

Mapa de unidades litológicas superficiales como contribución al proyecto urbanístico 'Ciudad Camino de los Indios', Venezuela

*Map of superficial lithological units like contribution to urban development
project 'Ciudad Camino de los Indios', Venezuela*

Medina G. David¹, Montilla Ninfa¹, Monsalve Zoila² y Pimstein Laura²

Recibido: marzo 2010 / Aceptado: octubre 2011

Resumen

La investigación llevada a cabo dentro del proyecto urbanístico 'Ciudad Camino de Los Indios' tuvo como objetivo elaborar un mapa de susceptibilidad ante movimientos de masa, el cual resulta de la integración de cinco variables condicionantes de la estabilidad: pendiente, vegetación, geomorfología, cinemática y unidades litológicas superficiales. Para efectos del artículo se expondrá una de las principales variables utilizadas, el **mapa de unidades litológicas superficiales**. 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 con base en su estado físico-geomecánico, condición no considerada en los análisis clásicos. En función de esta nueva metodología que involucra resistencia, grado de fracturamiento, meteorización y comportamiento geomecánico de los materiales, se logró determinar cuatro unidades: roca meteorizada dura fracturada (Rmdf), roca fresca dura fracturada (RFdf), roca muy meteorizada dura fracturada (RMmdf), roca descompuesta y/o suelo residual (RD).

Palabras clave: Susceptibilidad; unidades litológicas superficiales; estado físico-geomecánico; cartografía.

Abstract

The investigation carried out within the urban development project "Ciudad Camino de Los Indios" had like objective the elaboration of a susceptibility map to mass movements, which results from the integration of five variable of stability: slope, vegetation, geomorphology, kinematic and superficial lithologic units. For purposes of the article will present one of the main variables used, map of superficial lithologic units. This map represents a proposal to be included within the maps of susceptibility, since it allows to charting the areal distribution of geologic materials based on their physico-geomechanical condition not considerate in classical analysis. In accordance with this new methodology, which involves: resistance, degree of fracturing, weathering and geomechanical behavior of materials, it was determined four units: hard weathered fractured rock (Rmdf), fractured fresh rock hard (RFdf), highly weathered rock hard fractured (RMmdf), decomposed rock and/or soil residual (RD).

Key words: Susceptibility; superficial lithological units; physico-geomechanical; cartography.

1 Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), Departamento de Geología, Mérida-Venezuela. Correo electrónico: davidbmedinag@gmail.com; ninfa.10.11@gmail.com

2 Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Geológica, Mérida-Venezuela. Correo electrónico: zymy@hotmail.com; laurapimstein@yahoo.es

1. Introducción

El proyecto 'Ciudad Camino de los Indios' nace como un plan estratégico del Estado, llevado a cabo por el Ministerio de Hábitat y Vivienda, para la expansión de la zona metropolitana de Caracas y el estado Vargas, teniendo como fin albergar en ciudades planificadas a las comunidades adyacentes que carecen de vivienda propia y aquellas que viven en condición de riesgo.

El mapa de unidades litológicas superficiales forma parte de los mapas temáticos utilizados para la generación del mapa de susceptibilidad ante movimientos de masa, el cual fue el objetivo final de este proyecto. Este primer mapa expresa la distribución espacial de los materiales presentes en la superficie estudiada, de acuerdo a la clasificación geotécnica de rocas y suelos; de igual manera, contiene los valores promedios correspondientes a sus propiedades índices tales como: ángulo de fricción interna, cohesión, resistencia a la compresión, RQD y calidad del macizo por métodos geomecánicos. Por otra parte, permite valorar los perfiles de meteorización identificando su naturaleza, espesores aparentes de los horizontes de suelo asociados al modelo planteado por Deere y Patton (1971), disposición de las capas y parámetros geomecánicos intrínsecos, los cuales contribuirán con la toma de decisiones referentes a las labores de ingeniería a desarrollarse, entre las cuales están las actividades de corte y relleno, movimientos de tierra, viabilidad del diseño de fundaciones para viviendas e infraestructura asociada en términos

de estabilidad, entre otras informaciones que implícitamente favorecerán el óptimo aprovechamiento de los recursos existentes en el territorio.

2. Localización del área de estudio

El sector de la 'Ciudad Camino de los Indios' se encuentra situado al oeste del Distrito Capital, adyacente al segundo viaducto Caracas-La Guaira, y yace sobre la cordillera de la costa central, limitando al norte con la autopista Caracas-La Guaira y el túnel Boquerón I, al sur con El Junquito y al oeste con el estado Vargas.

El área¹ consta de una superficie total de 39,84 Km²; se encuentra delimitada por un polígono cerrado segmentado, cuyos siete vértices principales en coordenadas UTM, bajo un sistema de proyección WGS84 son: 1165064N 712192E; 1162863N 711396E; 1160663N 712541E; 1159992N 715744E; 1162264N 720038E; 1165225N 718284E; 1165261N 715458E.

Para efectos del artículo, se considerará como zona de estudio la expresada en la figura 1 (área asignada para el mapa de unidades litológicas superficiales), conformada por las cuencas de la quebradas: el Inglés, el Topo y Seca, con una superficie aproximada de 11,87 km² del total asignado. Estos afluentes se encuentran situados desde el flanco suroccidental hasta la zona centro-norte de la poligonal designada. Representan unidades de relieve tipo montañoso y unidades de valle tipo intramontano, correspondiente al sistema orogénico de la cordillera de la costa central.

