



Estabilidad de taludes

Estudio de la estabilidad de taludes aplicando el método de equilibrio límite en el sector "Las Cruces", vía Mérida-Jají, estado Mérida

Slope stability applying the limit equilibrium method in "Las Cruces", Mérida-Jají, Mérida state

Estudo da estabilidade de taludes aplicando o método de equilíbrio limite no setor "Las Cruces", via Mérida-Jají, estado Mérida

Norly Belandria¹ Francisco Bongiorno² Iris De Barcia³ Jesús Torres⁴ Francisco Riveros⁵

Recibido: 6-12-13; Aprobado: 24-7-14

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMO
<p>Esta investigación consiste en un estudio de la estabilidad de taludes aplicando el método de equilibrio límite en el sector "Las Cruces" vía Mérida-Jají, estado Mérida. Para ello, primero se evalúan las condiciones en las que se encuentra el terreno, a través del análisis fotogeológico y corroborando dicha información en el campo, luego la recolección muestras de suelo y roca para determinar propiedades físicas y mecánicas de los materiales a través de ensayos de laboratorio como: contenido de humedad, peso unitario, límites de consistencia, corte y análisis de difracción de rayos X. Se realiza la clasificación del suelo usando la codificación de SUCS y AASHTO. Luego son calculados los factores de seguridad en taludes de suelo a través del método de equilibrio límite, del cual se obtienen el comportamiento y la estabilidad del terreno. De esta forma, se recomienda diseñar sistemas de soporte que permitan aumentar la estabilidad de los macizos y taludes, así como también realizar el diseño sistemas de drenaje que capten las aguas de escorrentía provenientes de la carretera y de los taludes para disminuir la humedad del terreno.</p> <p>Palabras clave: Deslizamientos, equilibrio, estabilidad, geomecánica, talud.</p>	<p><i>The research consists of a slope stability study applying the limit equilibrium method in "Las Cruces" community, on Mérida-Jají way, Mérida state. Firstly, the ground conditions are evaluated through a photogeological analysis and his corroboration on field. Secondly, soil and rock samples are collected to determine the physics and mechanics properties of the material from laboratory tests, such as: moisture content, unit weigh, consistency limits, cutting analysis and X-ray diffraction. The soil is categorized using the SUCS and AASHTO Classification. Then safety factors are calculated in soil slopes by the limit equilibrium method being obtained the ground stability. In a like manner, it is recommended to design backing systems that increase the stability in mass and slopes; and drainage systems that capture runoff water from the road and from the slopes to reduce soil moisture.</i></p> <p>Keywords: Equilibrium, geomechanics, landslides, slope, stability.</p>	<p>Esta pesquisa é um estudo de estabilidade de taludes, utilizando o método de equilíbrio limite no setor "Las Cruces" Jají via Mérida, estado de Mérida. Para fazer isso, primeiro as condições em que o campo é avaliado através da análise e corroborando informação no campo, em seguida, a coleta de amostras de solo e rocha para determinar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais através de ensaios laboratório como teor de umidade, peso unitário, limites de consistência, corte e análise de raios-X de difração de classificação do solo é realizada usando a USCS e AASHTO codificação. Em seguida, são calculados fatores de segurança da inclinação do solo pelo método de equilíbrio limite, para o qual são obtidos o comportamento e a estabilidade do campo. Assim, recomenda-se a projetar sistemas de apoio que aumentam a estabilidade do sólido e encostas, bem como para o desempenho das redes de drenagem de design que captura o escoamento da estrada e encostas para reduzir a umidade do solo.</p> <p>Palavras-chave: Deslizamentos, equilíbrio, estabilidade, geomecânica, talude.</p>

¹ Ing°Geo°, MSc. Grupo de Investigación en Geología Aplicada. GIGA. Universidad de Los Andes (ULA). e-mail: nbelandria@ula.ve; ² Ing°Geo°, Dr. GIGA-ULA. e-mail: frabon@ula.ve; ³ Ing°Civ°, MSc. ULA. e-mail: dbarcia@ula.ve

⁴ Ing°Geo°, MSc. GIGA-ULA. e-mail: jtorres@ula.ve; ⁵ Ing°Geo°. ULA. e-mail: francisco_riverosb@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La creación de obras urbanas en distintos lugares del mundo como forma de desarrollo humano, tiene una íntima relación con el medio geológico en el que se aplica. Por lo general, los problemas ocasionados en las obras ingenieriles se forman por la influencia con el medio ambiente en el que se elaboran, el cual está condicionado por las características y procesos geológicos que se desarrollaron durante mucho tiempo en el sitio. Existen distintos factores geológicos condicionantes en la elaboración y desarrollo de un plan de construcción, factores geológicos como la litología de la zona, patrón estructural, procesos geológicos relacionados con el agua y otros procesos como la sismicidad, erosión, levantamientos y subsidencias; dando paso a la generación de riesgos geológicos que influyen en lo social y en lo económico, siendo esto muchas veces la causa de la mayoría de los problemas geotécnicos. La carretera que comunica a la ciudad de Mérida con el poblado de Jají, específicamente en el sector “Las Cruces”,

presenta una persistente inestabilidad del terreno causando el levantamiento y desprendimiento de la calzada y hundimiento del terreno, lo que impide el buen tránsito vehicular y peatonal, siendo una problemática para la población que utiliza esta vía como medio de comunicación entre ambas localidades. Este estudio se fundamenta entonces, en el comportamiento del suelo en las zonas donde se observa inestabilidad del talud y la investigación de los aspectos geológicos podrían permitir el análisis necesario para generar así algún modelo geológico-geotécnico que represente la distribución de los materiales y el comportamiento del terreno, logrando finalmente determinar la causa del problema presente en esta zona de estudio, representando un beneficio que mejora la vialidad del sector “Las Cruces”, siendo este tramo vehicular uno de los más antiguos pero importantes del estado Mérida, por ser una vía de transporte turístico y agrícola, tomando en cuenta que se han hecho los esfuerzos necesarios para eliminar esta problemática sin

tener buenos resultados.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica en la parte central de la cordillera andina en el occidente de Venezuela, al noroeste de la ciudad de Mérida en el municipio Campo Elías del estado Mérida (figura 1), sector “Las Cruces”, aproximadamente a unos 32 km de la ciudad de Mérida, a 3 km de la población de Jají y por último, a 45 km del pueblo La Azulita, perteneciente este último al municipio Andrés Bello; tomando como fuente de estudio los 3 tramos viales en ese sector. Se puede tener acceso a la zona por vía terrestre, mediante la carretera panamericana, tomando la ruta que conduce desde la ciudad de Mérida hacia los poblados Jají y La Azulita.

