TITULO

OBTENCIÓN DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN PARA ESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE EN LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Jenny Ramírez Calderón[1], Eddie Tandazo Ortega[2], Xavier Vera Grunauer[3].

AUTORES

1 Ingeniera Civil ESPOL 2006 ; email: zramirez@espol.edu.ec
2 Ingeniero Civil ESPOL 2006 ; email: rtandazo@espol.edu.ec
3 Director de Tesis, Ingeniero Civil, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil,1996 Maestría en Geotécnica, Universidad Autónoma de México, 2002, Doctorado Universidad de California, Berkeley, actualmente .Profesor de ESPOL en 2004, email: xvg1@grupovera.com

RESUMEN

La presente tesis establece un aporte a los ingenieros consultores y diseñadores, proporcionándoles ecuaciones semiempíricas para la ***estimación de la velocidad de la onda de corte***, adaptadas para los suelos de la ciudad de Guayaquil. Para la realización y obtención del perfil de velocidad de onda de corte se llevó a cabo una campaña de medición de las ondas de superficie generadas por una fuente activa (martillos, bulldozers) de vibraciones aleatorias de alta y baja frecuencia respectivamente. La dispersión de ondas de superficie en 14 sitios previamente seleccionados fue registrada con la técnica SASW, Análisis Espectral de ondas de superficie, Kayen 2005. ***(Ref 2).***

Adicionalmente, en los mismos 14 sitios se ejecutaron ensayos "in situ", como: CPT (ensayo de cono estático), DPT (ensayo de cono dinámico), VST (ensayo de veleta de campo), SPT (ensayo de penetración estándar), y conjuntamente se extrajeron muestras de suelo mediante sondeos de exploración directa.

De esta manera, se desarrollaron ecuaciones de correlación entre la velocidad de onda de corte V_s con S_u y N_{60} dependiendo sean suelos finos o granulares; análogamente correlaciones entre V_s y la resistencia de punta de cono q_c para las zonas propuestas.

ABSTRACT

This paper gives a contribution to civil engineers and gives them semiempirical ecuations in order to estimate the shear wave velocity adapts to soils of Guayaquil city. To obtain the shear wave velocity profile we carried out a medition campaign of surface waves generated by a source point (hammers, bulldozer) which generate vibrations of high and low frecuency. In the 14 sites previously selected the surface waves dispersions was monitored with the SASW method (Spectral Analysis of Surface Waves) Kayen 2005. (***Ref 2***).

In addition, in the same 14 sities we performanced in situ test like as: CPT (Cone penetration test), DPT (Dynamic cone penetration test), VST (Vane test), SPT (Standard Penetration Test) and we toke soil specimens with direct exploration test.

Furthermore, we developed ecuations of correlation between shear wave velocity VS between Su for clays and N60 for sand deposits: in the same wave we obtained correlations of VS between CPT tip resistance for the zones

INTRODUCCION

Por décadas, en la ciudad de Guayaquil, se han usado varios tipos de ecuaciones y gráficas propuestas por autores cuyos estudios estuvieron basados en la zonificación o comportamiento de los suelos de otros países, bajo distintas condiciones tanto climáticas, orígenes de depositación de los suelos, erosión, consolidación y demás, para estimar parámetros geomecánicos y dinámicos. La falta de adaptación de dichas ecuaciones hace preciso un estudio del suelo de Guayaquil para dotar a los ingenieros investigadores y consultores de nuevas ecuaciones, pero ahora con menor incertidumbre, aplicadas a nuestros suelos en particular.

Por tal motivo el presente trabajo desarrolla la temática: “Obtención de ecuaciones de correlación para estimar las velocidades de onda de corte en los suelos de la ciudad de Guayaquil”, con el objeto de poder estimar la velocidad de onda de corte con parámetros básicos obtenidos en los ensayos in situ practicados en la ciudad.

CONTENIDO

1. ESTUDIOS PRELIMINARES

Inicialmente como parte del proceso de investigación se consultaron e interpretaron los mapas geológicos, geomorfológicos y litológicos de la ciudad de Guayaquil, generados por el Dr. Stalin Benitez (***Ref. 3.***), con el objeto de conocer la geología de la ciudad, la génesis de los suelos y el comportamiento de los mismos. Seguidamente se desarrolló un estudio geotécnico preliminar (***Ref. 5.***), el cual consistió en una recopilación de los sondeos existentes de la ciudad de Guayaquil, para luego basados en un análisis de las diferentes zonas geotécnicas de la ciudad, emprender una campaña de exploración para determinar propiedades geotécnicas importantes en 14 sitios distintos.

