

# Mapa de espesores de suelo residual y coluvial. Área metropolitana del municipio Libertador, Mérida-Venezuela

*Map of thickness of residual and colluvial soil. Metropolitan area  
of the municipality of Libertador, Mérida-Venezuela*

**Medina G. David<sup>1</sup>, Valladares Riguey<sup>1</sup>, Pimstein Laura<sup>2</sup> y Quiñones Esneira<sup>3</sup>**

*Recibido: octubre, 2011 / Aceptado: mayo, 2012*

## Resumen

La investigación llevada a cabo dentro del proyecto intitulado ‘Gestión Integral de Riesgos en Espacios Urbanos’ tuvo como uno de sus objetivos fundamentales elaborar un mapa de susceptibilidad ante movimientos de masa. El mismo fue el resultado de la integración de seis variables condicionantes de la estabilidad. Para efectos del artículo se expone la variable ‘espesores de suelo residual y coluvial’. Esta temática representa una novedosa propuesta a ser incluida dentro de los mapas de susceptibilidad, ya que permite cartografiar la distribución areal de los espesores de suelo *in situ* y coluviones localizados en laderas, relacionándose proporcionalmente con el aumento o disminución de movimientos de masa. De esta metodología que involucra la distribución de espesores a partir del procesamiento geoestadístico de datos duros confiables, se determinaron cuatro rangos de espesores: Rango 1 (de 0 a 2,9 m), Rango 2 (de 3 a 5,9 m), Rango 3 (6 a 7,9 m) y Rango 4 (>8 m).

**Palabras clave:** Espesores; suelo residual; suelo coluvial; geoestadística; cartografía.

## Abstract

The research carried out within the project entitled “Integrated risk management in urban areas” had as one of its key objectives to map susceptibility to landslides, which resulted from the integration of six conditioning variables of stability. In this paper the thickness of residual soil and colluvium variable is shown. This topic represents a novel proposal to be included within the susceptibility maps as it allows mapping the areal distribution of soil thickness *in situ* and colluviums located on hillsides, relating it proportionally to the increase or decrease in mass movements. From this methodology, which involves the distribution of thicknesses from geostatistical processing of reliable hard data, four ranges of thicknesses were identified: Range 1 (0 to 2.9 m), Range 2 (of 3 to 5.9 m), Range 3 (6 to 7.9m) and rank 4 (> 8 m).

**Key words:** Thickness; soil residual; colluvial soil; geostatistics; cartography.

1 Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), Departamento de Exploración Geológica. Mérida-Venezuela Correo electrónico: davidbmedinag@gmail.com; rigueyvalladares@gmail.com.

2 Universidad de Los Andes, Escuela de Geología. Correo electrónico: laurapimstein@yahoo.es.

3 Universidad de Los Andes, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida-Venezuela. Correo electrónico: qesneira@ula.ve

## 1. Introducción

El proyecto 'Gestión Integral de Riesgos en Espacios Urbanos' nace como un plan estratégico del Estado enmarcado dentro del gran proyecto de país 'Misión Ciencia', llevado a cabo por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, a través de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), con el objetivo de estudiar las amenazas naturales que afectan a los espacios urbanos, a su vez, con el propósito de transferir el conocimiento que surja de estas investigaciones geocientíficas para ser aplicado en ordenanzas o especificaciones de actuación en la gestión de riesgos de nuestro país, todo con miras a la minimización de las vulnerabilidades físicas y sociales existentes en las principales ciudades del país. Este proyecto abarca las ciudades de Mérida, Maracay, Valencia, Puerto La Cruz y Valle de La Pascua.

La ciudad de Mérida presenta una alta vulnerabilidad social y física ante el efecto de eventos naturales de índole tanto hidrometeorológico como sísmico, por lo general cíclicos en el tiempo; es por ello que el estudio de susceptibilidad ante movimientos de masa contribuye en gran medida tanto al conocimiento de las propensiones que presentan las unidades de relieve que forman parte del espacio que ocupan las comunidades merideñas ante una posible inestabilidad que genere riesgos al colectivo, como una herramienta orientadora a los procesos de ocupación e intervención del territorio.

En particular, el mapa de espesores de suelos residuales y coluviales correspon-

de a uno de los mapas temáticos utilizados para la generación del mapa integrado de susceptibilidad ante movimientos de masa, el cual formó parte del objetivo final del sub-proyecto 'Amenazas geotécnica – geomorfológicas', dentro del proyecto. Este producto cartográfico expresa la distribución espacial de los espesores de los suelos *in situ* y coluviales, localizados en zona de laderas (denominadas también zona de macizos rocosos), dentro del área metropolitana del municipio Libertador del estado Mérida, a partir de la regionalización de la variable espesor. Para ello se utilizaron métodos geoestadísticos por medio del programa SURFER 8.0, a partir de una base de datos obtenida en 144 estaciones de trabajo distribuidas estratégicamente, las cuales contienen: ubicación relativa a partir de las coordenadas UTM de la estación (en sistema de proyección REGVEN), espesores de cada horizonte propuesto por la metodología de Deer y Patton (1971), y descripción geotécnica del suelo. Esta información contribuye con el trabajo integrado de susceptibilidad, a partir de la interpretación de la cantidad de material disponible en las laderas y la propensión que esto representa en la generación de procesos de remoción en masa.

## 2. Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra dentro del sistema orogénico de la cordillera de los Andes venezolanos; comprende el área metropolitana del municipio Libertador del estado Mérida y adyacencias,

abarcando una superficie de 8.150 has. Se encuentra delimitada por un polígono irregular cuyos vértices representativos en coordenadas UTM 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 (Figura 1), (Sistema de proyección: regven).

### 3. Entorno geográfico y geología local

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, enunciadas a continuación: Antonio Spinetti Dini, Arias, Caracciolo Parra Pérez, Domin-

