

Contexto geológico y particularidades geotécnicas de la Ciudad Capital Managua (Nicaragua)

POR:

Tupak Ernesto Obando Rivera

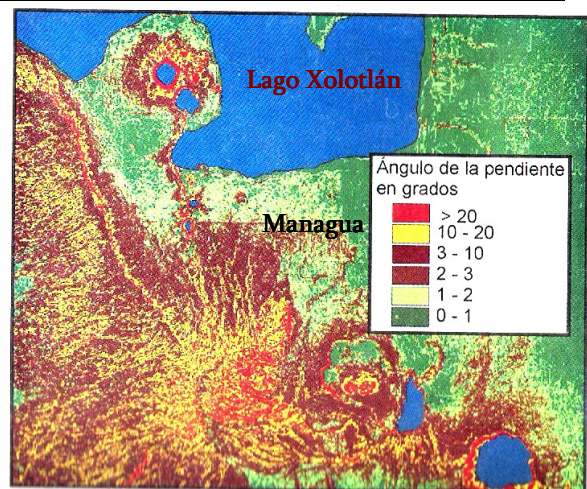
Ingeniero en Geología. Master y Doctorado
en Geología, y Gestión Ambiental por la
Universidad Internacional de Andalucía
UNÍA (Huelva, España). Especialista en
Deslizamientos Volcánico y No Volcánicos

2009

Introducción

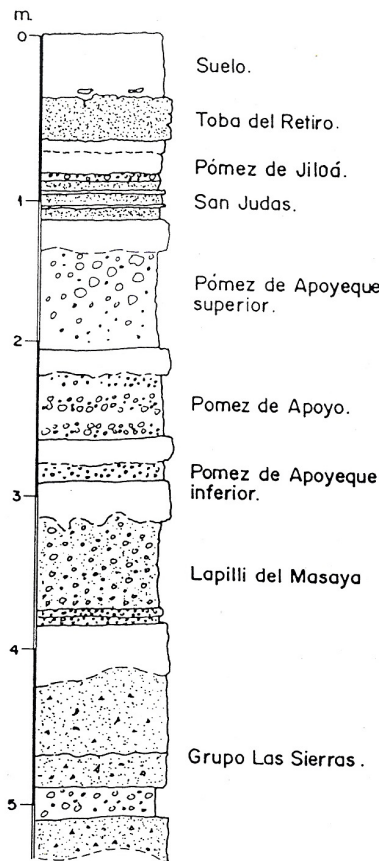
En el presente documento se plantea y examina hallazgos relativos a las características estratigráficas y geológicas de la Ciudad de Managua, tipología de formaciones litológica que conforma la estructura geológica de Managua, y datos cualitativos y cuantitativos sobre la mismas; detalles de las propiedades geotécnicas del subsuelo. Se presentan modelos representativos de la organización del subsuelo en Managua desde el punto de vista estratigráfico, entre otros. Para una mejor visión de los conceptos plasmados en esta sección se emplearon múltiples e importantes recursos ilustrativos al respecto. El documento sigue el orden de contenido según trabajo original del presente autor de este documento citado en la Bibliografía.

La Ciudad de Managua se asienta en una superficie plana que se inclina suavemente hacia el lago Xolotlán (**Mapa 1**); inclinación interrumpida en varios lugares por altozanos, la mayoría de origen volcánico (Cráteres Tiscapa, Nejapa, Asososca, Valle Ticomio y otros) (**Parrales, 2001**).



Mapa 1. PENDIENTES DEL TERRENO EN MANAGUA. Fuente: Ineter, 2000

Parrales, opina que subyaciendo el área se encuentra una brecha de toba volcánica (cantera) que pertenece a la parte superior de configuración geológica denominada Grupo La Sierra, cubierta por materiales piroclásticos del volcanismo Holoceno; una secuencia que consiste de lapilli, pómez, cenizas y tobas. **Valera (1973)**, señala que los suelos se clasifican como limos no cohesivos, arenas y gravas, de pobre a bien consolidados y con diferentes grados de cementación, presentando por lo general bajas densidades y alta porosidad.



No obstante, **Parrales (2001)**, aclara que la observación de la secuencia de materiales sobreyaciendo al Grupo La Sierra está contenida en la Columna Estratigráfica (**Figura 36**) propuesta por Woodward Clyde, 1975; Bice, 1973; Collin, y otros.

