

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **RELACIÓN ENTRE EL PERÍODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DEL SUELO Y EL ESPESOR DE SEDIMENTOS EN EL ESTE DE LA CIUDAD DE CARACAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE NAKAMURA A DATOS OBTENIDOS EN UNA MALLA DE MEDICIONES DE 250 METROS.**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre Universidad  
Central de Venezuela para optar al título de  
Ingeniero Geofísico.  
por el Br. Moros Troccoli, Lui Rafael

Caracas, Noviembre de 2004

## TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

### **RELACIÓN ENTRE EL PERÍODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DEL SUELO Y EL ESPESOR DE SEDIMENTOS EN EL ESTE DE LA CIUDAD DE CARACAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE NAKAMURA A DATOS OBTENIDOS EN UNA MALLA DE MEDICIONES DE 250 METROS.**

Trabajo Especial de Grado

**Tutor académico :**  
Dr. Michael Schmitz

Presentado ante la Ilustre Universidad  
Central de Venezuela para optar al título de

**Tutor industrial :**  
Ing. Víctor Rocabado

Ingeniero Geofísico.  
por el Br. Moros Troccoli, Lui Rafael

Caracas, Noviembre de 2004

A mi familia,  
por su ayuda, afecto y confianza.  
a quienes le debo todo en mi vida.

A mis amigos,  
a quienes aprecio por poder compartir  
mis logros personales y profesionales.

## **Agradecimientos**

Agradezco primero a DIOS por darme salud para poder lograr esta meta en mi vida.

A la Universidad Central de Venezuela por brindarme la oportunidad de obtener una excelente formación profesional.

A FUNVISIS por ofrecerme este proyecto y colaborar conmigo en todo lo que necesite para levarlo acabo.

A mis tutores Michael Schmitz y Víctor Rocabdo por su ayuda, colaboración y dedicación mientras trabajé con ellos.

A todos los amigos y familiares que colaboraron en la elaboración de este proyecto.

**Moros T. Luis R.**

**RELACIÓN ENTRE EL PERÍODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DEL SUELO Y EL ESPESOR DE SEDIMENTOS EN LA CIUDAD DE CARACAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE NAKAMURA A DATOS OBTENIDOS EN UNA MALLA DE MEDICIONES DE 250 METROS.**

**Tutor Académico: Dr. Michael Schmitz. Tutor Industrial: Ing. Víctor Rocabado. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geofísica. 2004. 78 pág.**

**Palabras claves:** Ruido Ambiental, Período fundamental, relación H/V.

**RESUMEN**

Este trabajo se destinó a determinar el período fundamental del suelo y su relación con el espesor de sedimentos del este de la ciudad de Caracas, aplicando el Método de Nakamura o relación H/V a 349 mediciones realizadas en una malla de 250 metros. Para el procesamiento de los datos adquiridos fue utilizado el programa Sesame, el cual representó una herramienta que optimizó esta fase del trabajo por la fácil interacción con el operador y la capacidad de promediar los cálculos a múltiples ventanas en un solo paso con un tiempo de computo muy corto.

Con los resultados obtenidos al encontrar el espectro H/V se elaboró un mapa de distribución de períodos de la ciudad logrando señalar zonas de mayor riesgo sísmico, como Altamira, Los Palos Grandes y santa Eduvigis, identificadas por la ubicación de los períodos de vibración más altos, entre 1,5 y 2,0 segundos, que coinciden con la cuenca más profunda del este de la ciudad, e incluso del valle entero.

Otro objetivo fue densificación de la malla de 500 metros realizada por Rocabado en el año 2000, observando que los valores obtenidos de 0,14 a 2,0 segundos coincidían con este trabajo.

Se encontró una clara relación proporcional entre el período y el espesor de sedimentos, observando que los rangos mas altos de estos (1,5 a 2,0 s.) se hallan en la parte más profunda del valle y los mas bajos (0,14 a 0,33 s.) hacia los límites de este.

La relación entre el período y la profundidad del valle al este de Caracas, se definió principalmente para dos rangos de profundidad, en virtud que, el mayor cambio en los valores de período se observa entre 0 y 200 metros de espesor aumentando 0,67 segundos por 100 metros de profundidad aproximadamente, mientras que en las zonas de alto espesor (mayores a 200m), el cambio de estos valores no es tan importante, debido posiblemente, al aumentos en la compactación de los sedimentos a esta profundidad, aumentando la velocidad del medio y disminuyendo el contraste de impedancia entre la columna sedimentaria y el medio rocoso en la base de esta.

No fue encontrada una distribución uniforme de las amplitudes, concluyendo que el estudio de Ruido Ambiental no es efectivo hallar valores certeros de amplitudes pero si lo es para la obtención de períodos fundamentales.

Al realizar este trabajo se comprobó la rapidez y facilidad de la aplicación del método de Nakamura en zonas como el valle de Caracas representando una técnica económica para la caracterización de suelos, aportando información detallada del área para proyectos de microzonificación y prevención sísmica.

## ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	10
INTRODUCCIÓN .....	12
Objetivo General .....	12
Objetivos Específicos.....	13
Justificación.- .....	13
Ubicación del área de estudio .....	14
MARCO TEÓRICO .....	17
Antecedentes .....	17
Sedimentos del Valle de Caracas .....	23
Ruido Ambiental .....	24
Método de Nakamura o Relación H/V (Efecto de sitio) .....	25
METODOLOGÍA .....	29
Metodología de Adquisición .....	29
Metodología de Procesamiento .....	34
Primera etapa: Conversión de datos.....	34
Segunda Etapa: Obtención de períodos.....	36

RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS .....	65
APÉNDICES.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa: Mapa del Valle de la ciudad de Caracas con ubicación del proyecto de adquisición de estaciones de ruido ambiental.....	13
Figura 2.1: Relación Períodos fundamentales – Espesor – Intensidad de daños (FUNVISI, 1978).....	18
Figura 2.2: Resultados de los períodos fundamentales en Los Palos Grandes (Abeki, 1995).....	19
Figura 2.3: Resultados de Períodos y Amplitudes en las mediciones de Los Palos Grandes y San Bernandino (Abeki, 1998).....	20
Figura 2.4: Distribución de períodos obtenidos por ROCABADO, 2000. en el Este del Valle de Caracas.....	22
Figura 2.5: Relación entre Período y Profundidad para el perfil I, ROCABADO (2001) .....	23
Figura 2.6: Identificación de las componentes del movimiento planteada para la explicación del método de Nakamura.....	27
Figura 3.1: Sensor de tres componentes Guralp CMG-40T .....	29
Figura 3.2: Sismógrafo Nanometrics - Orion .....	30
Figura 3.3: Mapa, planificación de la malla de las estaciones para las mediciones de ruido ambiental .....	32
Figura 3.4: Mapa, identificación de estaciones de medición de ruido ambiental .....	33
Figura 3.5: Secuencia de pasos necesarios para convertir los datos grabados con los equipos ORION a formato ASCII. Tomado de Rocabado, (2003) .....	35
Figura 3.6 Cuadro de diálogo configuración de los parámetros de procesamiento en el programa SESAME .....	36
Figura 3.7: Selección de ventanas en el registro de las señales.....	37
Figura 3.8: Relación espectral de las componentes horizontal y vertical ( H/V).....	38

Figura 4.1: Mapa de valores de períodos obtenidos en las mediciones de la malla de 250 m al Este de Caracas.....	42
Figura 4.2: Relación entre los valores de períodos obtenidos en el Este de la ciudad de Caracas con el espesor de sedimento asociado a cada estación .....	43
Figura 4.3: Análisis de la relación de los períodos del este de Caracas, Según el rango de profundidad .....	45
Figura 4.4: Integración de los datos existentes con los resultados .....	47
Figura 4.5: Ubicación geográfica de los perfiles de períodos y espesores .....	49
Figura 4.6: Perfil 1, de dirección norte sur, al este de la zona de estudio .....	50
Figura 4.7: Perfil 2, de dirección norte - sur, al oeste de la zona de estudio .....	51
Figura 4.8: Perfil 2, de dirección norte - sur, al este de la zona de estudio .....	51
Figura 4.9: Perfil 2, de dirección norte - sur, al este de la zona de estudio .....	52
Figura 4.10: Perfil 5, dirección este – oeste .....	53
Figura 4.11: Mapa de distribución de valores de Amplitud de la relación H/V en el este de Caracas .....	55
Figura 4.12: Mapa de velocidad de Onda S en el este del valle de Caracas.....	57
Figura 4.13: Comparación del procesamiento de una estación con distintos número de ventanas. ....	58
Apéndice 2: Mapa de períodos de la ciudad de Caracas (Rocabado,2001).....	76
Apéndice 3: Mapa de espesores de sedimentos del Valle de Caracas .....	77
Apéndice 4: Relación período profundidad (Rocabado,2000) .....	78
Apéndice 6: Ejemplos de la relación espectral H/V de las estaciones obtenidas con el procesamiento en el programa Sesame .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Apéndice1: Tabla de resultados e información de las mediciones de ruido Ambiental .....	68
Apéndice 5: Tablas con datos origen de los perfiles período .....	79

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Caracas posee gran cantidad de construcciones verticales de considerable tamaño, se encuentra superpoblada y con permanente actividad comercial, esto la hace realmente vulnerable a un evento de naturaleza sísmica.

Con la experiencia dejada por el terremoto de 1967 y la realización de trabajos como Funvisis (1978) y Seed et al. (1970), los cuales resaltan el hecho que el mayor daño a construcciones fue localizado en áreas específicas relacionadas con el espesor presente de sedimentos, siendo una de éstas “Los Palos Grandes” donde colapsaron cuatro edificios y quedaron afectadas doce estructuras se han desarrollado varias investigaciones (Abeki et al., 1995; Duval et al., 1998; Rocabado et al., 2000), dirigidas a la determinación de los períodos fundamentales del suelo en la ciudad de Caracas, ya que el comportamiento de éstos puede ayudar a identificar los efectos de sitio y las funciones de transferencia de la capa sedimentaria, ubicando zonas donde un terremoto pueda causar mas daños.