El área de estudio se encuentra delimitada por un polígono (Figura 2) que tiene una superficie de aproximadamente 7 km² de área, cuyas coordenadas UTM son (ver tabla I).

GEOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio está conformada por las formaciones

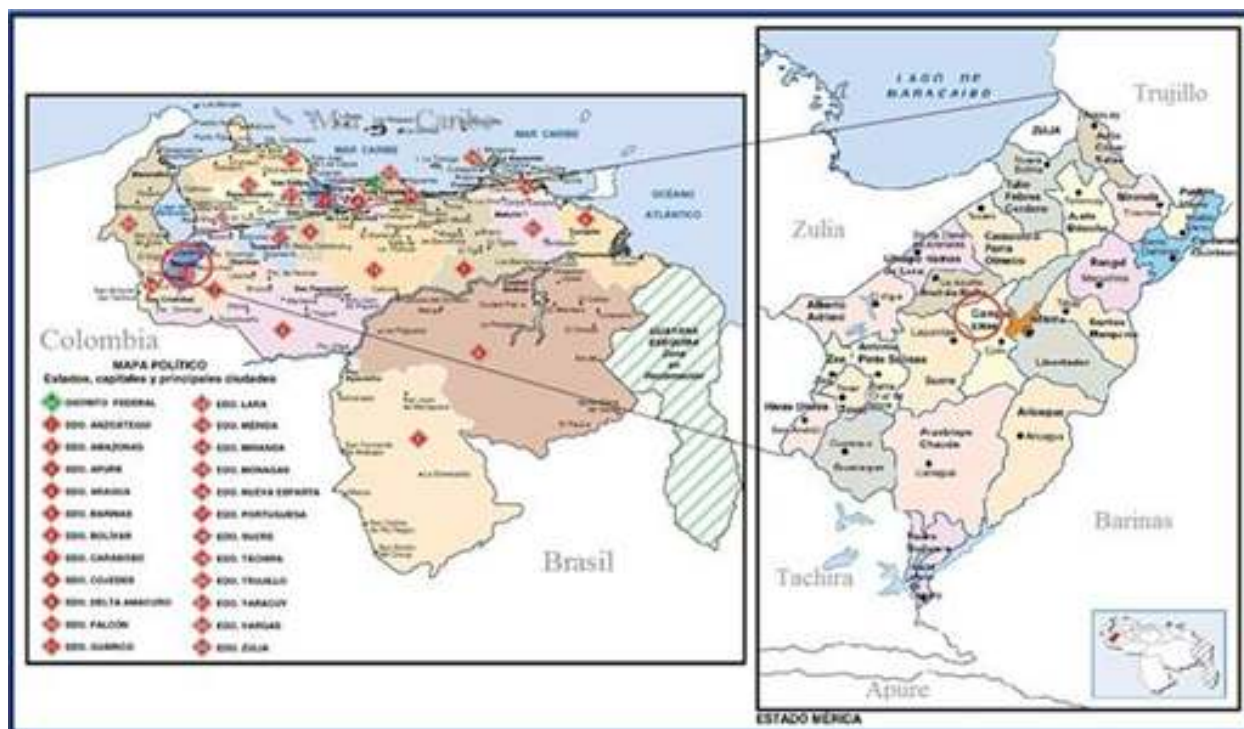


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Fuente: Página web en línea (Modificado de: <http://www.a-venezuela.com/mapas/>).

Tabla I. Coordenadas UTM de la ubicación del área.

PUNTO	NORTE	ESTE
1	948640	245555
2	947659	243889
3	947894	241950
4	950138	243134
5	949046	244242
6	949197	245076
7	948640	245555

geológicas que se presentan a continuación:

Formación La Quinta

Es una unidad sedimentaria compuesta de clásticos generalmente gruesos,

limolitas y arcillas de colores rojos típicos. (González de Juana *et al.*, 1980). Según el Código Geológico de Venezuela (1997), dice que de acuerdo con el contenido fosilífero, la Formación La Quinta se considera de edad Jurásico; además, el espesor de la Formación La Quinta es muy variable.

Formación Aguardiente

Según González de Juana *et al.* (1980), corresponde a un intervalo sedimentario formado por areniscas, calizas y lutitas. En la Formación Aguardiente abundan las areniscas bien estratificadas, predominantemente cuarzosas y limpias; en los lugares de Táchira y Mérida son

finamente arenosas negras o grises y lutitas más puras. El Código Geológico de Venezuela (1997), le asigna edad del Cretácico, principalmente Albiense.

Formación Capacho

En la depresión de Táchira-Tarra, se presenta un intervalo de lutitas duras de color gris oscuro a negro, calizas duras de colores claros frecuentemente fosilíferas, y ocasionales limolitas, tiene su localidad tipo cerca de la población de Capacho, estado Táchira. Las calizas de la Formación Capacho emiten fuerte olor a petróleo en superficies frescas. El Código Geológico de Venezuela (1997) dice que existen numerosas secciones medidas en las cuales el espesor máximo es de 275 metros y de edad Cretácico, Cenomaniense Superior a Turoniense Superior, sin embargo, un conjunto de amonites recogidos en Barbacoas indican una edad Albiense Medio o Turoniense.

