

Caracterización geotécnica del campo experimental de ingeniería civil de la Universidad de Oriente.

Cabrera Castro, P. M.¹ y Beira Fontaine, E.²

Recibido: 30 de enero de 2007 – Aceptado: 20 de julio de 2007

RESUMEN

En este trabajo se propone la creación de un campo experimental de ingeniería civil en los terrenos de la Universidad de Oriente, con vistas a evaluar el comportamiento de cimentaciones superficiales y profundas, además de estructuras de pavimentos flexibles de carreteras, experiencia con la que se darían los primeros pasos en nuestra región. El trabajo presenta el perfil de suelo típico del área de estudio a través del estudio detallado de los suelos con la profundidad. Para ello se realizaron ensayos de penetración estándar (SPT) en 3 sondeos hasta una profundidad promedio de 10 m y 3 pozos a cielo abierto con 1.5 m de profundidad; obteniendo de esta forma muestras alteradas e inalteradas, estas últimas con el empleo de tubos Shelby. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio determinando sus parámetros físico-mecánicos característicos, aplicando las normas cubanas vigentes. Se realizaron además estudios geofísicos con el georadar (GPR). Los resultados obtenidos fueron procesados estadísticamente por cada metro de profundidad y por cada estrato encontrado, presentando con ello el perfil ingeniero geológico del área escogida, así como el comportamiento de las propiedades geotécnicas más importantes con la profundidad. A partir de los resultados obtenidos con este trabajo, podrán acometerse investigaciones relacionadas con el comportamiento real de cimentaciones superficiales y profundas, de obras viales sometidas a repetición de cargas y la aplicación de ensayos especiales de campo para estimar propiedades de suelos, permitiendo la aplicación directa de sus resultados en el diseño de cimentaciones superficiales y profundas.

Palabras claves: Campo experimental; propiedades físicas y mecánicas; perfil geotécnico del suelo.

Geotechnical characterization of the experimental field at the civil engineering from the University of Oriente

ABSTRACT

A study of the soil properties and profile with the intention to create an experimental field at the civil engineering department from the University of Oriente is presented in this paper. Three standard penetration tests (SPT) were carried out with an average depth of 10 m and three were made at open sky wells with 1.5 m of depth. Non destructive samples were taken for its evaluation to the laboratory using a Shelby tube. These samples were analyzed in the laboratory, to determine the physical-mechanics parameters, using the Cuban standard. The results obtained were statistically analyzed by each meter of depth and for each stratum found in order to obtain the characteristics properties of the soil with depth. Additionally, geophysical studies with the Ground Probing Radar (GPR) were done. The results obtained in the work provide the geotechnical profile of the experimental field, as well as the variation of the geotechnical properties with depth. This information will be used for future research concerning the behaviour of shallow and deep foundations, the influence of the repeated loads on roads and also will improve the use of special in-situ tests in order to asses geotechnical soil properties and employ the results in foundation design.

Keywords: experimental field, physic – mechanics properties, geotechnical soil profile.

¹ Facultad de Construcciones, Universidad de Oriente, Cuba. E-mail: pcabrera@fco.uo.edu.cu

² Facultad de Construcciones, Universidad de Oriente, Cuba. E-mail: efontain@rect.uo.edu.cu

1. INTRODUCCIÓN

Ante la falta de un polígono experimental que permita a estudiantes universitarios de la carrera de ingeniería civil, así como a los especialistas del territorio dedicados a la geotecnia hacer estudios e investigaciones relacionadas con esta temática, se presenta con este trabajo la creación de este campo experimental como primera experiencia en nuestra región y con ello una caracterización de las propiedades geotécnicas de dicho campo. El mismo

está ubicado dentro del propio terreno de la Universidad de Oriente, sede Mella en Santiago de Cuba con un área de 1696 m². Su posición geográfica está determinada por las coordenadas (X = 607032.49 m, Y = 153356.98 m) con cota de 32.80 m. En la Figura 1, se muestra una planta del campo experimental con la localización de los sondeos y pozos donde fueron extraídas las muestras, así como la zona donde se efectuaron las mediciones geofísicas.