1.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL

Del estudio geológico final, presentado a la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil, en la primera fase del proyecto de microzonificación sísmica de la ciudad, se determinaron 3 macrodominios geomorfológicos importantes:

1. La Colinas de la Cordillera Chongón Colonche
2. El complejo Deltáico Estuarino de la ría Guayas
3. La Llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo

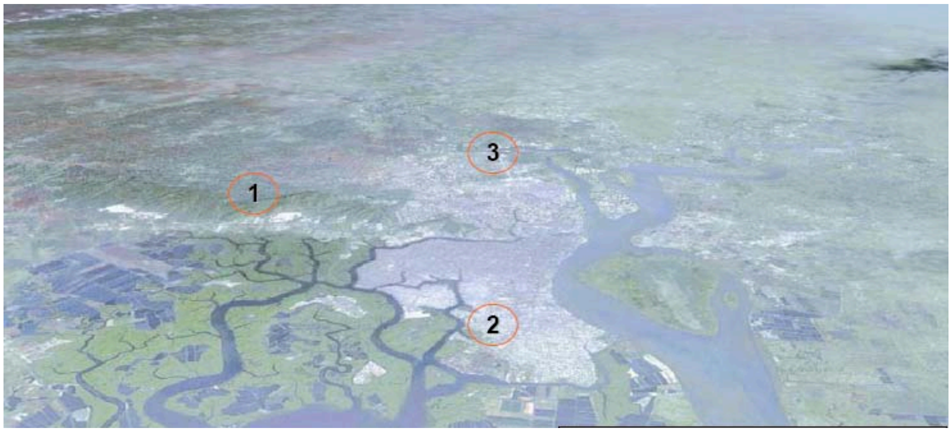

Figura 1. Imagen satelital que muestra los 3 macrodominios geomorfológicos de la ciudad de Guayaquil.

La **Llanura aluvial** está conformada por las cuencas hidrográficas de los Ríos Daule y Babahoyo, es decir comprende el Noroeste de Guayaquil, hasta la altura del cerro Santa Ana y cerro del Carmen en donde el río, ya presenta características estuarinas: aguas salobres e influencia de las mareas, en sentido meridional.

En la zona **Deltáico estuarina** principalmente existen una serie de canales y esteros constituidos por varias especies de origen salobre, y el bosque de manglar; el sistema de esteros viajan con dirección de Oeste a Este y se conectan con la ría Guayas, sin embargo muchos de estos han sido rellenados debido al incremento poblacional acelerado de la ciudad.

1.2 ESTUDIO GEOTÉCNICO PREVIO

En la fase I del estudio de investigación para la microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil se logró recolectar y seleccionar registros de perforaciones, con sus resultados de los ensayos de laboratorio, de 590 sondeos a profundidades entre 20 a 40 metros, como máximo, obteniendo como resultado que los suelos de Guayaquil se encuentran en su mayoría conformados por arcillas altamente compresibles CH.

En definitiva, con toda la información recopilada generada y georeferenciada en un Sistema de Información Geográfica SIG, se obtuvo el mapa de zonificación geotécnica ***(Ref 5.)***, seleccionando de esta forma los 14 sitios d estudio, fig 2.