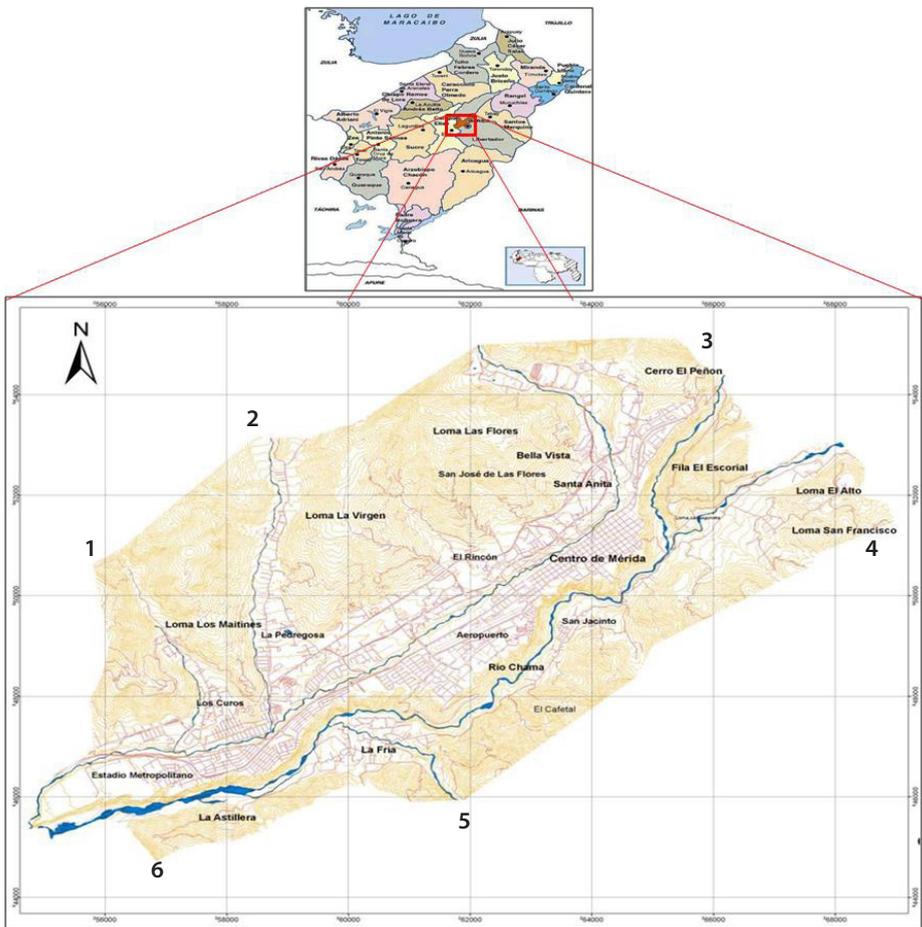


Figura 1. Área de estudio: Poligonal urbana de la ciudad de Mérida y adyacencias

go Peña, Jacinto Plaza, Juan Rodríguez Suárez, Lasso de la Vega, Mariano Picón Salas, Milla, Osuna Rodríguez, Sagrario y El Llano; estas parroquias ocupan una superficie aproximada de 303,62 km<sup>2</sup>, de los cuales 81,50 forman parte del área de estudio.

Morfológicamente, el área de estudio se circunscribe a las cuencas de los ríos Albarregas y Chama, delimitadas por las vertientes y unidades de depósitos al sur de la sierra La Culata y norte de la Sierra Nevada de Mérida, presentando una variación altitudinal entre 1.080 y 2.420 msnm, con pendientes que varían en todos sus intervalos, producto de los procesos dinámicos en vertientes y drenajes naturales, donde se originan las unidades deposicionales que conforman las unidades de fondo de valle y la terraza de Mérida. Los fondos de valle están conformados por los depósitos acumulados de las quebradas que confluyen a los ríos Albarregas, Mucujún y Chama.

La vertiente norte de la sierra Nevada, está conformada por las lomas Los Cinaros, San Francisco, Los Nevados, Los Díaz, Los Nideros, Portachuelo y la vía de El Morro. En la zona se destacan los fondos de valle formados por las quebradas El Volcán, La Joya, La Fría y La Astillera.

La vertiente sur de la sierra de La Culata está constituida por las colinas y lomas de San José de Las Flores, La Virgen y Los Maitines. Los fondos de valle aledaños han sido depositados por las quebradas Milla, El Rincón, La Resbalosa, La Pedregosa, Carvajal principalmente, las cuales confluyen en la cuenca del río Albarregas.

Geológicamente, el relieve montañoso de los Andes venezolanos es joven, por ende, en constante evolución y dinamismo manifestado por la incidencia de factores endógenos y exógenos asociados a la sismicidad, precipitaciones, meteorización, procesos erosivos, entre otros que conllevan a la ocurrencia de movimientos de masa que influyen en la morfología del terreno.

Los Andes merideños están constituidos por un conjunto litológico que comprende edades que van desde el Precámbrico hasta el Cenozoico. El Precámbrico está representado por la Asociación Sierra Nevada; el Paleozoico por las asociaciones Tostós y Mucuchachi, además por las formaciones Sabaneta, Palmarito e intrusiones ígneas como la granodiorita de El Carmen; el mesozoico, por las formaciones La Quinta, Río Negro, Apón, Aguardiente, Capacho, Luna y Colón; mientras que el Cenozoico se encuentra enmarcado por las formaciones Barco, Palmar, Isnotú y Betijoque (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1970).

Particularmente la ciudad de Mérida presenta varios tipos de unidades de relieve que han sido producto de la interacción de la tectónica, regímenes de depositación y de la respuesta de las formaciones ante los procesos de geodinámica interna y externa; en tal sentido, se presentan: estribaciones escarpadas al norte de la ciudad correspondiente a la Formación Mucujún; así mismo, se encuentra la unidad de fila El Escorial conformada por la granodiorita de El Carmen, al centro norte de la ciudad se encuentran lomas de falla (loma Santa

Anita y loma La Virgen), correspondientes a la Formación Palmarito, al noroeste de la ciudad, en estribaciones montañosas del sector La Lagunita y Los Maitines se localiza la Formación Sabaneta. Sobre la ciudad yace la terraza consolidada aluvio-coluvial de Mérida; adyacente a ésta se presentan abanicos aluviales provenientes y originados por los principales drenajes transversales al río Albarregas. Al sur de la ciudad y el río Chama se encuentra la Asociación Sierra Nevada, en unidades de relieve montañoso y acolinado (lomas de falla), en los sectores La Joya, San Francisco, Trujillito y El Alto. Debido a que los suelos residuales y coluvión asociado se originan y depende 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 según el Instituto Nacional de Ingeniería y Minería (INGEOMIN, 2010), (Figura 2).

### **3.1 Asociación Sierra Nevada (Edad: Precámbrico)**

La unidad 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, anfibolitas, gneises graníticos y localmente mármoles y cuarcitas. La unidad está ampliamente distribuida en los estados Táchira, Mérida, Trujillo y Barinas (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1970). Existen intrusiones como la granodiorita de El Carmen (fila el Esco-

rial) que corresponde a un batolito que se distribuye arealmente desde este sector hacia el norte del vallecito (área protectora de Mucujún). En general, corresponde al basamento de la región, representa la unidad más antigua de los Andes de Mérida. El término 'batolito' fue introducido por Bass y Shagam (1960), sin definición formal para designar 'las rocas más antiguas que se conocen en los Andes Merideños'. Muestra grado de metamorfismo regional de la anfibolita. Por lo general, se generan suelos residuales arenosos semicompactos, ricos en cuarzo y filosilicatos. Los coluviones asociados a caída de rocas se deben al grado de fracturamiento de los materiales rocosos presentes en esta unidad.