Figura 36. SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA. Fuente: Moore, 1991

Por su parte, **Johansson (1988)**, quién explica que el subsuelo de Managua es relativamente homogéneo y su comportamiento dinámico es bueno durante eventos sísmicos, en vista que no ocurrieron grandes efectos geológicos.

Parrales (2001), comparte el criterio del Ingeniero Herman Taleno Delgadillo sobre la relación de las densidades de la estratigrafía del Grupo Managua con valores de N en cada tipo de material descrito en la **Tabla 1**.

Tabla 1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS EN MANAGUA

Tipo de materiales	Peso unitario (ton/m³)	Número de golpes por pie
Toba El Retiro	$\rho = 1.25 \text{ ton/m}^3$	$6 < N < 50$
Tres capas (Formación San Judas – cenizas)	$\rho = 1.3 \text{ ton/m}^3$	$13 < N < 34$
Suelo (fósil) debajo de la Formación San Judas.	$\rho = 1.3 \text{ ton/m}^3$	$10 < N < 32$
Pómez.	$\rho = 0.82 \text{ ton/m}^3$	$10 < N < 33$
Lapilli Fontana (escoria negra).	$\rho = 1.03 \text{ ton/m}^3$	$21 < N < 48$
Arenas (limosas, francas y gruesas).	$\rho = 1.41 \text{ ton/m}^3$ (1.5 ton/m^3 máx.)	$17 < N < 56$
Suelos pumáceos.	$1.16 < \rho < 1.4 \text{ ton/m}^3$	$15 < N < 32$
Suelos aluviales indiferenciados (suelos finos a gruesos).	$1.13 < \rho < 1.32 \text{ ton/m}^3$ $\rho_{\text{prom.}} = 1.22 \text{ ton/m}^3$	$12 < N < 32$
Suelos indiferenciados (capas superiores de color café o marrón sucio).	$\rho = 1.06 \text{ ton/m}^3$	$6 < N < 29$
Arcilla limosa (casi nunca presente).	$\rho = 1.2 \text{ ton/m}^3$	$20 < N < 66$

(Fuente: Parrales, 2001)

En breve se describe la secuencia estratigráfica desde la base al techo resumida en la Figura 1, para la ciudad de Managua recogida en el estudio *Análisis del Comportamiento Dinámico de los Suelos durante Sismos en el área de Managua*, de **Moore (1991)**:

- Grupo Las Sierras

Compuesto de materiales piroclásticos depositados en ambientes continentales lacustre o de agua someras. En su parte basal son tobas aglomeráticas, con pumicitas que se interdigitan con areniscas de la Formación El Salto. Hacia arriba siguen aglomerados tobáceos con pumicita subordinada e intercalaciones delgadas de areniscas. Continúan tobas y aglomerados de basaltos y bombas. El techo de este grupo consiste de gruesas capas de tobas intercaladas de lapillo. Se estima un espesor total de 650 metros.

- Abanicos aluviales

Son productos de acumulación resultantes de la erosión del Grupo Las Sierras al formarse escarpes de la Falla Mateare y de la Falla Las Nubes. Se puede identificar dos abanicos aluviales independientes superpuestos: uno resultante del escarpe de Mateare (formada con dirección al Noreste) y otro proveniente del escarpe Las Nubes (formada en dirección Noroeste). Estos abanicos cubren la zona Sur de la ciudad de Managua y coalescen por debajo de ellas.

- Grupo Managua

Es la secuencia geológica más reciente del área de Managua. Su espesor total es menor de los 10 metros en Managua. Consiste en secuencias de depósitos piroclásticos provenientes principalmente de dos grupos de volcanes: Grupo Apoyeque con los volcanes Apoyeque, Jiloá, Chiltepe y otros menores ubicados a unos 15 km al Noroeste de Managua. Grupo Masaya-Apoyo a unos 20km al Sureste de la Ciudad.

Los productos provenientes de volcanes ubicados en el área de Managua: Asososca, Nejapa y Tiscapa, se distribuyen en áreas relativamente pequeñas, muy cercana a los aparatos volcánicos. Se describen a continuación secuencia estratigráfica (**Figura 37**) desde el techo a la base del Grupo de Managua. Esta descripción está basada en estudios realizados por Woodward-Clyde (1975) y GHI (1973).

