de decisiones en materia de ordenación del territorio y planificación urbana de la ciudad de Mérida. En función de ello, INGEOMIN Región Los Andes, realizó un trabajo integrado para evaluar las condiciones físicas naturales asociadas a los componentes geología, geomorfología y geotecnia del área metropolitana de Mérida, el cual es un insumo para el mapa final, que es el mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa, que se elabora considerando el método estadístico bivariado.

El mapa de unidades de suelo y litología superficial, como variable geotécnica incorporada a la susceptibilidad, expresa la caracterización y condiciones de los materiales superficiales basados en su estado

físico, cuyos parámetros intrínsecos fueron obtenidos mediante ensayos in situ y de laboratorio considerando normas y estándares internacionales. Los materiales se catalogaron de acuerdo a la clasificación geotécnica de rocas (ISRM, 1978) y a la clasificación geotécnica de suelos según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS en Juárez y Rico, 2004), cada categoría contiene los atributos inherentes a las características geomecánicas de los materiales y grado de propensión a la inestabilidad. En este caso, para el estudio de los perfiles de meteorización en suelos residuales se utilizó la metodología de Deer and Patton (1971), debido a la similitud que ofrecen sus perfiles idealizados con los perfiles presentes en el área de estudio. La idea es que esta temática contribuya con la determinación de la susceptibilidad ante movimientos en masa como herramienta de planificación y gestión del territorio.

El área de estudio abarca toda el área metropolitana del municipio libertador del estado Mérida y adyacencias, presentando una superficie aproximada de 8.150 has, su superficie se encuentra delimitada en un polígono irregular cuyos vértices aproximados son: 1.N:944578; E: 256862, 2.N:945954; E: 261932, 3.N:951457; E: 268968, 4.N:955151, E: 265430.5. N: 953245; E: 259318. 6. N: 950887; E: 255663. Ver FIGURA 1.

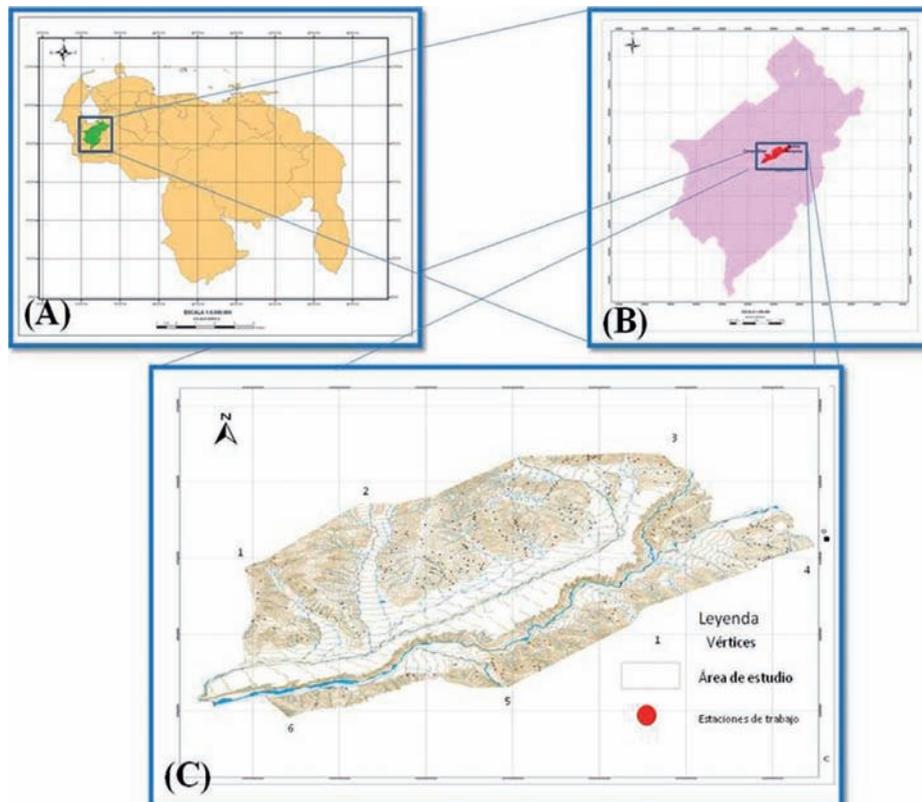


FIGURA 1. Área de estudio, área metropolitana del municipio Libertador del estado Mérida (ampliada).

GEOLOGÍA GENERAL Y ASPECTOS GEOGRÁFICOS DEL ÁREA

Desde el punto de vista político - administrativo, la ciudad de Mérida ocupa parte del municipio Libertador del estado Mérida, integrado por quince parroquias de las cuales doce (12) corresponden y circundan al área de estudio, tales como: Antonio Spinetti Dini, Arias, Caracciolo Parra Pérez, Domingo Peña, Jacinto Plaza, Juan Rodríguez Suárez, Lasso de la Vega, Mariano Picón Salas, Milla, Osuna Rodríguez, Sagrario y El Llano, que ocupan una superficie aproximada de 303,62 km². De éstos, 81,50 km² forman parte del área de estudio.

Los Andes venezolanos merideños están constituidos por un conjunto litológico que comprende edades geológicas que van desde el Precámbrico hasta el Cenozoico. La ciudad de Mérida, particularmente, presenta varios tipos de unidades de relieve que han sido originados producto de la interacción de la tectónica, regímenes de depositación y de la respuesta de las formaciones geológicas ante los procesos de geodinámica interna y externa, dando origen a las unidades de suelo y litología superficial presentes en el área de estudio. Debido a que los suelos residuales y coluvión asociado se originan y dependen en gran medida de la naturaleza de la roca parental, se describen a continuación las formaciones geológicas del área de estudio de acuerdo a su cronología:

Asociación Sierra Nevada (Edad: Precámbrico).

La Asociación se encuentra aflorando principalmente al sur del Río Chama cubriendo una superficie de 1.204,05 has, está compuesta predominantemente por una alternancia de esquistos micáceos - pegmatíticos y gneises, gneises migmatíticos, anfíbolitas, gneises graníticos y localmente mármoles y cuarcitas. Muestra grado de metamorfismo regional de la anfíbolita. Por lo general se generan suelos residuales arenosos semicompactos, ricos en cuarzo y filosilicatos. Los coluviones asociados corresponden a caída de rocas producto del grado de fracturamiento existente. Ver FIGURA 2.

Granodiorita de El Carmen (Edad: Paleozoico)

La granodiorita aflora cubriendo una superficie de 195,58 has al noreste de la ciudad conformando la fila el alto o fila del Escorial, representando un cuerpo granítico cuarzo-feldespático-moscovítico-biotítico, de grano medio, leuco a mesocrática y equigranular, que presenta numerosa diaclasas tanto a pequeña como a gran escala.

Kovisar, 1972 en MEM (1997) considera este cuerpo como un "sill" granítico ubicado paralelo a la directriz andina principal al norte del río Chama, noreste del estado Mérida. La Granodiorita presenta altos niveles de alteración, a su vez presenta gran densidad de diaclasas por metro cuadrado (19:1), lo que hace a la unidad poco resistente a la erosión y con muy alta propensión a movimientos en masa del terreno. La unidad ha provocado accidentes fatales específicamente en la troncal 007, a la altura de capilla El Carmen y la quebrada Las Calaveras. Su suelo residual es arenoso, por lo general suelto e hidratado con fragmentos de roca sana embebida (granodiorita). Ver FIGURA 2.

Formación Sabaneta (Edad: Paleozoico).

Esta formación se localiza en Mérida, en la parte alta de loma los Maitines, urbanización Los Curos y estribaciones adyacentes en Ejido, cubriendo una superficie de 591,64 has. Según PMA: GCA-INGEOMIN (2007), en las adyacencias de la ciudad de Mérida se exhibe un metamorfismo de bajo grado, que se evidencia con los niveles de pizarra y filitas que presenta en algunos sectores. Litológicamente se encuentra conformada por metaconglomerados de color violeta, brechas y metareniscas. Suprayace discordantemente sobre unidades del Paleozoico inferior e infrayace transicionalmente a la Formación Palmarito. Ver FIGURA 2.

Formación Palmarito (Edad: Paleozoico).