### **3.2 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 de El Escorial, representando un cuerpo granítico cuarzo-feldespático-moscovítico-biotítico, de grano medio, leuco a mesocrática y equigranular, que presenta numerosas diaclasas tanto a pequeña como a gran escala. Kovisar (1972) 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 meteorización; 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 movimien-

tos de masa. La unidad ha provocado accidentes fatales específicamente en la troncal 007, a la altura de la 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).

### **3.3 Formación Sabaneta** **(Edad: Paleozoico)**

Esta unidad 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. Regionalmente es una secuencia infrayacente a la Formación Palmarito, conformada por areniscas gruesas a guijarrosas, de color gris a marrón, pasan hacia arriba a una intercalación de limolitas y areniscas de color rojo violeta; en las adyacencias de la ciudad de Mérida exhibe un metamorfismo de bajo grado, como lo evidencian los niveles de pizarra y filitas que presenta en algunos sectores (González de Juana *et al.*, 1980; INGEOMIN, 2007). 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.

### **3.4 Formación Palmarito** **(Edad: Paleozoico)**

Se extiende dentro del área de estudio 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 de la parroquia en el sector Loma Los Maitines. Según Arnold (1966), regionalmente representa una secuencia de lutitas, principalmente marinas, limos, arenas y margas que gradan hacia arriba a calizas marinas. Al igual que la Formación Sabaneta, la litología en general presenta cierto grado de metamorfismo en los alrededores de la ciudad de Mérida, donde los finos pasan a pizarras y filitas, que se muestran ampliamente en la zona.

### **3.5 Formación La Quinta** **(Edad: Mesozoico)**

Aflora en la ciudad de Mérida hacia el oeste del área metropolitana, noroeste del área de estudio ocupando un área aproximada de 48,94 has. 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, blanquecino, gris a violáceo con un espesor aproximado de 840m; y uno superior, formado por limolita y arenisca, intercaladas con algún material tobáceo, de color rojo a ladrillo y marrón, de 620 m de espesor (Schubert *et al.*, 1979). Los suelos residuales por lo general son limosos con cantos de roca embebidos, sueltos a poco compactos y húmedos.

### 3.6 Formación Mucujún (Edad: Cenozoico)

Se localiza al norte del área de estudio, específicamente en los sectores 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.

En términos generales, sus condiciones de fundación tienden a ser malas, dada su moderada a mala resistencia en conjunto, debido principalmente por el grado de diaclasamiento de las areniscas y alto grado de meteorización de las limolitas y lodolitas que le subyacen, se generan procesos de remoción en masa tipo caída de bloques y flujo de material fino. Por lo general, tienden a generar pocos espesores de suelo residual debido a las pendientes; sin embargo, existen horizontes areno-limosos semi-compactos.

### 3.8 Depósitos pleistocenos-holocénicos recientes

Los depósitos holocénicos-pleistocénicos, encabezados por la terraza y abanicos aluvio-coluviales de la ciudad representan el 49,1 % del área de estudio, cubriendo una superficie de 4.017,76 has, de un total de 8.181,90 has. En los Andes venezolanos, la sedimentación continental durante el Pleistoceno estuvo influen-

ciada por las condiciones climáticas. La aridez condicionó una alta denudación de los suelos y procesos de ladera de montañas, mientras que la precipitación, se concentró en lluvias torrenciales que generaron el arrastre de grandes cantidades de material erosionado. Producto de esta erosión y transporte se generó un relleno sedimentario fluvio-glacial y aluvial en los valles intramontanos y piedemontes septentrionales-meridionales, formando así las terrazas andinas y los abanicos aluviales del piedemonte andino-llanero (La Marca, 1997). Las terrazas andinas fueron acumuladas en surcos, uno paralelo a la Falla de Boconó en el valle del río Chama, y otro paralelo a la Falla de Valera en el río Motatán; donde se distinguen dos secuencias separadas; una pliocena-pleistocena de arenas y gravas fluviales pobremente escogidas, en capas bien estratificadas y en forma de grandes terrazas y abanicos, que antecede en parte a la glaciación más antigua; la otra es una secuencia pleistocena de arenas y gravas mal consolidadas que forman rellenos de valles y abanicos sobre sedimentos de la primera (La Marca, 1997).

En el relleno de los fondos de valle, los abanicos son más abundantes que las terrazas, ya sea individualmente localizados o formando extensos espacios, a manera de abanicos coalescentes. Muchas veces estos abanicos recubren total o parcialmente a las terrazas longitudinales, aunque también puede hallarse el caso contrario en algunos valles andinos. Además de estas formas, vale reconocer que también es posible hallar una forma intermedia de depósitos: los conos-

terrazas originados en la confluencia de cursos de agua longitudinales y transversales (Schubert y Vivas, 1993).

#### 4. Materiales y métodos

Uno de los objetivos del estudio para generar la susceptibilidad ante movimientos de masa fue la determinación de la distribución de espesores de suelo residual y coluvial en zona de laderas, principalmente por ser materiales disponibles para próximos eventos. A efectos de este artículo se descartó el estudio de suelos transportados (holoceno-pleistocénicos), (Figura 2).

La realización del mapa de espesores de suelo residual y coluvial requirió preliminarmente una serie de estudios relacionados a la interpretación de fotografías aéreas (escala 1:10.000 y 1:35.000, misiones 010459 y 010480, respectivamente), imagen satelital *SPOT5* (pancromática) y generación de unidades homogéneas por geología. Una vez obtenida la información topográfica y geológica base a escala 1:25.000, se procedió a realizar el inventario de información pertinente a la investigación, obteniéndose así los datos de espesores correspondientes a los perfiles de meteorización existentes para un total de 144 estaciones de trabajo levantadas en campo, a partir de la medición (con cinta métrica y distanciometro) de afloramientos de suelo estratégicos y de la información ofrecida por los registros de ocho perforaciones. Para la caracterización de los espesores de suelo se recurrió a la utilización de la metodología

propuesta por Deer y Patton (1971), (Figura 3), quienes describen los perfiles de meteorización para rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas, en concordancia con la caracterización física y mineralógica de los horizontes presentes, al igual que su extensión y espesor aparente. Esta metodología fue considerada porque el área de estudio se relaciona con los resultados que ofrecen los perfiles de meteorización planteados por estos autores.

Una vez obtenida toda la información de los perfiles de meteorización se procedió a sumar los espesores de cada horizonte de suelo hasta obtener un espesor total por cada estación de trabajo levantada debidamente georeferenciada, para de esta manera regionalizar la variable dentro del territorio seleccionado, esto a partir del programa geostatístico *SURFER* 8.0 (Figura 7); para ello se seleccionaron todos los datos, se procesaron geoestadísticamente, obteniéndose un variograma ajustado a la naturaleza de la variable, los cuales vislumbraron comportamiento semi-continuo, aplicándose posteriormente el método '*kriging*' para la obtención de las isoárea correspondientes al contenido de la variable espesor para finalmente ser llevadas a un sistema de información geográfica (ArcGis 9.2) para su composición cartográfica.