- a) Suelo y aluvial del Holoceno.

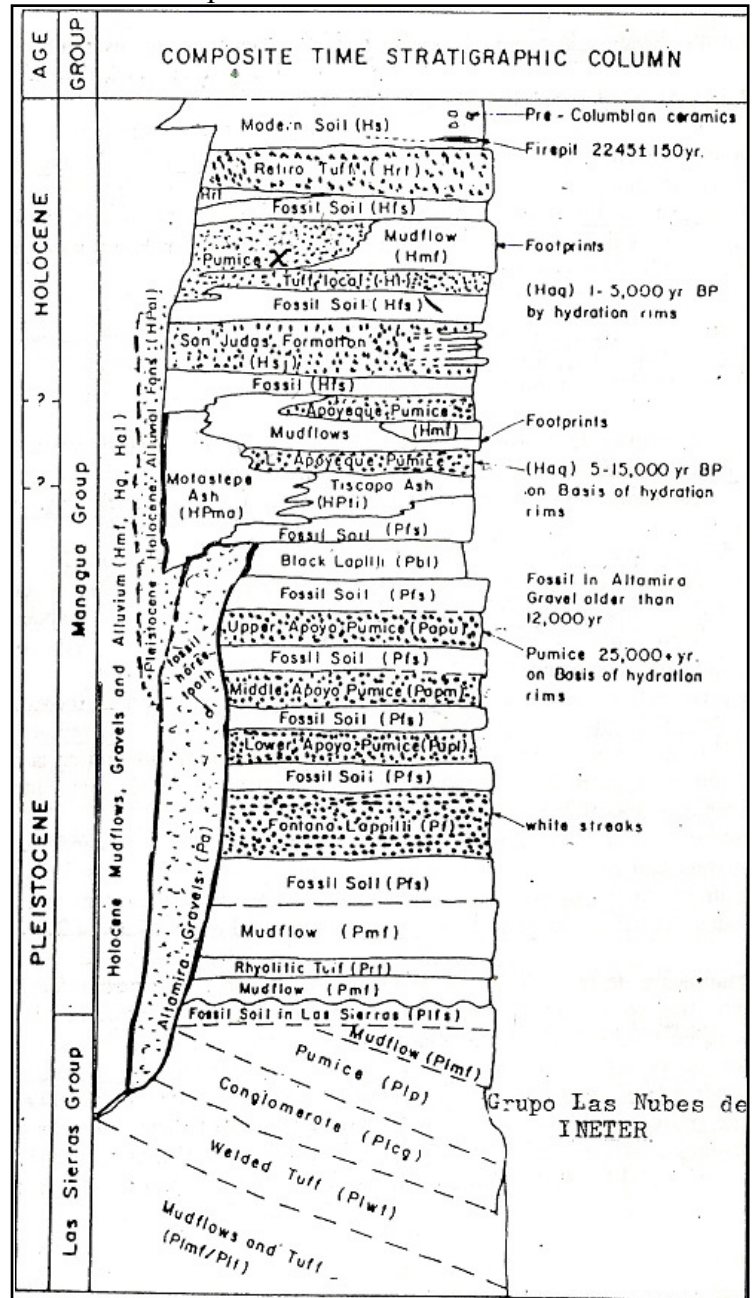
Suelo geológicamente reciente. Consiste en arcilla limo-arenosa, limo no consolidado, arena limosa y gravas. Se presentan estratificados horizontalmente y a veces con estratificación cruzada. Su espesor varía de 20 a 60 cm.

- b) Toba El Retiro

Esta es una toba basáltica, depositada por caída aérea, masiva y consolidada. Es de grano fino, gris verdoso a café amarillento. Su espesor va de 50 a 100 cm.

Hodgson (2000), definen esta unidad como depósitos aéreos de ceniza fina basáltica, gris verdoso, compacto que alcanzan a constituir una toba masiva ligeramente friable, con espesores entre 20 cm a 2,5 metros con edad entre 2,200 a 3,700 años. **Expresó**, que esta unidad está superpuesta por suelo moderno y aluvional y subyacida por suelo fósil, pómez Apoyeque y flujo de lodo. **Afirmó**, que esta unidad se caracteriza por la presencia de pisolitos, restos de plantas y alta fracturación

Figura 37. ESTRATIGRAFÍA DE MANAGUA. Fuente: Tomado de Hodgson, 2000



c) Pómez de Jiloá y/o Apoyeque.