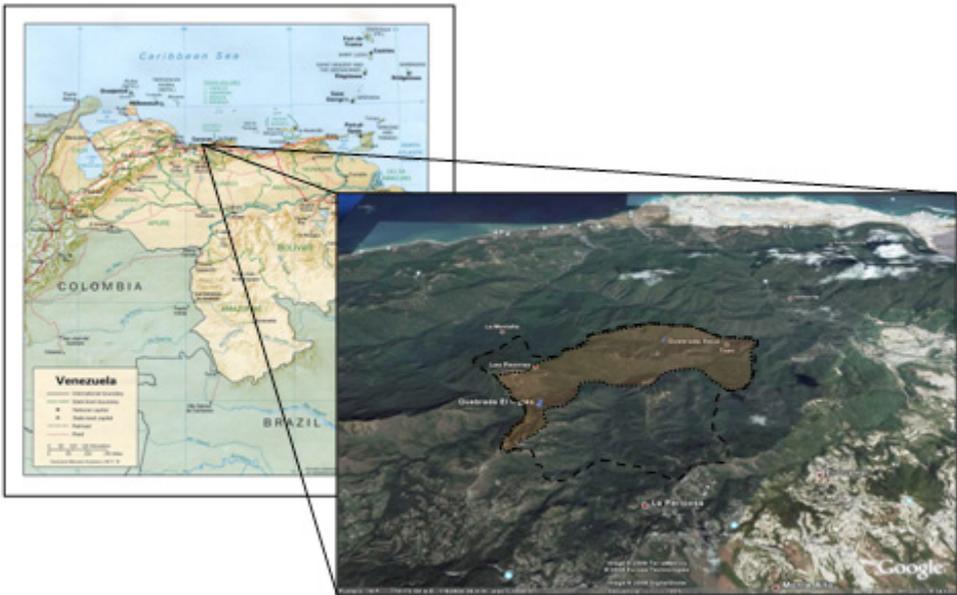


Figura 1. Polígono del área total estudio (--) y área asignado para el mapa de unidades litológicas superficiales (sombreado marrón). Obsérvese hacia el este la autopista Caracas-La Guaira, al sur El Junquito, al oeste Carayaca y al norte el aeropuerto de Maiquetía, estado Vargas. (Imagen tomada de Google earth, 2008)

3. Entorno geológico-estructural regional y unidades formacionales locales

El área de estudio se encuentra dentro de la faja de la cordillera de la Costa, y se ubica en la parte septentrional del macizo central de la misma. Limita al norte por el mar Caribe y al sur por los llanos centrales. Dentro de esta unidad están representadas rocas del basamento pre-mesozoico, metasedimentos plataformales de edad Jurásico-Cretácico y lentes concordantes de eclogitas, anfibolitas y serpentinitas, así como intrusivas de carácter calco-alcalino.

Geológicamente, la cordillera de la Costa fue originada por una colisión ra-

sante en un régimen transpresivo, en la que el choque oblicuo de la placa Caribe y del sistema arco-trinchera del arco de Granada con el margen pasivo mesozoico del norte de Sudamérica, provocó un complejo emplazamiento de bloques tectónicos de diferentes edades y orígenes, generando un vasto cinturón metamórfico de bajo grado, fuertemente deformado y muy caótico (Grande y Salcedo, 2000).

En cuanto a la dinámica presente a escala global, gran cantidad de fallas regionales circundan el área ejerciendo implícitamente una gran influencia en la disposición y cinemática de los materiales presentes en los macizos rocosos, condicionando de este modo el grado de fracturamiento, posición de las unidades

litológicas y estructuras geológicas del área.

La zona en cuestión se encuentra conformada básicamente por cuatro unidades geológicas con distintos tipos de comportamiento geomecánico en superficie; ellas son: Esquistos Las Brisas, Esquistos Las Mercedes, el Mármol de Antimano y el Esquisto de Tacagua. De acuerdo a la bibliografía consultada (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1997) y datos interpretados en campo, estas unidades geológicas presentan la siguiente información (Figura 2):

- El Esquisto Las Brisas, de edad Jurásica, representa gran parte del área asignada y consta de una litología conformada esencialmente por esquistos cuarzo micáceo feldespático, de color gris claro, el cual meteoriza a amarillo ocre y rosado, dependiendo del contenido de sericita y feldespatos en la roca. Este material, en ocasiones se encuentra interfoliado con mármol, hacia las quebradas la Negra y el Inglés, destacándose los contrastes de binomios de dureza. También hacia el sur, se encuentran las meta-reniscas asociadas a esta unidad, de color gris claro, con textura granular meteorizando a gris plomo, y presentando una consistencia similar a la de un suelo arenoso tipo arena de playa.
- El Esquisto Las Mercedes, de edad Cretácica, se encuentra conformado básicamente por esquistos calcáreos de color amarillo ocre a crema, meteorizando a gris oscuro y por esquistos grafitosos de color gris graso meteorizando a gris plomo negruzco;

de igual manera, se manifiestan interfoliaciones de mármol asociadas a la fase Antimano.

- El Mármol de Antimano, del Cretácico superior, representa una fracción menor del porcentaje areal de la zona de estudio y se encuentra conformada litológicamente por mármoles masivos, de gran competencia, en ocasiones interfoliados con esquistos micáceos, calcáreos y anfíbolitas. Se presenta geoméricamente como capas gruesas de color gris oscuro meteorizando a gris claro, en ocasiones con mineralogía asociada a pirita; de igual manera, se presenta en forma de núcleos embebidos en una matriz de roca conformada por esquistos cuarzo feldespáticos.
- El Esquisto de Tacagua (Complejo de la Costa), del Cretácico tardío, está conformado por esquistos cloríticos, epidóticos y actinolíticos; en mayor proporción se presentan de color verde oscuro meteorizando a verde claro; afloran en la franja norte del área de estudio.