Cabe destacar, que la selección de cuatro rangos de espesor fue obtenida a partir de dos criterios asociados: 1. A partir del procesamiento de los datos de espesores con fórmula de estadística descriptiva propuesta por Sturges (1926), donde  $Nro. \text{ de rangos} = 1 + 3.332 \text{Log}N$  (con  $N =$  al número de datos) y, 2. A partir de la



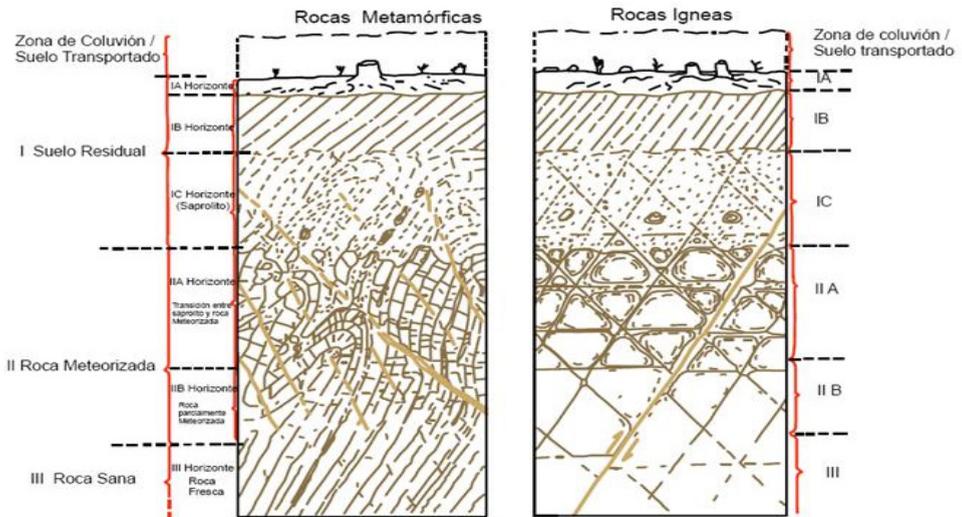


Figura 3. Perfil de meteorización para rocas ígneas y metamórficas (Deer y Patton, 1971)

evaluación empírica de la propensión a movimiento de masa que se pudiera originar en función a los distintos espesores de material y tipo suelo localizados sobre las laderas, a mayor espesor mayor propensión (en asesoría con funcionarios de INGEOMIN, Región los Andes). Ambos criterios se complementaron resultando al final conveniente reducir los números de clase o rangos ofrecidos por la estadística descriptiva finalmente a cuatro rangos.

Para la designación del nombre de los suelos se consideró la clasificación geotécnica de suelos estipulada por el sistema unificado de clasificación de los suelos (Casagrande, 1942).

Resulta importante resaltar que la confiabilidad del mapa de espesores de suelos residuales y coluviales, principalmente reside en la calidad y cantidad de la data obtenida en campo, al igual que la

distribución estratégica de la misma por toda el área de estudio (Figura 6).

## 5. Resultados y discusión

A continuación se presenta el formato resumen para los datos obtenidos en campo y registro de perforaciones (144 datos), con los cuales se realizó la regionalización de la variable espesor (Cuadro 1).

Se tomaron por estación de trabajo los valores de la columna identificada como TOTAL, correspondiente al valor del espesor total de cada estación, siendo esta la variable utilizada para la generación de isoáreas contentivas a la regionalización de dicha variable.

De acuerdo a la aplicación de la fórmula de estadística descriptiva, el número de rangos resultó igual a ocho (8), sin

Cuadro 1. Presentación ejemplificada de los datos de espesores

Estación	Este	Norte	IA(m)	IB(m)	IC(m)	TOTAL	Descripción litológica	Lugar/Sector	Fecha
1	261836	954447	0,2	0	0	0,2	IA: Sedimento tipo limo orgánico, húmedo, con raíces, olor térreo, deleznable(OL).	Sector Santa Rosa	29/06/2009
2	262109	954882	0,4	0	0	0,4	IA: Sedimento limo orgánico, húmedo, con raíces, olor térreo, deleznable(OL).	Sector Santa Rosa	29/06/2009
3	261557	954703	0,4	0,1	0	0,5	IA: Sedimento limo orgánico, húmedo, sin raíces, olor térreo, deleznable. IB: material limo arenoso color amarillo ocre, húmedo, compacto, erodable. (SM)	Sector Santa Rosa I	29/06/2009
4	260983	954828	0,4	0,1	0	0,5	IA: Sedimento limo orgánico, húmedo, con raíces, olor térreo, deleznable. IB: material limo arenoso color amarillo ocre, húmedo, compacto, erodable. (SM)	Sector Santa Rosa I	29/06/2009
5	261011	954658	0,2	0,2	0	0,4	IA: Sedimento limo orgánico, húmedo, con raíces, olor térreo, deleznable. IB: material limo arenoso color amarillo ocre, húmedo, semi plástico, compacto, plástico, erodable. (CH)	Sector Santa Rosa I	29/06/2009
6	261833	954868	0,4	0,1	0	0,5	IA: presenta un horizonte de suelo orgánico, limoso, húmedo, con raíces, olor térreo, deleznable. IB: material limo arenoso color amarillo ocre, húmedo, compacto. (CL)	Sector Santa Rosa I	29/06/2009
7	261930	954721	0,7	0,5	0	1,2	IA: horizonte de suelo orgánico, limoso, húmedo, con raíces, olor térreo, deleznable. IB: material limo arenoso color amarillo ocre, seco, plástico, compacto (CL).	Sector Santa Rosa I	29/06/2009

embargo, al observar la similitud existente entre la relación de espesores y la propensión a movimientos de masa del predio se convino, en función a la obtención de un mejor contraste, reducirlo finalmente a (4) cuatro rangos.

El área de estudio considerada presenta una extensión areal de 8.150 has, de las cuales solo 4.156,5 has están conformadas por macizos rocosos, estos se encuentran desagregados en isoáreas, que de acuerdo al rango de espesor, ocupan un porcentaje dentro del territorio.

El rango 1 presenta un área de 3.325,2 has, ocupando el 80% del total; el rango 2 presenta un área de 706,602 has, ocupando el 17% del total; el rango 3 tiene un área de 74,817 has, con el 1,8% del total, mientras que el rango 4 presenta un área de 49,878 has, ocupando el 1,2% del total (Figuras 4 y 5).