Formación La Luna

La Formación La Luna constituye la unidad litológica más característica del Cretácico de Vene-

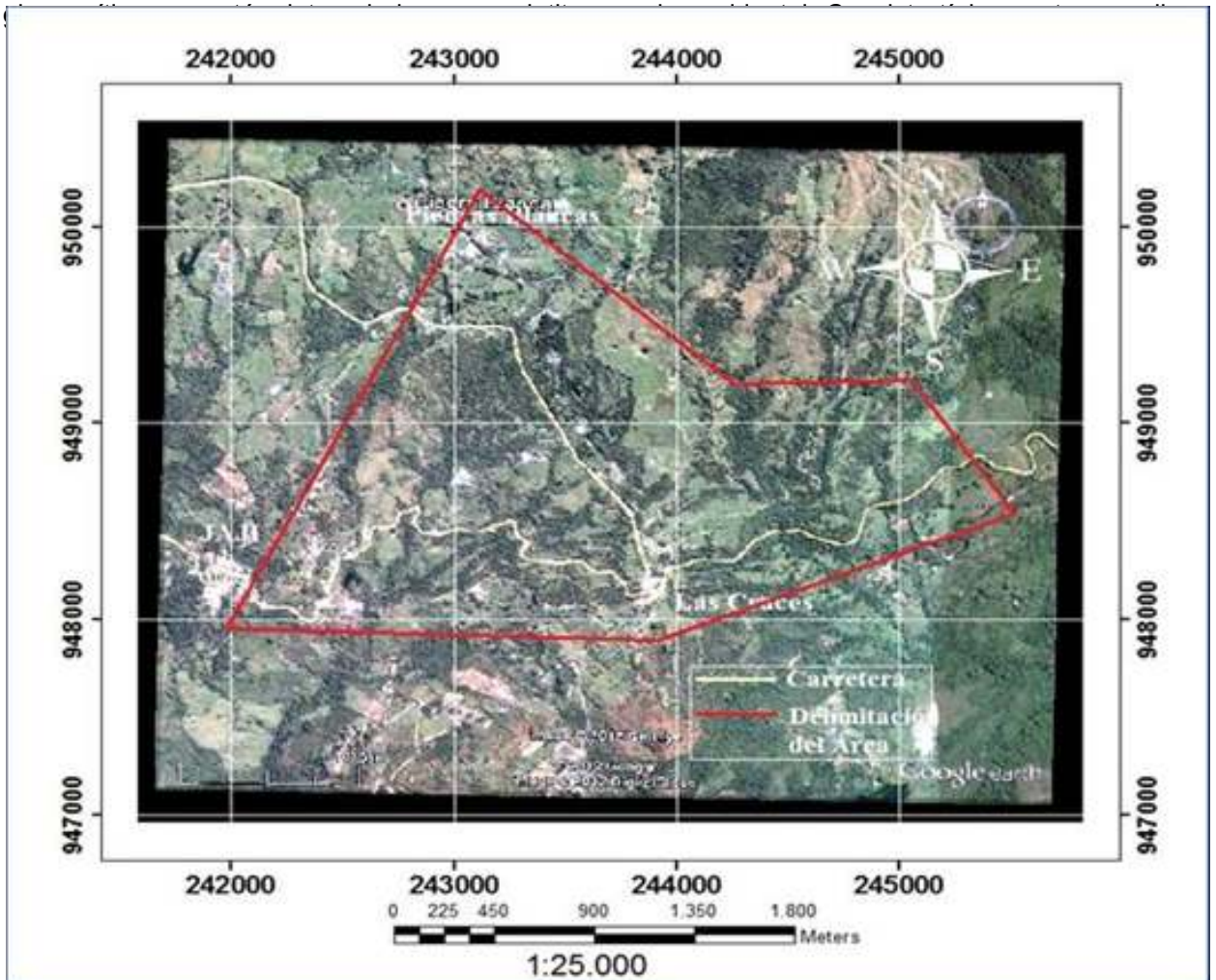


Figura 2. Imagen satelital con la ubicación del área de estudio.

Fuente: Modificado del Google Earth.

laminadas densas de color gris oscuro a negro, carbonáceas a bituminosas con espesores de pocos centímetros y de arcillas, calcáreas o no, de color negro; con carácter notorio la formación presenta concreciones elipsoidales y discoidales de caliza negra oscura (González de Juana *et al.*, 1980). En la localidad se midieron 129 m en una sección fallada y de edad Cretáceo: Cenomaniense a Campaniense. (Código Geológico de Venezuela, 1997).

Formación Colón

El nombre Formación Colón se caracteriza por lutitas microfósilíferas gris oscuro a negras, micizas, piriticas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada (González de Juana *et al.*, 1980). El Código Geológico de Venezuela (1997) afirma tener 900 metros de espesor en la localidad tipo y la edad de la Formación Colón fue establecida por Cushman y Hedberg (1941) como Cretácico Tardío, Campaniense a Maastrichtiense Temprano.

METODOLOGÍA

Para la ejecución de este trabajo, se llevó a cabo una metodología que permitió desarrollar cada uno de los objetivos planteados en la etapa del proyecto, realizando un trabajo consecutivo y sistemático de todas las actividades que fueren necesarias para el buen desenvolvimiento de la investigación.

La etapa inicial del trabajo de investigación consistió básicamente en la búsqueda, investigación y recolección de todo el material bibliográfico necesario que contenía información relacionada con el área de estudio y las herramientas empleadas en el trabajo. La recolección cartográfica estaba sujeta a la búsqueda de los Mapas Geológicos y Topográficos asociados a la zona del estudio, los cuales dieron la información referente a la ubicación exacta del terreno, la geología local y la superficie topografía del

área de interés. El análisis fotogeológico que se realizó previamente a la etapa de campo, permitió facilitar el levantamiento geológico de su superficie para actualizar la información cartográfica existente del área, en donde se estudia la superficie terrestre y los materiales que la integran así como también los procesos que sufren estos materiales en el área, logrando inferir los rasgos litológicos, geomorfológicos y estructurales. De esta manera se tomaron en cuenta básicamente los siguientes aspectos: obras humanas, drenajes, geomorfología y aspecto geológico.