4. Materiales y métodos

Uno de los objetivos principales del estudio fue caracterizar y cartografiar las unidades litológicas superficiales, con el fin de determinar las condiciones físicas-geomecánicas de los diferentes materiales rocosos que afloran en superficie (roca o suelo).

La realización del mapa de unidades litológicas superficiales requirió, previa-

mente, una serie de estudios relacionados con la fotointerpretación y actualización de las cartas geológicas del área; igualmente, 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 formacionales existentes y se corroboraron los datos geológico-geomecánicos obtenidos en campo y laboratorio para, de esta manera, fijar los límites y agrupar los cuerpos litológicos con base en las similitudes geotécnicas para las distintas zonas evaluadas y delimitadas.

Para la designación del nombre de la zonificación obtenida, se propuso identificar a los materiales superficiales de acuerdo a sus características y estado físico, considerando conveniente la clasificación geotécnica de rocas, la cual maneja grado de fracturamiento, grado de meteorización y resistencia. Para agrupar y zonificar el estado físico de los materiales geológicos superficiales, se procedió a considerar la relación entre el análisis de regionalización espacial de variables geomecánicas, realizada a partir de datos de ensayos de laboratorio provenientes de muestras imperturbadas de perforaciones y la información empírica levantada en campo. Cabe destacar que cada zonificación posee una muestra representativa de información referente a las propiedades y mediciones inherentes a los materiales diagnosticados en superficie, soportado a su vez por el análisis espacial

geoestadístico, procesado en SURFER 8.0, de los parámetros geomecánicos estipulados.

Para la evaluación de los macizos rocosos se recurrió al uso de clasificaciones geomecánicas, dentro de las cuales se encuentran Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989), Stress Mass Rating (Romana, 1997) y Geological stress index (Hoek, 1998) obteniéndose la calidad de la roca, además del diagnóstico de los rangos de excavabilidad del material superficial e información relacionada con las aproximaciones de los valores de las propiedades índices del material y el comportamiento geotécnico preliminar del área designada con apoyo de la geoestadística.

De igual forma, para la evaluación de los suelos residuales, se hizo uso de los perfiles de meteorización considerando la metodología de Deere y Patton (1971), específicamente para rocas metamórficas 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 en función a que el área de estudio ofrece mayor proporción de suelos residuales de génesis ígneo-metamórfico, que aluvión y suelos transportados.

Es importante resaltar que la confiabilidad del mapa de unidades litológicas superficiales reside en la interacción que exista entre la fotointerpretación y la pericia del geólogo en campo, apoyándose en los resultados procedentes de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelo y roca.

5. Resultados y discusión

Debido a la complejidad tectónica y replegamiento presente en el área de estudio, resultó apropiado la clasificación geotécnica de rocas inherente al estado físico de los materiales, las cuales exhiben el grado de fracturamiento, meteorización y resistencia (ISRM, 1978), presentándose rocas con los siguientes comportamientos: 1. Roca muy meteorizada dura fracturada (RmMdf); 2. Roca fresca dura fracturada (RFdf); 3. Roca meteorizada dura fracturada (Rmdf) y, 4. Roca descompuesta y/o suelo residual (RD), expresadas espacialmente en el mapa de unidades litológicas superficiales.

Este mapa sintetiza las características geomecánicas-geotécnicas de las unidades de material superficial presentes en el área, desagregadas en unidades de 'estado físico' a partir de sus características intrínsecas, lo cual diferencia notablemente este análisis con respecto a los análisis geológicos convencionales, en donde solo se mencionan parcialmente los estados físicos a nivel de unidad formacional (en ámbito regional) y sin especialización de la condición litológica, representando este aporte una doble contribución, la primera como apoyo a los entes interventores del territorio en materia de movimiento de tierra y, la segunda, como instrumento para la generación de los mapas de susceptibilidad ante movimientos de masa, como herramienta en la toma de decisiones en la configuración del urbanismo. A continuación los resultados obtenidos para cada unidad (Figura 7)

- La **unidad (RMmdF)** presenta un material tipo metarenisca, de color gris oscuro, de grano grueso, permeable, con considerable contenido de humedad. Se comporta geotécnicamente como una roca blanda por efectos de meteorización, conservando las estructuras reliquias tipo foliación y diaclasas. De acuerdo al análisis geomecánico se obtuvieron valores de calidad entre muy mala y mala, debido al alto grado de fracturamiento, alteración física y propensión a los procesos de remoción en masas. Esto significa, a grandes rasgos, que se presenta con resistencias entre 10 y 50 kg/cm² y muy fracturada, con frecuencias máximas de 8:1, separaciones entre 0,06 a 0,2 m, ángulos de fricción entre 15° y 25°, cohesiones entre 0,5 y 1 Ton/m², peso unitario de 1,836 Kg/m³. Los suelos residuales, por lo general arenosos (SM), pueden tener un espesor de hasta 10m, su resistencia promedio es menor a 2 kg/cm². En esta unidad predominan procesos de remoción tipo colapsos en roca y erosión regresiva, en zonas de pendiente se aprecia pandeo o volcamiento. En cuanto a la excavabilidad del material, se puede inferir que es de fácil excavación para un nivel superficial (hasta 4 m), con uso de maquinaria tipo retroexcavadora o Dozer (D6), (Figura 3).
- La **unidad de (RFdf)** presenta un material conformado por cuarcitas y mármoles de gran dureza; generalmente afloran en las altas elevaciones topográficas en forma de prismas