Con referencia a la información especializada en el mapa de espesores de suelo residual y coluvial (Figura 13), a pesar del dominio del rango 1 producto de la topografía accidentada, régimen climá-

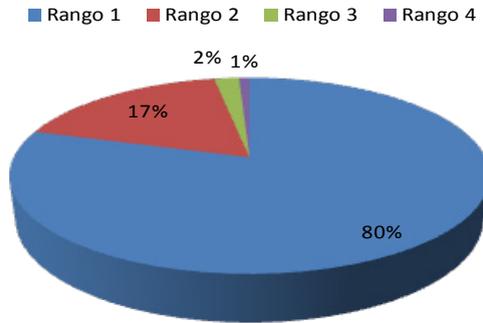


Figura 4. Distribución de los porcentajes de área por rango de espesor

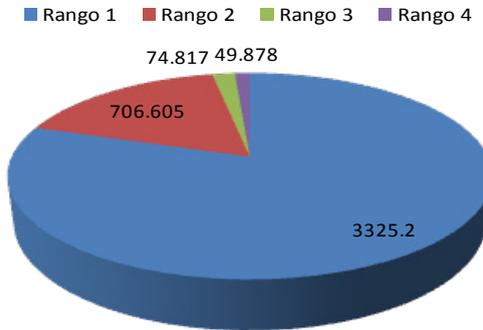


Figura 5. Distribución de los valores de área de terreno ocupada por rango de espesor

tico y régimen tectónico imperante en la zona, se interpreta que los mayores espesores de suelo residual y/o coluvial se encuentran en la unidad geológica denominada granodiorita de El Carmen (Figuras 8 y 13), específicamente en el sector fila El Escorial, conformando el rango 4.

Esta unidad presenta alta tasa de meteorización en su roca parental debido principalmente, tanto a la composición mineralógica y grado de fracturamiento del material, como a los efectos de las precipitaciones en zonas intervenidas para cultivos; su naturaleza arenosa hace

que el suelo sea muy permeable y sensible a la meteorización química de las plagioclasas y feldespatos parentales, generando espesores de suelo superiores a los ocho metros (8 m). Los coluviones están asociados a masas deslizadas de este mismo material parental, se encuentran dispuestos en las laderas en zonas donde hay caídas, deslizamientos y avalanchas activas.

En segundo lugar, se encuentran los suelos residuales asociados a las formaciones Palmarito y Sabaneta, los que por su naturaleza tanto arcillo-limosa como



Figura 6. Distribución de las estaciones de trabajo en macizos rocosos para evaluación de los perfiles de meteorización (puntos color rojo) sobre el área de estudio

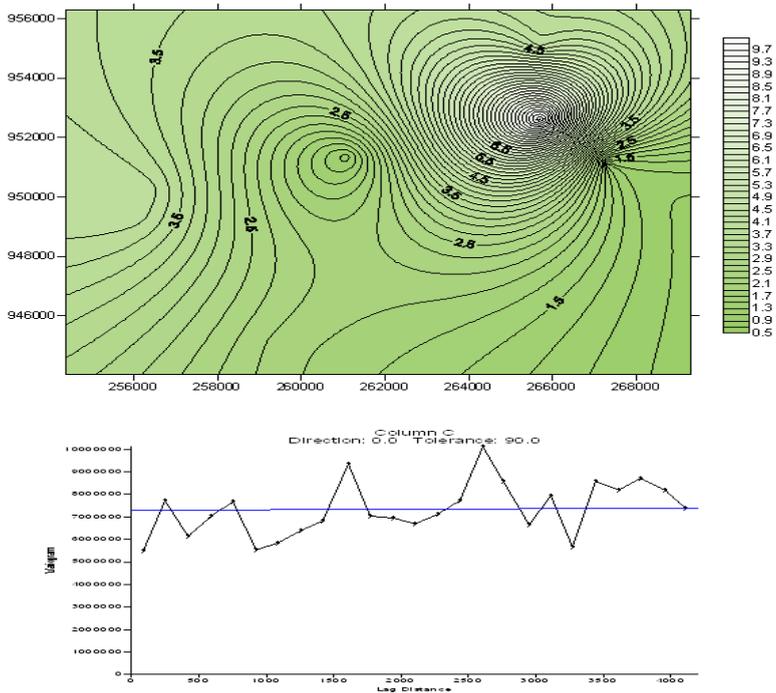


Figura 7. Generación de isolíneas, considerando la evaluación del variograma ajustado. Programa Surfer 8.0

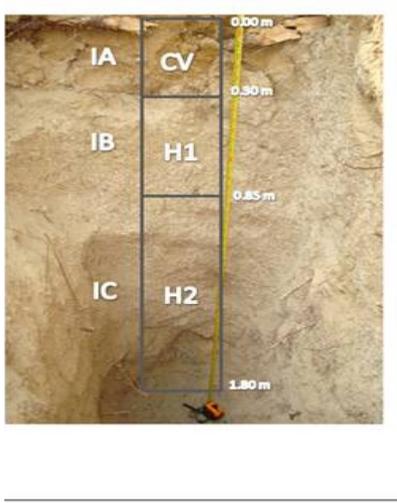
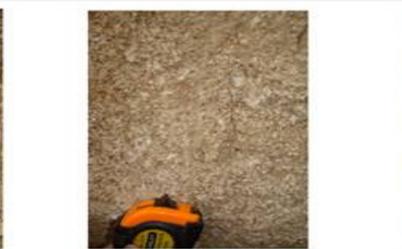
DESCRIPCIÓN GRÁFICA	DESCRIPCIÓN GENERAL	
	<p><b>PROFUNDIDAD:</b> 1.8 m</p> <p><b>DESCRIPCIÓN:</b>  DE 0.00 m A 0.30 m :  ARENA LIMOSA COLOR MARRÓN OSCURO  <math>q_w = - \text{Kg/cm}^2</math>  <math>s_w = - \text{Kg/cm}^2</math>  DE 0.30 m A 0.85 m :  ARENA LIMOSA CON RAÍCES COLOR OCRE CLARO-BEIGE, LIGERAMENTE HÚMEDA  <math>q_w = 3.50 \text{ Kg/cm}^2</math>  <math>s_w = 0.40 \text{ Kg/cm}^2</math>  DE 0.85 m A 1.80 m :  ROCA METEORIZADA, PRESENCIA IMPORTANTE DE CUARZO Y FELDSPATO, COLORES BLANCUZCOS, ARENA LIMOSA SIN COHESIÓN, SECA, GENERA GRAN CANTIDAD DE POLVO AL MEZCLARSE O MOVERSE.  <math>q_w = 3.09 \text{ Kg/cm}^2</math>  <math>s_w = 0.15 \text{ Kg/cm}^2</math></p> <p><b>CAPA VEGETAL:</b> DESDE 0.0 METROS HASTA 0.30 METROS DE PROFUNDIDAD  <b>NIVEL FREÁTICO:</b> NO SE ENCONTRÓ.  <b>TOPOGRAFÍA:</b> ZONA DE CRESTA PLANA DE LA FILA EL ESCORIAL, CON LADERAS ASIMÉTRICAS, MAYOR DENSIDAD DE DRENAJE EN LADERA SUR  <b>VEGETACIÓN:</b> SE OBSERVAN ARBUSTOS BAJOS Y PINOS DE HASTA 30.0 M DE ALTURA  <b>METEORIZACIÓN:</b> MEDIA, DESCOMPOSICIÓN DE LA GRANODIORITA. NIVEL DE ARENOSIDAD ALTO.</p>	
<b>MEMORIA FOTOGRÁFICA</b>		
		