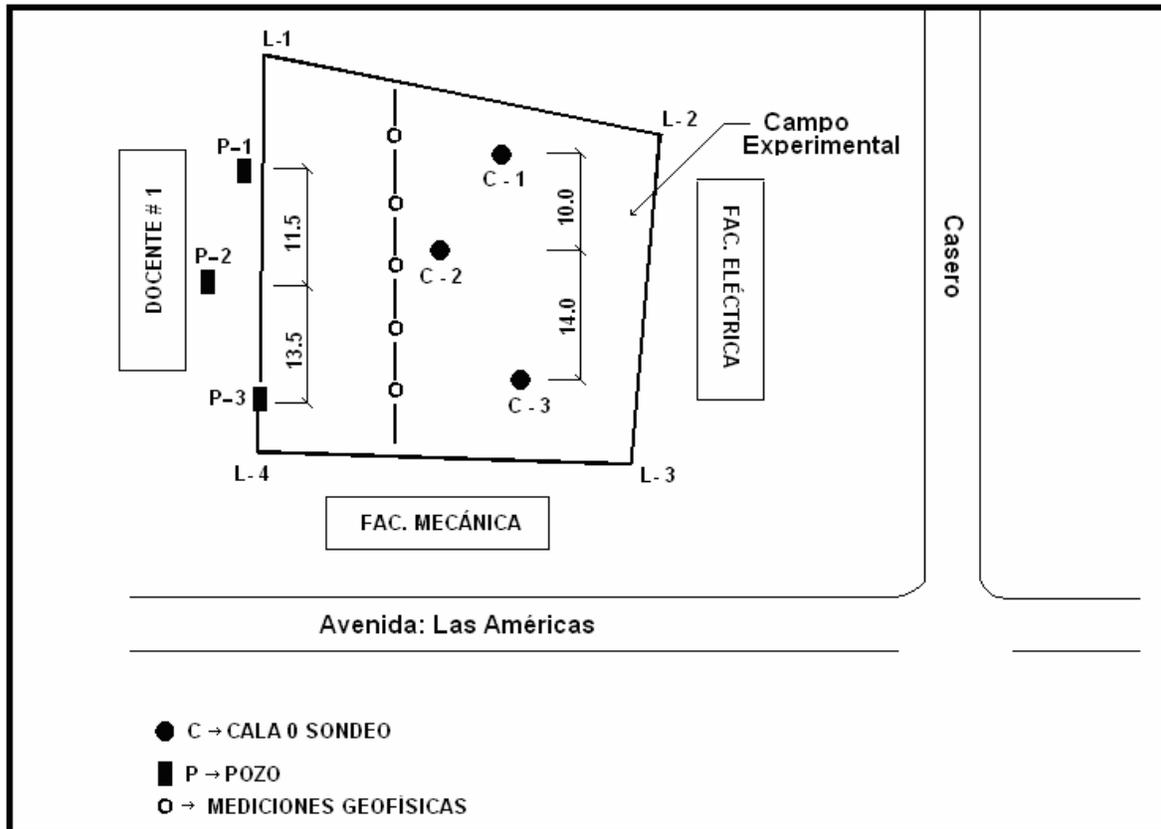


Figura 1. Planta del Campo Experimental de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente.

La geología del área se caracteriza fundamentalmente por los sedimentos de la formación La Cruz, miembro Santiago. En esta formación afloran calizas biógenas y aleurolitas calcáreas, caracterizada por una alternancia de calcarenitas fosilíferas de matriz arcillosa de color crema claro con caliza arenosa arcillosa fosilíferas de color amarillento. Presenta intercalaciones de conglomerados finos en forma de capas lenticulares. El miembro Santiago, aparece en zonas cercanas a la bahía de Santiago de Cuba, aflorando en el área septentrional de la misma, entre la ciudad y las alturas de Quintero. Está compuesta por arcilla areno limosa calcárea, friables, finamente

estratificadas, con concreciones de carbonato. Alterna con conglomerados polimícticos de fases deluvial. Cubre discordantemente al grupo El Cobre y yace concordantemente sobre el miembro Quintero, según Medina et al (1999).

La Figura 2, muestra un esquema con las diferentes formaciones geológicas presentes en la región de la ciudad de Santiago de Cuba. Obsérvese que el campo experimental se localiza en un área con extensión aproximada es de 26 km², esto representa cerca del 9 % del área total de la ciudad.