Este trabajo se destina a determinar el período fundamental del suelo y su relación con el espesor de sedimentos del Este de la ciudad de Caracas, aplicando el Método de Nakamura o relación H/V a mediciones realizadas en una malla de 250 metros, con el fin de obtener un mapa de distribución de períodos de la ciudad y lograr señalar zonas de mayor riesgo sísmico, identificando las aceleraciones a las cuales están sometidas las edificaciones en presencia de un evento sísmico, contribuyendo con los estudios de micro zonificación existentes.

### Objetivo General

- Obtener una relación período / espesor de sedimento de alta resolución en el Valle de Caracas

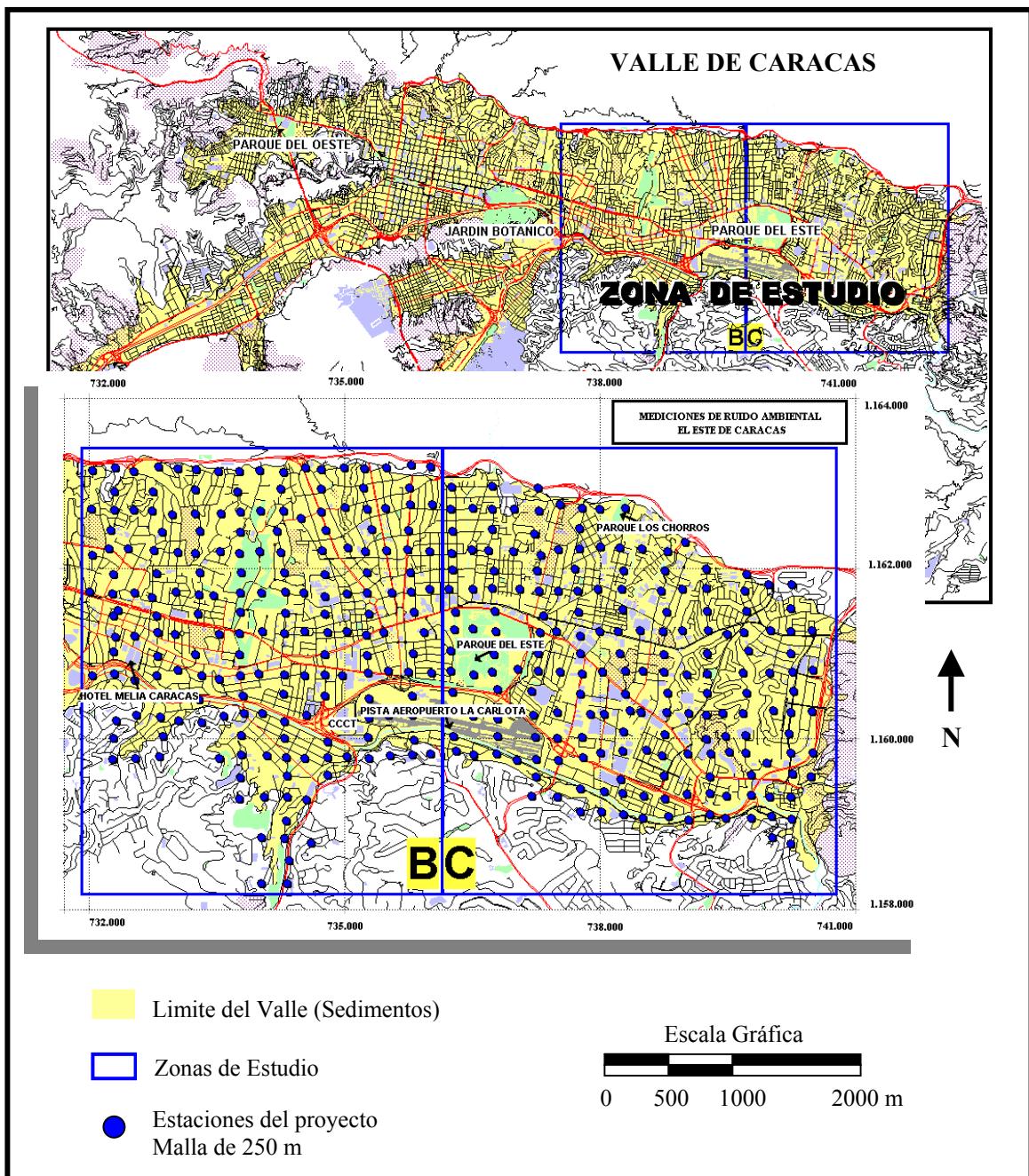
## **Objetivos Específicos**

- Adquirir datos de ruido ambiental en una malla de 250 m en complemento de los datos existentes en la zona (malla 500 m, Rocabado 2000).
- Obtener valores de períodos fundamentales de vibración del suelo y las amplitudes de la relación H/V.
- Definir una relación período / profundidad basado en los modelos de espesor de sedimentos recientes (Kantak, 2001; Sánchez, 2001).
- Estimar las velocidades de propagación de las ondas S en los sedimentos.
- Realizar la integración de los datos dentro de un Sistema de Información Geográfico (SIG).
- Analizar la mejora en la respuesta debido a la densificación de la malla de medición (Rocabado, 2000).

## **Justificación.-**

Existen datos previos en una malla de 500 m. con su respectiva interpretación (Enomoto et al., 2001; Rocabado et al., 2000). El presente trabajo pretende detallar más y correlacionar los trabajos existentes con la nueva información geofísica en la zona para obtener datos que sirvan para la prevención de desastres en la ciudad de Caracas, comparando los resultados con los obtenidos en el proyecto de elaboración de un Plan Master ante Desastres Naturales en Caracas (Cooperación Japonesa JICA), actualmente en curso, logrando mayor información para la caracterización del suelo del Valle de Caracas.

## Ubicación del área de estudio



**Figura 1.1:** Mapa del Valle de la ciudad de Caracas con ubicación del proyecto de adquisición de estaciones de ruido ambiental.

La zona establecida para este trabajo se encuentra al Este de la ciudad de Caracas abarcando los municipios Chacao, Sucre y parte de Baruta, en un área aproximada de 45 Km<sup>2</sup>. comprendida entre los 1.580.000 y 1.164.00 m. latitud Norte y 732.000 a 741.000 m. longitud Este en coordenadas UTM referidos al Huso19 PSAD56, La Canoa, como se muestra en el Figura 1.1 en la página anterior.

Los datos suministrados para la realización de este trabajo fueron obtenidos en la fase de adquisición, consistente en realizar mediciones con un sensor de tres componentes y un sismógrafo Orion portátil en cada punto o estación ubicada en el mapa de la zona de estudio en una malla de 250 metros, estas estaciones consistieron de grabaciones de ruido ambiental de 5 a 10 minutos de duración, efectuando 349 mediciones en total, para ser procesadas y obtener el valor de período fundamental de vibración del suelo en cada una llevando estos valores sobre el mapa de espesores de sedimentos mas reciente (Kantak, 2001; Sánchez, 2001) y ver la relación existente entre estos.

## **CAPITULO II**

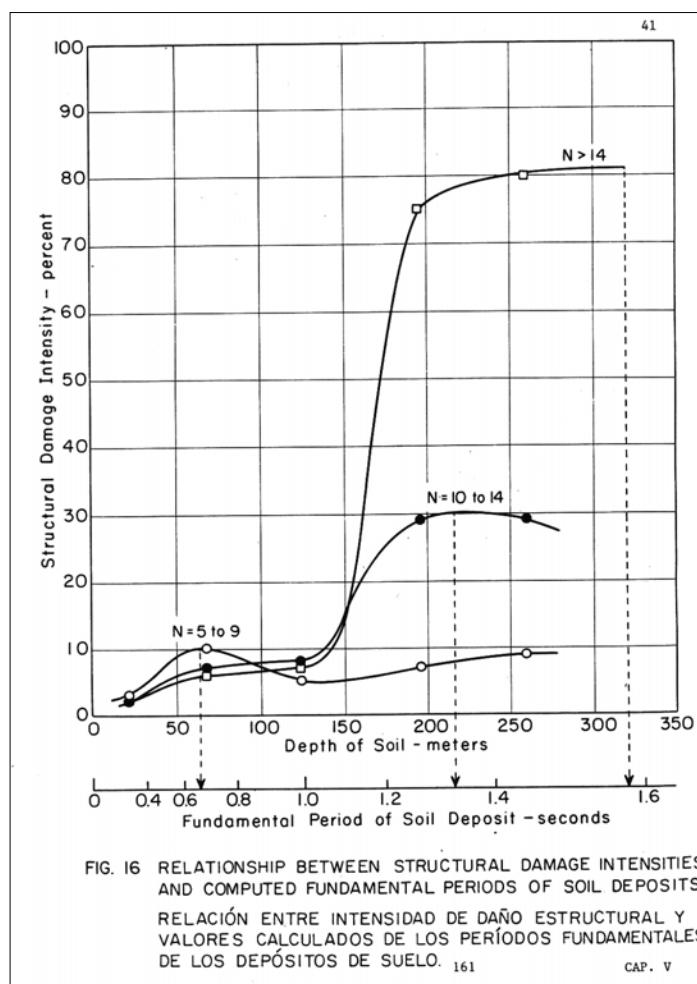
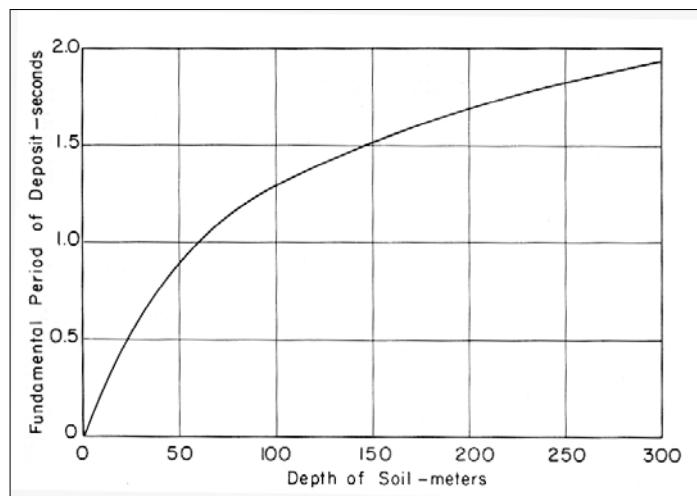
### **MARCO TEÓRICO**