Figura 8. Descripción del suelo residual que conforma la unidad geológica granodiorita de El Carmen

areno-gravosa respectivamente (Figuras 9 y 10), y abundante presencia de agua subsuperficial, generan principalmente procesos asociados a reptación y solifluxión. Los espesores de suelo están relacionados principalmente al grado de fracturamiento que tienen las pizarras, filitas, brechas y demás rocas metasedimentarias que conforman estas unidades, ya que al infiltrarse el agua superficial y actuar la subsuperficial, generan meteorización en la roca parental a tal punto que se encuentran zonas superiores a 4 m de espesor y en coluviones

de hasta 6 m de espesor (sector Santa Anita). La geometría de las unidades de relieve, tipo cerros acolinados con topes amesetados presentes en las lomas Las Flores, La Virgen, Los Maitines y La Lagunita, propician la generación de suelo residual, por lo general conforman parcialmente el rango tres y rango dos.

La Asociación Sierra Nevada y la Formación La Quinta presentan, por lo general, de moderados a bajos espesores de suelo residual, esto debido a su dureza, altas pendientes y resistencia a los efectos de la meteorización. Los de la Aso-



PROYECTO:	MISIÓN CIENCIAS: GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS EN ESPACIOS URBANOS	PERFORACIÓN:	<b>P2</b>
UBICACIÓN:	SANTA ANITA, AREA METROPOLITANA DE MÉRIDA, ESTADO MÉRIDA	HOJA:	2
COORD. UTM:	N 952.525 E 263.72 Z: 1725 msnm	TOTAL HOJAS:	9
NÚMERO DE PROYECTO:	ES-0002-0310-SG		

FECHA:	09-mar-10	SUPERVISOR:	ING. J. GHERSI	PERFORADORES:	R. MARTÍNEZ, M. TOVAR
MÉTODO DE PERFORACIÓN:	SPT	TIPO DE PERFORADORA:	PERCUSIÓN	METROS DE PERFORACIÓN:	11.0
DIÁMETRO DEL HUECO DE PERFORACIÓN:	2" / 5.08 cm	SAMPLEADOR (DIÁMETRO/TIPO):	1.5"/3.0 cm-CUCHARA PARTIDA	PESO Y TIPO DE MARTILLO:	63.5 kg/ANILLO
DIST. DE CAIDA DEL MARTILLO:	76 cm	METROS DE FORRO:	-	ROTACIÓN EN ROCA (DIÁMETRO/TIPO/MTS):	-
NIVEL FREÁTICO APARENTE:	3.00	METROS DURANTE LA PERFORACIÓN:	-	METROS DESPUES DE:	
COMENTARIOS:					

PERF. Nro.	MUESTRAS		GOLPES EN MUESTREADOR (N)				PEC (mts)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO Y ESTRATIGRAFÍA
	Nro.	PROF (mts)	(1)/15	(2)/15	(3)/15	TOTAL (2+3)		
P2	1	1.0	4	3	5	8	30	ARCILLA CON FRAGMENTOS DE ROCA. MATERIA ORGÁNICA. COLOR GRIS AZULADO-NEGRUZZO
	2	2.0	9	10	10	20	30	ARCILLA LIMOSA CON FRAGMENTOS DE ROCA (PIZARRA). COLOR GRIS OSCURO-OCRE
	3	3.0	13	11	13	24	26	ARCILLA LIMOSA CON FRAGMENTOS DE ROCA (PIZARRA). COLOR GRIS OSCURO-OCRE
	4	4.0	10	10	12	22	30	ARCILLA LIMOSA CON FRAGMENTOS DE ROCA (PIZARRA). MATERIA ORG. COLOR GRIS CLARO-NEGRUZZO
	5	5.0	10	12	12	24	30	ARCILLA CON FRAGMENTOS DE ROCA. MATERIA ORGÁNICA. COLOR GRIS CLARO. HÚMEDA
	6	6.0	20	34	33	67	30	ARCILLA LIMOSA CON FRAGMENTOS DE ROCA. COLOR GRIS CLARO-AZULADO
	7	7.0	15	49	55	104	30	ARCILLA LIMOSA CON FRAGM. ROCA PIZARRA. COLOR GRIS AZULADO-OCRE NARANJA
	8	8.0	16	26	22	48	30	ARCILLA LIMOSA CON FRAGM. ROCA PIZARRA. COLOR GRIS CLARO. MUESTRA SATURADA H <sub>2</sub> O
	9	9.0	52	40	40	80	30	ARCILLA CON FRAGMENTOS DE ROCA PIZARRA. COLOR GRIS CLARO-OSCURO. SATURADA
	10	10.0	24	25	27	52	30	ARCILLA CON FRAGMENTOS DE ROCA. COLOR GRIS CLARO. SATURADA
-	11.0	18	28	35	63	30	ARCILLA CON FRAGMENTOS DE ROCA PIZARRA. COLOR GRIS CLARO-OCRE CLARO. SATURADA	

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Figura 9. Registro de perforación año 2010. Sector Santa Anita, Mérida. Formación Palmarito. Arcillo-gravoso. (CL-CG).El suelo residual se presentó hasta los cinco metros de profundidad