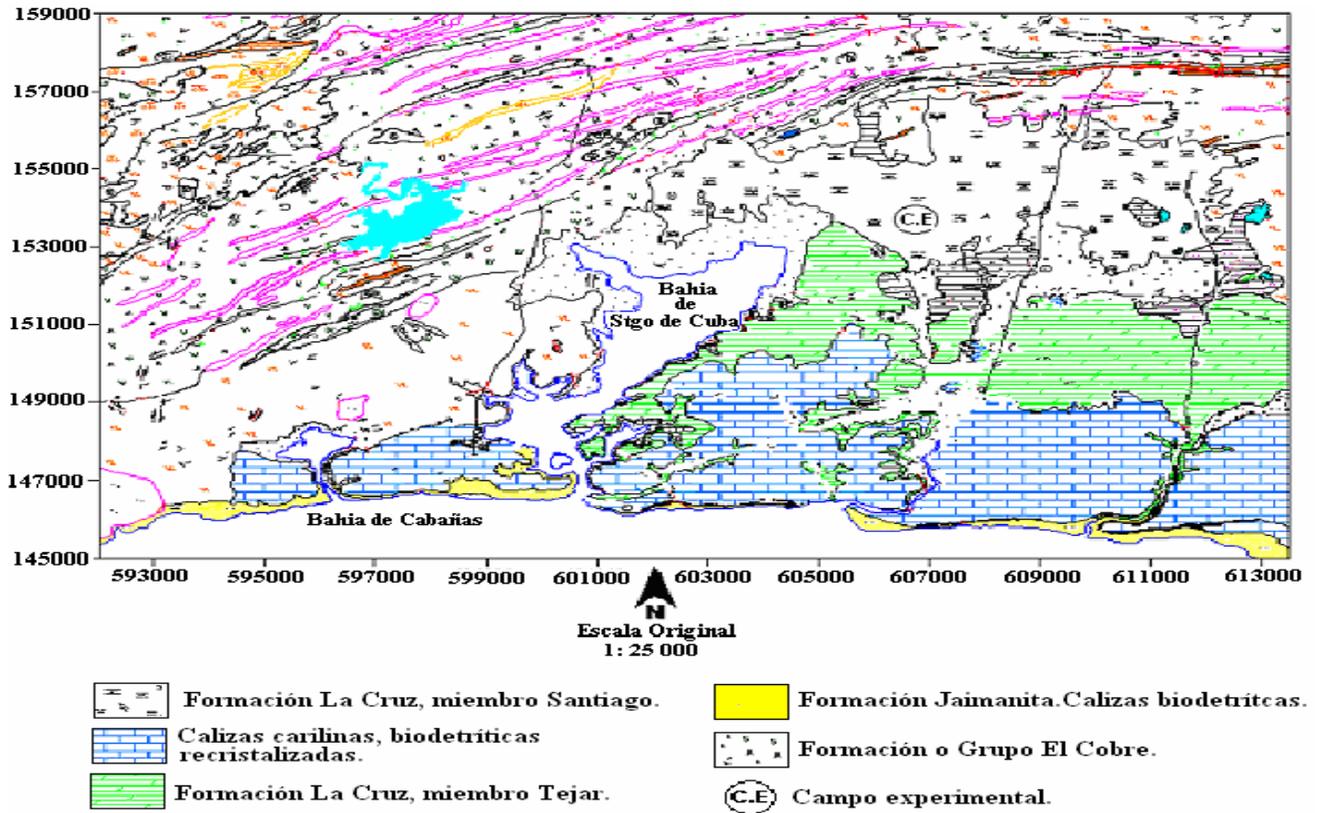


Figura 2. Esquema geológico de la cuenca de Santiago de Cuba (Medina et al, 1999).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la investigación del suelo se llevó a cabo primeramente un levantamiento taquimétrico para delimitar la ubicación geográfica del campo y con ello sus características geológicas. Se realizaron definidas sus coordenadas ensayos de reconocimiento SPT en 3 sondeos hasta una profundidad promedio de 10 m y en 3 pozos a cielo abierto de 1.0 x 1.0 x 1.5 m de profundidad, así como ensayos geofísicos con el empleo del georadar Ramac GPR TM, haciendo mediciones en el terreno con un paso de 0.5 m de distancia en el sentido longitudinal del área de estudio y en correspondencia con la ubicación de las calas, efectuando un total de 81 mediciones.

De los sondeos se extrajeron muestras alteradas con el muestreador BX, de 59 mm de diámetro y largo 457 mm (NC 203,2002), depositadas posteriormente en recipientes plásticos herméticamente cerrados, mientras que para las muestras inalteradas se emplearon tubos Shelbys de 73 mm de diámetro. Las muestras alteradas fueron sometidas a ensayos físicos (NC 19,1999; NC 58, 2000; NC 67, 2000; NC 156, 2002) y las inalteradas (tomadas hasta los 6 m de profundidad), a ensayos mecánicos de resistencia a

cortante rápido (NC 54-249, 1983) con un ciclo de presiones verticales de 100, 200 y 300 kN/m² respectivamente; así como compresión edométrica (NC 054-135,1978) con escalones de carga de 50, 100, 200, 400, y 800 kN/m².

De las muestras de suelo extraídas de los pozos (Figura 1), se efectuaron además ensayos de compactación tipo Proctor estándar (NC 054-148, 1978) e índice de CBR para la energía del Proctor estándar (NC 54-150, 1983), este último ensayo evaluado tanto para la humedad natural, como la humedad de saturación. Para estos 2 ensayos se analizaron un total de 9 muestras en cada caso.

Todos los ensayos fueron realizados a escala de laboratorio utilizando todo el equipamiento del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de Santiago de Cuba, empresa certificada con la calidad, tomando un mínimo de 6 muestras en cada caso y aplicando las normas cubanas vigentes. Los cálculos realizados fueron analizados y procesados por Microsoft Excel XP, mientras los gráficos, esquemas y perfil fueron elaborados a través Surfer 8.

3. RESULTADOS

Como resultados de los ensayos físicos, se muestran en la Tabla 1 los valores promedios obtenidos de plasticidad, humedad y peso específico del suelo por cada metro de profundidad y para cada estrato encontrado dentro del perfil. Mientras que la

distribución granulométrica promedio del suelo por cada metro de profundidad puede verse en la Tabla 2. En la Figura 3, se aprecia con claridad el comportamiento de estos parámetros con la profundidad.

Tabla 1. Valores promedios del suelo por cada metro de profundidad.

Estrato	Prof.	L.L	L.P	Nspt	ω	Ic	γ_f	γ_d	γ_s	e	S
	(m)	(%)	(%)	golpes	(%)		(kN/m ³)				(%)
R	1	64,5	25,6	15	23,6	1,1	18,3	14,8	26,9	0,70	79,0
	2	63,1	24,6	22	24,4	1,0	19,3	15,5	26,9	0,62	69,0
	3	56,5	24,4	16	25,6	1,0	18,6	14,8	26,6	0,72	76,0
1	4	60,3	24,6	29	29,8	0,9	18,5	14,2	26,8	0,72	85,0
	5	56,9	28,2	21	35,8	0,7	17,8	13,1	26,8	0,92	83,0
	6	81,7	31,8	20	34,0	1,0	17,8	13,3	26,9	0,84	90,0
	7	80,3	30,8	21	41,9	0,8	16,8	11,9	27,2	1,29	88,5
2	8	74,3	27,6	23	22,3	1,1	18,2	14,9	27,3	0,84	75,0
	9	54,2	24,5	22	20,4	1,1	19,6	16,2	27,4	0,69	83,0
3	10	49,4	24,2	58	19,7	1,2	20,3	17,0	27,2	0,60	90,7

R = relleno, Prof. = profundidad, LL = límite líquido, LP = límite plástico, ω = humedad, Ic = índice de consistencia, e = índice de poros, S = saturación, ω = humedad.

Tabla 2. Valores de la distribución granulométrica de los suelos con la profundidad.