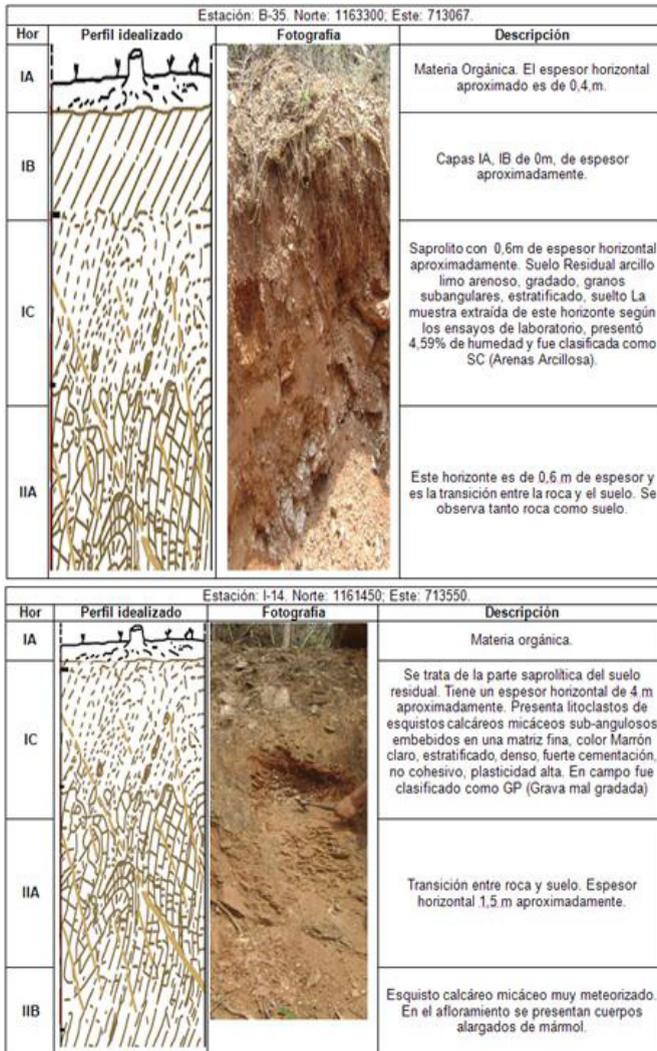


Figura 3. Perfil de meteorización de la unidad roca muy meteorizada dura fracturada (RmMdf)

rectangulares interfoliados ocasionalmente con esquistos cuarzo feldespáticos; también en los fondos de valle se aprecian estas litologías con geometría de núcleos embebido en las masas de esquistos, ofreciendo una mayor resistencia en estos casos al material.

A rasgos generales, se presenta con resistencias entre 1000 y 2500 kg/cm² (roca intacta) fracturada, con frecuencias máximas de 5:1, separaciones entre 0,2 y 0,6 m, ángulos de fricción entre 25 y 35°, cohesiones entre 2 y 3 Ton/m², peso unitario 1,919 kg/m³. En esta unidad predominan procesos tipo caída de

rocas. En cuanto a la excavabilidad del material: excavación difícil, posible uso de escarificador (máquina tipo D8), se podría considerar el uso de explosivos en tramos donde el fracturamiento sea leve o poco. Presentan suelos residuales, con espesores menores de un metro (1 m), por lo general, con resistencias promedio mayores a los 4,5 kg/cm². Con respecto al uso, los mármoles como material para la construcción y con estudios a detalle factiblemente para la industria del cemento, también se utiliza en la fábrica de cal y en la industria química. La Cuarcita puede emplearse también en la industria del vidrio, en cerámica y en la fabricación de refractarios ácidos.

Dentro del diagnóstico de los **perfiles de meteorización**, se evaluaron tanto las rocas en condición de saprolito como los intervalos de suelo correspon-

diente a los horizontes IA y IB, considerados en el perfil de meteorización de Deere y Patton (Figura 4), diagnosticándose tanto los espesores relativos como las propiedades físicas promedio de los mismos. Para ello, se levantaron un total de 100 estaciones de trabajo, entre apertura de calicatas, perforaciones y cortes hechos para apertura de carreteras al igual que en afloramientos, estableciéndose tanto los espesores relativos como las propiedades físicas de los horizontes. En el área promedia un horizonte IA, compuesto por limo orgánico OH, con presencia de raíces y restos de organismos; en promedio presenta espesores entre 2 y 25 cm; generalmente este nivel representa, en este caso, una coraza protectora ante la erosión del subsiguiente nivel. El horizonte IB destacado en las unidades Rmdf y RmMdf, generalmente

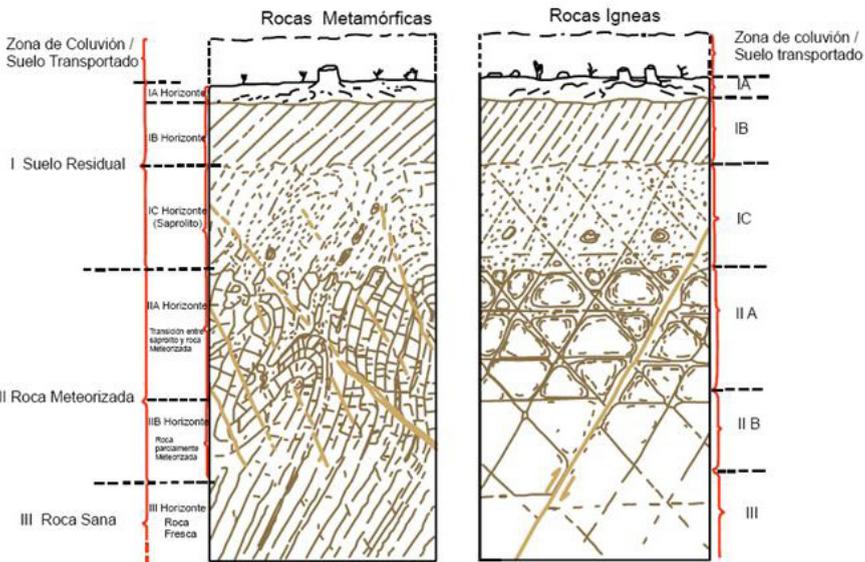


Figura 4. Perfil de meteorización para rocas ígneas y metamórficas. (Deere y Patton, 1971)