Se extiende dentro del área sobre una superficie de 1.710,81 has aproximadamente hacia el norte de la ciudad, conformando las lomas altas que se desarrollan entre el barrio Santa Anita y la Pedregosa, y todo el norte del sector La Parroquia hasta el sector Loma los Maitines. Según PMA: GCA-INGEOMIN (2007) regionalmente representa una secuencia de pizarras y filitas de metamorfismo de bajo grado que gradan hacia arriba a calizas marinas. Ver FIGURA 2.

Formación La Quinta (Edad: Mesozoico)

Aflora en la ciudad de Mérida hacia el oeste del área metropolitana, noroeste de Ejido y La Parroquia vía Jají, y en todo el sector aguas calientes de Ejido al igual que el poblado de La Mesa; ocupando un área aproximada de 48,94 has. De acuerdo a Schubert *et al.* (1979, en MEM, 1997), esta formación consta de tres intervalos, uno inferior compuesto por una capa de toba vítrea de color violáceo, aproximadamente con 150 m de espesor; uno medio, compuesto por una secuencia interestratificada de toba, arenisca gruesa y conglomerática, limolita y algunas capas de caliza, de

color verde, blanquesino, gris a violáceo con un espesor aproximado de 840 m; un intervalo superior formado por limolita y arenisca, intercaladas con algún material tobáceo, de color rojo a ladrillo y marrón, de 620 m

de espesor Los suelos residuales son por lo general limosos con cantos de roca embebidos, consistencia de suelta a poco compacta y húmedos.

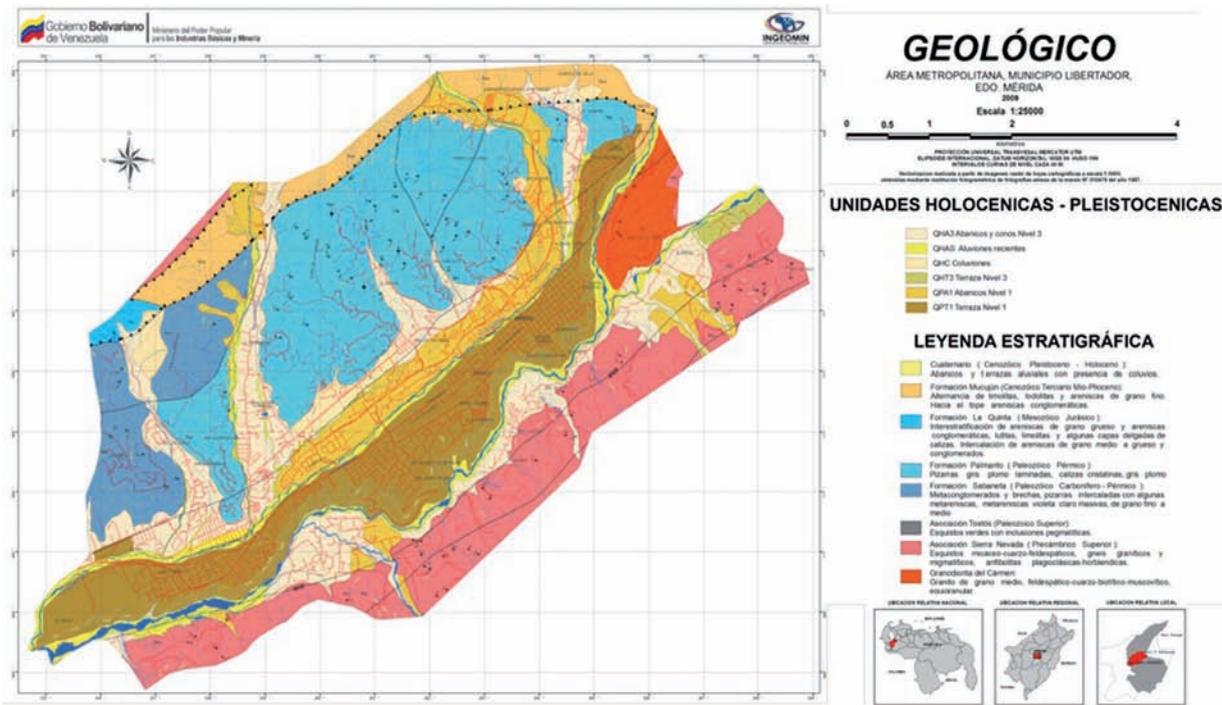


FIGURA 2. Mapa geológico del área metropolitana del municipio Libertador. Mérida- estado Mérida. Escala 1:25.000. Sistema de Proyección REGVEN Fuente INGEOMIN 2010.

Formación Mucujún (Edad: Cenozoico)

La unidad se localiza al norte de la ciudad de Mérida entre la Hechicera y la Pedregosa alta, sobre una extensión de 413,13 has. Está conformada por una secuencia alternante o cíclica de areniscas, limolitas y en menor proporción lutitas moteadas con restos vegetales y de carbón; estos sedimentos se originaron en ambientes fluviales, especialmente en canales meandriformes, diques naturales, abanicos de rotura y llanura de inundación. Véase FIGURA 2.

En términos generales, sus condiciones geotécnicas tienden a ser malas, dada su moderada a mala resistencia, principalmente por el grado de diaclasamiento de las areniscas y alto grado de meteorización de las limolitas y lodolitas que le subyacen, las cuales generan procesos de remoción en masa tipo caída de bloques y flujo de material fino. Estos materiales tienden a generar pocos espesores de suelo residual, debido a las pendientes y el trabajo de la erosión. Sin embargo, en los lugares de pendientes menos pronunciadas pueden hallarse horizontes areno-limosos semi compactos.

Depósitos Pleistocenos - Holocénicos Recientes.

Los depósitos Pleistocenos - Holocénicos, están encabezados por la terraza y abanicos aluvio-coluviales existentes, representando el 49,1 % del área de estudio, cubriendo una superficie de 4.017,76 has, de un total de 8.150 has. Véase FIGURA 2.

En la ciudad de Mérida la sedimentación continental durante el Pleistoceno estuvo influenciada por las condiciones climáticas. La aridez condicionó una alta denudación de los suelos y procesos de ladera de montañas, mientras que la precipitación, se comportó como “lluvias torrenciales” que generaron el arrastre de grandes cantidades de material erosionado. Producto de esta erosión y transporte se generó un relleno sedimentario en los valles intramontanos y piedemontes septentrionales - meridionales, formando así las terrazas y los abanicos donde se asienta la ciudad.

MÉTODOS

La realización del mapa de unidades de suelo y litología superficial requirió preliminarmente una serie de estudios relacionados a la fotointerpretación y actualización

de las cartas geológicas del área, de igual manera de la comprobación iterativa en campo de los mapas preliminares que zonifican indirectamente las unidades de material cortical (mapa de unidades homogéneas). Una vez obtenida la información geológica base, se procedió a verificar los contrastes obtenidos por la fotointerpretación dentro de las unidades geológicas existentes, contando con el programa ArcGis 9.1, corroborándose los datos geológico-geomecánicos obtenidos en campo y en laboratorio, para de esta manera fijar los límites y agrupar los cuerpos litológicos en base a las similitudes geotécnicas para las distintas zonas evaluadas y posteriormente delimitadas.

Para la fase de fotointerpretación se utilizaron tres misiones de diferentes años y escalas, enunciadas a continuación: Misión: 010480, escala 1:35.000, año 1989; Misión: 010486, escala 1:5.000, año 1986 y Misión: 010459, escala: 1:10.000, año 1973. Igualmente se hizo uso de las imágenes satelitales Spot 5, pancromática y a color año 2006, de 10 m de precisión. La idea fue obtener los mejores y mayores contrastes posibles para la delimitación de las unidades geológicas y posteriormente las unidades de suelo y litología superficial. Ver FIGURA 3.