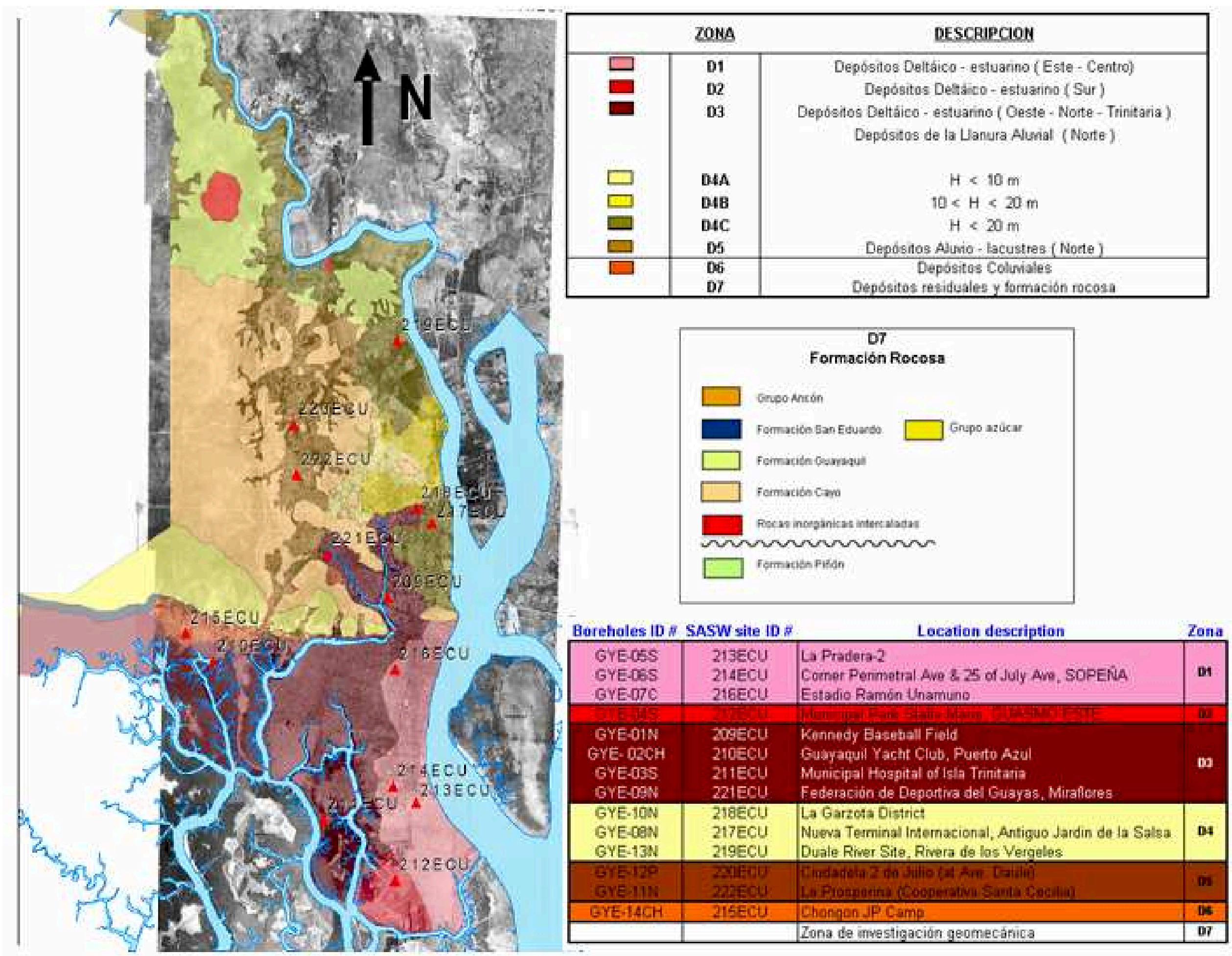

Fig 2. Identificación, descripción, coordenadas y mapa con la ubicación de los 14 sitos de exploración complementaria de investigación en la ciudad de Guayaquil.

2. ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

En cada uno de los 14 sitios se llevo a cabo una campaña de exploración en donde se practicaron ensayos in situ como SPT (Ensayo de penetración estándar ASTM D1586 D6066), CPT (Ensayo de cono estático eléctrico ASTM D3441), DCPT (Ensayo cono dinámico), VST (Ensayo de veleta de campo ASTM 2573) y SASW (Ensayo de Análisis Espectral de Ondas Superficiales). Juntamente se obtuvieron muestras de suelo con tubo shelby y con el penetrómetro estándar para practicar ensayos de laboratorio como clasificación de suelos, límites de atterberg, resistencia al esfuerzo cortante, ensayo de compresión simple sin confinar, obtención del ángulo de fricción interna para las arenas (Santamarina 2001) y medición de la superficie específica de las arcillas con el método de la prueba azul de metileno (Santamarina 2004) (***Ref 4.***).