Consiste en tres unidades separadas de pómez blanca; posiblemente proveniente del volcán Apoyeque durante el Holoceno y Pleistoceno Tardío. El material es grueso en la base, gradando a dimensiones de ceniza cerca del techo.

Hodgson (2000), destaca tres unidades independientes de pómez blanco procedente del Volcán Apoyeque de edad Holoceno – Pleistoceno. Esta fuente, opina fue reconocida como Pómez de Jiloá por Bice en 1980, con espesor variable entre 0 a 40 cm, cuya edad medida oscila entre 1,000 a 5,000 años, y otros autores valoran datación de 6,600 años.

d) Formación San Judas

Esta unidad está compuesta de toba consolidada, intercalada con ceniza basáltica suelta y lapilli. Generalmente, consiste de dos delgadas capas de lapilli confinadas en tres capas delgadas de pómez. Su espesor promedio es de 25 a 30 cm.

Hodgson (2000), define esta unidad como una *Triple Capa* de toba bien endurecidas y friables, separadas por depósitos de lapilli incoherentes (basáltica), cuya edad varía entre 7,000 a 9,000 años, siendo superpuestos por suelos fósiles.

e) Ceniza de Motastepe

Consiste en varias unidades individuales de tefra, posiblemente provenientes del grupo de volcanes en el alineamiento Nejapa. Su color es gris claro, partículas de tamaño de ceniza fina a lapilli, se presentan bolones erráticos. Se distribuye a no más de 1km al Este de los cráteres de Nejapa. Según **Hodgson (2000)**, se trata de unidades individuales de ceniza lapilli fina color gris claro, localizado a 1km al Este de la Caldera de Laguna Nejapa.

f) Ceniza de Tiscapa

Consiste en capas intercaladas de cenizas y lapillos, pobremente consolidadas, de color gris claro a gris oscuro. Su distribución se restringe a las cercanías del cráter Tiscapa, pero presume que base surges lo hayan distribuido a una distancia de 1km. La base de la unidad se asigna tentativamente al Pleistoceno Tardío.

Por su parte, **Hodgson (2000)**, dijo que esta unidad es como una inter-estratificación de capas gruesas a finas de lapilli y cenizas de color claro a gris-oscuro, ligeramente consolidado, superponiendo a suelo fósil por encima de pómez.

g) Grava de Altamira

Esta es la única unidad aluvial que se puede identificar y correlacionar de lugar a lugar. Consiste principalmente de canales de gravas por estructuras de corte y relleno. Fue depositada por una serie de corrientes fluyendo en cuencas de drenaje relativamente pequeñas de aproximadamente 1km de ancho y no mayor de 10 a 12 km de largo. Las partículas de grava varían desde arena fina a grava fina.

Hodgson (2000), menciona que estas se caracterizan por la presencia de arcilla y limo, y sus variaciones desde la base al techo en el depósito gravoso. **Aseguró**, que esta grava tiene una edad del Pleistoceno ($\pm 5,500$ años) según dataciones con radiocarbono realizada por la Academia de Ciencias de California (USA) a vestigios antiguos de diente de caballo, tipo *Equus c.f. E. Tau*.

h) Pómez Apoyo

Consiste en tres unidades separadas por suelo fósil. Las partículas, en las dos capas superiores, generalmente gradan de fino en la base y techo a grueso (1 a 5 cm) en el centro. La capa inferior presenta una textura uniforme desde su piso a su techo y consiste en arena y fragmento de pómez blanco.

Hodgson (2000), indicó que el nombre de esta unidad litológica, obedece a la proximidad geográfica, y al incremento de espesor de sus capas al Volcán Apoyo, cuya actividad se remonta hace 21,000 años, siendo los espesores oscilante entre 0.5 a 1,5 metros.

i) Lapilli Masaya o Formación Fontana de Lapilli

Es una de las formaciones más extendida y fácil de reconocer, en el área metropolitana de Managua. Consiste en lapilli basáltico vítreo, color negro, libre de polvo y cenizas.

Hogdson (2000), explicó que este material fue reconocido por vez primera en Villa Fontana, alcanzando espesores de hasta 3 metros. Este autor, dice que se trata de lapilli negro basáltico, libre de cenizas-polvo, suelto conteniendo de dos a tres bandas o hilos blancos de pómez.