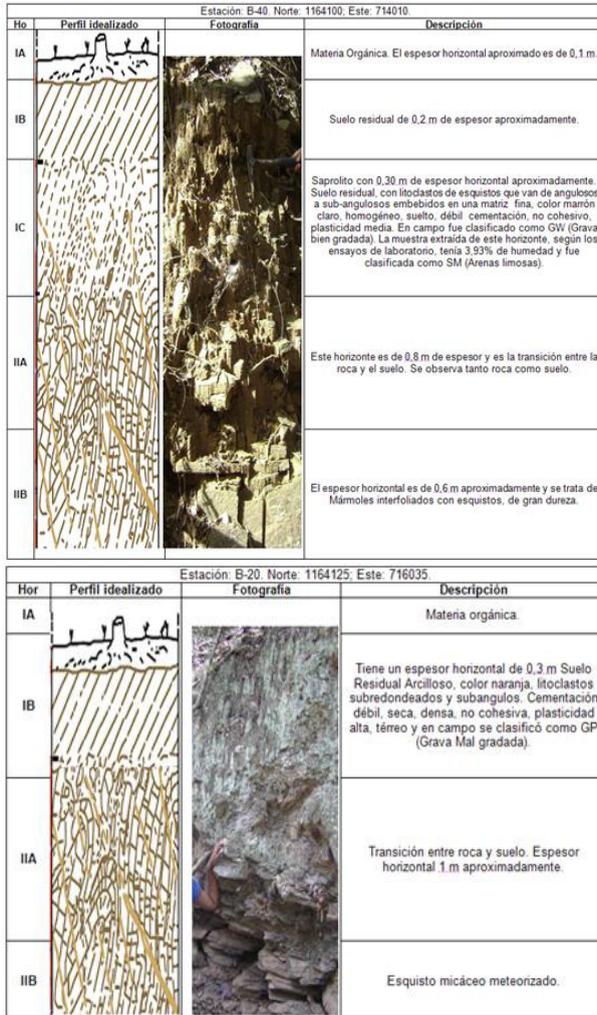


Figura 5. Roca fresca dura fracturada (RFdf) a la izquierda y roca meteorizada dura fracturada (Rmdf) a la derecha

se encuentra conformado por una grava limosa mal gradada (GM)(GP), grano soportada por una matriz limo arcillosa, presentándose con fragmentos de roca sub angulares, estructura homogénea, seca, compactación densa, cementación firme, materia orgánica escasa, cohesiva, plasticidad media. Se presume tenga

contenido de arcillas dispersivas hacia el cerro las Peonías y cuenca alta de la quebrada el Inglés, por evidencias de campo, representa el horizonte más problemático en cuanto a la estabilidad de los terrenos; presenta espesores de hasta 6 m y resistencias menores a los 4 kg/cm². En la unidad RFdf, se presentan espesores

menores desde un metro (1 m) a milimétricos del horizonte IB, destacándose por lo general niveles de saprolito, producto de las zonas de falla de composición es arena limosa (SM), (Figura 5).

Dentro de la unidad (**Rmdf**) destaca como roca, el esquisto cuarzo micáceo feldespático, interfoliado ocasionalmente con mármoles; en promedio la calidad geotécnica de este material es media; no obstante, existen zonas donde la influencia de las aguas pluviales y la tectónica lo ha vuelto deleznable; es decir, de mala calidad (según lo obtenido en el diagnóstico de las clasificaciones geomecánicas), significando a rasgos generales que se presenta con resistencias entre 250 y 500 kg/cm² (a nivel de roca intacta), pero fracturado, con frecuencias promedio de 6:1, separaciones generales entre 0,06 a 0,2 m, ángulos de fricción entre 25° y 30°, cohesiones entre 2 y 3 Ton/m², peso unitario de 1.83 kg/m³. En esta unidad predominan procesos de remoción tipo deslizamientos de roca bajo fallamiento planar en la mayoría de los casos. También se observa tubificación y erosión en surcos en los suelos residuales que, en zona de pendientes, generan flujos. Los suelos residuales presentan espesores de hasta 8 m hacia el sector las Peonías, con resistencias promedios entre los 1,2 y 4 kg/cm². En cuanto a la excavabilidad del material, se infiere una excavación moderada a difícil (de acuerdo a la presencia de mármol), posible uso de escarificador (máquina tipo Dozer D6 a D8). Con respecto al uso, algunos tipos de esquistos (en especial los más resistentes) se pueden utilizar para trabajos

ornamentales y de decoración de obras, (Figura 5).