## **MARCO TEÓRICO**

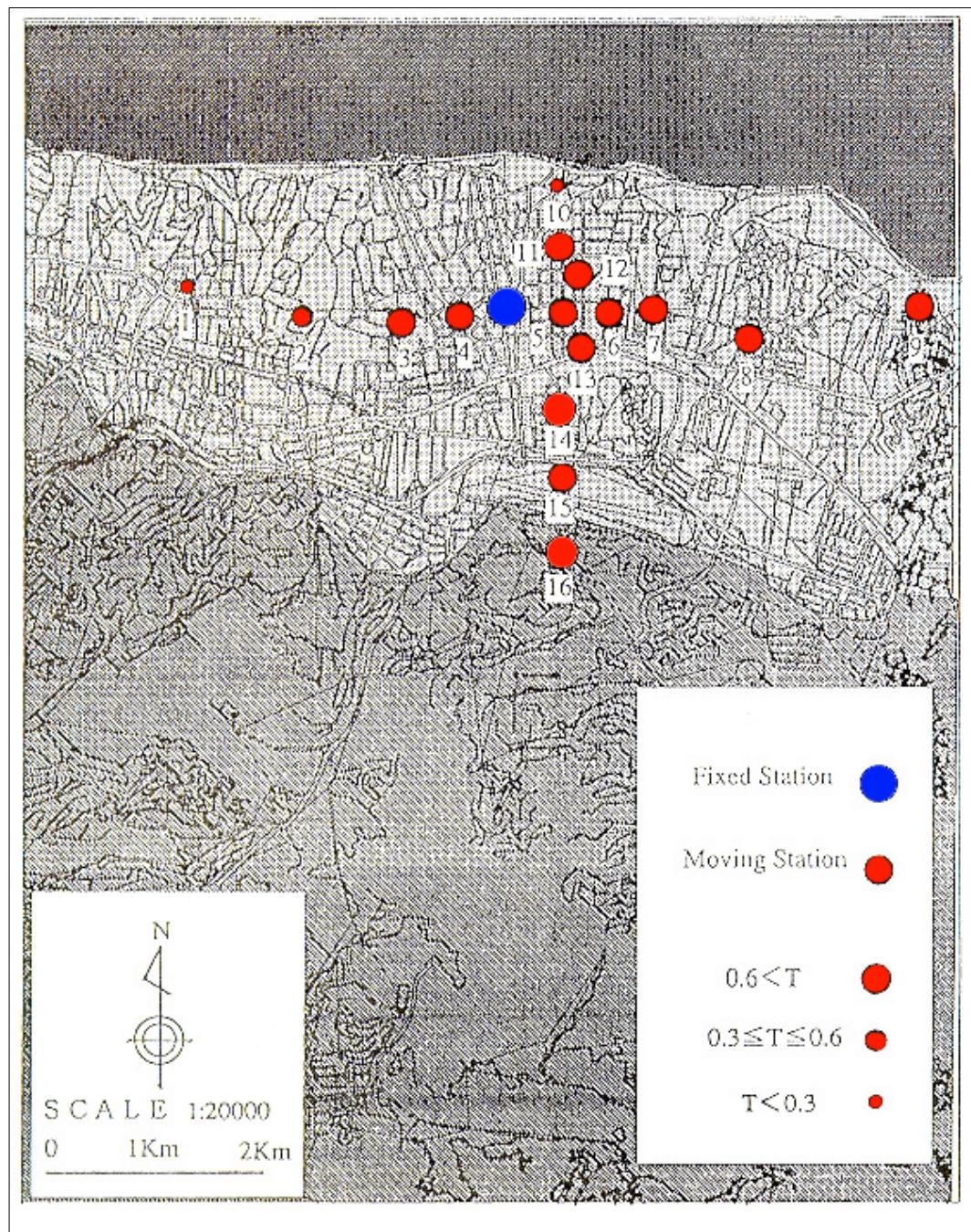
### **Antecedentes**

A raíz del terremoto de Caracas ocurrido el 29 de julio del año 1967, se han presentado estudios sobre el comportamiento de un evento sísmico en el Valle de Caracas, distribución de daños y zonas más afectadas, relacionando éstas con las condiciones y espesores de los sedimentos de la cuenca (FUNVISIS, 1978; Seed, 1970), los cuales relacionan la intensidad del evento con las características geológicas y sedimentarias del valle de Caracas (Figura 2.1). También se han venido efectuando estudios de Ruido Ambiental en esta ciudad por Abeki et al. (1995), quienes hicieron mediciones de ruido ambiental en el área de Los Palos Grandes, para relacionar el período fundamental del suelo y el espesor de sedimentos presente con los daños ocasionados por el terremoto de 1967, obteniendo como resultados una fuerte relación entre el espesor de los estratos sedimentarios con los daños ocurridos y el evento, observando los mayores rangos de períodos del proyecto de 0.8 a 1.0 s. en el área de los Palos Grandes donde se encuentra el mayor espesor de sedimentos del valle, los menores rangos de períodos hacia el sur y zonas con menor espesor de columna sedimentaria (Figura 2.2).

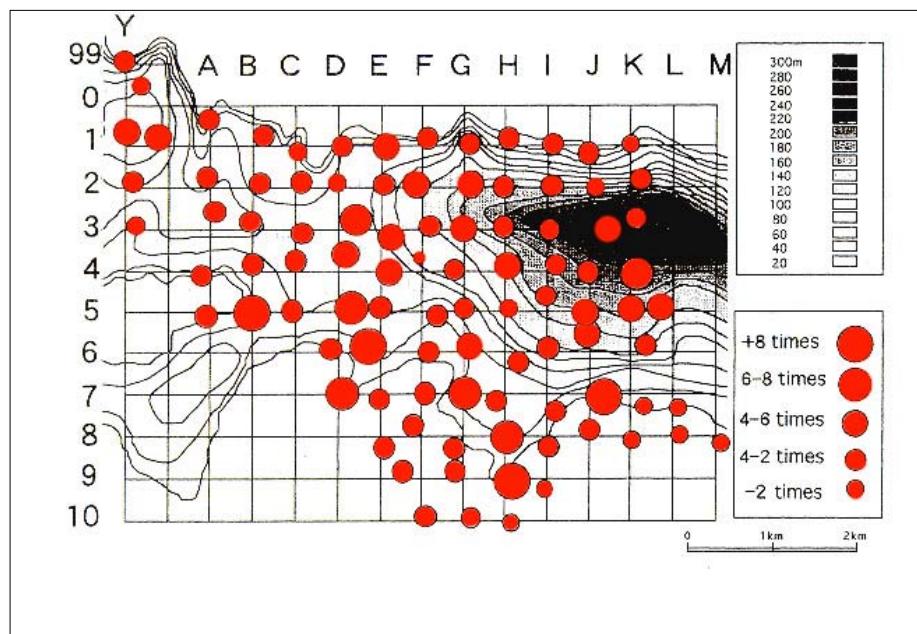
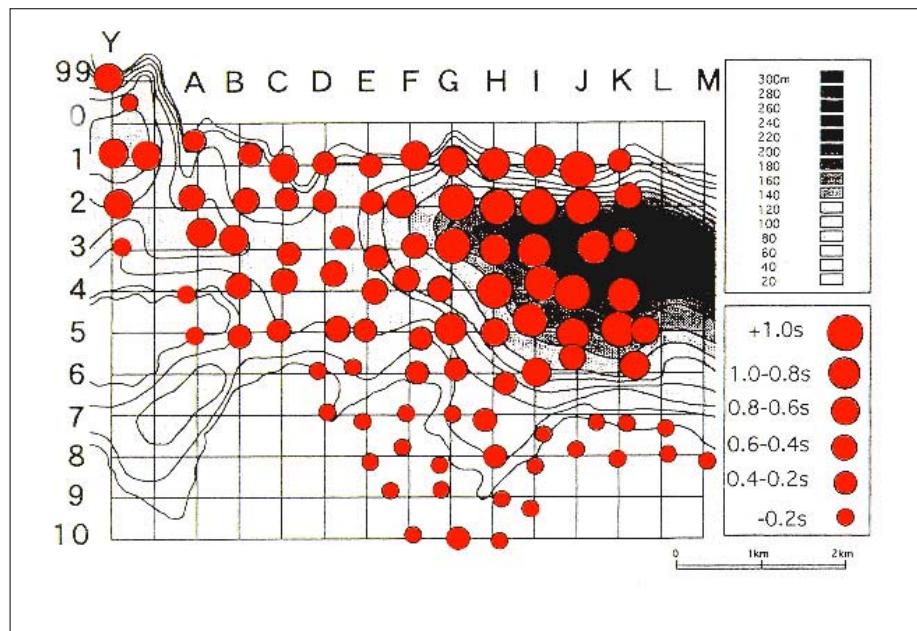
Abeki et al. (1998), no encontraron una relación muy clara o definida entre los valores de amplificación con los estratos sedimentarios (Figura 2.3), ya que los valores mas altos de éstos fueron hacia el sur de la cuenca con los valores de período mas bajos, entre 0,1 y 0,2 s., concluyendo que el uso del espectro H/V en mediciones de microtremores en Caracas era estable para conseguir valores de períodos fundamentales del suelo.