Profundidad (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grava (%)	6,85	12,27	10,49	19,57	1,72	5,24	1,98	0,01	5,76	3,12
Arena (%)	23,23	26,6	23,69	20,3	14,03	18,35	4,46	18,4	28,3	16,13
Limo+ Arcilla (%)	69,92	61,13	65,82	60,13	84,25	76,41	93,56	81,59	65,94	80,75

De igual manera se presenta en la Tabla 3 los valores característicos promedios obtenido de los ensayos de compactación e índice de CBR realizados a las muestras de suelo tomadas de la capa superficial de los tres pozos a cielo abierto.

Tabla 3. Parámetros característicos de compactación Proctor estándar y valores de índice de CBR de la capa superficial para la humedad natural y humedad de saturación.

Parámetro	Valor característico
ω óptima	22 ± 0.11 %
γ_f máxima	19,12 ± 0.02 kN/m ³
γ_d máxima	15,68 ± 0.03 kN/m ³
CBR natural	18 ± 3 %
CBR saturado	2 ± 0.3 %

Por su parte la Figura 4 ilustra como se comportan hasta los 6 m de profundidad, los parámetros de compresibilidad (Cc y Cs), índice compresión y expansión respectivamente; así como el módulo edométrico (Em) obtenidos de los ensayos de compresión edométrica. De igual manera como varían los parámetros de la resistencia a cortante, cohesión (C) y ángulo de fricción interna (ϕ).

Como resultados de los ensayos físicos en el laboratorio y tacto visual en el terreno, se muestra en la Figura 5, la columna litológica típica del área de estudio, identificando con los espesores de cada estrato y la variación del número de golpes requerido para la hincas del muestreador y los tubos Shelby. Mientras que en las figura 6 y figura 7 se presentan las características del perfil de suelo en la zona de estudio; en esta última como resultado de los estudios geofísicos con el georadar.

Los estratos de suelo que conforman el perfil presentan las siguientes características:

- **Suelo (R):** Relleno heterogéneo, compuesto por arcilla muy plástica arenosa (CH), de consistencia dura, alta compresibilidad y un espesor de 3.5 m. Su color varía de carmelita claro a oscuro; presenta fragmentos de rocas angulosas y material de construcción.

- **Suelo (1):** Arcilla muy plástica con arena (CH), de alta compresibilidad, consistencia dura, húmeda, verdosa, con intensidades carmelitas y amarillas, con CaCO_3 , manchas de FeO , limos, algunos fragmentos de gravas. Espesor promedio 4m.

- **Suelo (2):** Arcilla muy plástica con arena (CH), alta compresibilidad, consistencia muy dura, muy húmeda, con CaCO_3 y fósiles marinos. Su color es carmelita, con intensidades amarillentas y en ocasiones verdosa. Espesor promedio de 2 m.

- **Suelo (3):** Arcilla de baja plasticidad (CL), baja compresibilidad, muy compacta y de consistencia muy dura, con presencia de limos y abundantes fósiles marinos. Color gris – verdoso claro que aparece a partir de los 9 m de profundidad, con un espesor estimado superior a los 10 m.

El nivel freático fue localizado cerca de los 7 m de profundidad y las muestras de agua analizadas presentan las siguientes características:

- Actividad corrosiva:- Baja al plomo y alta al aluminio.
- Ph: Neutra, mineralizada y no agresiva ni al acero, ni al hormigón.
- Altos valores de sales solubles totales y no aptas como fuente de abastecimiento para el consumo humano.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos facilitan una caracterización y un comportamiento de los suelos en el área de estudio como base para futuras investigaciones en esta zona. Se muestran en las Tablas 1 y 2, así como en las Figuras 3, 5, 6 y 7 el predominio de un suelo arcilloso con algunos cambios de tonalidad a lo largo de todo el perfil, con poca variación de sus propiedades físicas con la profundidad, presentando sus valores más significativos de plasticidad, humedad y peso específico cerca de los 7 m de profundidad. Los valores de humedad registrados en dos temporadas del mismo año (verano e invierno), no reflejaron variaciones de consideración.

La Figura 4, a pesar de mostrar una variación irregular de los parámetros de compresibilidad y resistencia a cortante de los suelos hasta la profundidad analizada (6 m), los valores obtenidos de

C_c (0.14 – 0.22), C_s en el orden de 0.06; así como los módulos E_m entre 5000 – 12000 kPa, junto a los valores de cohesión entre 60 – 80 kPa y ángulos de fricción interna bajos, son típicos de suelos arcillosos.

Los parámetros de compactación e índice CBR que se ilustran en la tabla 3, indican que la capa superficial del área de estudio presenta muy baja capacidad soportante en estado saturado.

Las Figuras 6 y 7 muestran la correspondencia que existe en la ubicación de los estratos de suelo y la posición del nivel freático por los 2 procedimientos de reconocimiento del terreno utilizado. Las mediciones geofísicas por su parte permiten discernir con más claridad las zonas de transición entre las diferentes capas a todo lo largo del perfil; así como zonas de buzamiento y agrietamientos. De igual manera estas mediciones posibilitaron ver el comportamiento y trayectoria del perfil a profundidades mayores de los 10 m.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo permiten disponer de un campo experimental de ingeniería civil en la región, primera experiencia de su tipo en el país, poniendo a disposición de los estudiantes universitario que estudian esta carrera; así como a los dedicados a la geotecnia en el territorio de un terreno debidamente caracterizado en cuanto a propiedades físico - mecánicas, permitiendo realizar trabajos de investigación que evalúen el comportamiento de cimentaciones y obras viales para nuestras condiciones geológicas y ambientales. Deja abierta la posibilidad de aplicar los ensayos especiales de campo tipo como eléctrico, presiómetro Menard, pruebas de carga con placa y prueba de carga en pilotes, aportando así novedosos conocimientos en la temática de la mecánica de suelos y pavimentos para las condiciones geológicas del campo.