La unidad roca Descompuesta (**RD**) corresponde al saprolito de las unidades de roca equivalente al horizonte IC del modelo planteado por Deere y Patton (1971); en particular, se destaca y aflora hacia la zona nor-oeste y sur del área de estudio, conformado generalmente por un material arcillo-limoso (CH)-(ML) y limo arenoso (MS), proveniente de la unidad Rmdf y RFdf, bien gradado, compacto a suelto, con granos subangulares, estratificado, denso. Presenta resistencias entre 0,6 a 4,5 kg/cm². Por lo general, los espesores varían entre los 4 a 8 m de profundidad. Para la unidad RMmdf los suelos son arenosos, sueltos, mal gradados, con resistencias menores a los 2 kg/cm² y espesores de hasta 6 m de longitud.

Debido a la gran extensión del área y al poco presupuesto asignado para la ejecución de perforaciones, es importante destacar que se realizaron veinte perforaciones en total (Cuadros 1 y 2). Se procedió a correlacionar cada litología proveniente de estas perforaciones con las inventariadas y ensayadas en campo (*in situ*) para, de esta manera, bajo un análisis geoestadístico de regionalización de variables, obtener parámetros intrínsecos de las rocas y de los suelos, específicamente ángulo de fricción interna y cohesión, en zonas donde no se pudieron efectuar perforaciones (muestreos de materiales imperturbados), respaldando así tanto las investigaciones realizadas *in situ*, efectuadas en toda el área de estudio, como la confiabilidad de los atributos de las unidades de estado físicos obtenidas.

Cuadro 1. Datos de las perforaciones realizadas en el sector las Peonías. (Fundalanavial, 2008)

Perforación	Norte	Este	Muestra	γ (Kg/m ³)	Φ (°)	C (Ton/m ²)
P-8	1162784	712585	M6	1.871	29	2,2
			M11	1.807	27	3,5
P-9	1162273	712932	M6	1.886	36	1,0
			M11	1.902	34	1,4
P-10	1163282	712723	M5	1.934	30	9,9
			M14	1.959	19	2,2
P-11	1163642	712744	M11	1.673	39	0,4
P-29	1165401	713716	M9	1.919	30	1,6
			M14	1.864	28	2,5
P-32	1165877	713693	M14	1.836	23	4,4
P-33	1165761	715595	M13	1.798	32	1,0
P-36	1165872	713520	M20	1.850	32	1,8
			M11	1.834	27	2,5
P-38	1165706	714130	M21	1.868	33	1,9
			M6	1.885	29	3,5
P-93	1163178	713093	M5	1.877	32	1,0
P-95	1163508	713015	M8	1.788	36	0,9

Cuadro 2. Datos de las perforaciones realizadas en el sector la Montaña. (Fundalanavial, 2008)

Perforación	Norte	Este	γ (Kg/m ³)	Φ (°)	C (Ton/m ²)	Estado físico
P-39	1165019	714144	1.630	25	2	RMdf
P-42	1164088	714000	1.881	31	2,1	RMd
P-43	1165296	714451	1.853	33	1,1	RDb (Roca descompuesta blanda)
						RDb (Roca descompuesta blanda)
P-44	1165043	714800	1.836	27	1,7	RDb (Roca descompuesta blanda)
P-45	1165187	715280	1.823	28	1,1	Rfd (Roca fracturada)
P-48	1165200	714130	1.650	44	1	RMb (Roca meteroizada blanda)
						RMb (Roca meteroizada blanda)
P-49	1165080	713800	1.700	32	1,8	RMb (Roca meteroizada blanda)
P-50	1164850	713660	1.630	33	1	Rfb (Roca fracturada blanda)
						RDb (Roca descompuesta blanda)
P-86	1165505	714822	1.907	31	1,7	RDb (Roca descompuesta blanda)

A continuación los cuadros 1 y 2 resumen de los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio, de los cuales se realizó la regionalización de las variables.

A manera de ejemplo, para el caso del parámetro ángulo de fricción interna en un área en particular, de los datos obteni-

dos a partir de las perforaciones (Cuadros 1 y 2) se realizó un mapa de contorno en el cual se muestra la distribución espacial de los valores de ángulo de fricción (Figura 6). Para la creación del mapa, se utilizó un método de interpolación no sesgado (krigeado), en el cual los datos del vario-