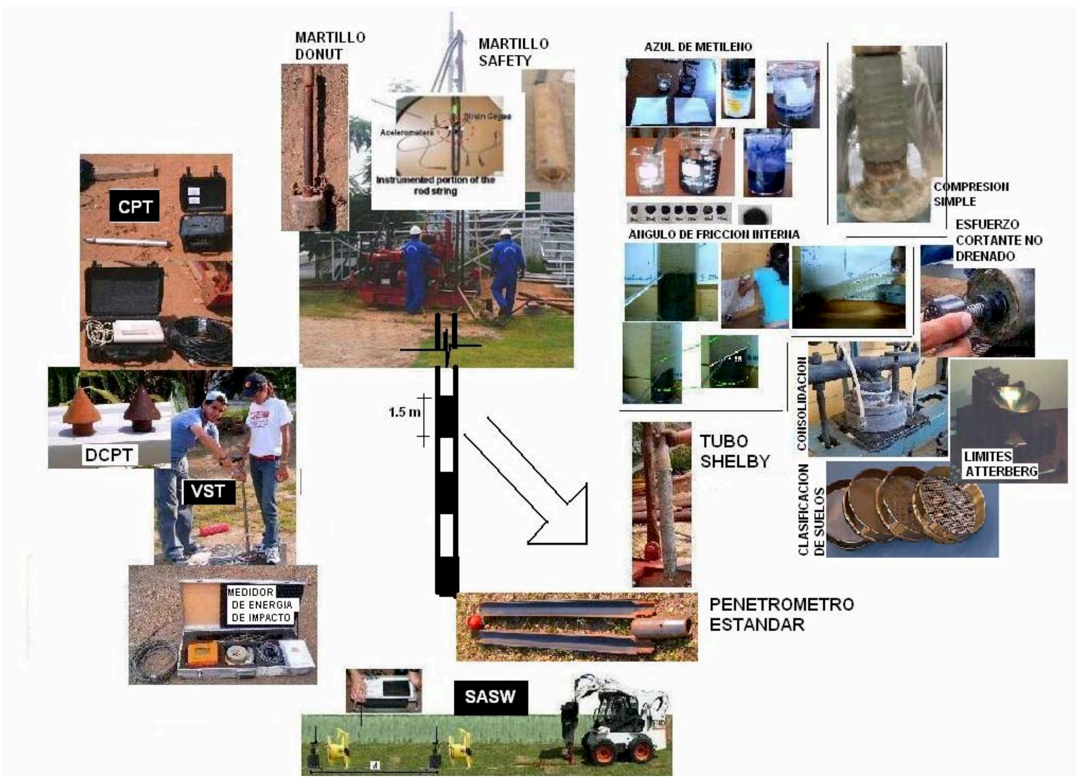

Fig 3. Esquema del procedimiento de muestreo y ensayos in situ realizados en los 14 sitios seleccionados, ensayos de laboratorio realizados y equipos utilizados