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicada (ENIA) de Santiago de Cuba, por su decisiva contribución al desarrollo de este trabajo. Al grupo de Servicios Geofísicos de la Empresa Geominera Oriente, por su colaboración en las mediciones con el Georadar y la elaboración del perfil a través del radargrama. A la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico por su colaboración en los resultados del análisis químico del agua.

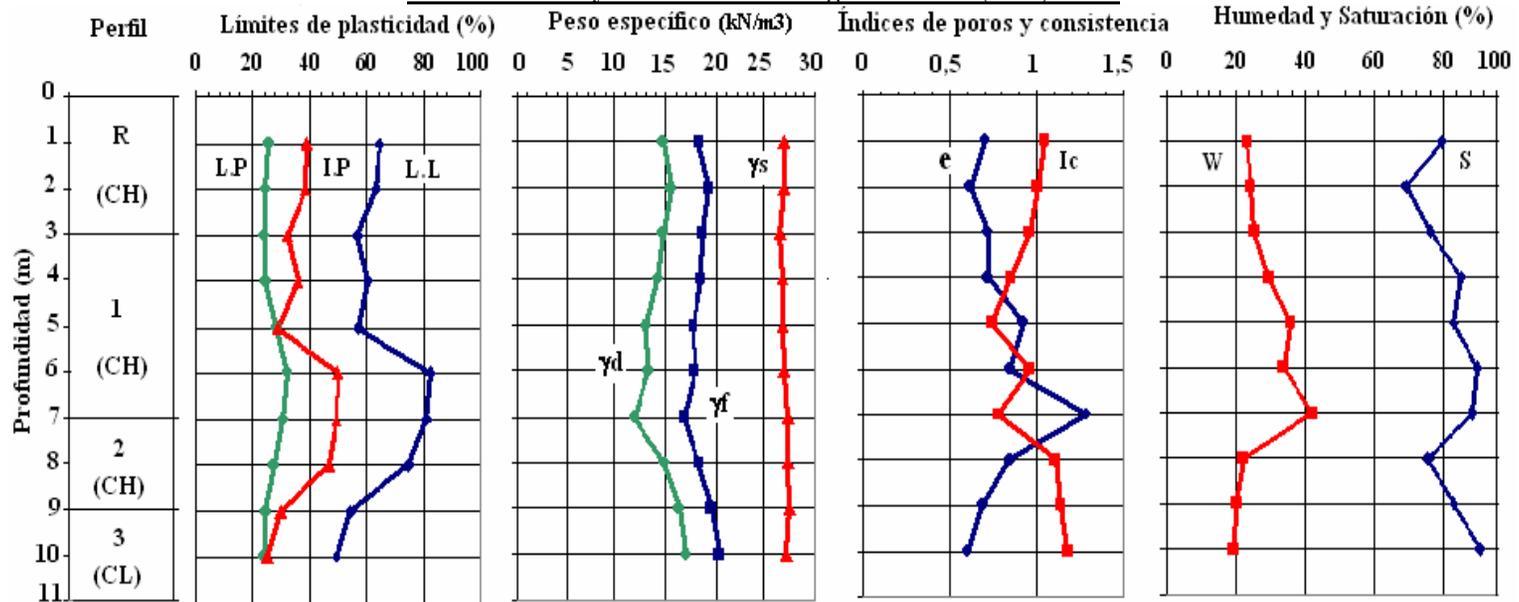


Figura 3. Parámetros físicos característicos del suelo con la profundidad del Campo Experimental de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente.