No siendo así, **Bice (1980)**, quién nombra esta unidad litológica como Lapilli Basáltico de Masaya, con espesores entre 1 y 3 metros, aumentando su potencia en el área de Las Nubes, al Sur de Managua teniendo como edad medida entre 25,000 a 35,000 años.

3.1.- Características geomecánica y física de suelos potencialmente licuables vinculados con yacimientos no metálicos en el área de Managua.

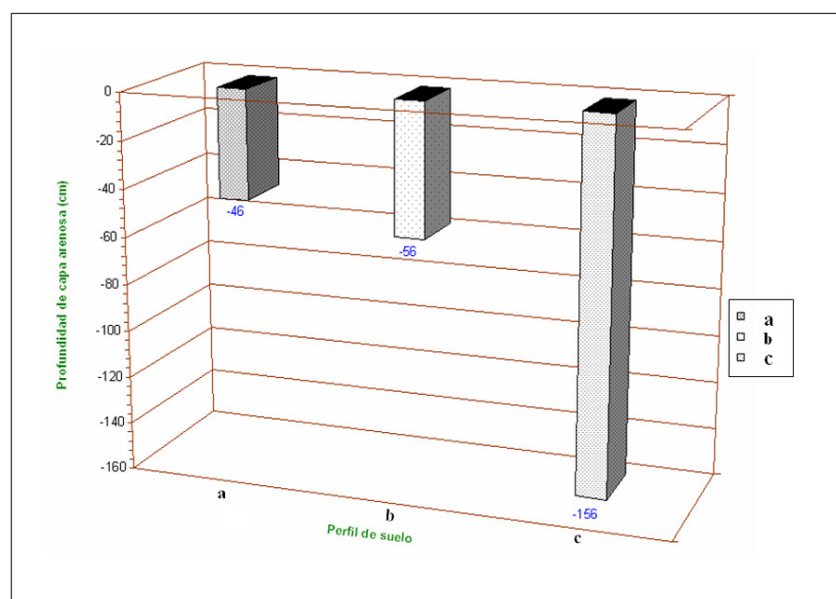
Según datos oficiales, la ciudad de Managua engloba aproximadamente 21 áreas de aprovechamiento minero no metálico dedicadas a la extracción y comercialización de volúmenes considerables de arenas naturales.

Dicha situación sugiere que entre los materiales geológicos y granulométricos que componen la estructura del subsuelo de la capital, aquellos con textura arenosa tienen mayor distribución geográfica en la municipalidad. Por ello, las obras de ingenierías deben construirse siguiendo las normativas técnicas vigentes en el país, en vista que las arenas en sí constituyen elemento importante e influyente para el efectivo desarrollo del proceso de licuefacción durante solicitaciones sísmicas.

De acuerdo con **Obando, T. (2008)**, el perfil de los suelos representativo, que constituyen las capas arenosas se componen de lo siguiente:

- a. 0 a 46 centímetros, grisáceo a oscuro con tamaño de grano grueso a muy grueso, conteniendo gravas friables de tamaño de grano de fino a muy fino.
- b. 46 a 56 centímetros, grisáceo a oscuro, friables con tamaño de grano grueso a muy grueso.
- c. 56 a 156 centímetros, grisáceo a oscuro, deleznable, tamaño de grano grueso a muy grueso. Estas arenas ocupan espacios dentro de estratos arenosos cementados con espesor de 2 ó 3 centímetros.

Figura x. Ilustración de Sección de suelos arenosos en Managua.



Los depósitos arenosos (**Véase Anexo No 8**) se distribuyen en terrenos planos y escarpados de la ciudad, sobre todo, se presentan buenos afloramientos en los complejos de explotación minera no metálica que funcionan actualmente. En algunos lugares, los materiales arenosos ocupan pendientes máximas valoradas en 30%, en varios kilómetros cuadrados hacia todas las direcciones geográficas de Managua.

En el sitios del Estudio, se muestra superficialmente en forma generalizada capa aproximadamente de 0.50m de espesor de suelo orgánico y arena fina con contenido arenoso, seguido de la alternancia de capas de arenas finas, medias y gruesas que conforman un paquete de 14-16 metros de potencia. Cada una de las capas arenosas de distintos tamaños de grano presenta espesores individuales de 5 a 10 cm y 10 a 20cm.