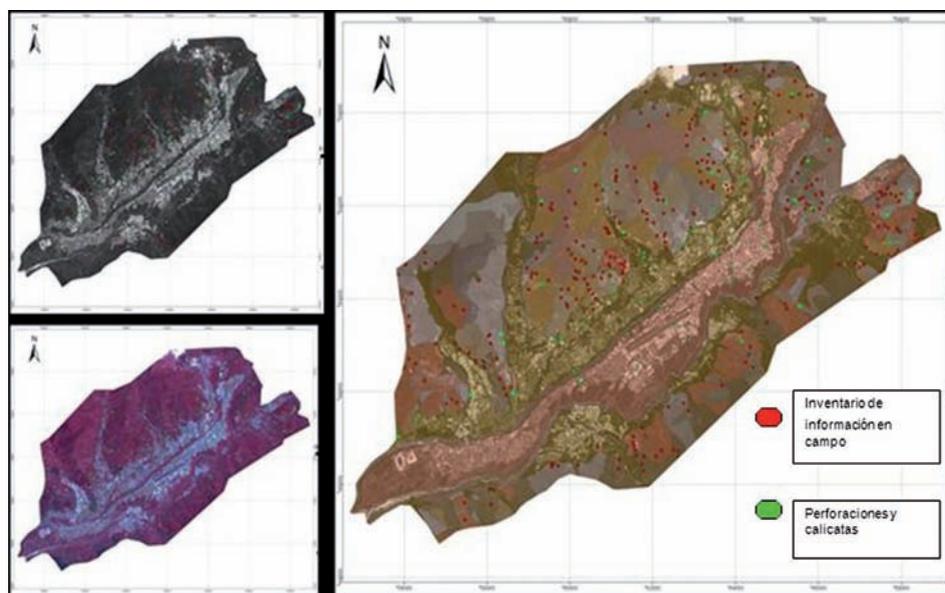


FIGURA 3. Obsérvese a la izquierda imágenes Spot5 (pancromática y a color), a la derecha la interpretación de las unidades homogéneas por litología a partir de dichas imágenes. En puntos rojos estaciones de trabajo levantadas en campo, en puntos verdes el muestreo con calicatas y perforaciones.

Para la designación del nombre de la categoría de material obtenida, se propuso identificar a los materiales superficiales de acuerdo a sus características y propiedades físicas (estado físico), considerando conveniente la clasificación geotécnica de rocas (ISRM, 1978), la cual maneja grado de fracturamiento, grado de meteorización y resistencia. Cabe destacar que cada categoría posee una base de datos las cuales contiene una muestra representativa de información referente a las propiedades y mediciones inherentes a los materiales diagnosticados en superficie. Véase FIGURA 4. Para suelos transportados se utilizaron 120 valores de SPT, 200 registros granulométricos, 50 de humedad natural, 15 de límites de consistencia, 30 de peso unitario y 10 de corte directo.

Para la evaluación de los macizos rocosos se recurrió al uso de clasificaciones geomecánicas, dentro de

las cuales se encuentran: Bieniawski (Rock Mass Rating) (Bieniawski, 1989) y Hoek (Geological stress index) (Hoek, 1998) a fines de conocer la calidad de la roca presentes en los macizos y sus implicaciones con la estabilidad mecánica, así como también diagnosticar los rangos de excavabilidad del material superficial y obtener información relacionada a las aproximaciones de los valores referentes a las propiedades índices del material y finalmente estimar el comportamiento geotécnico estimado del área designada con apoyo del software RocLab 1.0, ensayos in situ, de laboratorio y la geoestadística. Dentro de los ensayos de laboratorio aplicados a suelo se consideraron los siguientes: resistencia a la penetración (SPT), granulometría, humedad natural, límites de consistencia, peso unitario y corte directo. In situ se aplicó la técnica del penetrómetro de bolsillo para la determinación de la resistencia del

material y la veleta de campo para la determinación de la cohesión. Todos los datos geomecánicos fueron agrupados al tipo de unidad de suelo designada. En el caso de ensayos de laboratorio a rocas se conto con resistencia a la compresión simple y corte directo, en total se realizaron 50 y 60 registros respectivamente, tomados estratégicamente por unidad geotécnica (INGEOMIN, 2010). In situ se aplico la técnica del esclerómetro/piqueta para la determinación de resistencia del material y visualización de estado de mineralogía en roca para determinación de grado de

meteorización (ISRM, 1978). Cabe destacar que para roca dura se utilizó resistencia a la compresión simple y se recurrieron a los valores geomecánicos ofrecidos por las clasificaciones geomecánicas y el programa RocLab1.0 para estimar los parámetros intrínsecos necesarios para los posteriores análisis y delimitación de áreas homogéneas. Estas áreas con atributos geotécnicos similares se agruparon de acuerdo a criterios de fotointerpretación y espacialización geoestadística de todos los datos geomecánicos en programa SURFER 9.0.

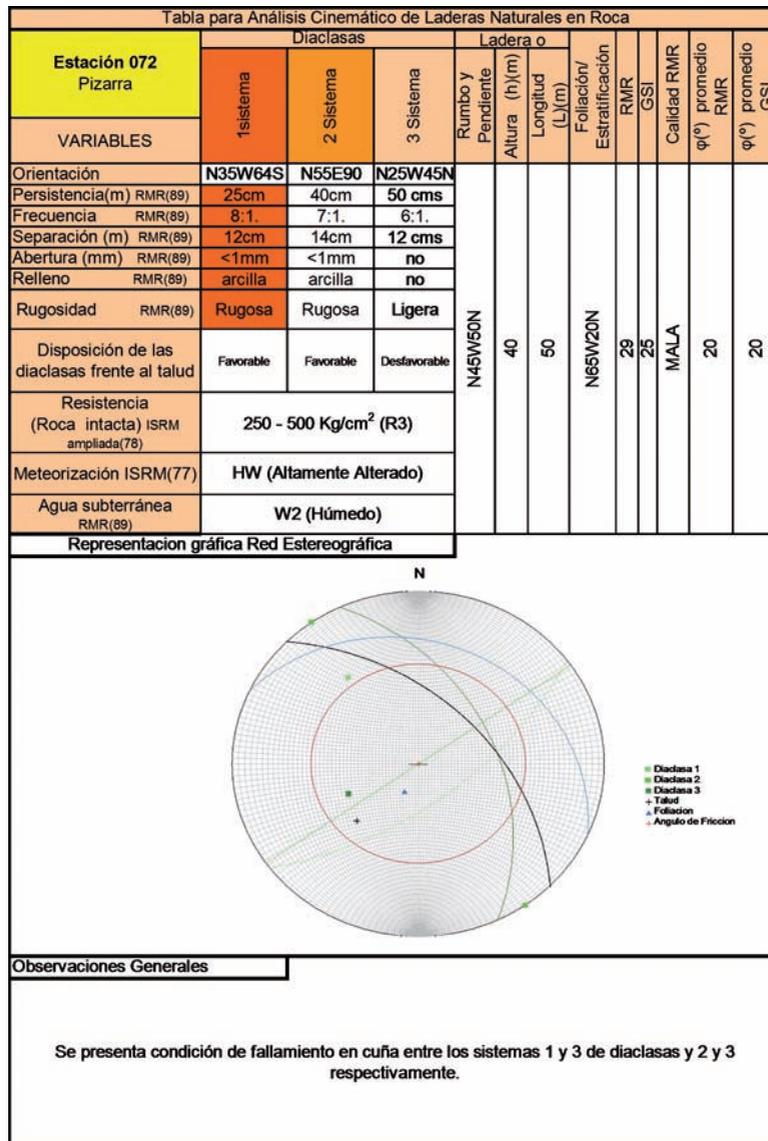


FIGURA 4. Representación del formato de vaciado de información geotécnica para las 320 estaciones de trabajo levantadas sobre macizos rocosos. Fuente INGEOMIN (2010).

Para la identificación geotécnica de los suelos transportados y suelos residuales se recurrió en principio a identificarlos de acuerdo al sistema de clasificación

unificado de suelos (Sucs en Juárez y Rico, 2004), una vez categorizados se obtuvieron sus atributos geotécnicos por medio de los análisis de laboratorio de

suelos realizados a un conjunto de muestras obtenidas de 33 perforaciones combinadas realizadas por Oliveros (1977) sobre suelos transportados, 9 perforaciones a

percusión en macizo rocoso meteorizado y 20 calicatas en suelos residuales realizados por INGEOMIN (2010). Ver FIGURA 5.