Seguidamente se procedió a la identificación geológica y geotécnica tomando siempre en cuenta las geoformas, estructuras y unidades geológicas aflorantes, con base a los datos obtenidos a través de la cartografía descrita en la etapa preliminar, definiendo suelo y roca en los lugares de interés, es decir, en aquellos sitios o sectores en donde el terreno era considerado como material de asentamiento o soporte de obras civiles que estén afectados geológicamente por movimientos o deslizamientos de tierra que sean considerados fuentes de amenazas, para la recolección de los datos y las muestras representativas mediante la excavación de calicatas. Luego se procedió a realizar los ensayos de laboratorio, tales como contenido de humedad, peso unitario, granulometría, límites de consistencia, peso específico relativo de los sólidos, compresión simple, corte directo y expansividad. Para la realización de la investigación se excavaron 6 calicatas distribuidas en los lugares considerados necesarios y oportunos para realizar la toma de muestras, considerando: lugares vulnerables y afectados geológicamente (Figura 3 y 4), tipo de litología presente en la zona con la finalidad de no repetir calicatas en sitios relativamente cercanos y la verificación de que el material estaba *in situ* para

garantizar que las muestras fueran propias del área.

Al terminar los ensayos de laboratorio, se obtuvieron un conjunto de datos que permitió determinar las propiedades de los materiales para clasificar el tipo de suelo y definir sus características físicas y químicas en relación al estudio, lográndose así, analizar e interpretar por el método de equilibrio límite y estudiar el comportamiento de los taludes a través del factor de seguridad, para luego deducir las posibles causas a los problemas de los deslizamientos de masa y deterioro de la carretera en el sector "Las Cruces" vía Mérida-Jají. Finalmente se dan las recomendaciones a las posibles soluciones de esta problemática geológica que afecta de una u otra manera a la población.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis fotogeológico

La zona está relativamente libre de obras civiles de grandes dimensiones, en donde se logra observar solamente unas vías o carreteras, siendo estas vías los 3 tramos viales de la carretera. En la zona se observa las trazas de varios ríos y quebradas con una trayectoria irregular de norte a sur, provista de varios drenajes que llevan un patrón paralelo o subparalelo. Se observa una zona bastante montañosa con un mediano gradiente topográfico, ondulado hacia el norte y un poco anguloso hacia el sur, con vegetación limitada y un relieve poco abrupto con una tonalidad gris a gris claro que da indicios de que las rocas que conforman estas estructuras pueden ser sedimentarias.

Al noreste (NE) del sector Las Cruces, se tiene un marcado proceso erosivo al observar cuatro coronas de deslizamientos con posible flujo de detritos que puede estar aportando material a la carretera a pesar de no comprobarse los depósitos de acumulación de estos sedimentos, lo que afirma que no son procesos



Figura 3. Carretera con defectos superficiales y de fundación y colapso lateral; progresiva 0+733 tramo la Azulita.



Figura 4. Foto panorámica de la carretera (batea de agua), progresiva 1+511. B. Carretera con fisuras en su estructura de concreto. C. Socavamiento en la base de la carretera. Progresiva 1+511 Tramo Jaji.

activos o que se producen muy paulatinamente. Las posibles causas de este proceso están sujetas a la erosión y meteorización de la roca, producida por los agentes climáticos y a la actividad agrícola en los suelos por ser ésta una zona rural agropecuaria, provocando la saturación del suelo y debilidad del terreno por la deforestación de la capa vegetal. El rasgo geológico más visible en la fotografía son las marcadas alineaciones estructurales, que se detallan como líneas rectas-onduladas de tonos oscuros que atraviesan las rocas asociadas a

algún sistema de falla regional. Se logra definir el corrimiento de Mesa Bolívar, que a pesar de no conseguirse evidencias de fallas en campo, algunos autores afirman que corresponde a una falla inversa de ángulo bajo, producto de esfuerzos compresivos asociados a eventos tectónicos que originaron el levantamiento andino (ver figura 5 y tabla II).

Ensayos de laboratorio

Se realizan ocho ensayos de laboratorio para cada muestra de suelo, de los cuales se logra determinar las propiedades

físicas que permitieron la clasificación del suelo y las propiedades geomecánicas. A continuación se muestra la tabla III resumen de los resultados de cada ensayo de laboratorio.

De los resultados de la tabla III se puede decir que la muestra C1 tiene un contenido de humedad bastante bajo a nulo, indicando el poco contenido de agua en el

Tabla II. Leyenda de la fotografía aérea 552.