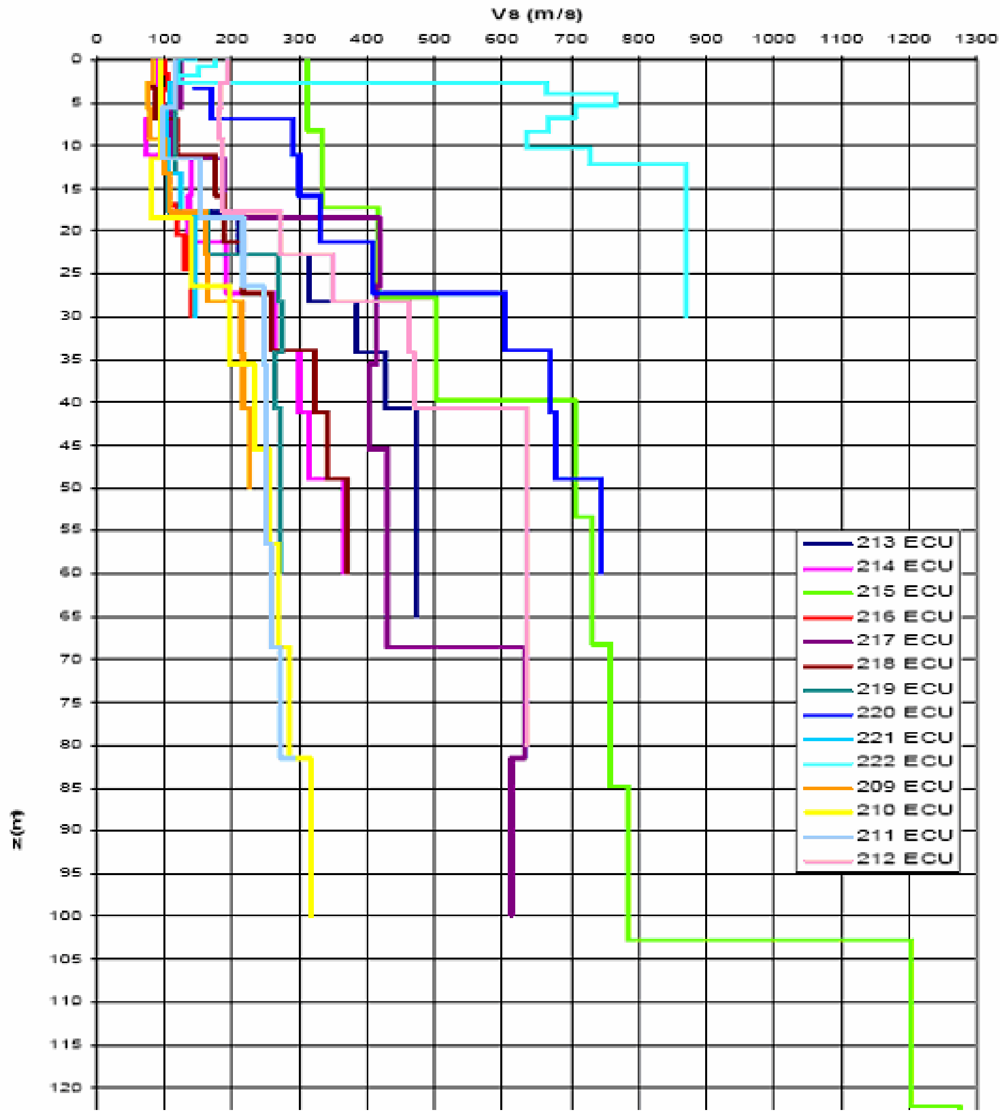

Fig. 4 Perfil de velocidades en los 14 sitios explorados.

3. ECUACIONES DE CORRELACION

Una correlación lineal basada entre la resistencia de punta del cono q_c y la velocidad de onda cortante, se plantea como:

$$\mathbf{V_S = N_{kc} \cdot q_c} \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

En la tabla I se muestran los valores de N_{kc} para la ecuación 1 para cada zona geotécnica.

Tabla I Rango de valores de N_{KC} para la ecuación 1 según la zona geotécnica

ZONA	Rango Factor N_{KC}
D1: DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	**1.30 – 1.50**
D2: DELTAICO ESTUARINO (SUR)	**2.75 – 2.95**
D3: DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE-TRINITARIA)	**2.00 – 3.00**
D4: LLANURA ALUVIAL (NORTE)	**1.50 – 1.70**

De la misma forma se obtuvieron para los mismos sitios y similares profundidades de medición, los valores de las velocidades de las ondas de corte, medidas mediante el equipo SASW y los valores de NSPT, corregidos por energía.(***Ref 1.***)

La forma de la ecuación de correlación que se ajusta a los valores observados es del tipo

$$\mathbf{V_s = a\,(N_1)_{60}^{\,b}} \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

Tabla II. Rango de valores de los coeficiente a y b utilizados en la ecuación 2

Tipo de suelo	% de finos	Prof. (m)	a	b
Arcilla/limo	> 50	< 30	130	0.145
Arena/Arena limosa/Arena arcillosa	<40	< 20	105	0.23
		20 - 30	100	0.3
		>30	120	0.3
	20 - 40	<20	-	-
		20 - 30	93	0.28
		> 30	108	0.32
	10 - 20	<20	-	-
		20 - 30	60	0.4
		> 30	62	0.42
	< 10	< 20	105	0.22
		20 - 30	93	0.26
		> 30	100	0.25

nota: Usar N60 para las arcillas y limos y (N1)60 para los suelos granulares

En la figura 5, se presenta a manera de ejemplo gráficamente la capacidad predictiva de las ecuaciones propuestas para los suelos de la ciudad de Guayaquil.