PROYECTO: MISIÓN CIENCIAS: GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS EN ESPACIOS URBANOS UBICACIÓN: LOMA LOS MAITINES, MERIDA, ESTADO MERIDA COORDENADAS REG-V E: 258319 N: 949232 Z: 1550 msnm FECHA: 12-mar-10		ID. CALICATA <b>CAJ</b>
DESCRIPCIÓN GRÁFICA	DESCRIPCIÓN GENERAL	
	<p><b>PROFUNDIDAD:</b> 1.70 m</p> <p><b>DESCRIPCIÓN:</b>                  DE 0.00 m A 0.50 m :                  GRAVA ARENOSA COLOR MARRÓN-NARANJA, SECA Y DURA.  <math>q_u = &gt; 4.50 \text{ Kg/cm}^2</math>  <math>\gamma_w = - \text{ Kg/cm}^2</math> NO ADMITIÓ LA VELETA, SUELO ARENOSO                  DE 0.50 m A 1.07 m :                  ROCA METEORIZADA DURA FRACTURADA. GRAVA ARENOSA-LIMOSA COLOR NARANJA. SE OBSERVA DIRECCION DE FOLIACIÓN F01=N10°E 35°S  <math>q_u = &gt; 4.50 \text{ Kg/cm}^2</math>  <math>\gamma_w = - \text{ Kg/cm}^2</math> NO ADMITIÓ LA VELETA, SUELO ARENOSO                  DE 1.07 m A 1.70 m :                  ARENA LIMOSA COLOR NARANJA. HUMEDAD BAJA  <math>q_u = &gt; 4.50 \text{ Kg/cm}^2</math>  <math>\gamma_w = 0.92 \text{ Kg/cm}^2</math></p> <p><b>CAPA VEGETAL:</b> DESDE 0.0 METROS HASTA 0.50 METROS DE PROFUNDIDAD  <b>NIVEL FREÁTICO:</b> NO SE ENCONTRÓ. SIN EMBARGO EL SUELO PRESENTA HUMEDAD  <b>TOPOGRAFÍA:</b> ZONA DE TOPOGRAFIA ONDULADA CON PENDIENTE HACIA EL SUR.  <b>VEGETACIÓN:</b> ARBUSTOS BAJOS Y DENSO BOSQUE DE PINOS  <b>METEORIZACIÓN:</b> BAJA A MEDIA. SE OBSERVAN PROCESOS DE OXIDACIÓN EN EL SUELO.</p>	
MEMORIA FOTOGRÁFICA		



Figura 10. Naturaleza del suelo residual de la Formación Sabaneta. Areno gravosos. (SP-GW). El suelo residual con datos de apoyo en campo se consideró de hasta cuatro metros de espesor

ciación Sierra Nevada presentan suelos arenosos, mal gradados, semi compactos, ricos en cuarzo, feldespato y filosilicatos (micas). Los de la Formación La Quinta presentan suelos areno gravosos y gravas arenosas embebidas en matriz limo arcillosa, se presentan bien gradados y semi compactos. En conjunto se encuentran

entre el rango dos y el rango uno (Figura 11).

Los suelos con menor espesor corresponden a los ubicados en la Formación Mucujún (Figura 12), en principio por las pronunciadas pendientes; sin embargo, se generan a partir de la meteorización de la limolita deslizamientos de suelo y caí-

PROYECTO: MISION CIENCIAS: GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS EN ESPACIOS URBANOS	PERFORACIÓN: <b>P6</b>
UBICACIÓN: MARGEN DERECHA QDA. LA FRÍA, SECTOR LOS TANQUES, MÉRIDA, ESTADO MÉRIDA	HOJA: 4
COORD. UTM: N 949.089 E 264.168 Z: 1518 msnm	TOTAL HOJAS: 9
NÚMERO DE PROYECTO: ES-0002-0310-SG	

FECHA: 13-mar-10	SUPERVISOR: ING. J. GHERSI	PERFORADORES: R. MARTÍNEZ, M. TOVAR
METODO DE PERFORACIÓN: SPT	TIPO DE PERFORADORA: PERCUSION	METROS DE PERFORACIÓN: 11.0
DIAMETRO DEL HUECO DE PERFORACIÓN: 2" / 5.08 cm	SAMPLEADOR (DIAMETRO/TIPO): 1.5"/3.8 cm-CUCHARA PARTIDA	PESO Y TIPO DE MARTILLO: 63.5 kg/ANILLO
DIST. DE CAIDA DEL MARTILLO: 76 cm	METROS DE FORRO: -	ROTACIÓN EN ROCA (DIAMETRO/TIPO/MTS): -
NIVEL FREÁTICO APARENTE: 3.50	METROS DURANTE LA PERFORACIÓN: -	METROS DESPUÉS DE: -
COMENTARIOS:		

PERF. Nro.	MUESTRAS		GOLPES EN MUESTREADOR (N)				REC (mts)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO Y ESTRATIGRAFÍA
	Nro.	PROF (mts)	(1)/15	(2)/15	(3)/15	TOTAL (2)+(3)		
P6	1	1.0	5	6	5	11	24	ARENA GRUESA CON FRAGM. ROCA METEORIZADA, CON MICA Y CUARZO, COLORES OCRE Y GRIS.
	2	2.0	7	5	4	9	24	ARENA GRUESA CON FRAGM. ESQUISTO, CON MICA Y CUARZO, COLOR GRIS-OCRE OSCURO-BLANCUZO. HÚMEDO
	3	3.0	4	6	7	13	30	ARENA GRUESA CON FRAGM. ROCA METEORIZADA, CUARZO Y MICA, COLOR GRIS-OCRE. SATURADA
	4	4.0	8	4	3	7	30	ARENA GRUESA CON FRAGM. ROCA METEORIZADA, CUARZO Y MICA, COLOR GRIS-OCRE. SATURADA
	5	5.0	5	5	5	10	6	ARENA GRUESA CON FRAGM. ROCA GRANITICA, CUARZO Y MICAS, SATURADA
	6	6.0	10	11	12	23	20	ARENA GRUESA CON LIMO Y MICAS, COLOR BLANCUZO-GRIS OSCURO. SATURADA
	7	7.0	14	10	10	20	20	GRAVA ARENOSA CON LIMO, FRAGM. DE ROCA, CON CUARZO, COLOR GRIS-OCRE. SATURADA
	8	8.0	10	10	17	27	5	ARENA GRAVOSA, COLOR GRIS-OCRE. SATURADA
	9	9.0	11	11	13	24	30	LIMO ARCILLOSO CON GRAVA Y ARENA, FRAGM. DE CUARZO Y MICAS, FELDESPATO, COLOR GRIS AZULADO
	10	10.0	18	18	19	37	19	GRAVA CON ARENA COLOR GRIS OSCURO
	11	11.0	20	42	52	94	30	GRAVA LIMOSA, ROCA GRANITICA METEORIZADA, COLOR OCRE-NARANJA, BLANCUZCA, CON MICAS

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Figura 11. Registro de perforación año 2010. Sector los Tanques, Mérida. Asociación Sierra Nevada. Areno-gravoso. (SW-SG). El suelo residual se presentó hasta los cinco metros de profundidad



Figura 12. Obsérvese a la izquierda la secuencia rítmica sedimentaria de la Formación Mucujún a la derecha el suelo residual asociado. Por lo general, presenta menos de 1 m de espesor. Areno limoso. Cerro El Peñón. (INGEOMIN, 2010)