**Figura 2.1:** *Arriba:* Relación Período - Profundidad basada 30 mediciones en el área de Altamira (FUNVISIS, 1978). *Abajo:* Relación entre el período fundamental, la profundidad y la intensidad de los daños en las estructuras de la zona (FUNVISIS, 1978).



**Figura 2.2:** Períodos fundamentales en el área de Los Palos Grandes (Abeki, 1995)

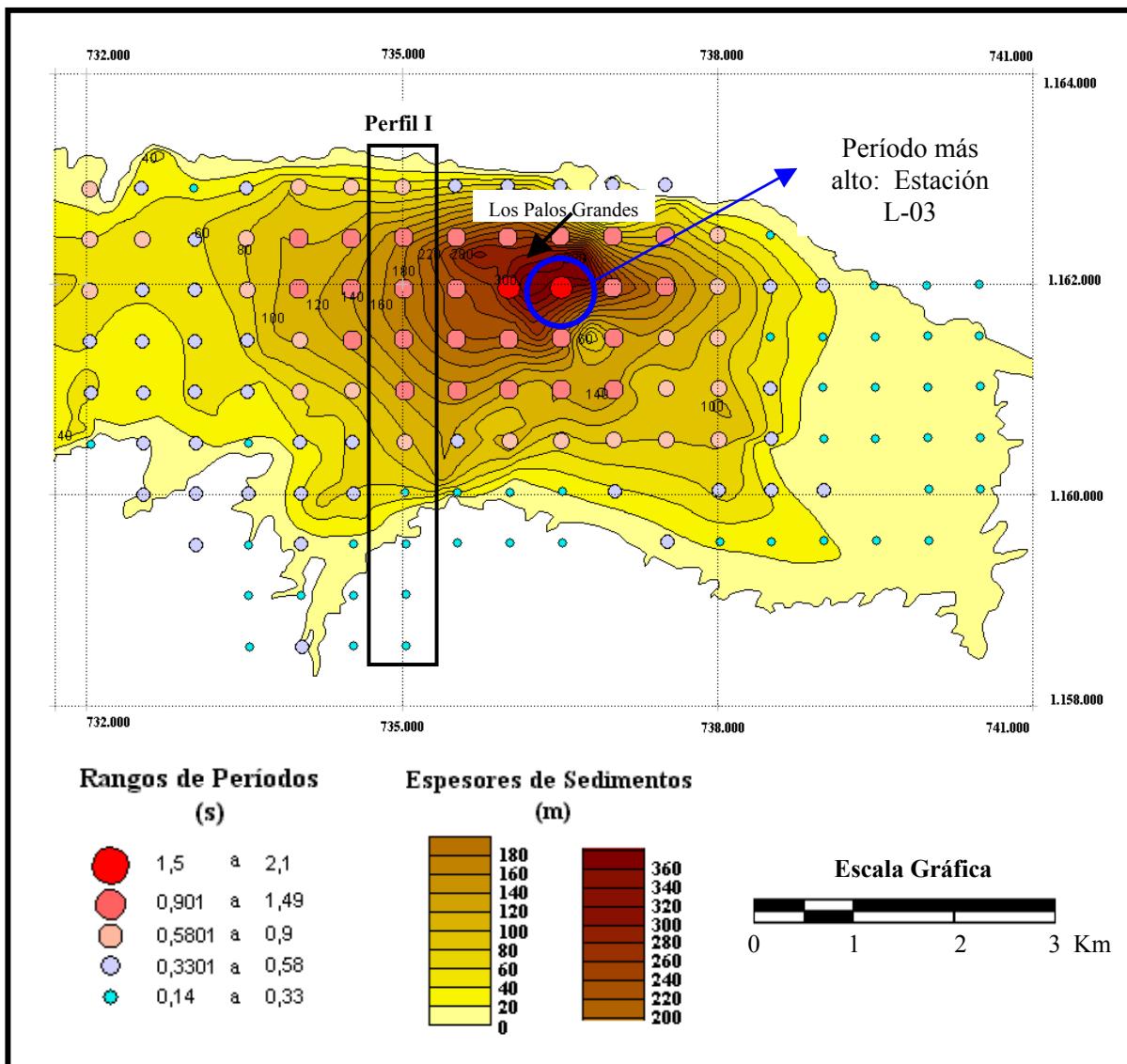


**Figura 2.3:** Arriba: Períodos fundamentales en el área de Los Palos Grandes y San Bernardino (Abeki, 1998). Abajo: Aplitudes de la relación H/V en la misma zona (Abeki, 1998). En ambos mapas, las líneas de contorno corresponden al espesor de sedimentos.

En 1995, Duval et al. (1998) efectuaron un total de 184 mediciones entre Los Palos Grandes y San Bernandino, en cada estación fue recolectada una data de 10 a 15 minutos de duración, hallando los mayores valores de aceleración al este de Caracas, pareciendo obvio la relación entre los efectos de sitio y los daños mas importantes ocasionados por el Terremoto. Para tratar los datos obtenidos en las mediciones se usó la relación espectral H/V, teniendo valores de períodos de hasta 1,67 s. En la zona de mayor espesor (Los Palos Grandes), éstos tienen una buena correlación con los mayores daños a infraestructuras registrados, respaldando la existencia de un estrecha relación entre los valores de períodos fundamentales con los espesores de sedimentos en el valle de Caracas, presumiendo que estos valores de período son muy similares a la frecuencia de resonancia del suelo..

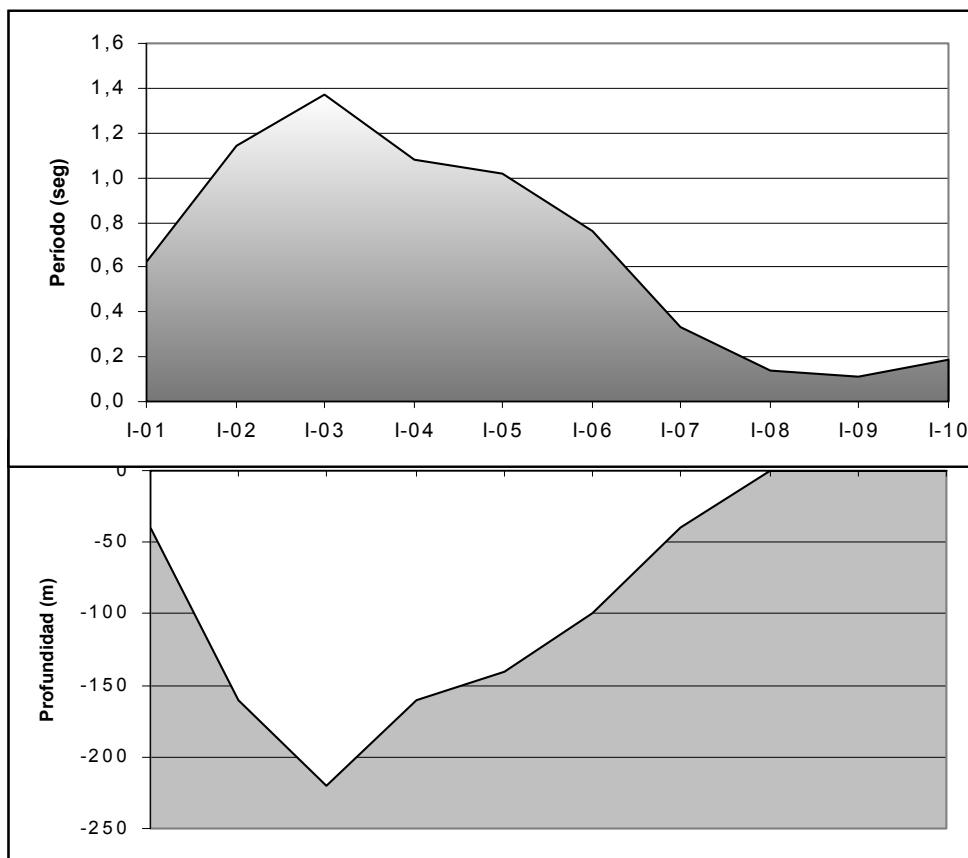
Luego Rocabado (2000), realizó mediciones de ruido ambiental en toda la ciudad de Caracas sobre una malla de 500 metros, por espacios de 5 minutos, para la determinación del período fundamental de vibración del suelo aplicando la técnica de Nakamura o relación H/V para establecer una relación entre el período fundamental y la profundidad de los sedimentos. En este proyecto se obtuvo variaciones de período que oscilaban entre 0,1 y 2,1 s., siendo mayores éstos en las partes más profundas de la cuenca de Los Palos Grandes con valores entre 1 y 2,1 s. y en San Bernandino de 0,5 a 1s. Siendo las áreas más afectadas por el terremoto de 1967, para el resto de la ciudad el rango de períodos encontrado fue de 0,1 a 0,5 asociados a espesores menores que los observados en estas dos áreas.

Para observar la relación entre los períodos fundamentales y los espesores de sedimentos, Rocabado (2000), realizó unos perfiles de períodos con profundidad en zonas de importante cambio de espesores, uno de éstos fue realizado sobre el área de Los Palos Grandes (Figura 2.4: y Figura 2.5), mostrando claramente la tendencia de los valores de período a aumentar con el espesor de sedimentos.