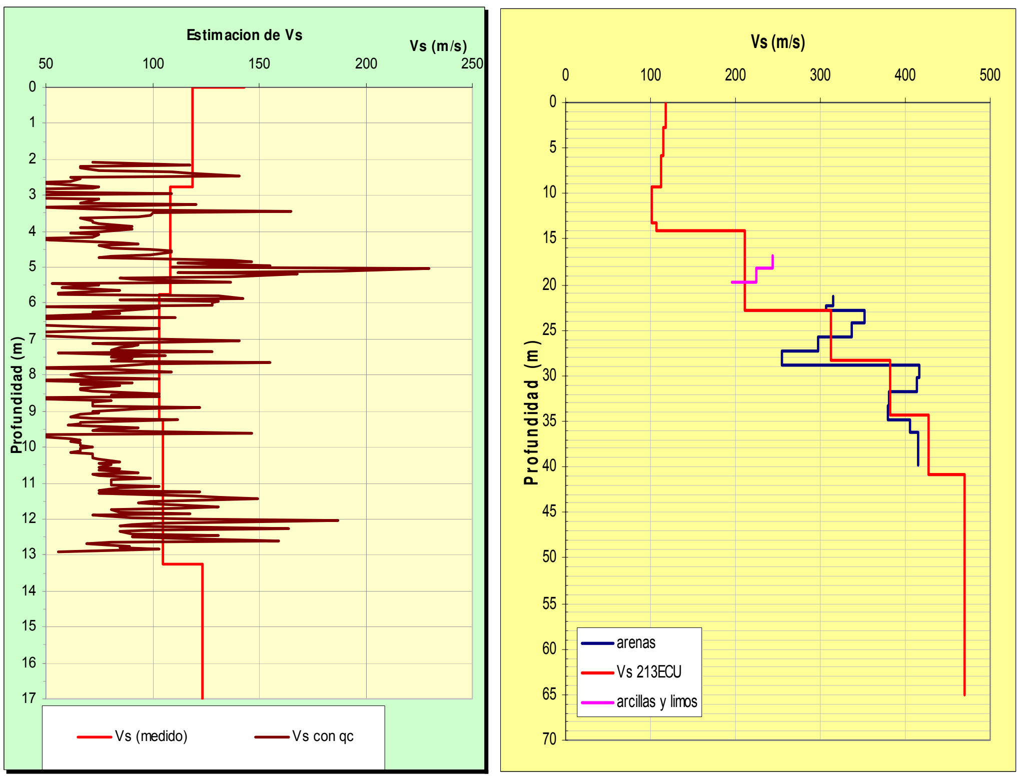

Fig 5. Gráficas de los valores de Vs medidos en campo, y los valores estimados de la velocidad de onda de corte por las ecuaciones planteadas para el sitio GYE-05S. (La Pradera II).

CONCLUSIONES

- Durante la etapa de ejecución del proyecto de investigación, estudios iniciales y preliminares, de la microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil, se conformó inicialmente el estudio geológico final de la ciudad, generando los planos de la geología global, litológicos y geomorfológicos de la misma. En la segunda etapa, se desarrollo el estudio Geotécnico preliminar, el cual consistió en una recopilación y evaluación geotécnica de los sondeos existentes en la ciudad, seleccionando 590 perforaciones, para dar lugar a la campaña de exploración de 14 sitios, donde se realizó el análisis espectral de ondas de superficie SASW, para finalmente obtener los perfiles de velocidad de onda de corte establecidos para cada zona geotécnica de la ciudad de Guayaquil.

- Finalmente, podemos caracterizar dinámicamente el subsuelo de Guayaquil por medio de ecuaciones semiempíricas zonificadas y podemos estimar la variabilidad espacial de las propiedades dinámicas (tales como el Módulo Rigidez Máxima $G_{max} = \rho V_s^2$) del suelo de Guayaquil por medio de ecuaciones calibradas a nuestro medio.

REFERENCIAS

1. Pile Dynamic, Inc.,2000, Pile Driving Analyzer. User's Manual.

2. R. Kayen, Shear Wave Velocity Profiles of the Subsoil of Guayaquil City, (US Geological Survey, internal report. July.2005)

3. S. Benitez, Estudio Geológico Fase I del Proyecto de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Guayaquil, 2005.

4. Santamarina, J.C y Narsilio, G.Clasificación de suelos: Fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones, (Georgia Institute of Technology, Atlanta 2004)

5. X. Vera G, S. Benitez, V. Alvarez, W.Mera, Estudio Geotécnico, Fase I, Investigación y estudio del comportamiento dinámico del suelo y Microzonificación Sísmica de la ciudad de Guayaquil 2005