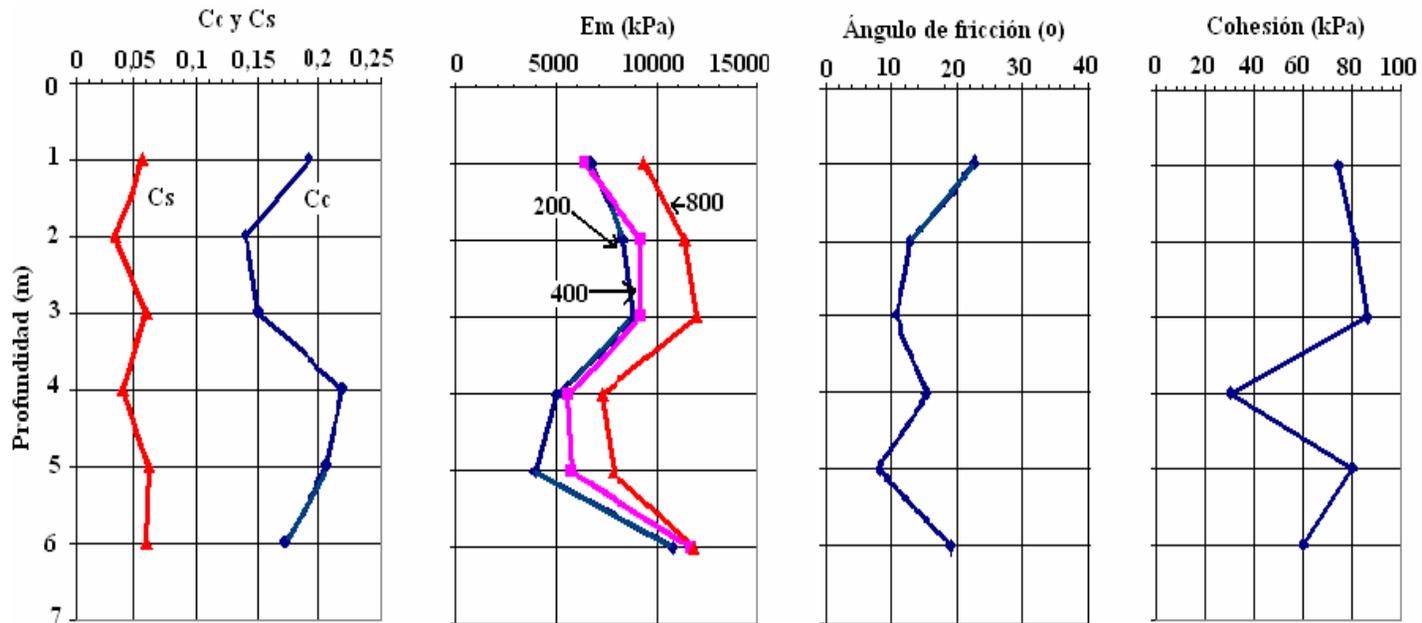


Figura 4. Parámetros de compresibilidad y resistencia del perfil del Campo Experimental de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente hasta los 6 m de profundidad.

C O L U M N A L I T O L O G I C A

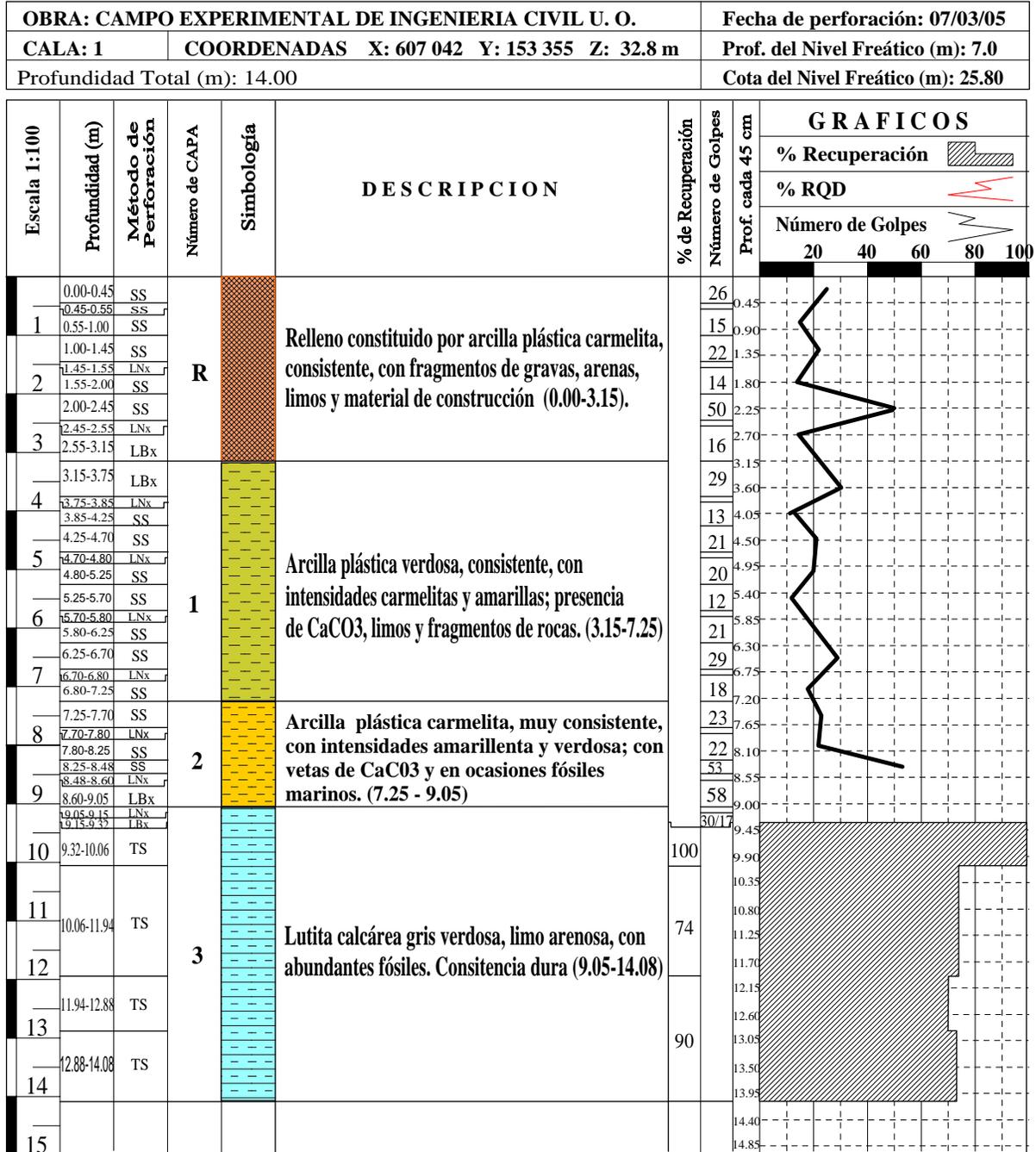


Figura 5. Litología típica del Campo Experimental de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente.