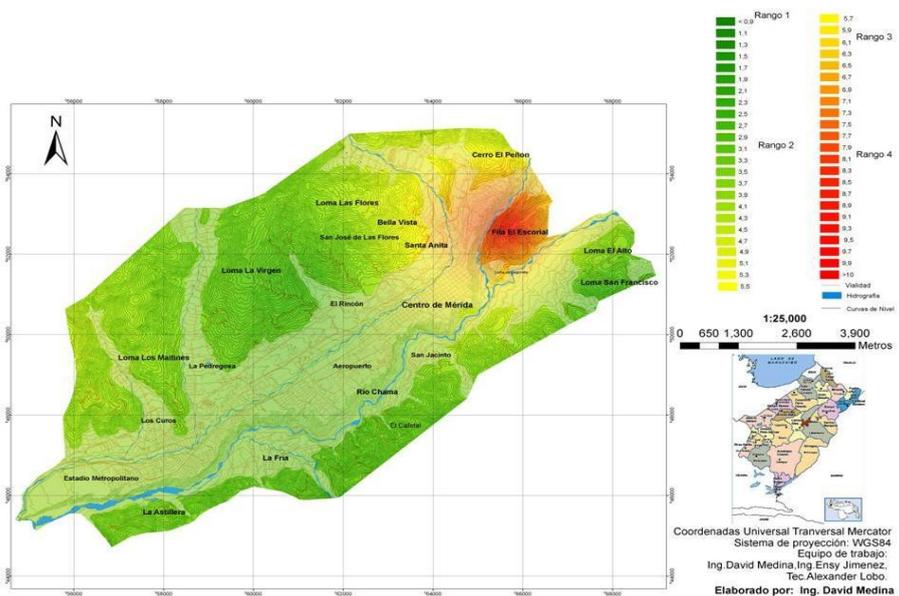


Figura.13. Mapa de espesores de suelo residual y coluvial en zona de laderas, ciudad de Mérida, estado Mérida. Venezuela. 2010

da de rocas tipo arenisca. No obstante, se encuentran coluviones de moderado espesor producto de la actividad tectónica de la Falla La Hechicera (cuñas coluviales), lo que hace incrementar en la zona los espesores de suelo. Se encuentran ubicados entre rango uno y parcialmente el rango dos y tres.

## 6. Conclusiones

El método implementado para la regionalización de la variable espesor resulta apropiado para variables de comportamiento continuo, si bien el espesor de suelo es una variable semi discreta, en términos del ámbito del estudio y a la regionalización obtenida, los resultados se ajustan a lo existente en campo.

En síntesis, se puede expresar que esta información temática contribuye, como factor condicionante a la estabilidad de las laderas, en la evaluación de la propensión que tienen las unidades de relieve de la ciudad de Mérida a generar procesos de remoción en masa, por tanto representa un insumo relevante a considerar en el estudio integrado de susceptibilidad ante movimientos de masa, tanto por los aportes relacionados a los cálculos de volumen de material disponible para la generación de posteriores procesos como por representar una herramienta orientadora en la generación de propuestas y/o estrategias que contribuyan a la ordenación urbanística y/o territorial.

Cabe destacar que resulta importante evaluar la representatividad estadística que tienen las estaciones de trabajo

(unidades de inventario de información) versus el área de estudio, ya que la confiabilidad de la información representada estará íntimamente ligada a la cantidad de información por unidad de área.

## 7. Agradecimientos

Al equipo de trabajo del INGEOMIN, Región Los Andes por su gran colaboración, a los profesores de la maestría de Ordenación del Territorio y Ambiente por su incentivo en la investigación y publicación de la información, al personal que labora en la Revista Geográfica Venezolana por su disposición en la divulgación de esta información. Igualmente al Técnico Alexander Lobo e Ingeniero Ensy Jiménez por su ayuda en campo, a la empresa GEOTOPOSERVICE C.A y al Ing. Geólogo (Msc) Víctor León Madrid, por su asesoría e incondicional ayuda.

## 8. Referencias citadas

- ARNOLD, H. C. 1966. *Upper Paleozoic Sabaneta-Palmarito sequence of Mérida Andes, Venezuela*. **AAPG Bull.**, 50 (11): 2.366-2.387.
- BASS, M. y R. SHAGAM. 1960. *Edades Rb-Sr de las rocas cristalinas de Los Andes meridionales, Venezuela*. **Boletín Geológico**. Pub. Esp. N° 3, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Caracas-Venezuela. 1: 377-381.
- CASAGRANDE, A. 1942. Sistema unificado de clasificación de suelos. En: JUÁREZ, E. *et. al.*, 2004. **Mecánica de suelos. V. 2: teoría y aplicaciones de la mecánica de**

- suelos.** México, DF (México), Grupo Norriega. v. 2-3.
- DEER, D. y F. PATTON. 1971. Estabilidad de taludes en suelos residuales. *IV Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de fundaciones.* 93-175. San Juan-Puerto Rico.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C.; ITURRALDE de AROZENA, J. M. y X. PICARD. 1980. **Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas.** Ediciones Foninves. Tomo I y II. Caracas-Venezuela.
- INSTITUTO NACIONAL DE INGENIERÍA Y MINERÍA (INGEOMIN). 2007. *Actualización de la cartografía geológica de la ciudad de Mérida, escala 1:25.00, estado Mérida.* (Inédito).
- INSTITUTO NACIONAL DE INGENIERÍA Y MINERÍA (INGEOMIN). 2010. *Informe diagnóstico de estabilidad y estudio geotécnico-geomecánico sobre las laderas y taludes de corte localizados dentro de la poligonal urbana del municipio Libertador, Mérida, estado Mérida* (Inédito). 120 p.
- KOVISAR, L. 1972. *Geología de la parte nort-central de los Andes venezolanos.* **Boletín Geológico.** Pub. Esp. N° 5. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Caracas-Venezuela. 2:817-860.
- LA MARCA, E. 1997. **Origen y Evolución Geológica de la Cordillera de Mérida, Andes de Venezuela.** Universidad de Los Andes. Cuadernos de la Escuela de Geografía, Nueva Época, N° 1:1-110. Mérida-Venezuela.
- MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS. 1970. *Léxico Estratigráfico de Venezuela.* **Boletín Geológico.** Pub. Esp. N° 4. Caracas-Venezuela.
- SCHUBERT, C.; SIFONTES, R.; VELEZ, V. y P. A. LOAIZA. 1979. *Formación la Quinta (Jurásico) Andes merideños: geología de la sección tipo.* **Acta Científica Venezolana.** 30: 42-55.
- SCHUBERT, C. y L. VIVAS. 1993. **El cuaternario de la cordillera de Mérida, Andes Venezolanos.** UDO/Fundación Polar. Cumana-Venezuela. 345 p.
- STURGES, H. 1926. *The choice of a class-interval.* **J. Amer. Statist. Assoc.,** 21: 65-66.