LEYENDA	
	Hidrografía
	Rasgos Antrópicos
	Rasgos Geológicos
	Deslizamientos

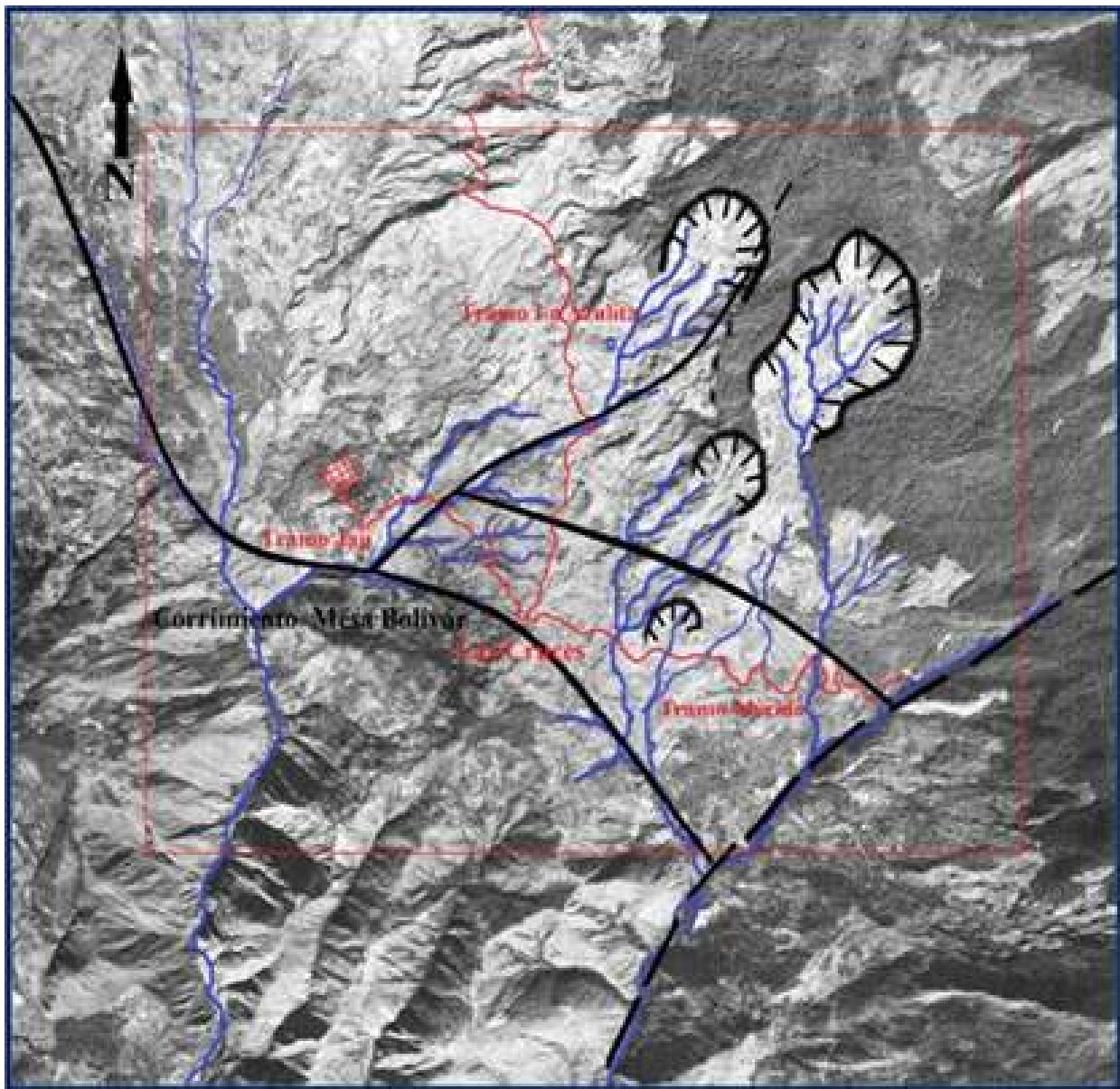


Figura 5. Fotografía aérea 552 fotointerpretada, misión A-34, escala 1:50.000 del sector Las Cruces.
Fuente: Planoteca de Corpoandes-Mérida.

Tabla III. Resultados de los ensayos de laboratorio.

ENSAYOS		MUESTRAS					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Contenido de humedad (% w)		1,73	21,26	20,62	14,82	10,39	10,31
Peso unitario (γ) (g/cm ³)		-----	2,21	1,72	-----	-----	1,99
Granulometría	% G	54,59	40,39	38,74	46,88	42,27	45,25
	% S	34,17	45,50	35,57	36,92	56,36	46,86
	% F	11,24	14,11	25,69	16,20	1,37	7,88
	Cu	60,76	-----	-----	-----	7,14	24
	Cc	5,96	-----	-----	-----	1,14	1,92
Límites e Índices de consistencia	% LL	30,10	29,30	44,70	26,60	32,00	30,50
	% LP	27,12	25,03	30,67	NP	23,42	23,43
	% IP	2,98	4,27	14,03	NP	8,58	7,07
Clasificación SUCS		GP-GM	SM	GM	GM	SW	SW-SM
Clasificación AASHTO		A-2-4	A-2-4	A-2-7	A-2-6	A-2-4	A-2-4
Peso específico relativo de los sólidos (Gs)		2,66	2,66	2,74	2,71	2,75	2,71
Compresión simple	q_{max} (kg/cm ²)	0,123	0,576	1,031	0,490	0,576	0,576
	α	59°	60°	49°	55°	60°	60°
	C (kg/cm ²)	0,036	0,116	0,450	0,170	0,116	0,116
	ϕ	28°	30°	8°	20°	30°	30°
Corte directo	C (kg/cm ²)	0,03	0,07	0,25	0,05	0,07	0,07
	ϕ	26,47	28,94	9,28	28,72	28,94	28,94
Expansividad (%)		-----	2,45	2,45	-----	-----	2,45

suelo, las muestras C2, C3, C5 y C6 pertenecen a una zona constituida por suelo residual del mismo tipo y formación, dando como resultado un contenido de humedad mediano a bajo, y la calicata C4, pertenece a otra formación de suelo residual, pero que a pesar de ello, tiene como resultado un contenido de humedad moderadamente mediano a bajo. Con el ensayo de granulometría, se obtiene el siguiente resultado: en cuanto a los porcentajes mayoritarios del tamaño de los granos: C1 Gravas 54,59 %, C2 Arenas 45,50 %, C3 Gravas 38,74 %, C4 Gravas 46,88 %, C5 Arenas 56,36 y C6 Arenas 46,87 %. Por tanto, el suelo no contiene alto porcentaje de arcillas, siendo estos suelos mayoritariamente Gravosos - Arenosos - Limosos con poco contenido de finos. Sin embargo, es importante señalar que los suelos donde se tiene el material meteorizado de la roca lutita, el tamaño del