**Figura 2.4:** Distribución de períodos obtenidos por Rocabado, 2000. en el Este del Valle de Caracas. (Imagen modificada para este trabajo)

En la figura 2.4 se observa la ubicación del valor más alto de período obtenido por Rocabado, 2000. y la ubicación del perfil hecho en la zona de Los Palos Grandes (Figura 2.5), esta imagen es una modificación de la original para poder enfocar la zona de interés comparativo para este trabajo.



**Figura 2.5:** Relación entre Período y Profundidad para el perfil I (Figura 2.4), Rocabado, 2000.

### Sedimentos del Valle de Caracas

Caracas puede ser dividida topográficamente en tres sectores, la parte montañosa ubicada al norte representada por el Cerro Ávila, la parte del valle, donde se encuentra la ciudad como tal y las colinas al sur y oeste de la ciudad (Kantak, 2001). El Valle de caracas tiene una extensión de 20 Km. aproximadamente de Este a Oeste y un ancho de 4 km. en dirección Norte – Sur. del Cerro Ávila fluyen varios ríos hacia el valle, formando abanicos aluviales al pie de monte, y al sur el Río Guaire recorre la ciudad en dirección Oeste – Este con afluentes desde las colinas del sur

como la quebrada La Vega, Baruta y el río El Valle. De los estudios realizados por Kantak, 2001., se han definido los sedimentos depositados en el Valle de Caracas desde limos arenosos a gravas y grandes bloques, aportados principalmente por El Cerro Ávila ubicado al Norte de la cuenca y por el Río Guaire y sus afluentes, que atraviesa a la ciudad en dirección Oeste a Este.

Las terrazas antiguas del río Guaire incluyen hasta varios metros de limos arenosos de desborde o de capas de lodo, formadas por el represamiento de las aguas del Guaire debido a aludes torrenciales de gran magnitud. Evidencias de esto se pueden encontrar a lo largo de las quebradas Chapellin (Los Cedros), Chacaíto (Country Club), Tocome (Monte-Cristo). Los sedimentos originados de estos aludes se pueden subdividir en a) una facies proximal caótica acumulada al norte, en su gran mayoría correspondiente a material de granulometría muy gruesa, como gravas depositadas generalmente en una matriz arenosa principalmente, pero también se pueden encontrar acumulaciones de grava con bloques de hasta varios metros cúbicos, con depósitos de limos y arcillas menos frecuentes, y b) una facies distal hacia el sur enmascarada por el material caótico de materia con granulometría fina formando estratos delgados de arenas gruesas y arenas limosas, con frecuentes depósitos de limos y arcillas más al sur.

## **Ruido Ambiental**

Generalmente los daños causados por un terremoto disminuyen con el aumento de la distancia del epicentro, pero se ha demostrado en muchos trabajos (FUNVISIS, 1978; Abeki, 1995; Duval, 1998), que en áreas afectadas por un evento sísmico, estos son aun más severos en presencia de un deposito de sedimentos no consolidados sobre un basamento rocoso, relacionando su aumento en algunas zonas con el efecto de sitio asociado a la columna sedimentaria del área, causado por el alto contraste de impedancia en la interfase entre los dos medios (Rosset, 2003)

La vibraciones del suelo han sido estudiadas para conocer su estructura y geometría, y para poder predecir el comportamiento del mismo frente a un evento sísmico de gran magnitud, estas vibraciones pueden ser generadas por fuentes de origen natural y fuentes artificiales u originadas por el hombre, estos dos tipos de vibraciones son conocidas como microsismos y microtremores (o microtemblores) respectivamente.

El ruido sísmico ambiental esta formado por vibraciones generadas por fuentes artificiales o por la actividad humana, compuestas principalmente por ondas superficiales como las ondas rayleigh y ondas de corte, las cuales son de períodos cortos, de 1 a 2 segundos y aportan información del medio que atraviesan y no de la fuente que los originó debido a la estabilidad que caracteriza a este tipo de señal, por esto el ruido ambiental se define como el estudio y análisis de microtremores (Seo, 1992).

### **Método de Nakamura o Relación H/V (Efecto de sitio)**

El Método de Nakamura (1989) desarrolla una técnica basada en la interpretación de microtremores, como ondas superficiales que se propagan en una capa sedimentaria que yace sobre un medio rocoso, la cual relaciona las componentes horizontales de esta onda con la componente vertical (relación H/V), para luego identificar el período fundamental del suelo con el pico de mayor amplitud, asociando éste con el modo fundamental de vibración de las ondas S principalmente, influenciado por las ondas Rayleigh. Este método se basa sobre la formulación de tres hipótesis principales:

- El ruido ambiental es generado por la reflexión y refracción de ondas de corte en la superficie de las capas sedimentarias y por las ondas superficiales.

- Las fuentes locales o superficiales de ruido, tales como el tráfico o el paso de peatones, no afecta el ruido ambiental de las fuentes profundas del espesor sedimentario, siempre y cuando no se produzcan muy cerca del receptor.
- La componente vertical del movimiento no es amplificada por la capa sedimentaria.

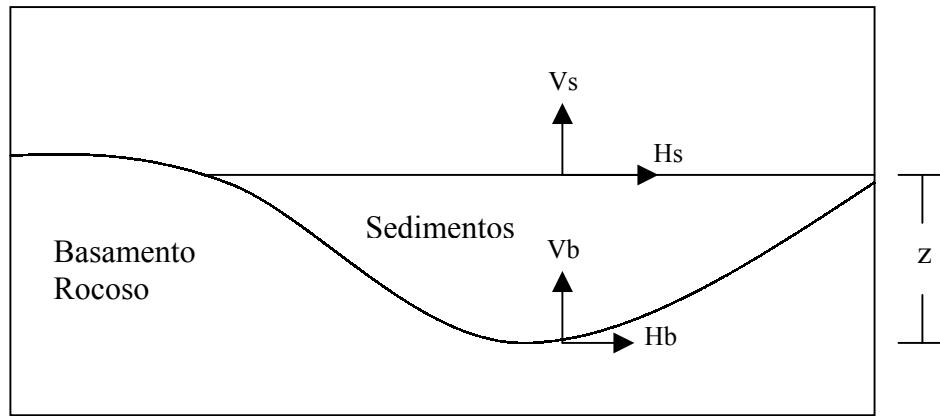
Para realizar este método, se halla la transformada rápida de Fourier a cada componente del movimiento, con esto se puede definir el efecto de sitio ( $S_E$ ) y el espectro de la fuente o efecto de la onda Rayleigh ( $A_S$ ) en el dominio de Fourier, de la siguiente manera:

$$S_E = \frac{H_s}{H_B} \quad A_S = \frac{V_s}{V_B}$$

Donde:

- $V_s$  y  $V_B$  son las amplitudes del espectro de Fourier de la componente vertical de movimiento en la superficie y en la base de la capa sedimentaria respectivamente.
- Donde  $H_s$  y  $H_B$  son las amplitudes del espectro de Fourier de la componente horizontal de movimiento en la superficie y en la base de la capa sedimentaria respectivamente, resultantes del promedio cuadrado de las dos componentes horizontales NS (Norte – Sur) y EW (Este – Oeste).

En la Figura 2.6 se representan las variables antes mencionadas como las componentes de movimiento en la superficie de los sedimentos como en la base de estos.



**Figura 2.6:** Identificación de las componentes del movimiento planteada para la explicación del método de Nakamura.

Ahora se busca un efecto de sitio que no considera la contribución del espectro de la fuente, con la relación de  $S_E$  y  $A_S$ ; éste es llamado  $S_M$  o modificación del efecto de sitio:

$$S_M = \frac{S_E}{A_S} \quad \Leftrightarrow \quad S_M = \frac{H_s}{V_s} \cdot \frac{V_B}{H_B}$$

Nakamura (1998), demuestra que el espectro de la componente vertical ( $V_B$ ) y la horizontal ( $H_B$ ) son equivalentes en la base de las estructuras ( $H_B \sim V_B$  en medios rocosos).

$$\frac{H_B}{V_B} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad S_M = \frac{H_s}{V_s}$$

Obteniendo la relación entre la componente horizontal y la vertical del movimiento de la superficie de los sedimentos en el espacio de Fourier como el efecto de sitio causado por microtremores en un espesor sedimentario suprayacente a un basamento rocoso (Nakamura, 1989).