Los ensayos analíticos de laboratorio (**Véase Anexo No 8**) confirman lo antes mencionado, estas se presentan a continuación en la **Tabla II.1; a, b y c:**

Tabla II.1. a) Valoraciones cuantitativas obtenidas de pruebas granulométricas

Número abertura Tamiz	Granulometría	
	ASTM C-44 MORTEROS	ASTM C-33 CONCRETO
% que pasa Tamiz 3/8		100
Nº 4	100	95-100
Nº 8	95-100	80-100
Nº 16	70-100	45-50
Nº 30	40-75	25-60
Nº 50	10-35	10-30
Nº 100	2-15	2-10
Nº 200	5 máx.	5 máx.
Cantidad de finura		2, 25-3, 25

Fuente: Laboratorio de Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS)

Materia orgánica: 3% máximo en ambos casos.

El % de arena que aprovecha esta empresa esta dentro del rango 75 – 90 %.

b) Valoraciones cuantitativas obtenidas de pruebas granulométricas

Nº Orden	Nº Tamiz	% que pasa por diferentes tamices en las diferentes pruebas				Promedio
		1 ^{era} prueba	2 ^{da} prueba	3 ^{era} prueba	4 ^{ta} prueba	
1	Nº 3/8	100	100	100	100	100
2	Nº 4	100	100	100	100	100
3	Nº 8	83	90	93	93	89.7
4	Nº 16	55	66	68	61	62.5
5	Nº 30	27	34	32	20	28.2
6	Nº 50	13	16	14	6	12.2
7	Nº 100	7	7	6	3	5.7
8	Nº 200	5	4	2	2	3.2
Cantidad de finura		3.15	2.97	3.17	3.17	3.04
Pruebas adicionales						
P.V.S.S. Kgs/m3		1404	1414	1437	1438	1422.3
Peso específico		2.40	2.43	2.40	2.41	2.41
Absorción		6.15	6.10	6.13	6.15	6.13

Fuente: Laboratorio de Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS)

Analizando los valores dados se determina que las características granulométricas de estas arenas las definen como aptas para la construcción, teniendo un alto porcentaje aprovechable dentro del rango de lo admisible. Ello no incluye evaluación técnica como material de soporte para infraestructura física, y su respuesta al momento de sismo.

c) Valoraciones cuantitativas obtenidas de pruebas granulométricas

Profundidad	Muestra N°	Resistencia a la Compresión			
		Condición SSS		Condición Seca	
		lbs/plg ²	Kgrs/cm ²	lbs/plg ²	Kgr/cm ²
6	1	894	63	1638	115.2
8	2	976	69	-	-
10	3	1057	74.3	-	-
12	4	1008	71.0	-	-
14	5	1203	85	-	-
16	6	1382	92.2	2352	165.4
18	7	1740	122.4	4266	300.0
20	8	-	-	-	-
22	9	2797	197		
24	10	1236	87	2401	169
2	1	836	59	-	-
4	2	2545	179	3163	222.4
6	3	894	63	2222	156.3
8	4	1756	123.5	2595	182.5
10	5	1658	116.6	-	-
12	6	1756	123.5	1784	125.5
14	7	1658	116.6	2952	208
16	8	1951	137	3893	274
18	9	1593	112	-	-
20	10	1805	127	3390	238.4
22	11	1301	91.5	-	-
24	12	1057	74.3	1622	114.1

Fuente: Laboratorio de Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS)

A su vez, es preciso mencionar que otros de los materiales geológicos, a parte de las arenas, que se presentan de forma discreta en este sitio son las cenizas y escoria volcánica.

Por otro lado, hay que señalar que por mucho tiempo los productos arenosos que constituyen los suelos de minas, particularmente, la de tipo no metálico han sido de mucho provecho por empresa minera que reside en Managua. Entre ellas, tenemos por ejemplo, la compañía Inversiones Mineras S.A. (**IMISA**) que está en funcionamiento desde el año 1992, legalmente constituida en el Estado de Nicaragua.

De acuerdo a resultados experimentales geotécnicos de la compañía consultora **Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS)**, las arenas presentan granulometría fina a gruesa con fragmentos basálticos y andesíticos en proporciones de 80% y 20% respectivamente.