mismo es gravoso fino o arena. A pesar de que las muestras de suelos de cada calicata no están formadas en su mayoría por arcillas según los resultados obtenidos en el análisis granulométrico, el ensayo de límites e índices de consistencia se realiza para determinar la plasticidad y la clasificación geomecánica e identificación del suelo. Al comparar el índice plástico (IP) obtenido para la muestra de suelo C1 (ver tabla III) con los valores típicos del grado de plasticidad de un suelo según Sowers y Sowers (1979) se tiene que la muestra pertenece al rango de los suelos no plásticos. Para las muestras de suelo C2, C3, C5 y C6 (ver tabla III), al comparar el índice plástico con los valores típicos del grado de plasticidad de un suelo según Sowers y Sowers (1979) se tiene que las muestras pertenecen para este caso al rango de los suelos ligeramente plásticos. La muestra de

suelo C4 presenta un caso particular, en donde los resultados obtenidos de los límites de consistencia (ver tabla III) reflejan que el suelo no presenta rango de plasticidad, por ende ausencia de índice de plasticidad.

También se determina el esfuerzo máximo o resistencia del suelo a la compresión simple (q_{max}), y por ende se determina la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ) aplicando el criterio Mohr-Coulomb; teniendo para cada muestra un suelo friccionante y poco cohesivo.

Con respecto al ensayo de expansividad se realiza con las muestras que presentaron una mayor cohesión, correspondientes a las muestras de suelo C2, C3 y C4, donde se obtiene que el porcentaje de expansión o hinchamiento de la fracción fina es de 2,45 %, expansividad de grado II correspondiente a una expansividad de baja a media. Razón por la cual se considera que el suelo correspondiente a

esta muestra no es potencialmente expansivo y problemático.

Finalmente, el ensayo de difracción de rayos X se realiza para la muestra de suelo C3, por presentar mayor cohesión; de esta manera se tiene que la composición de los minerales de arcillas corresponden a tres clases: Caolinita, Muscovita y Clorita, los cuales, son minerales relativamente estables ante la presencia de agua.

La clasificación de los suelos lleva a cabo mediante el análisis de dos sistemas de clasificación SUCS, y AASHTO, arrojando como resultado en totalidad suelos gravosos - arenosos -

limosos con poco contenido de arcilla.

Estabilidad de los taludes de suelo empleando el método de equilibrio límite

Como se ha dicho, para determinar la estabilidad de taludes de suelo ubicados en la zona de estudio en función del cálculo del factor de seguridad en los 5 perfiles topográficos (ver figura 6) empleando el método de equilibrio límite utilizado el programa *Slide*, mediante el cual, aplicando el método de análisis de *Bishop Simplificado* y el de *Fellenius Ordinario*, se evaluarán distintas condiciones para las

Tabla IV. Factor de seguridad para cada perfil topográfico.

PERFIL	FACTOR DE SEGURIDAD				
	A - A'	B - B'	C - C'	D - D'	E - E'
(Slide)/Bishop Simplificado	2.870	1.450	2.141	1.139	0.829
(Dovelas)/Bishop Simplificado	3.203	1.423	2.445	1.140	0.963
(Slide)/Fellenius Ordinario	2.700	1.388	2.036	1.056	0.813
(Dovelas)/Fellenius Ordinario	3.071	1.569	2.370	1.110	0.813