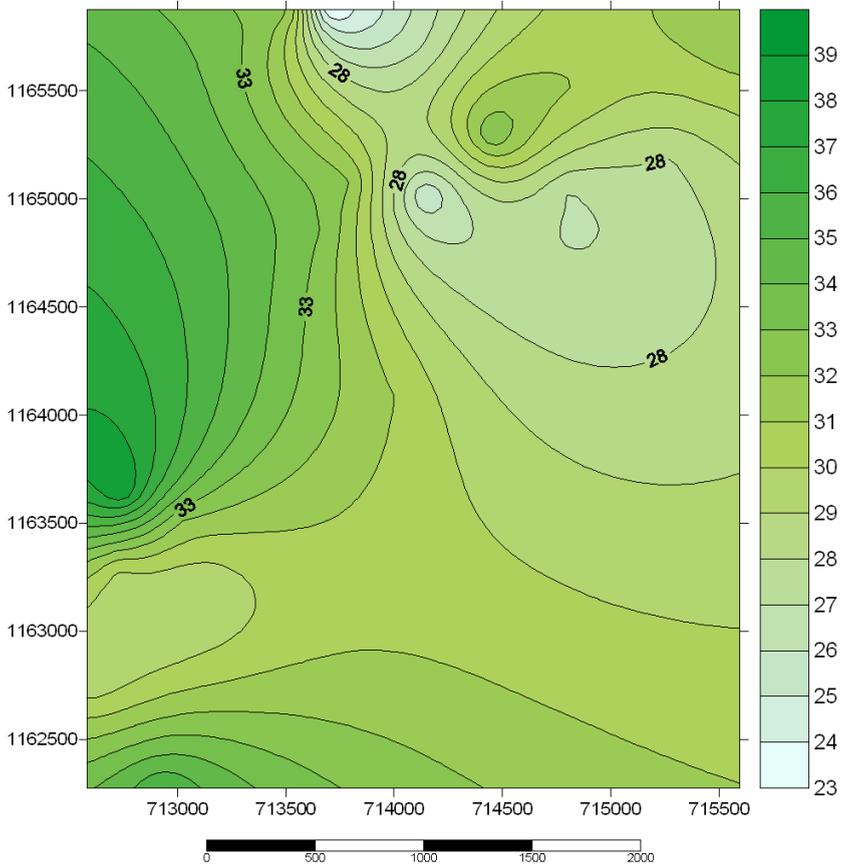


Figura 6. Regionalización del ángulo de fricción a partir de los datos provenientes de las perforaciones (mapa de contorno).

grama experimental fueron ajustados a un modelo esférico con una meseta igual a 1 y un alcance igual a 200, con efecto pepita de 10.2. Según esta distribución, los valores del ángulo de fricción varían entre 25 y 39 grados en este sector.

Finalmente se realizó una comparación entre los valores de ángulo de fricción del mapa (a partir de los datos de las perforaciones) con los valores obtenidos a través del método empírico (ensayos

in situ), obteniéndose que de las 71 estaciones de trabajo que se encuentran en el área del mapa de ángulo de fricción, a 43 de las estaciones les fue asignado un rango de ángulo de fricción, de acuerdo a la clasificación de Bieniawski de 1979, obteniéndose un 87% de acierto con los datos inventariados en campo.

De igual forma se trabajó con otros parámetros intrínsecos tales como la cohesión, resistencia a la compresión y peso

unitario resultando un 67%, 80% y 75% de acierto, respectivamente, con respecto a los datos inventariados en campo.

Se interpreta, de acuerdo a la disposición espacial de las unidades litológicas más nocivas a la intervención, como lo son RD y RMmdf, ubicadas al oeste y sur oeste del mapa (Figura 7) que su es-

tado físico ha estado influenciado hacia la inestabilidad principalmente por la acción de fallas geológicas y subsecuente flujo subsuperficial responsable de la alta rata de meteorización de los materiales superficiales, además del contenido de arcillas deletéreas.

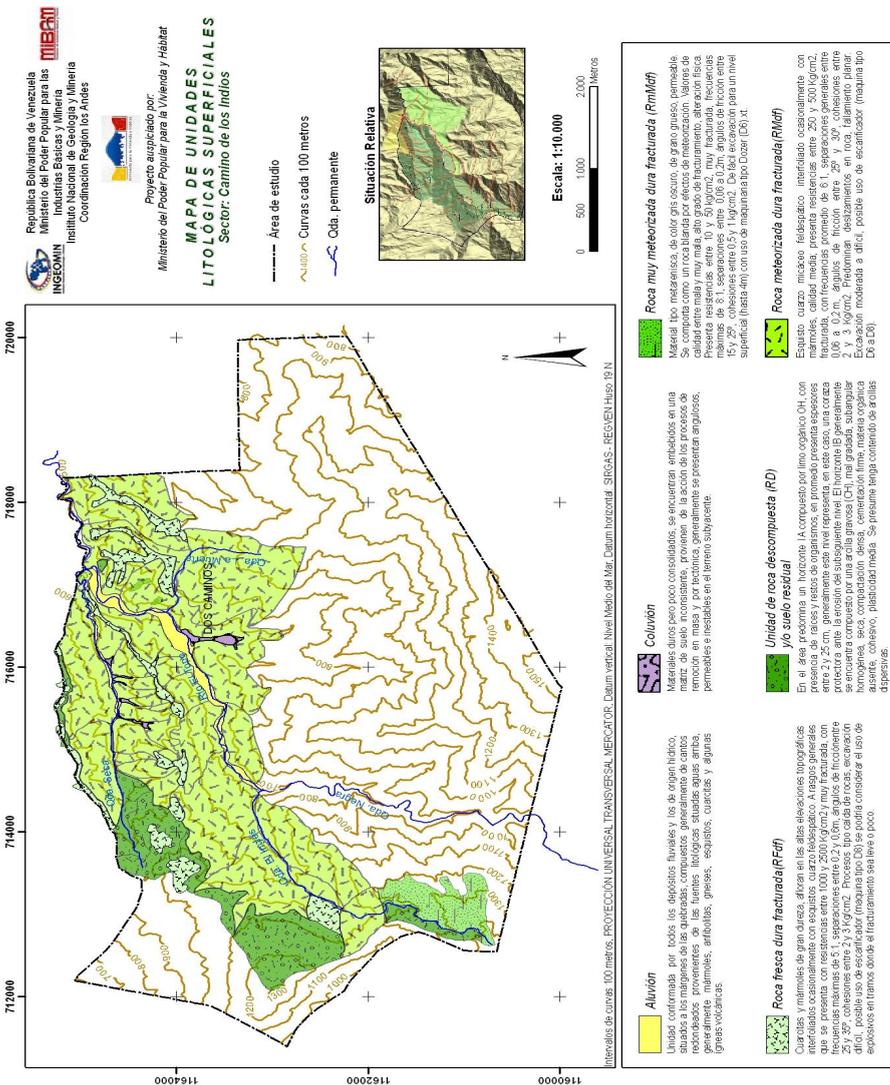


Figura 7. Mapa de unidades litológicas superficiales de un área del sector 'Ciudad Camino de Los Indios', Distrito Capital, Venezuela, 2008

6. Conclusiones

De acuerdo a las características geotécnicas de las rocas presentes en el área de estudio, se pudo determinar la existencia de cuatro unidades litológicas superficiales, en principio por su naturaleza, composición, grado de fracturamiento, meteorización y resistencia, siendo estas las siguientes: Roca muy meteorizada dura fracturada (RMmdf), Roca Descompuesta (RD), Roca meteorizada dura fracturada (Rmdf) y Roca fresca dura fracturada (RFdf).