PERF.	PROF. (m)	MUESTRA	%HUM	Ncampo	Nc	N30	% GRAVA	% ARENA	% FVOS	LL [%]	LP [%]	PI [%]	D [mm]	v		Su		CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO		
														kN/m ²	(gr/cm ³)	kPa	kg/cm ²	SUCS	DESCRIPCIÓN	
P3	0.5	1	31.72	7	4	7	30.56	36.48	32.96					29	18.22	1.86	0.00	0.00	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA
	1.0	2	13.65	4	2	4								28	18.22	1.86	0.00	0.00		
	1.5	3	16.75	8	5	8								29	18.22	1.86	0.00	0.00		
	2.0	4	15.77	6	3	6								29	18.22	1.86	0.00	0.00		
	2.5	5	18.43	10	6	10	55.75	24.01	20.24					30	20.88	2.13	0.00	0.00	GM	GRAVA LIMOSA CON ARENA
	3.0	6	22.64	6	3	5								29	20.88	2.13	0.00	0.00		
	4.0	7	16.25	16	10	15								31	20.88	2.13	0.00	0.00		
	5.0	8	20.05	16	10	14	25.77	38.88	35.35					31	20.88	2.13	0.00	0.00	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA
	6.0	9	17.28	22	16	19								33	21.65	2.21	0.00	0.00		
	7.0	10	18.19	23	16	19	48.7	28.76	22.54					33	21.65	2.21	0.00	0.00	GM	GRAVA LIMOSA CON ARENA
	8.0	11	12.88	31	22	24								34	22.25	2.27	0.00	0.00		
	9.0	12		39	28	28								35	22.25	2.27			-	NO SE RECUPERÓ
	10.0	13	28.77	52	37	36	36.5	35.857	27.65									37	22.25	2.27

FIGURA 5. Esquema de planilla resumen de datos de ensayos de laboratorio por perforación. Fuente INGEOMIN 2010.

Cabe destacar que en suelos residuales, se hizo uso de los perfiles de meteorización considerando la metodología de Deer y Patton (Deer and Patton, 1971), específicamente para rocas metamórficas e ígneas, en concordancia con la respectiva caracterización física y mineralógica de los horizontes presentes, al igual que su extensión y espesor aparente. Esta metodología fue considerada en función a que el área de estudio ofrece mayor proporción de suelos residuales de génesis ígneo-metamórfica. Ver FIGURA 6.

En cuanto a la nomenclatura cartográfica de estas unidades de estado físico correspondiente a las unidades de suelo y litología superficial, se considera, para el caso del material rocoso lo siguiente: inicialmente se usa la letra (R) mayúscula para indicar que es roca, luego la condición de meteorización identificada con la letra (m) minúscula, luego el valor de resistencia asociado con las letras (d) (en caso de dura), (i) (en caso de dureza intermedia) y (b) (en caso de ser blanda) y finalmente se anexa la condición del grado de fracturamiento con la letra (f) minúscula. De presentarse alguna condición mayor o menor en la meteorización, resistencia y grado de fracturamiento, se coloca la letra (M) mayúscula significando muy, la letra (L) mayúscula levemente y la letra (P) mayúscula significando poco. Debe utilizarse las tablas publicadas referidas al estado físico emanadas por el ISRM (1978). Por ejemplo: un

estado físico identificado como roca meteorizada dura fracturada, deberá abreviarse de la siguiente manera: Rmdf, luego si otro estado físico se identifica como roca muy meteorizada blanda muy fracturada, deberá abreviarse: RMmbMf.

En el caso de los suelos, dependiendo de su naturaleza geotécnica, se describe con las letras SR, para suelo residual o ST para suelos transportados. Para los suelos residuales principalmente, además de las siglas SR se coloca de acuerdo al sistema de clasificación unificada de suelos (SUCS), la nomenclatura correspondiente. Por Ejemplo: un suelo residual con arcilla de alta plasticidad, se abrevia como SR (CH).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a las 320 estaciones levantadas en campo e interpretaciones realizadas a fotografías aéreas/imagen de satélite, en concordancia con el análisis integrado ofrecido por los ensayos de laboratorio, se obtuvieron diecisiete categorías de estado físico de los materiales superficiales en función a sus características intrínsecas. Ver TABLA 1.

A continuación la descripción de cada una de las 17 unidades de suelo y litología superficial obtenidas del análisis realizado. Véase mapa de unidades de suelo y litología superficial (FIGURA 7).

TABLA 1. Unidades de suelo y litología superficial vs área de cobertura (Has). Fuente: INGEOMIN (2010).

Unidades de Suelo y Litología Superficial	Área de Cobertura (Has)
Roca Descompuesta (RD)	212,116
Grandes bloques caídos (GBC)	324,9
Roca Fresca dura fracturada (RFdf)	422,282
Roca meteorizada blanda fracturada (Rmbf)	420,595
Roca meteorizada blanda Muy fracturada (RmbMf)	86,856
Roca meteorizada dura fracturada (Rmdf)	38,9
Roca meteorizada dura muy fracturada (RmdMf)	631,96
Roca muy meteorizada dura fracturada (RMmdf)	111,986
Suelo residual (CL)(SC) con brecha	473,077
Suelo residual (CH)(MH)	82,62
Suelo residual (SC)(GS)	672,286
Suelo residual (SM)(CS)(MS)	1.067,8
Suelo Residual (SP)	65,45
Suelo transportado No consolidado (STNc)	3,18
Suelo transportado tipo Coluvión (STc)	424,093
Suelo transportado tipo Terraza (STTT)	1.804,971
Suelo transportado tipo abanico (Sta)	1.307,348

Roca descompuesta (RD)

Se conforma por un material areno-blocoso descompuesto asociado a la meteorización de cuerpo ígneo de composición plagioclásica (en mayor proporción), este se encuentra localizado específicamente en la unidad de relieve denominado “Fila El Escorial”, predominan materiales con consistencia de suelos a pesar de existir intrusiones competentes a nivel superficial, sólo que el intemperismo y la acción de la tectónica da cabida a una meteorización diferencial concéntrica entre las diaclasas generando una gran masa de suelo residual arenoso (SP) con bloques de rocas ígnea embebidos.

La unidad presenta una alta a muy alta propensión a la remoción en masa, con mayor probabilidad en los períodos pluviométricos bimodales y continuos por la sobrehidratación del material. Por lo general el material presenta alto grado de fracturamiento superando en zonas 10 diaclasas por m² infiriendo así baja consistencia y baja calidad geotécnica con valores de RMR<30 y GSI<40.

Se genera un perfil de suelo residual promedio con las siguientes características: Horizonte I-A: limo orgánico (OL) de bajo espesor por las altas pendientes. Horizonte I-B: limo arenoso a limosa de baja plasticidad (ML), húmeda con mucha infiltración cementación débil, resistencia baja y consistencia media. Horizonte I-C: (SP) corresponde al saprolito arenoso de la roca ígnea, el cual domina en la unidad, se presenta poco compacto, hidratado, deleznable, resistencia < 7 kg/cm², sin cohesión, y en gran proporción con consistencia de suelo blando.

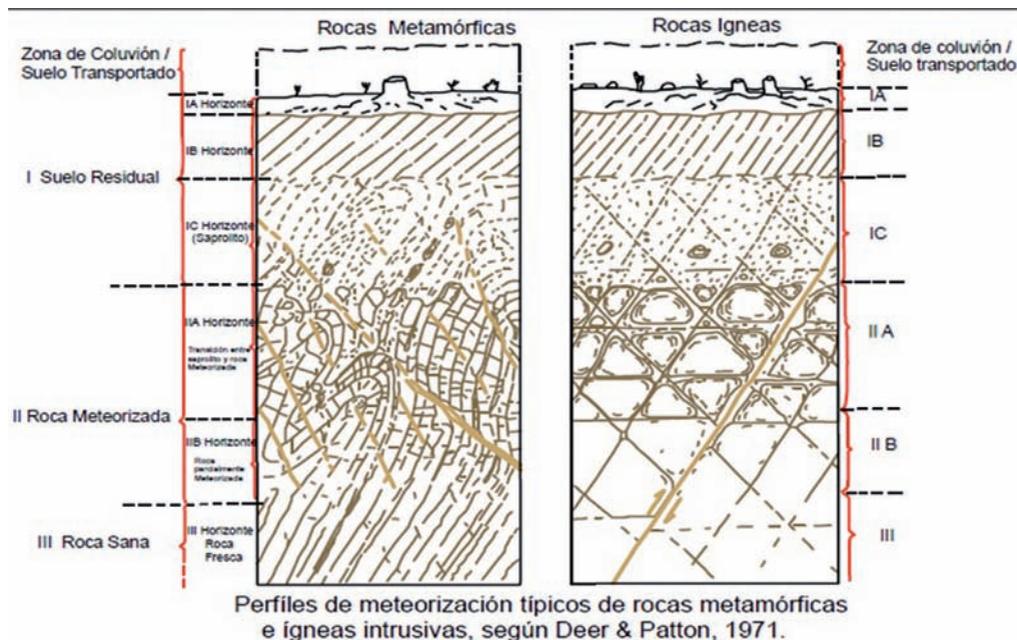


FIGURA 6. Ilustración del perfil de meteorización de Deer and Patton (1971).