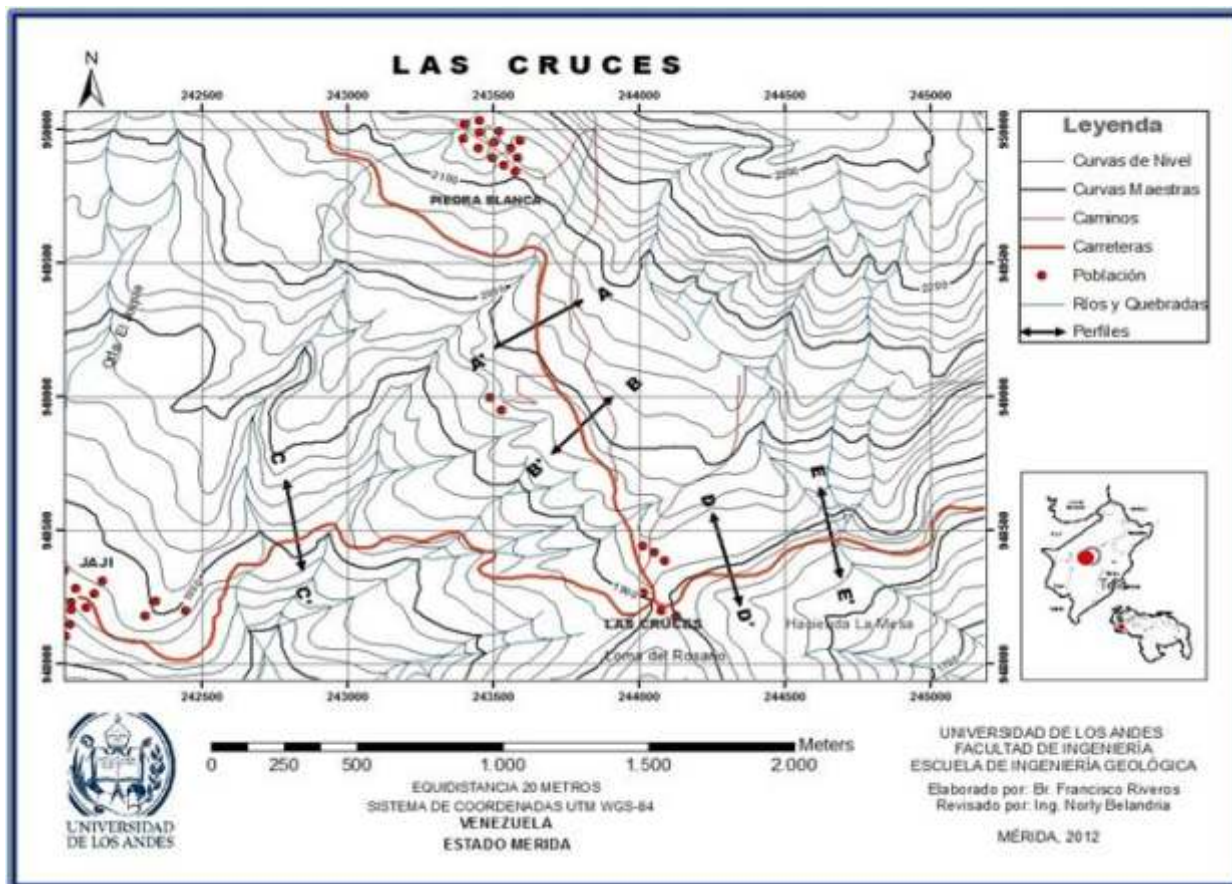


Figura 6. Mapa topográfico con la ubicación de cada perfil para el análisis de los taludes de suelo.

cuales se determina el factor de seguridad del talud, comparandolo con las ecuaciones analíticas. A continuación se muestra la tabla IV resumen del factor de seguridad de cada perfil de suelo según el método de análisis aplicado.

La aproximación de los cálculos realizados por Slide es buena según los resultados obtenidos por el método de las dovelas, aplicando las ecuaciones; de esta forma se determina la estabilidad para cada talud o ladera, teniendo como resultado para el Perfil A-A' estable y aparentemente inactivo, Perfil B-B' ligeramente estable, Perfil C-C' estable y aparentemente Inactivo, Perfil D-D' inestable con incidencia media de remoción en masa y Perfil E-E' muy Inestable con alta incidencia de remoción en masa.

Mapa geológico estructural de la zona de estudio

El mapa obtenido en la investigación (Figura 7) presenta unidades geológicas que van desde el Jurásico Superior al que pertenece la Formación La Quinta como se observa en la parte inferior del mapa, hasta la secuencia Cretácica correspondiente a las formaciones Aguardiente, Capacho, La Luna y Colón, separadas por contactos litológicos

discordantes de formación y algunas alineaciones estructurales como contactos de falla. Entre estos rasgos estructurales se prevé el trazo de fallas asumidas sin dirección del movimiento debido a no encontrarse evidencias de éstas en campo; sin embargo, estas fallas podrían estar relacionadas con la actividad tectónica generada por la traza principal de la falla de Boconó, la cual afecta considerablemente a Los Andes venezolanos. De esta manera existe cierta coherencia entre los contactos formacionales que dan origen a la ubicación geográfica de las unidades litológicas.

Otro rasgo estructural es el inferido mediante el uso del mapa base utilizado en la investigación, se trata del corrimiento de Mesa Bolívar, el cual pone en contacto a la Formación La Quinta del Jurásico con las formaciones del Cretácico, por lo que es aceptable encontrar unidades más antiguas sobre unidades más jóvenes.

CONCLUSIONES

Del análisis fotogeológico y satelital realizado, se obtienen los aspectos geológicos del área de estudio, detectándose distintos rasgos geológicos - geotécnicos en cuanto a sistemas de drenajes subparalelos que definen una litología de rocas