OBRA: PERFIL INGENIERO GEOLÓGICO DEL CAMPO EXPERIMENTAL DE INGENIERÍA CIVIL. UNIVERSIDAD DE ORIENTE.
Escala H 1:157 V 1:157

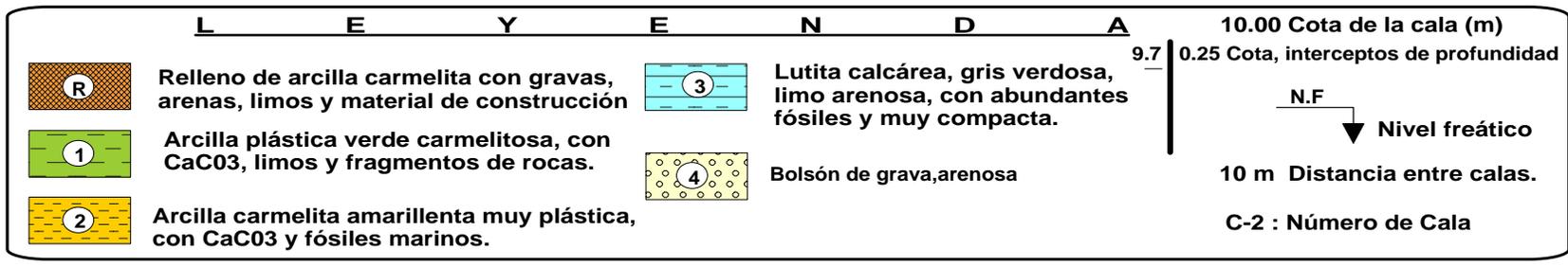
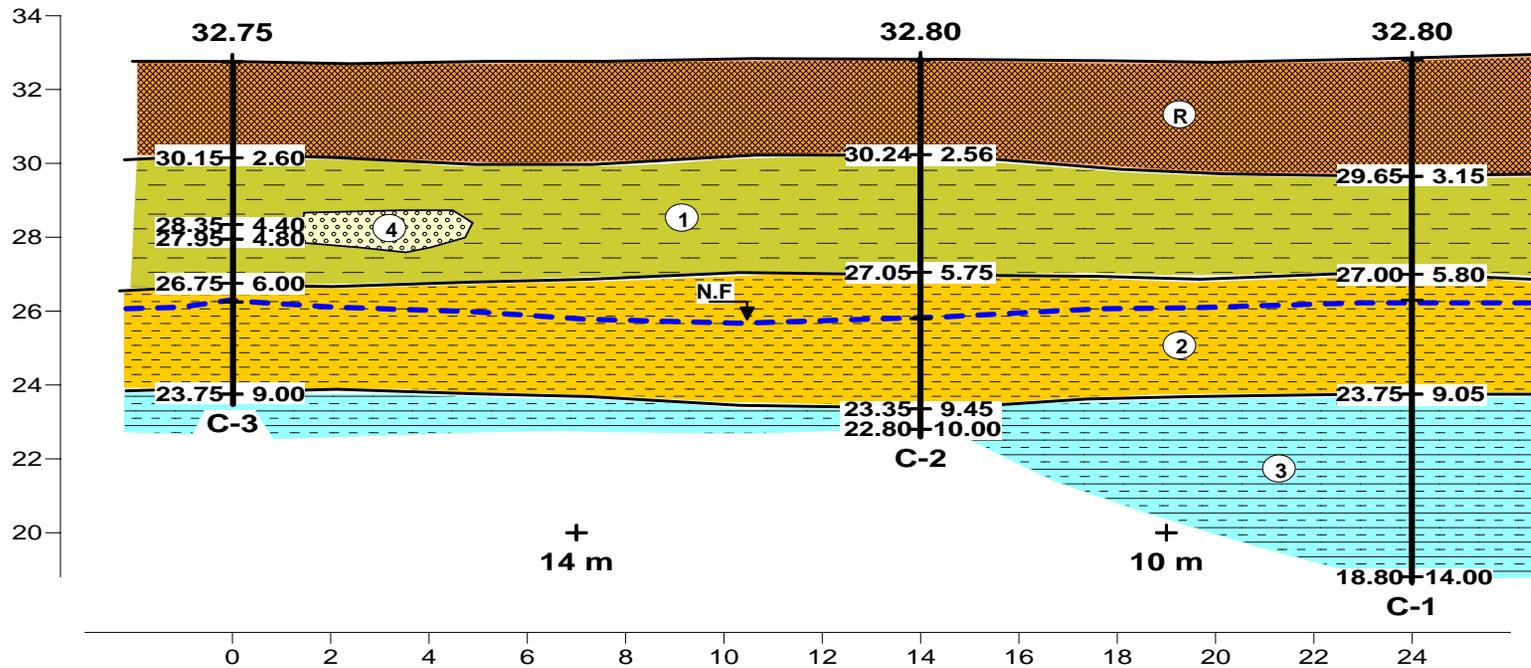


Figura 6. Perfil de suelo del Campo Experimental de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente.