También se presentan materiales areno-limoso, con consistencia de suelo ($< 5\text{kg/cm}^2$), se presenta en ocasiones suelo prevaleciendo las estructuras reliquias de la roca in situ. Se relaciona con zonas de alta intervención antrópica, zonas adyacentes a fallas geológicas en filtración y circulación de aguas subsuperficiales.

De acuerdo a los ensayos de laboratorio para los dos primeros metros de material, en promedio, se tienen valores de resistencia al corte de $S_u = 0,40\text{ kg/cm}^2$, capacidad de carga admisible $0,4\text{ kg/cm}^2 < q_u < 3,10\text{ kg/cm}^2$. Por condición geomecánica presenta alta a muy alta propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

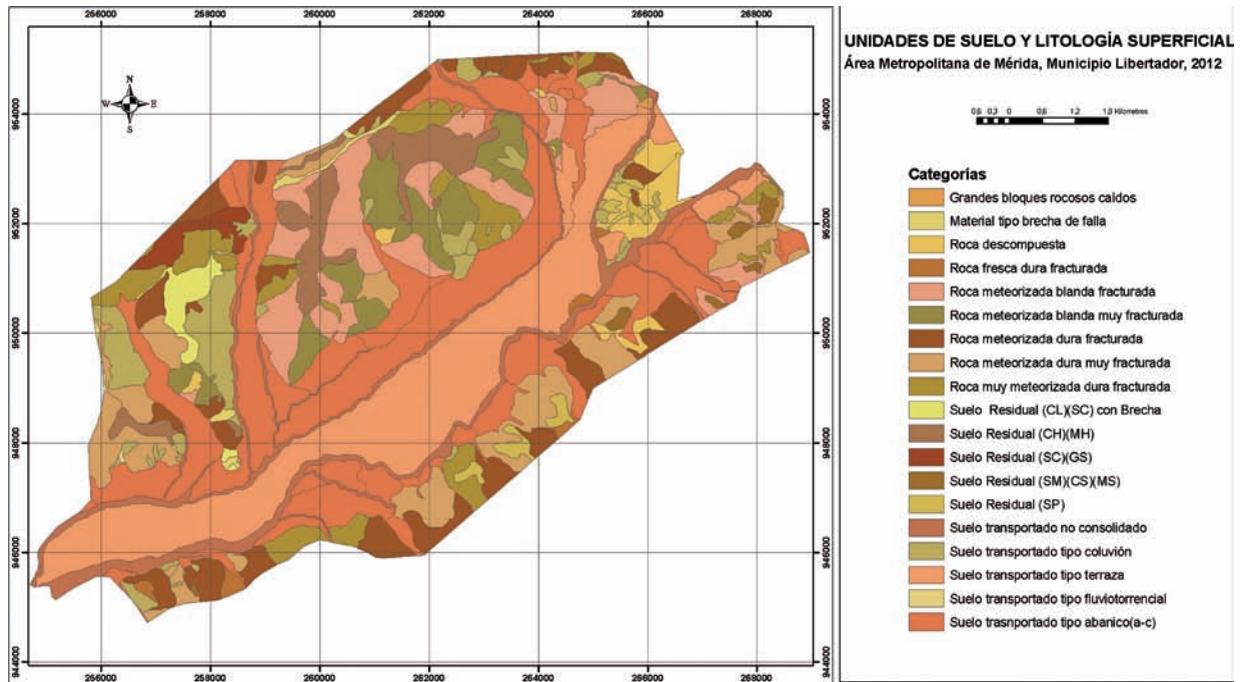


FIGURA 7. Mapa de unidades de suelo y litología superficial del área metropolitana del municipio Libertador del estado Mérida. Fuente INGEOMIN (2010).

Grandes bloques caídos (GBC)

Corresponden a bloques de areniscas intercalados con limolitas caídos por acción de la Falla de La Hechicera (perteneciente al sistema de fallas de Boconó), una serie de bloques desprendidos. Se asocia al comportamiento de un coluvión, sin embargo se diferencia por ser de origen tectónico. Ver FIGURA 7.

Roca fresca dura fracturada (RFdf)

Material conformado por gneises y granitos, generalmente localizados en las altas elevaciones topográficas donde hay poca o nula intervención y alejada relativamente de las zonas de influencia del sistema de fallas existentes, presenta consistencia mayores a los 300 kg/cm^2 , ligeramente meteorizada, poco grado de fracturamiento con diaclasas de persistencias menores a un metro, frecuencias menores de tres diaclasas por m^2 de afloramiento, aberturas menores a los $0,1\text{ mm}$ y cerradas generalmente con vetas de cuarzo y superficies rugosas. Rellenos artificiales ausentes y baja

intervención antrópica. Densa cobertura vegetal con procesos geomorfológicos incipientes. Las rocas de esta unidad presentan buena calidad geotécnica con valores promedios de $\text{RMR}=65$ y $\text{GSI}=60$, arrojando a su vez valores empíricos de ángulo de fricción entre 25° y 35° y cohesión entre $0,2$ y $0,3\text{ kg/cm}^2$. Para movimiento de tierra excavación difícil, posible uso de escarificador (máquina tipo D8), considerándose el uso de explosivos en tramos donde el fracturamiento sea leve o nulo. En términos de movimientos en masa la unidad se presenta con baja a moderada propensión por los sistemas de diaclasas. Presentan valores de capacidad de carga admisible superior a los 20 kg/cm^2 . Por lo general los espesores de suelo residual son de muy delgado espesor a inexistentes. Por condición geomecánica presenta baja a moderada propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Roca meteorizada blanda fracturada (Rmbf)

La unidad consta de un material conformado por pizarras color gris plomo, su estado físico por lo general

es de meteorizado a muy meteorizado, con resistencias entre 10 a 50 kg/cm² con un moderado grado de fracturamiento cuya frecuencia promedio oscila entre 4 y 10 diaclasas por m², aberturas entre 0,1 mm y 1 mm, rellenos de limo y arena, superficies ligeramente rugosas con persistencia entre 0,25 m a 1 m. Medios fundamentalmente montañosos de moderada a alta pendiente.

Las rocas de esta unidad se presentan con moderada a mala calidad geotécnica obteniéndose valores promedios de RMR=45 y GSI=35, arrojando a su vez valores empíricos de ángulos de fricción interna entre 25° y 30°, y cohesiones entre 0,2 y 0,3 kg/cm². Para movimiento de tierra de moderada a difícil excavación. De acuerdo a las actividades de perforación y ensayos de laboratorio, el suelo residual asociado presenta una granulometría que varía desde limos de baja plasticidad ML en la parte más superficial hasta 2,0 m de profundidad, grava limosa con arena GM desde 2,0 hasta 4,0 m de profundidad donde se encuentra la pizarra fracturada, luego arenas limosas SM desde 5,0 hasta 9,0 m y arenas arcillosas con grava SC de 9,0 a 11,0 m de profundidad correspondiente a la roca fracturada. Los materiales de granulometría fina poseen plasticidad baja a media (7.70% < IP < 11.9%). Por ende los altos niveles de pluviosidad contentivos a los meses de mayo y octubre pueden elevar los porcentajes de humedad de los suelos trayendo consigo coladas de barro y procesos de erosión hídrica.

Los valores del ángulo de fricción varían entre 26°-27° para los limos de baja plasticidad y entre 28°-32° para las arenas y gravas (suelos residuales y roca meteorizada). De acuerdo a los ensayos de laboratorio se tienen valores de resistencia al corte de Su= 0,30 kg/cm², capacidad de carga admisible para los primeros dos metros de material aproximadamente 2 kg/cm² < qu < 4,5 kg/cm². Por condición geomecánica presenta moderada propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Roca meteorizada blanda muy fracturada (RmbMf)

Por lo general es un material conformado por pizarras, metareniscas y litologías brechadas, todas meteorizadas, con un 25 % a 45% de los minerales que conforman la roca se encuentran alterados y en un 50% presentan consistencia de suelo, generalmente se localiza en zonas donde hay una considerable incidencia de las fallas activas del sector y la acción de filtraciones de aguas subsuperficiales, se encuentran asociados a zonas donde hay procesos de remoción en masa tipo deslizamientos complejos. Presentan resistencia menores a 20 kg/cm²

(a nivel macizo rocoso), generalmente se encuentra excesivamente muy fracturado con frecuencias mayores a 16 diaclasas por m², aberturas entre 0,1 mm y 1 mm, con rellenos blandos de composición arenosa y a veces ausente, superficies de diaclasas ligeramente rugosas a lisas, con persistencia entre 0,05 m y 0,5 m.