Se consideró apropiado fundar sobre las unidades de Rmdf y RFdf de acuerdo a lo contemplado en el anteproyecto urbanístico, el cual expresa la modificación de las filas, mediante cortes y rellenos óptimos, para la conformación de terrazas en las que se erigirán edificios de 6 pisos mediante el 'Sistema constructivo ViPAC' donde la estructura se apoyará sobre muros portantes que se fundarán directamente en el terreno a una cota no mayor de cuatro metros. No así para las unidades de laderas que representan fuertes restricciones por pendiente e inestabilidad sísmica para cualquier unidad litológica superficial, de no ser modificados los elementos de contención de los terrenos para mantenerlos estables, no deberán ser ocupados.

De acuerdo al mapa de unidades litológicas superficiales, específicamente la unidad de roca descompuesta ubicada al noroeste del mapa (Figura 7), debe intervenir con especial cuidado debido a su alto grado de sensibilidad, por ello no es aconsejable colocar las edificaciones

previstas en el anteproyecto sin previa remoción del material parental dispersivo y colocación de material seleccionado compactado, siempre y cuando se trate de un proceso superficial (no mayor a 3 m) y no se trate de un proceso geomorfológico profundo (mayor a 3 m), porque de ser esta la condición no deberá instaurarse ningún tipo de obra de infraestructura ya que pudiera traer consecuencias catastróficas en un futuro.

De las unidades litológicas más idóneas para obtención de material de préstamo para relleno y construcción de pedraplenes y vialidad, se encuentra la unidad roca fresca dura fracturada (RFdf), representada principalmente por el mármol, el cual presenta buenas condiciones geomecánicas para tal fin, aunque su grado de excavabilidad sea complicado por su gran dureza.

El método geoestadístico implementado para la regionalización de las variables geomecánicas resultó apropiado para calibrar los datos inventariados en campo; sin embargo, se debe tener especial cuidado con las variables que se desean regionalizar y la consistencia de los datos para futuros trabajos, ya que por lo general las variables geológicas son de tipo semi continuas a discretas, por ello la importancia de la verificación en campo y el número representativo de observaciones.

Para efectos de la susceptibilidad ante movimientos de masas, se pudo determinar con base al estado físico-geomecánico de las litologías, específicamente a partir del grado de fracturamiento, meteorización y consistencia de estos mate-

riales (calidad geotécnica), que los niveles de propensión ante los deslizamientos se encuentran con mayor incidencia en la unidad de Roca muy meteorizada dura fracturada (RMmdf), siguiéndole la unidad de Roca descompuesta (RD), luego la unidad Roca meteorizada dura fracturada (Rmdf) y, finalmente, ofreciendo mayor estabilidad geomecánica, la unidad Roca fresca dura fracturada (RFdf). Criterio validado por el mapa de densidad de procesos ante movimientos de masa.

7. Nota

- 1 Se refiere al área total designada al Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) por el Ministerio de Hábitat y Vivienda para este proyecto.

8. Agradecimientos

A las técnicas en geología: Elenytza Monsalve, Lorena Medina y Alexander Lobo, equipo de trabajo técnico de INGEOMIN región los Andes, por su gran colaboración; igualmente a: técnico y compañera de trabajo Patrizia Combatti, Ing. Geólogo (Msc) Víctor León Madrid, Ing. Geólogo Armando Díaz Quintero por sus asesorías e incondicional ayuda.

9. Referencias citadas

BIENIAWSKI, Z. T. 1989. **Engineering Rock Mass Classifications: A complete manual for engineers and geologists in**

mining, civil, and petroleum engineering. Jhon Wiley & Sons. New York. 251 p.

DEERE, 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.

FUNDACIÓN LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD (FUNDALANAVIAL). 2008. *Registro de perforaciones realizadas en el sector las Peonías y la Montaña. Ciudad Camino de los Indios, Dto. Capital.* Ministerio del Poder Popular para Transportes y Comunicaciones. Informe Técnico. Caracas-Venezuela. 72 p. (Inédito).

GRANDE, S. y D. SALCEDO. 2000. *Caracterización geotécnica de masas rocosas metamórficas de la cordillera de la Costa Venezolana.* Caracas-Venezuela. (Informe inédito).

GOOGLE EARTH. 2008. [On line: www.earth.google.com].

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.* **Bull. Neg. Geol. Env.** 57(2): 151-160.

INTERNATIONAL JOURNAL OF ROCK MECHANICS (ISRM). 1978. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts.* Pergamon, Press, 15: 319-368. [On line: <http://www.personal.psu.edu/szw138/Rock%20Mechanics%20Lab/Other%20ASTM/Quantitative%20Description%20of%20Discontinuities.pdf>]

MISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. 1997. *Léxico Estratigráfico de Venezuela.* En: **Bol. Geol.** Tomo I. Publicación Especial N° 12. M. J. Editores C.A. Caracas-Venezuela. 411 p.

ROMANA, M. 1997. El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes. En: *Memorias del IV Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables*. Comunicaciones 3: 955-1011. Granada-España (11-14 noviembre).