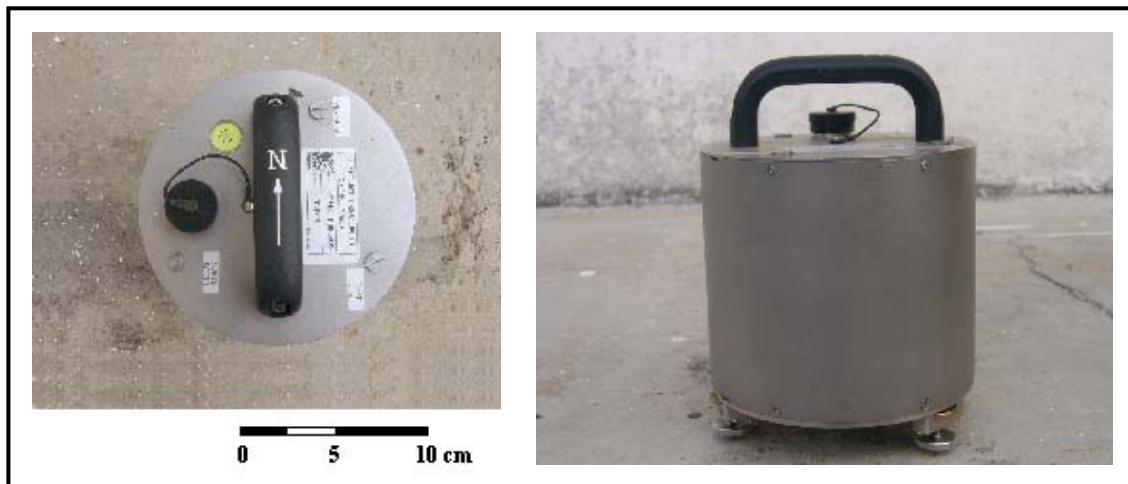
## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

## METODOLOGÍA

### Metodología de Adquisición

La adquisición de los datos de Ruido Ambiental fue realizada en su totalidad con un sismógrafo Nanometrics modelo Orion de 24 bits de resolución (Figura 3.1) y un sensor o sismómetro de tres componentes, marca Guralp, modelo CMG-40T, banda ancha de frecuencia de 0,1 (10s) a 50Hz (0.02s) (Figura 3.2) en estaciones ubicadas en una malla con celdas de 250 metros planificada antes de las mediciones sobre un mapa de la ciudad usando el software Mapinfo versiones 6,5 y 7, con un total aproximado de 349 estaciones, logrando una cobertura en detalle de la zona (Fig 3.3). En cada estación se recolecto de 5 a 10 minutos de grabación de ruido ambiental a una frecuencia de muestreo de 100 muestras por segundo.



**Figura 3.1:** Sensor de tres componentes Guralp CMG-40T



**Figura 3.2:** Sismógrafo Nanometrics - Orion

La malla de mediciones se definió tomando en cuenta el lugar donde se debía adquirir la estación, es decir, sobre una malla de 250 x 250 metros sobre el mapa vial de Caracas, se colocaba el punto de medición en bordes de calles, avenidas o caminos los cuales fuesen accesibles para llegar a éste en cualquier transporte, sin marcar las mediciones existentes realizadas en la malla anterior de 500 m por Rocabado (2000), estas fueron planificadas de manera tal que todas estuviesen dentro del valle, incluyendo algunas estaciones control sobre roca fuera de los límites de éste donde el espesor de sedimentos es cero..

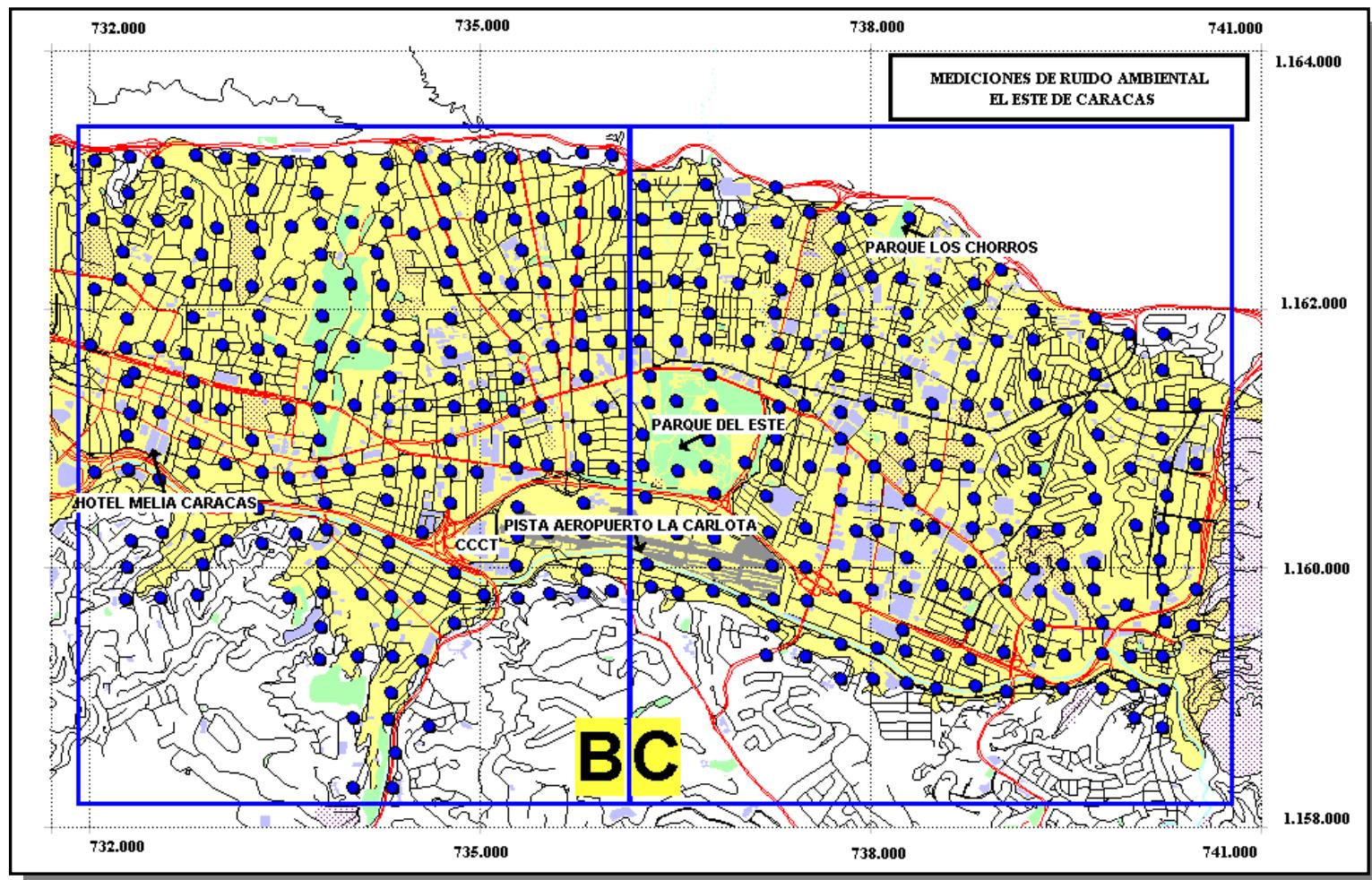
Para la grabación de cada estación, primero se ubicaba la zona que iba a ser adquirida, se imprimía un mapa del lugar a una escala la cual facilitara la ubicación de ésta en calles y avenidas, al momento de llegar al punto de medición, se chequeaba el instrumental, tanto la carga de la batería como la configuración del mismo. Luego del trasladó al sitio de medición, se colocaba el sensor en un lugar asegurando la ausencia de tuberías, alcantarillas, vacíos en el suelo, como sótanos de edificios, árboles con raíces de gran tamaño y tránsito muy cercano de vehículos a velocidad media, evitando así la instalación del equipo en autopistas, avenidas principales o

calles de tránsito constante, al no poder evitar alguna de las últimas, se buscaba retirar el sensor un mínimo de 5 metros de la fuente de ruido. Antes de iniciar la grabación se aseguraba la nivelación del acelerómetro y su acople son el suelo, así como la orientación del mismo al norte para tener la certeza de la captación de los movimientos norte – sur y este – oeste en la componente horizontal, esperando dos minutos aproximadamente para la estabilización de los geófonos previniendo alguna excitación de los mismos causada por el traslado o por la liberación de los mismos al ser conectados al sismógrafo.

Los datos fueron grabados en el disco duro del sismógrafo portátil (Orion), tomando nota de la fecha, hora, ubicación, duración y nombre de la estación en la cual se estaba realizando la medición, resaltando algún tipo de observación importante del sitio tal como cercanía de instalaciones eléctricas, fábricas, lluvia, etc., asegurando así la interpretación de posibles problemas al momento del procesamiento y su rápida ubicación en el mapa del área.

El nombre de cada estación es el resultado de la conjugación de una letra, un número y una B o C al final, que tienen su origen en una cuadrícula realizada en la malla de distribución de las mediciones, la cual asigna a cada punto letras en orden alfabético de oeste a este para las columnas y números en orden ascendentes de sur a norte para las filas tal como se muestra en la figura 3.4, dividiendo la zona de estudio en dos sub-zonas (B y C) para facilitar el uso del alfabeto, dando la zona a la que pertenece el punto, la letra final del nombre de la estación.

En la fase de adquisición se inició la recolección de datos de 5 minutos en la zona B casi en su totalidad, pasando luego a grabaciones de 10 minutos en la C, con el fin de comparar el aporte del tiempo de grabación en el período de procesamiento e interpretación de los datos, evaluando la influencia de 1 número total de datos por estación sobre la señal y los resultados obtenidos.