Las rocas de esta unidad presentan mala calidad geotécnica en términos ingenieriles, con valores promedios de RMR=30 y GSI=32, arrojando a su vez valores empíricos de ángulo de fricción entre 15° y 25° y cohesión entre 0,01 kg/cm² y nula a nivel de macizo rocoso. Para movimiento de tierra moderada a difícil excavación con medios mecánicos convencionales. En términos de remoción en masa la unidad presenta de media a alta propensión por el grado de fracturamiento y consistencia del material ante la incidencia pluvial y sísmica.

De acuerdo a las actividades de perforación y ensayos de laboratorio, para la zona el valor de los números de golpes N_{campo} se encuentra entre 34 y 96, por lo cual la densidad relativa del sustrato es muy alta. Los valores del ángulo de fricción se encuentran entre 37° y 42° (a nivel de roca intacta), mientras que la resistencia al corte tiende a ser nula (por el excesivo grado de fracturamiento). De acuerdo a los ensayos de laboratorio para los 2 m de profundidad se tienen valores de capacidad de carga admisible 1,5 kg/cm² < qu < 3.10 kg/cm². Por condición geomecánica presenta moderada propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Roca meteorizada dura fracturada (Rmdf)

La unidad consta de un material conformado por areniscas macizas interestratificadas con limolitas y ocasionales lutitas, generalmente localizadas en las laderas situadas al norte del área de estudio y por esquistos pegmatíticos-cuarzo micáceo y gneises ubicados al sur, su estado físico por lo general es de meteorizado a muy meteorizado, con resistencias entre 25 a 250 kg/cm² con un moderado grado de fracturamiento cuya frecuencia promedio oscila entre 4 y 6 diaclasas por m², aberturas entre 0,1 mm y 1 mm, rellenos de limo y arena, superficies ligeramente rugosas con persistencia entre 0,8 m a 5 m. Medios fundamentalmente montañosos de moderada a alta pendiente con propensión a la obturación parcial de algunos drenajes.

Las rocas de esta unidad se presentan con moderada a buena calidad geotécnica obteniéndose valores promedios de RMR=45 y GSI=42, arrojando a su vez valores empíricos de ángulos de fricción interna entre 25° y 30°, y cohesiones entre 0,2 y 0,3 kg/cm².

Para movimiento de tierra de moderada a difícil excavación. En términos de remoción en masa presenta una condición de moderada a alta propensión por fracturamiento de material. De acuerdo a los ensayos de laboratorio, el ángulo de fricción varía entre 28° y 30° (Rmdf). Los pesos unitarios secos, para los suelos residuales y roca meteorizada, se encuentran entre $1,68 \text{ gr/cm}^3$ y $1,79 \text{ gr/cm}^3$ para las arenas limosas y de $2,04 \text{ gr/cm}^3$ para los limos no plásticos. La capacidad de carga admisible promedio para los cuatro primeros metros de profundidad $q_u > 4,50 \text{ kg/cm}^2$. Por condición geomecánica presenta moderada propensión a generar procesos de remoción en masas.

Roca meteorizada dura muy fracturada (RmdMf)

Por lo general es un material conformado por pizarras, esquistos, metaconglomerados y gneises meteorizados, entre 50 % a 65% de los minerales que conforman la roca se encuentran alterados y en un 40% presentan consistencia de suelo, generalmente se localiza en zonas donde hay una considerable incidencia de las fallas geológicas y filtraciones de aguas subsuperficiales, se encuentran asociados a zonas donde hay procesos de remoción en masa tipo reptación. Presentan resistencia a nivel de macizo menores a 20 kg/cm^2 , generalmente muy fracturado con frecuencias mayores a 10 diaclasas por m^2 , aberturas entre 1 mm y 5 mm, con rellenos blandos de composición limosa y a veces ausente, superficies de diaclasas ligeramente rugosas con persistencia no mayores a 1 m.

Las rocas de esta unidad se presentan de moderada a mala calidad geotécnica con valores promedios de $\text{RMR}=30$ y $\text{GSI}=32$, arrojando a su vez valores empíricos de ángulo de fricción entre 15° y 25° y cohesión entre 0,05 y $0,1 \text{ kg/cm}^2$ a nivel de macizo rocoso. Para movimiento de tierra de fácil a moderada la excavación con medios mecánicos convencionales (DOZER tipo D6 o Retroexcavadora con escarificador). En términos de remoción en masa la unidad presenta alta propensión por la consistencia y alto grado de fracturamiento del material.

De acuerdo a la información suministrada por las actividades de perforación y del laboratorio de mecánica de suelos, los materiales están conformados por lo general por restos microfracturados de pizarras y esquistos de colores grises verduzcos con evidentes procesos de oxidación (colores ocre en los bordes de los fragmentos) y pizarras de colores rojizos con pequeños cristales de mica diferenciables a simple vista. La matriz que rodean a estos fragmentos de roca es limosa y al contacto con el agua del nivel freático se

convierte en una pasta que se adhiere a los fragmentos de roca pizarra.

El ángulo de fricción para estos materiales varía entre 28° y 37° para la roca intacta siendo menores a nivel de macizo. En vista de que el material tipo suelo residual es principalmente arenoso y gravoso se ha inferido una resistencia al corte nula para el mismo. Los pesos unitarios varían entre $1,86$ y $2,27 \text{ gr/cm}^3$.

La humedad en esta unidad para los niveles superficiales se encuentra por encima de 15% hasta llegar a un valor máximo de 52,22%, el nivel freático promedio aparece a 1,5 m de profundidad, lo cual incide directamente en el número de golpes N_{campo} , con valores muy bajos entre la superficie y los 4,0 m de profundidad ($2 < N_{\text{campo}} < 10$), desde allí en adelante los valores de N_{campo} aumentan hasta un máximo de 38 golpes a 11.0 m de profundidad. Es importante acotar que la perforación ubicada en San José de los Flores (P3) representan los sondeos con menor número de golpes de todos los realizados, por lo cual la vulnerabilidad ante efectos secundarios en eventos sísmicos o de lluvias muy fuertes es muy relevante y proclive a la inestabilidad. Por lo general el suelo superficial hasta los 4m presenta un valor de capacidad de carga admisible entre $0,5 \text{ kg/cm}^2 < q_u < 4,50 \text{ kg/cm}^2$. Por condición geomecánica presenta moderada a alta propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Roca muy meteorizada dura fracturada (RMmdf)

Material conformado por esquistos, pizarras y gneises muy meteorizados, entre 50 % y 80% de los minerales que conforman la roca se encuentran alterados y en un 70% presentan consistencia de suelos, generalmente se localiza en zonas donde hay una considerable intervención antrópica, incidencias de fallas regionales y filtraciones de aguas subsuperficial, se encuentran asociados a zonas donde hay procesos de remoción en masa y considerables espesores de suelos residuales. Presentan resistencia a nivel de macizo menores a 50 kg/cm^2 , generalmente muy fracturado con frecuencias mayores a 6 diaclasas por metro cuadrado (m^2), aberturas entre 1 mm y 5 mm, con rellenos blandos de composición arcillosa y a veces ausente, superficie ligeramente rugosa con persistencia entre 1 m y 10 m. Se encuentra asociado a localización aleatoria de cortes y rellenos. Problemas de erosión en surcos y concentrada.

Las rocas de esta unidad presentan de media a mala calidad geotécnica con valores promedios de $\text{RMR}=30$ y $\text{GSI}=32$, arrojando a su vez valores de ángulo de

fricción entre 15° y 25° y cohesión entre 0,05 y 0,1 kg/cm². Para movimiento de tierra fácil excavación con medios mecánicos convencionales (DOZER D6 o Retroexcavadora).

En general un perfil de suelo residual promedio con las siguientes características: (Deer and Paton 1.972). Horizonte I-A: Capa delgada de limo orgánico (OL). Horizonte I-B: Arcilla en ocasiones gravosa y limosa de alta plasticidad (CH)(MH). Horizonte I-C: Limo arenoso o arena limosa de media consistencia (SP) o (MP).