En la **Tabla II. 2**, se presentan ensayos analíticos realizados 14 ejemplares de arenas, apoyado del tamiz de medición 3/8” pulgada con vista a conocer sus propiedades físicas.

Tabla II.2. Propiedades mecánicas y física de suelos arenosos

ITEM	GRANULOMETRIA				
	ITEM	%	ASTM C-33 Concreto	ASTM C-144 Mortero	OTROS
1	% TAMIZ -3/8”	100	100		
2	% TAMIZ -3/8”	97	95-100	100	
3	% TAMIZ -3/8”	85	80-100	95-100	
4	% TAMIZ -3/8”	61	50-85	70-100	
5	% TAMIZ -3/8”	35	25-60	40-75	
6	% TAMIZ -3/8”	17	10-30	10-35	
7	% TAMIZ -3/8”	9	2-10	2-15	
8	% TAMIZ -3/8”	4	0-5	0-10	
PRUEBAS ADICIONALES					
9	MODULO DE FINURA		2.25-3.25	1.60-2.50	2.97
	Mod. Finura				2.5-3.2
10	MATERIA ORGANICA	1	3% MAX		
11	ABSORCION	3.7			
12	HUMEDAD	5.0-10.5			
13	PESO ESPECIFICO				2.69
14	DENSIDAD APARENTE				2.57-2.68

15	DENSIDAD REAL				2.84- 2.84
----	------------------	--	--	--	---------------

Fuente: Laboratorio de Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS)

Según **Obando, T. (2008)**, a partir del análisis de laboratorio, se deriva que las arenas naturales elemento constituido del subsuelo capitalino y factor influyen en la licuefacción se acompaña, también de fragmentos de basalto con textura fenocrystalina y minerales **máficos** (augita y olivino). A su vez, se presentan en los ejemplares de mano analizados por microscopio petrográfico moderados contenidos de feldespatos que forma parte de la matriz fundamental de fragmentos de basaltos a igual que las plagioclasas, indicando composiciones básicas.

Esta misma fuente, considera que la matriz fundamental que constituye las rocas basálticas (proporción del 80%) es oscura debido a la presencia de partículas de mineral metálico sobre la cual se encuentran insertadas los minerales máficos y félsicos antes citados.

Alrededor del 20% está compuesto por fragmentos de andesita con estructura de masa fundamental inter-granular de textura afanítica. Finalmente, un contenido mínimo de minerales arcillo-ferruginoso que es causa de las sucesivas alteraciones de masa cementante de estos minerales.

SÍNTESIS

A modo de síntesis se presenta resumen de los aspectos relevantes propuestos en este capítulo:

- Managua presenta relieve plano y bajo orientado hacia el lago Xolotlán (como es conocido cuerpo de agua superficial a menos de 40msnm) acompañado de cerros y lagunas volcánicas como Tiscapa, Nejapa, Asososca y otras.
- La geología capitalina está constituida por materiales fragmentarios tipo volcánicos (cenizas, pómez, arenas, basaltos, tobas y otros) y sedimentarios, ambos proclives a erosionarse en superficie o profundidad por el agua, o bien por el viento, siendo esto valido especialmente para los suelos limosos, arcillosos y/o gravoso cuyo comportamiento físico mecánico es desde ligero a intensamente heterogéneo y complejo. El depósito Vulcano-sedimentario que constituye la estructura de Managua no supera los 10 metros de potencia.
- Los depósitos arenosos en la Ciudad de Managua, a igual que en las minas no metálicas son elementos constitutivo principal de la estructura geológica del terreno, y a su vez, el factor importante y contribuyente para la generación y efectividad al desarrollo de la licuefacción ante solicitaciones dinámicas. Todo ello, depende de la forma y tamaño de las partículas arenosas (granulometría), composición mineral, propiedades físicas y potencia de las capas en profundidad.

Palabras claves: Geotecnia, Grupo La Sierra, columna estratigráfica, Grupo Managua, comportamiento dinámico de suelos, abanicos aluviales.

Bibliografía

Obando, T. (2,009). Modelación geomecánica y temporal de la licuefacción en suelos de minas no metálicas. Estudio Caso: Ciudad de Managua (Nicaragua). Tesis Doctoral. Editorial Universidad Internacional de Andalucía UNÍA (Huelva, España). Huelva. 900pág.