**Figura 3.3:** Mapa, planificación de la malla de las estaciones para las mediciones de ruido ambiental

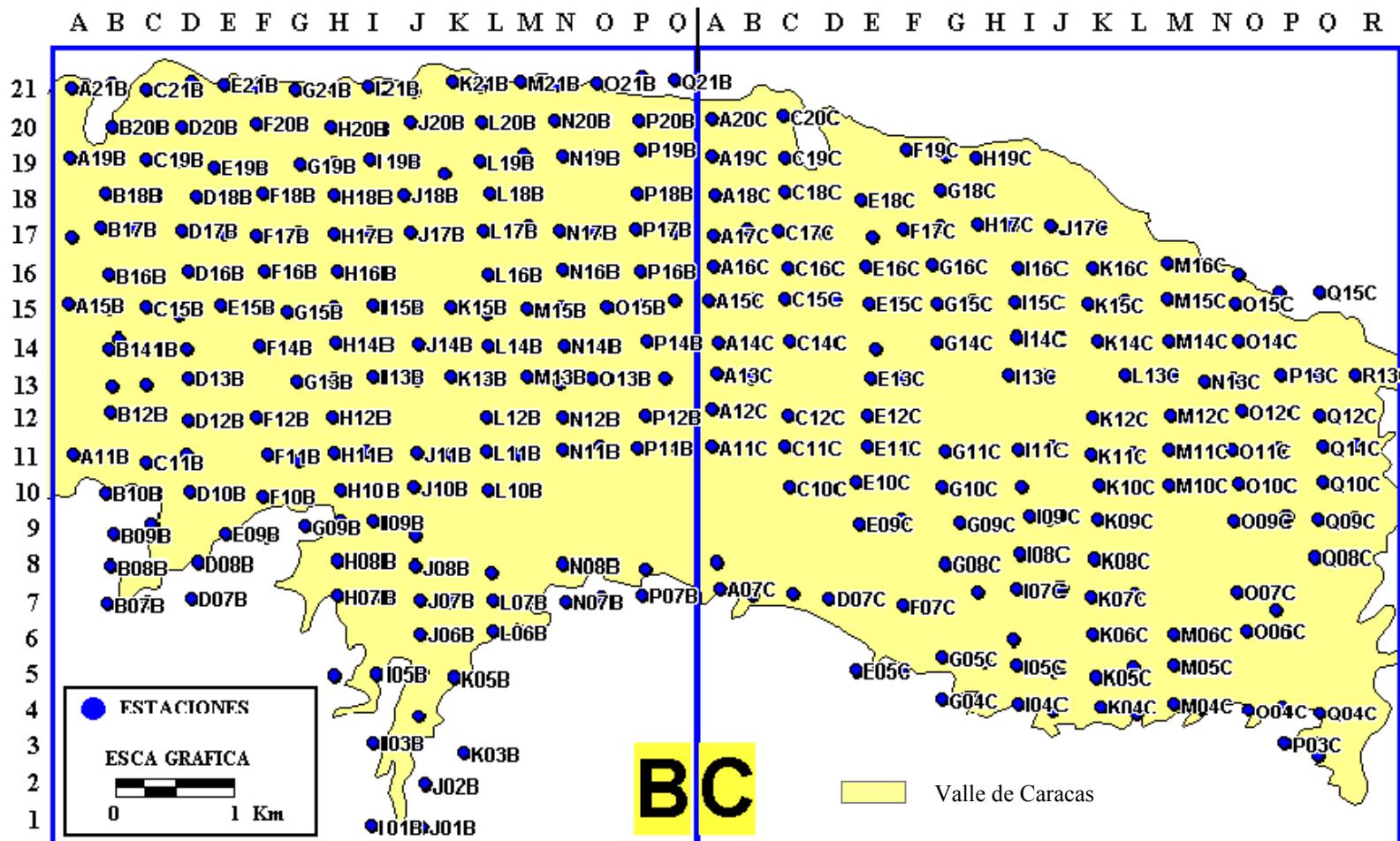


Figura 3.4: Mapa, identificación de estaciones de medición de ruido ambiental

## Metodología de Procesamiento

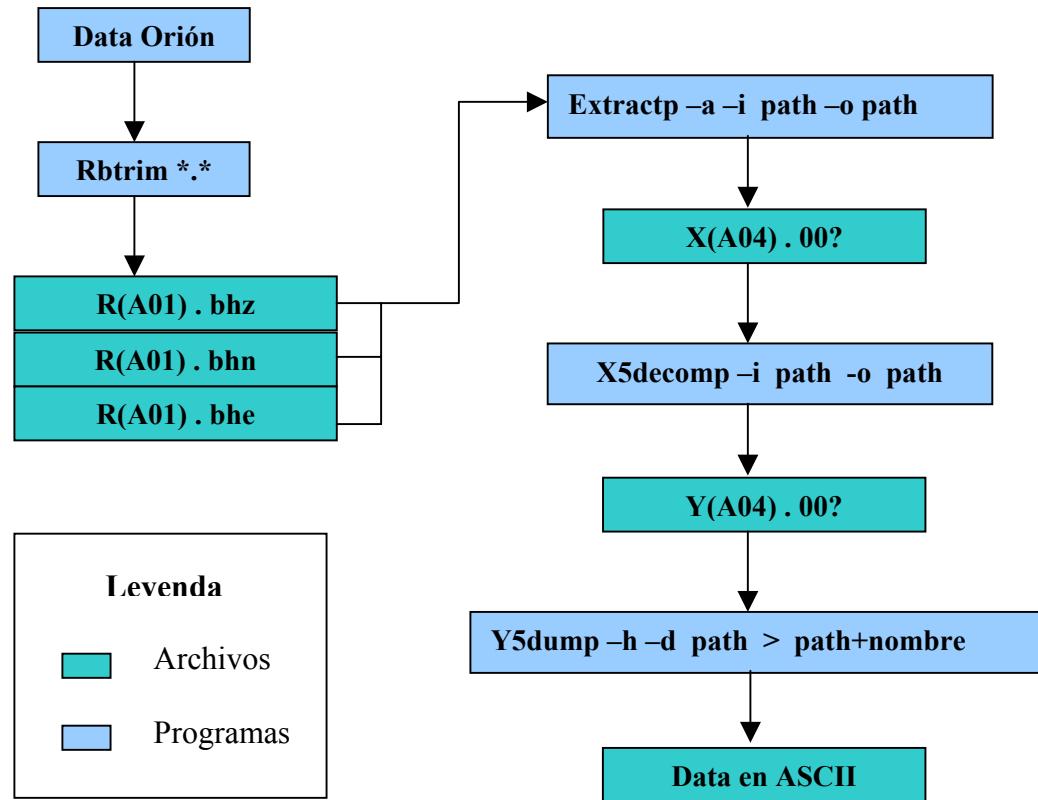
Luego de la etapa de adquisición, al tener todos los datos grabados en el Orion, se dispuso al procesamiento de los mismos, para esta fase será usado el programa SESAME, pero este reconoce archivos de extensión SAF, por lo cual la primera etapa del procesamiento vendrá definida por la transformación de los datos obtenidos por el sismógrafo Orion a datos de extensión SAF.

### *Primera etapa: Conversión de datos.*

Los datos obtenidos en la adquisición consisten en 4 archivos por estación, uno para la información del sismógrafo (configuración del equipo), y los otros tres correspondientes a la información recolectada por cada canal, es decir por los geófonos que registran las componentes del movimiento, dos horizontales, dirección NS y EW, y otro para la componente vertical. Estos tres archivos que contienen la información de la señal en formato Orion deben ser llevados a un archivo en formato ASCII para luego transformar estos en un formato que pueda ser usado por el programa SESAME, en este caso en un archivo .SAF.

Para esta etapa del procesamiento serán usados 4 programas de ejecución en ambiente DOS, en la figura 3.5 se pueden observar los programas a usar, el tipo de archivo originado y la secuencia en la cual se práctico la rutina de conversión. Los programas usados son el RBTRIM, EXTRACTP, X5DECOMP Y Y5DUMP.

El primer programa a ejecutar es el RBTRIM, el cual se encarga de eliminar los espacios en blanco del buffer de almacén de los datos, que al configurar el equipo antes de la grabación se le asignó un tamaño de buffer a cada archivo a grabar con más espacio que el necesario para asegurar que toda la data a recolectar entrara en el archivo y no se perdiera información por falta de espacio, la asignación del buffer en el sismógrafo es obligatoria para la configuración del equipo



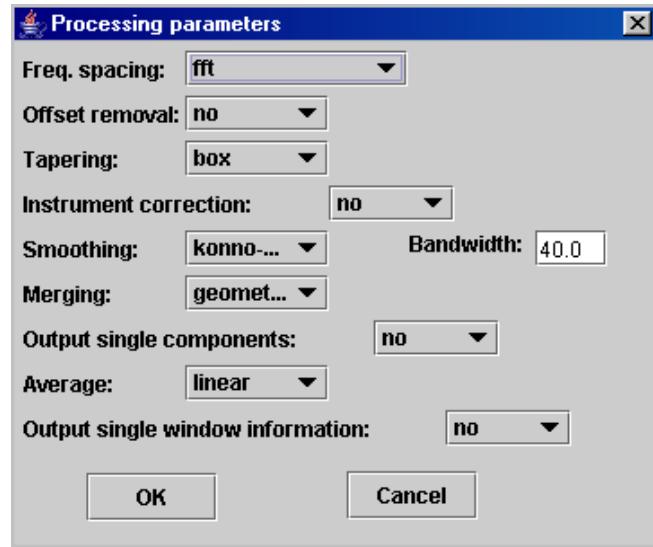
**Figura 3.5:** Secuencia de pasos necesarios para convertir los datos grabados con los equipos ORION a formato ASCII. Tomado de Rocabado, (2003)

Luego de la aplicación del programa RBTRIM, se obtuvieron tres archivos como puede observarse en la figura 3.5, correspondientes a las tres componentes del movimiento grabadas en la estación(.bhz: componente vertical, .bhn: componente norte – sur y bhe: componente este – oeste), luego siguiendo la secuencia representada, fue aplicado el programa EXTRACTP a estos archivos, creando archivos formato X1, luego se usó el programa X5DECOMP el cual descomprime los archivos de entrada en formato Y5, para luego usar el programa Y5DUMP para la conversión de estos datos a formato ASCII, (Rocabado, 2000).

Luego, estos datos ya en formato ASCII, fueron insertados en un programa de conversión de formatos elaborado en LABVIEW por Rocabado, el cual toma la información de cada una de las componentes de cada archivo y crea un solo archivo (SAF) con toda la data y un encabezado, el cual contiene toda la información acerca de la grabación de la estación, como numero de muestras, duración del la grabación, nombre asignado a la estación, etc.