De acuerdo a los ensayos de laboratorio para los dos primeros metros de material se tienen valores de resistencia al corte de $S_u = 0,10 \text{ kg/cm}^2$, capacidad de carga admisible $0,6 \text{ kg/cm}^2 < q_u < 3,10 \text{ kg/cm}^2$. Por condición geomecánica presenta alta propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Suelo residual (CL) (ML) (SC) con brecha

Granulométricamente está compuesto por arcillas, limos y arenas arcillosas de baja plasticidad, por lo general presentan como parámetros geomecánicos los siguientes: Ángulo de fricción (ϕ)= 15°; Índice de plasticidad (IP)= 11%; Límite Plasticidad (LP)= 34%; Límite líquido (LL)= 45%, humedad natural (W_n)= 13.84%. Permeabilidad (P)= 10^{-2} - 10^{-6} . Por condición geomecánica presenta moderada propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Suelo residual (CH) (MH)

Material conformado por arcillas y limos de alta plasticidad, por lo general bien hidratados, consistentes, moderada resistencia, potencialmente expansiva y/o dispersiva. Por lo general presentan como parámetros geomecánicos los siguientes: Ángulo de fricción (ϕ)=26°; Índice de plasticidad (IP)= 24.39%; Límite Plasticidad (LP) = 34.56%; Límite líquido (LL)= 58.95%, humedad natural (W_n)=24.02%, Permeabilidad (P)= 10^{-6} - 10^{-9} . Por condición geomecánica presenta alta propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Suelo residual (SC) (GS) (GM)

Material conformado por arenas arcillosas más compactas, gravas arenosas y gravas limosas, por lo general presentan como parámetros geomecánicos los siguientes: Ángulo de fricción (ϕ) = 40°; Índice de plasticidad (IP) = 6.75%; Límite Plasticidad (LP)= 19.41%; Límite líquido(LL)= 26.12%, humedad

natural (W_n)= 12.79%. Permeabilidad (P)= 10^{-2} - 10^{-4} . Por condición geomecánica presenta baja a moderada propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Suelo residual (SM) (CS) (MS)

Material conformado por arenas limosas, arcillas arenosas y limos arenosos, por lo general presentan como parámetros geomecánicos los siguientes: Ángulo de fricción (ϕ)=34°; Índice de plasticidad (IP)= 8.04%; Límite Plasticidad (LP)= 24.57%; Límite líquido (LL)= 32.61% ,humedad natural (W_n)= 9.98% Permeabilidad (P)= 10^{-3} - 10^{-7} . Por condición geomecánica presenta alta propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Suelo residual (SP)

Arenas de grano medio y grueso, correspondiente a la meteorización de cuerpos ígneos ricos en feldespatos sódicos y potásicos. Por condición geomecánica presenta Muy alta propensión a generar procesos de remoción en masas. Ángulo de fricción (ϕ) = 35°, cohesión nula, humedad natural (W_n) = 16.62 %, Permeabilidad teórica= 10^{-6} - 10^{-7} K(m/s). Por condición geomecánica presenta alta propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Suelo transportado: no consolidado aluvion (ST nc)

Materiales conformados por cantos de granito, gneises, fragmentos de esquistos, pizarras, gravas, arenas, limos y arcillas provenientes de las áreas fuentes situadas aguas arriba y transportadas por las redes hídricas superficiales. Poca o nula compactación, generalmente se presentan sueltos. Útiles como material de préstamo y como materiales para la construcción previa selección y control de calidad (áridos, piedra picada, entre otros). Por lo general presentan como parámetros geomecánicos los siguientes: Ángulo de fricción (ϕ)= 26-40°, peso unitario (δ) = 1,5 - 2,1 g/cm³, Cohesión (C)= 0 - 1 kg/cm², permeabilidad (P)= 10^{-3} - 10^{-7} K(m/s), resistencia a la compresión (σ)=0,1 a 1 kg/cm². Por condición geomecánica presenta moderada a alta propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Suelo transportado: coluvial (STc)

Materiales heterogéneos de consistencia dura (gneises, areniscas, granitos) y blanda (pizarras, lutitas, granodiorita), embebidos en una matriz de suelo limo-areno-arcilloso inconsistente no

compactada, por lo general granosoportada. Proviene de los desprendimientos de material en las laderas por acción de la gravedad y la tectónica. Los cantos por lo general se presentan angulosos, permeables e inestables por naturaleza. Por lo general la matriz coluvial presenta como parámetros geomecánicos promedios los siguientes: Angulo de fricción (ϕ)= 26-40°; peso unitario (δ)= 1,5 – 2,1 g/cm³, cohesión (C)= 0 a 0,10 kg/cm², permeabilidad (P)= 10⁻⁴ a 10⁻⁷ K(m/s), resistencia a la compresión (σ)= 0,1 a 5 kg/cm². Por condición geomecánica presenta alta propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Suelo transportado: terrazas aluvio-coluvial (STT ac)

Materiales conformados por gravas, bloques, guijarros y fracción fina que por lo general se encuentran dispuestos de manera estratificada, bien compacto y en secuencia rítmicas acordes a la energía del medio de depositación, estas ofrecen gran estabilidad a la superposición de cargas verticales pero vulnerables a las aguas subsuperficiales internas responsables del lavado de finos y erosión basal en sus laderas por la acción fluvial. Por lo general presentan como parámetros geomecánicos los siguientes: Angulo de fricción (ϕ)= 30-45°, peso unitario (δ)= 2,1 – 2,5 g/cm³, Cohesión (C)= 0,5 - 3 kg/cm², permeabilidad (P)= 10⁻³- 10⁻⁷ K(m/s), resistencia a la compresión (σ)= 4 a 10 kg/cm². Por condición geomecánica presenta baja a moderada propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

Suelo transportado: abanico aluvio-coluvial (ST ac)

Materiales que presentan tres tipos de distribución granulométrica conforme al proceso de depositación, en la parte distal se concentran arenas finas y fracción limo-arcillosa que dependiendo de la longevidad del depósito se encuentra poco compacta, en el centro un sedimento franco-arenoso con bloques correspondiente al área fuente, en esta zona se presenta mayor compactación por la gradación del material, por lo general estable a la superposición de cargas; hacia el ápice yacen los materiales tipos gravas y cantos de gran diámetro, por lo general inestables por su propensión como material disponible a un nuevo reajuste por acción fluvial. Resistencia a la compresión promedio (σ)= 1 a 10 kg/cm². Por condición geomecánica presenta baja a moderada propensión a generar procesos de remoción en masas. Ver FIGURA 7.

CONCLUSIONES

La condición geológica estructural y geotécnica del estado Mérida, extensiva al área metropolitana del municipio Libertador, sin duda ha jugado y juega un papel importante en el comportamiento mecánico y cinemático de los macizos rocosos y unidades de suelos transportados, trayendo consigo la generación de procesos de remoción en masa activados por eventos sísmicos, gravedad y eventos hidrometeorológicos. La influencia del sistema dextral de fallas de Boconó y el sistema pluvial intenso bimodal existentes en el área de estudio, inciden en el acondicionamiento geométrico y posicional de los bloques de roca y suelo de las unidades de relieve, convirtiéndolas en participantes a la caída de rocas y deslizamientos, que a su vez originan flujos y represamientos responsables del origen de los suelos transportados presentes en la zona de estudio.

De las 17 unidades caracterizadas, se pueden establecer cuatro rangos de propensión a la inestabilidad ante la ocupación y/o intervención de espacios urbanos, en las categorías siguientes: muy alta propensión, alta propensión, moderada propensión y baja propensión. Estas categorías fueron designadas, de acuerdo a la densidad de procesos de remoción en masas por unidad de área y a las propiedades intrínsecas estudiadas en la caracterización.

Las unidades que reflejaron muy alta propensión, obedecen a las unidades caracterizadas como Roca Descompuesta (RD), Suelo Residual de arcilla y limo de alta plasticidad (CH y MH), Roca meteorizada blanda muy fracturada (RmbMf), Roca muy meteorizada dura fracturada (RMmdf) y Suelo transportado tipo coluvión (STc).