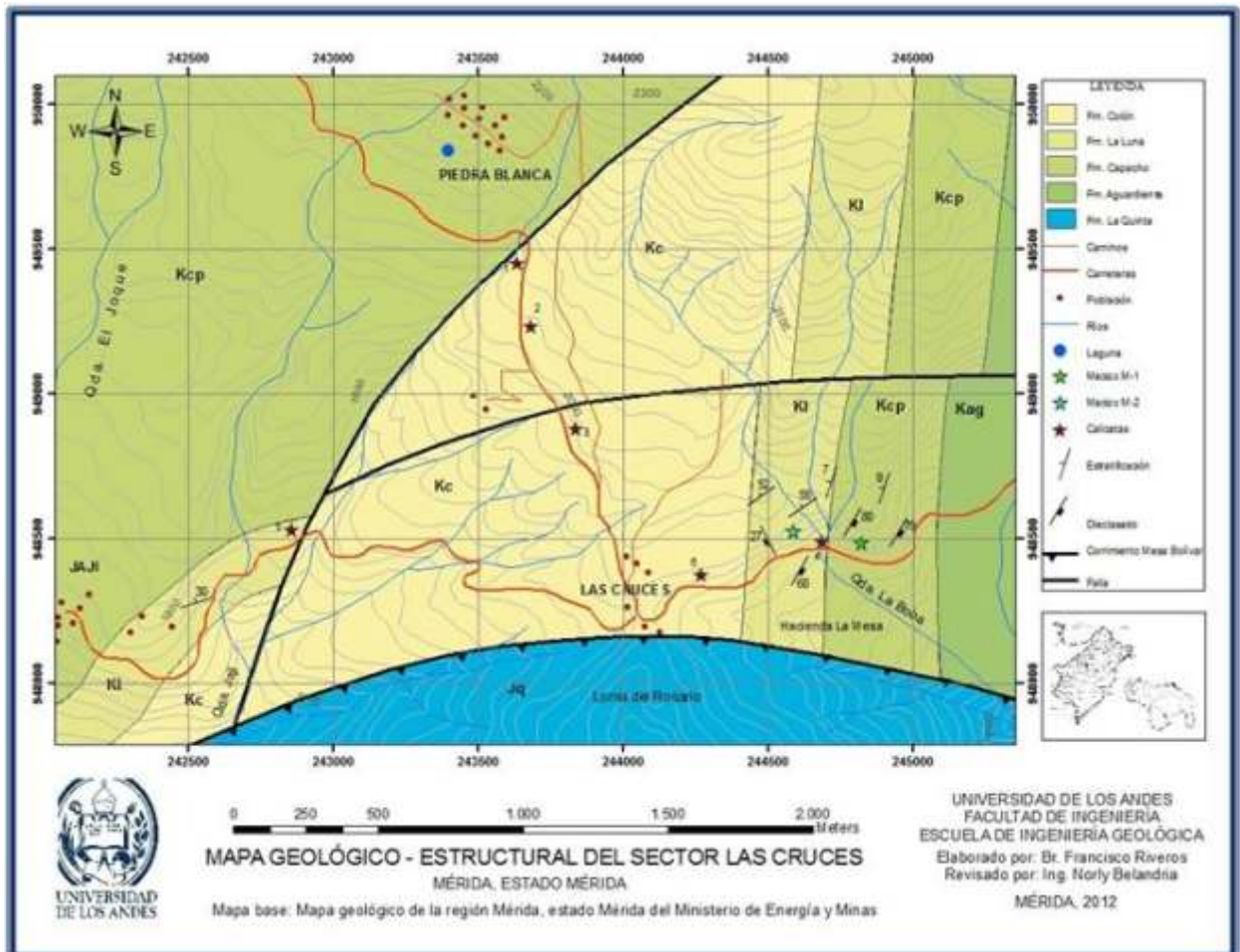


Figura 7. Mapa geológico - estructural de la zona de estudio.

sedimentarias; algunos deslizamientos inactivos actualmente, fallas geológicas asociadas al sistema de falla regional de Los Andes Venezolanos y los contactos litológicos entre la secuencia Jurásica - Cretácica. Se determina el contenido de humedad natural de cada muestra de suelo correspondiente a cada calicata en donde los porcentajes de humedad son superiores al 10 %, por lo cual es evidente en las condiciones del suelo su notable contenido de agua que puede controlar de alguna manera la consistencia del suelo, siendo esto una de las causas que contribuya con la inestabilidad del terreno. También de acuerdo a la granulometría, el suelo no contiene alto porcentaje de arcillas, siendo estos suelos mayoritariamente Gravosos - Arenosos - Limosos con poco contenido de finos. Se determina el esfuerzo máximo o resistencia del suelo a la compresión simple implicando que éstos pertenecen al suelo como cohesivo - friccionante.

El ensayo de expansividad se realiza con las muestras que presentaron una mayor apariencia de suelo arcilloso. Así se determinó el grado de expansividad de la muestra de suelo y se obtiene que el porcentaje de expansión o hinchamiento de la fracción fina de arcilla es de 2,45 %; expansividad de grado II correspondiente a una expansividad de baja a media. Razón por la cual se considera que el suelo correspondiente a esta muestra no es potencialmente expansivo y problemático. Con respecto a la difracción de rayos X para la muestra de suelo C3, por presentar el mayor contenido de arcilla; se tiene que la composición de los minerales de arcillas corresponden a tres clases: Caolinita, Muscovita y Clorita, los cuales, son minerales relativamente estables ante la presencia de agua.

Se analiza la estabilidad de los taludes o laderas de suelo calculando el factor de seguridad a 5 perfiles topográficos mediante

el método de equilibrio límite a través del uso del programa Slide; de esta forma se determina la estabilidad para cada talud o ladera, teniendo como resultado para el Perfil A-A' estable y aparentemente inactivo, Perfil B-B' ligeramente estable, Perfil C-C' estable y aparentemente Inactivo, Perfil D-D' Inestable con incidencia media de remoción en masa y Perfil E-E' muy Inestable con alta incidencia de remoción en masa.

Como recomendación se pueden diseñar estructuras de drenajes (zanjas o cunetas) que capten las aguas de escorrentía superficial proveniente de la carretera y de los taludes o laderas, conduciéndolas lateralmente hasta una corriente natural de agua o a sistemas de alcantarillado, con la finalidad de mantener la superficie de la carretera libre de humedad, por lo tanto el suelo se mantiene fuera de la sobre carga y saturación de agua, controlando desde esta perspectiva lo que serían algunos parámetros de resistencia del suelo (contenido de humedad y presión intersticial del agua).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el PEII-FONACIT a través del proyecto N°2011001247 y por el CDCHTA-ULA bajo el código I-1282-11-02-B, instituciones a las cuales se le extiende su agradecimiento e importante apoyo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blandria, N., Bongiorno, F., De Barcia, I., Torres, J., & Dasco, A. (2012). Estudio de los deslizamientos en masa perteneciente a la Formación Colon en el sector Vallado - Ureña, municipio Lobatera estado Táchira, Venezuela. *Geominas*, 40 (59), 91-98.

Bongiorno, F., Díaz, E., Jiménez, E., & Blandria, N. (2011). Estudio geomorfológico aplicado a la susceptibilidad de terrenos en la cuenca alta

del río Albarregas, del municipio Libertador, estado Mérida, Venezuela. *Geominas*, 39 (55), 87-93.

Casteletti, I. (1997). *Nociones de Mecánica de Suelos*. Mérida: Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes.

Código Geológico de Venezuela (1997). PDVSA-INTEVEP. [Documento en línea] Disponible: <http://www.pdvsa.com/lexico>. [Consulta: 2012, Octubre 15].

González de Juana, C., Inturralde de Aroza, J. y Picard, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomo I. Caracas: Ediciones Fonives.

Google Inc. (2011). Google Earth. [Documento en Línea]. Disponible: <http://www.google.com/earth/index.html>. [Consulta: 2012, Mayo].

Ucar Navarro, R. (2004). *Manual de Anclajes en Ingeniería Civil* (1 ed., Vol. 1). Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Mapas de Venezuela. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://www.avenezuela.com/mapas/> [Consulta: 2012, Marzo 26].

Sowers y Sowers. (1979). *Soil Mechanics, Foundations*. Macmillan, New York. 1979.

Ugas, C. (1985). *Ensayos de laboratorio en mecánica de suelos*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