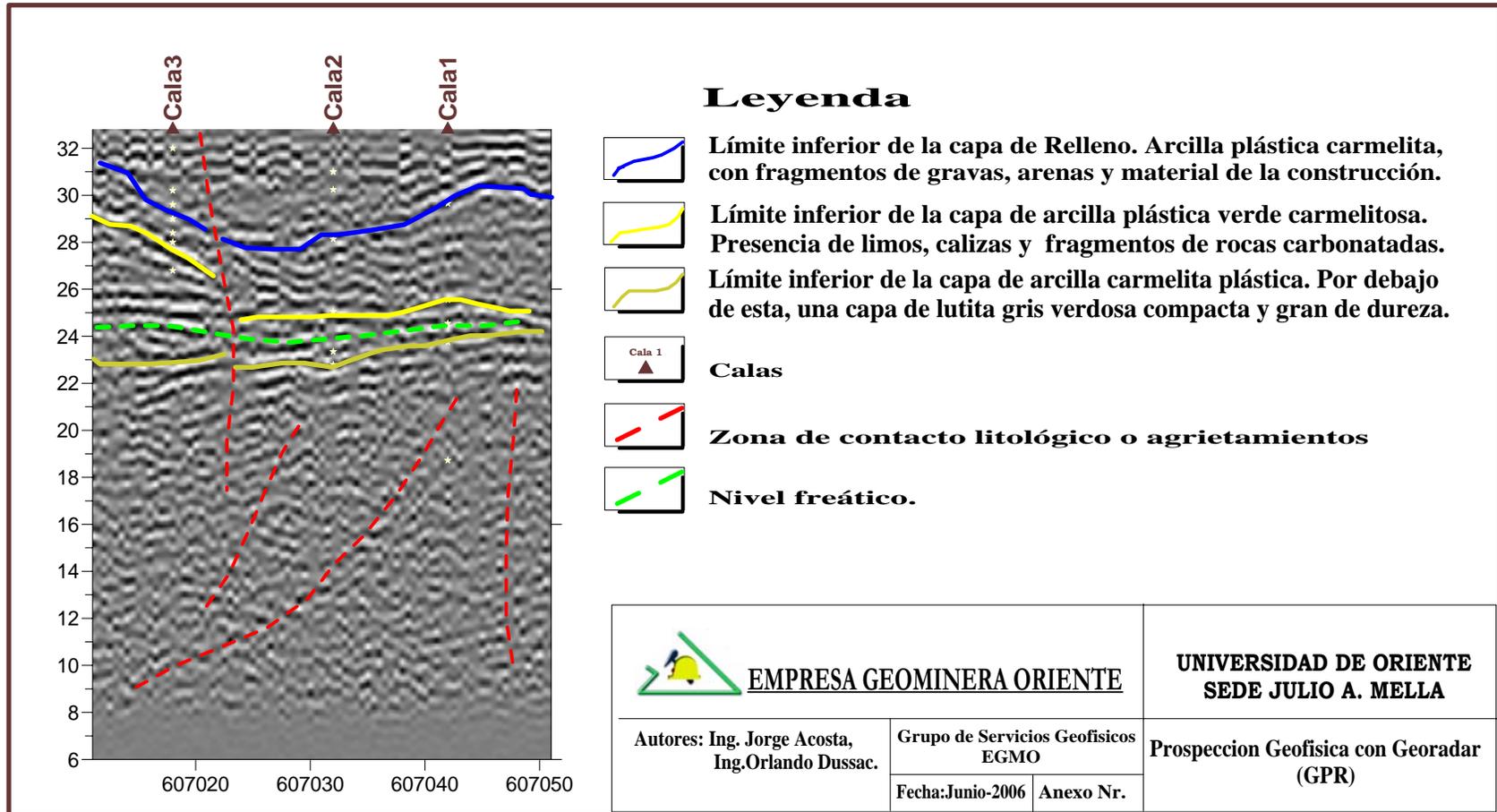


Figura 7. Perfil de suelo del Campo Experimental por el método geofísico a través del Georadar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carvalho, D., Albuquerque, P. Giacheti, H. (2000). "Campo experimental para estudos de Mecânica de Solos e Fundações em Campinas-SP". SEFE IV. Vol.3. São Paulo.

"Aplicación del Georadar". <http://www.poblet-pviana.com/INVESTIGACION/GEORADAR/GPR.htm> . Fecha de captura: diciembre de 2006

"Ensayos Geotécnicos in situ". Capturado en <http://www.igeotest.com/igeotest/default.asp>. Fecha de captura: diciembre de 2006

"La Ingeniería Geotécnica". http://www.gc-x.com/geo_eng.html. Fecha de captura: diciembre de 2006

Medina, A., Escobar E., Ortíz, G. Ramírez, M., Díaz, L., Móndeño, F., Montejo, N., Duques, H., Guevara, T y Acosta, J. (1999). "Reconocimiento geólogo-geofísico de la cuenca de Santiago de Cuba, con fines de Riesgo Sísmico". Empresa Geominera de Oriente, Santiago de Cuba. Cuba. 32pp.

NC 19. (1999). Geotecnia. "Determinación del peso específico de los suelos". Habana. Cuba.

NC 58. (2000). Geotecnia. "Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos". Habana. Cuba.

NC 59. (2000). Geotecnia. "Clasificación geotécnica de los suelos". Habana. Cuba.

NC 61. (2000). Geotecnia. "Identificación y descripción de suelos (Examen visual y ensayos manuales simples)". Habana. Cuba.

NC 67. (2000). Geotecnia. "Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio". Habana. Cuba.

NC 156. (2002). Geotecnia. "Determinación del peso específico natural". Habana. Cuba.

NC 203. (2002). Geotecnia. "Ensayo de penetración del muestreador dividido o cuchara" Habana. Cuba.

NC 54- 249. (1983). Suelos. "Determinación de la resistencia al esfuerzo cortante". Habana. Cuba.

NC 054-135. (1978). Suelos. "Ensayo de consolidación". Habana. Cuba.

NC 054-148. (1978). Suelos. "Ensayo de compactación Proctor". Habana. Cuba.

NC 54-150. (1983). Suelos. "Determinación del índice CBR en el laboratorio". Habana. Cuba.

Este documento se debe citar como:

Cabrera Castro, P. M. y Beira Fontaine, E. (2007). **Caracterización geotécnica del campo experimental de ingeniería civil de la Universidad de Oriente**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 11-2, pp. 57-66, ISSN: 1665-529X.