Las unidades que reflejan alta propensión, obedecen a las unidades caracterizadas como unidad de brecha de falla (Bf), roca meteorizada dura muy fracturada (RmdMf), Suelo residual de baja plasticidad (CL)(SC), Suelo residual (SM)(CS)(MS), Suelo residual(SC)(CS).

Las unidades correspondientes a moderada propensión a la inestabilidad fueron las siguientes: Roca meteorizada blanda fracturada (Rmbf), Roca meteorizada dura fracturada (Rmdf), suelo transportado tipo abanico (STa), grandes bloques caídos (Gb) y Suelo transportado no consolidado (STnc). Finalmente, las unidades catalogadas como de baja propensión a la inestabilidad fueron: Suelo residual (SP), Roca fresca dura fracturada (RFdf), Suelo transportado tipo terraza (STt).

Así mismo, este estudio reflejo que los niveles de resistencia a la compresión de los materiales espacialmente se visualizan en aumento de sur a norte para la ciudad de Mérida (FIGURA 8), encontrándose en los sectores de Zumba, Los Curos, La Parroquia, Alto Chama, Carrizal, La Mara, La Pedregosa alta y baja y las Tapias los valores más bajos, debido a la naturaleza del material cortical el cual es poco compacto, hidratado y con aparente mayor cantidad de finos. Particularmente en el eje panamericano, encabezado por los sectores El Rincón, Alto Prado y el Recondo, presentan resistencias que tienden a la baja con la profundidad, debido a la presencia de aguas subsuperficiales y/o niveles freáticos que debilitan la firmeza del sustrato, aumentando así la presión de poro, originando a posteriori posibles asentamientos de los suelos ante la superposición de cargas verticales. En el centro de la ciudad los valores son intermedios y aceptables desde el punto de vista geotécnico, salvo en los sectores La Humboldt y Belenzate, donde los niveles de resistencia tienden a ser bajos por presencia de niveles freáticos colgados.

Hacia el norte de la ciudad se encuentran los mayores niveles de resistencia desde el viaducto Miranda hasta la Hechicera, producto de un material más compacto y consolidado, sin embargo localmente las redes de agua subsuperficiales representan un detonante latente que puede causar inestabilidad por asentamiento, tubificación y en general por procesos de remoción de masa asociados a la erosión hídrica. Cabe destacar que existe un probable escenario en estos lugares de ocurrencia de licuefacción ante un sismo de magnitud mayor a 5,5, sobre todo en las unidades arenosas y de baja resistencia. Así mismo es importante recalcar que todas aquellas zonas cercanas al talud de la terraza, deben ser protegidas y no intervenidas por lo menos en un franja de seguridad de 20 m, por estar conformado por sedimentos no consolidados, con bajas tensiones naturales, exposición directa al escurrimiento de aguas superficiales y subsuperficiales y exposición directa a la socavación basal del talud por el río Chama (atención a sectores: Belén, Teleférico, La Hoyada de Milla, Santa Juana, Las Tapias y Alto Chama).

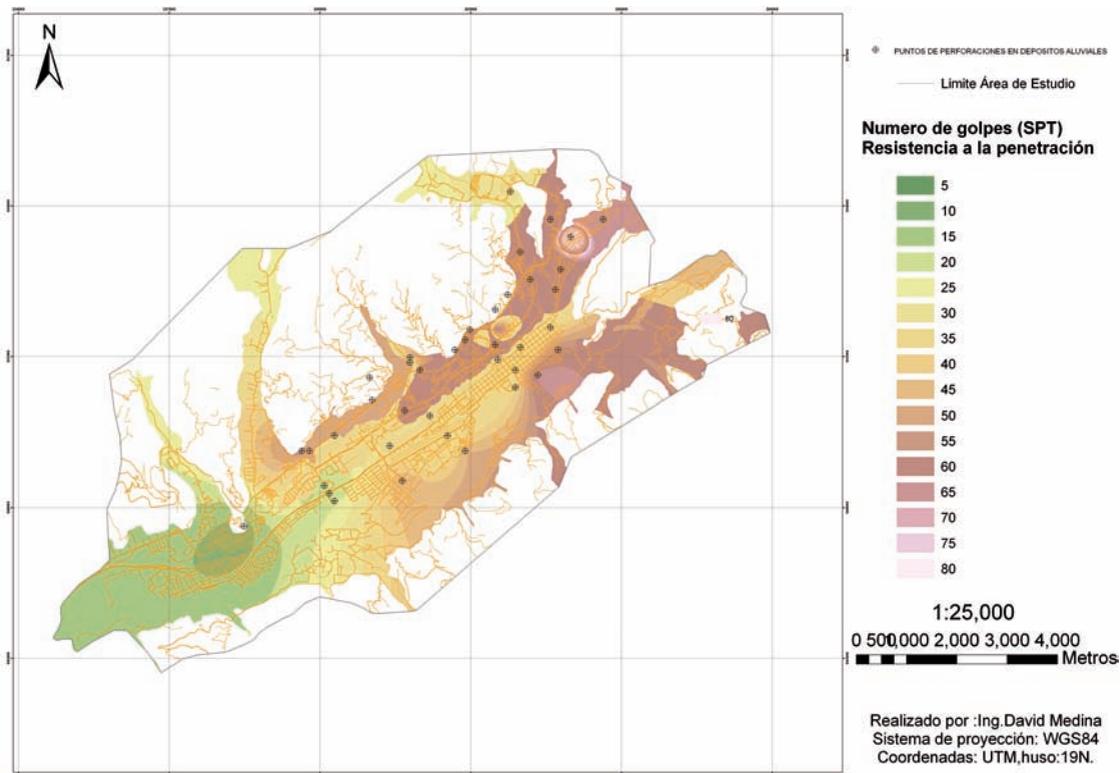


FIGURA 8. Distribución areal de los valores de resistencia a la penetración en los suelos transportados en el municipio Libertador. Fuente: INGEOMIN (2010).

RECOMENDACIONES

Se recomienda incorporar esta caracterización para la implementación y construcción de nuevas obras de infraestructuras y trabajos de reingeniería, la

realización de estudios geotécnicos específicos a detalle que garanticen la estabilidad de las obras y el correcto uso del terreno a intervenir, sobre todo en las áreas más sensibles (indicadas en este estudio), considerando tanto las normas sismoresistentes sustentadas por

COVENIN, número 1756-1:2001 como las directrices dadas por el plan de ordenamiento urbano y territorial de la ciudad de Mérida.

PMA: GCA-INGEOMIN. 2007. Movimientos en masa en la Región Andina: Una guía para la Evaluación de Amenazas. Publicación Geológica Multinacional Nro. 4., Canadá: Servicio Nacional de Geología y Minería.

AGRADECIMIENTOS

Al técnico Alexander Lobo y al equipo de trabajo técnico de INGEOMIN Región Los Andes por su gran colaboración. A los ingenieros Orlando Rivero y Adriana Alvarado por su amistad y ayuda técnica. Al Ing. Geólogo (Msc) Víctor León Madrid y al Ing. Geólogo Armando Díaz Quintero por sus asesorías y contribución en la investigación.

Trabajo recibido: abril 22 de 2012
Trabajo aceptado: agosto 29 de 2014

REFERENCIAS

Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Editora Jhon Wiley & Sons. New York. 251p.

Deer, D.U., y Patton, F.D. 1971. Estabilidad de Taludes en Suelos Residuales. Memorias del Cuarto Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. San Juan-Puerto Rico, pp. 93-175.

Hoek, E. 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI). Classification for very Weak and Sheared Rock Masses. The Cases of the Athens Schist Formation. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 57(2): 151-160.

International Society for Rocks Mechanics (ISRM). 1978. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics, Abstracts, 15: 319-368.

INGEOMIN. 2010. Estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa, área metropolitana del Municipio Libertador del estado Mérida, Región Los Andes, Mérida, Venezuela. Informe Técnico.

Juárez, B., y Rico, R. 2004. Mecánica de Suelos. Editorial Rabasa. Tomo I. Reimpresión. México. 275 p.

Ministerio de Energía y Minas (MEM). 1997. Léxico Estratigráfico de Venezuela. Tomo I. Boletín de Geología. Publicación Especial. N° 12. M.J Editores C.A. Caracas-Venezuela. 411p.

Oliveros, O. 1977. Estudio geotécnico de la ciudad de Mérida y sus alrededores, quinto Congreso Geológico Venezolano, Memoria Tomo IV, pp.1779-1798.