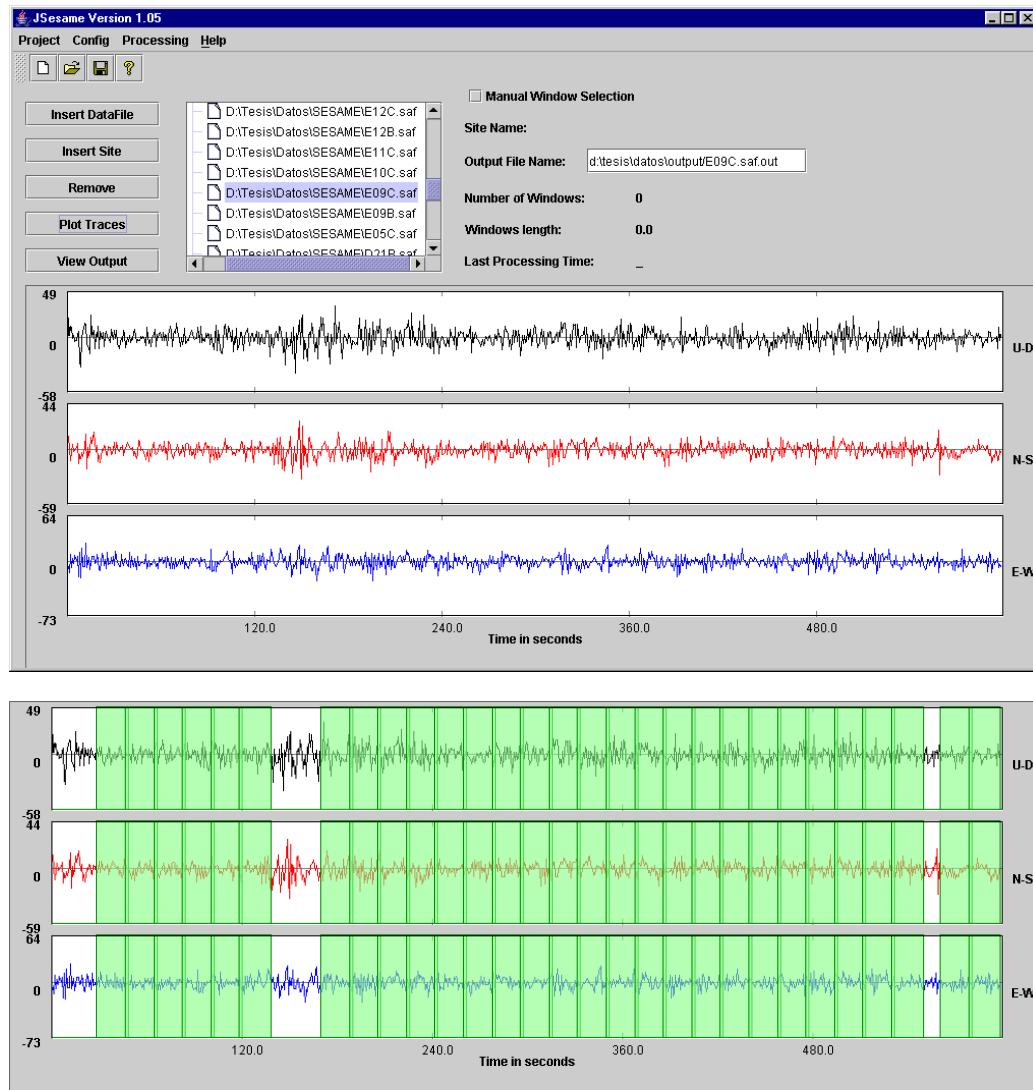
*Segunda Etapa: Obtención de períodos.*

Esta etapa consistió principalmente en el procesamiento de los archivos de las estaciones ya transformados al formato SAF en el programa SESAME, para esto, primero se introdujeron los archivos al programa, creando una carpeta del proyecto para que la configuración del programa se aplicara de igual forma con los mismos parámetros a las estaciones en su totalidad, estos parámetros son, el tipo de transformada aplicada a las señales de las componentes, el tipo de suavizado de los espectros, el tipo de promedio y el tamaño y el número de las ventanas a procesar, como se muestra en la Figura 3.6.



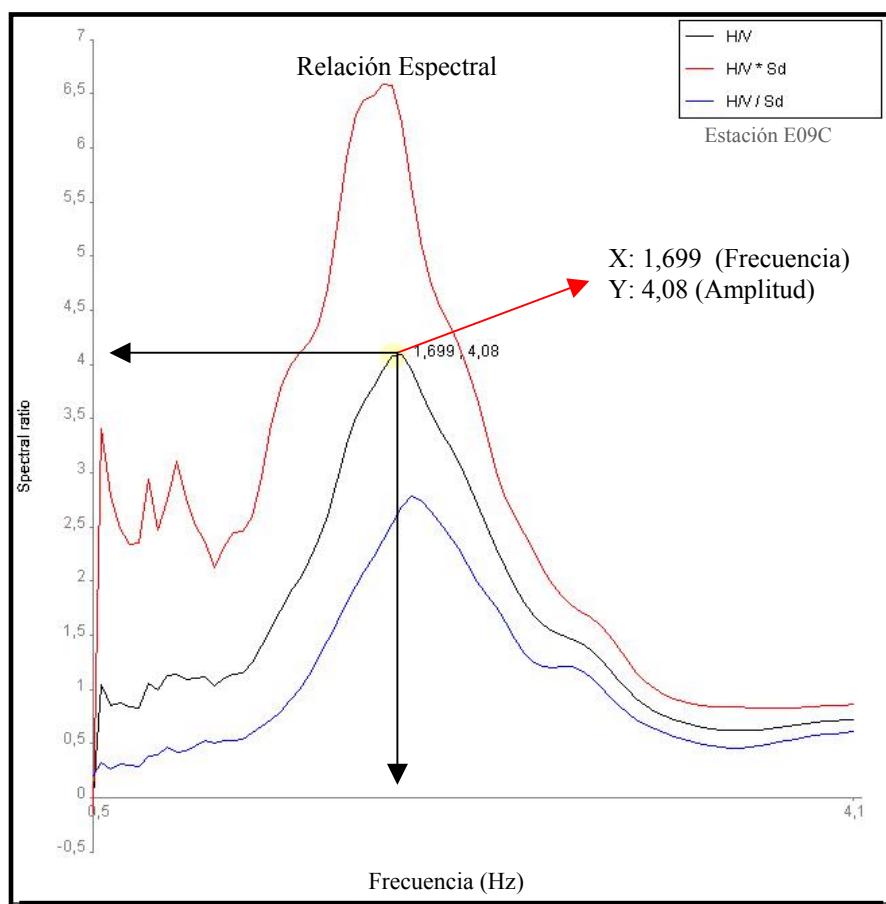
**Figura 3.6:** Cuadro de diálogo configuración de los parámetros de procesamiento en el programa SESAME

Luego de tener los parámetro configurados, se procedió a la apertura de los archivos de señales en tiempo para seleccionar las ventanas mas adecuadas para su procesamiento, es decir, en este caso, la selección de ventanas de 20 segundos en el registro de las componentes del movimiento grabadas por el sismógrafo, en un espacio de 300 a 600 segundos, tomando un mínimo de 10 ventanas en el registro (Figura 3.7)



**Figura 3.7:** Arriba: Señal grabada por el sismógrafo, graficada por SESAME. (Estación E09C). Abajo: Selección automática de ventanas de 20 segundos a la señal de 10 minutos por parte del programa. (Estación E09C)

Luego de la selección de ventanas de 20 segundos en el registro, dado que es recomendable escoger éstas de 10 veces el valor del período esperado según la geología de la zona a estudiar (Bard, 1999), se procedió al cálculo de los espectros de Fourier para los datos seleccionados en estos rangos, para luego obtener la relación espectral H/V al sumar las componentes horizontales del movimiento, obteniendo así una componente horizontal única, y dividiendo ésta a razón del espectro de la componente vertical, identificando en el gráfico de esta relación (Figura 3.8), el pico correspondiente al valor del período fundamental de vibración en esta estación que se ajustara a las condiciones sedimentarias del punto de medición (Figura 3.8), registrando este valor y su amplitud en una tabla de datos junto al nombre de la estación, el espesor y sus coordenadas (Tabla 1 Apéndices).



**Figura 3.8:** Relación espectral de las componentes horizontal y vertical ( H/V), indicando el valor de período (frecuencia) y amplitud para la estación. (Estación E09C)

Para el cálculo del espectro de las componentes fue aplicada la transformada rápida de Fourier (FFT) a los datos seleccionados en las ventanas, luego, un suavizado a cada espectro antes de realizar la suma de las componentes horizontales, según Bard 1999, la mejor forma de unir estas dos componentes es probablemente realizando una transformada compleja de Fourier de una señal de la forma  $x(t) + iy(t)$ , donde  $x(t)$  y  $y(t)$  serían las componentes de la señal grabada, por otro lado, una alternativa es hacerlo por el promedio cuadrado de las señales, esto da un resultado muy similar a proceso anterior.

Al obtener el promedio de las componentes horizontales, la resultante es dividida geométricamente preferiblemente (Bard, 1999) por el espectro de la componente vertical, obteniendo así la relación espectral H/V en el espacio de Fourier, esta es necesariamente suavizada para evitar los picos abruptos transportados por la componente vertical, luego, es graficada respecto al período o a la frecuencia dependiendo del programa utilizado, en este caso el SESAME grafica la relación espectral contra la frecuencia como puede observarse en la Figura 3.8 (otros ejemplos, ver Apéndice 6), teniendo el valor del período con la inversión del valor de la frecuencia, y el valor de la amplitud de la relación dado directamente por la escala en el eje Y.

Todas las estaciones adquiridas fueron graficadas sobre el mapa de Caracas con el respectivo valor de Período en el programa Map-Info y relacionadas con los datos más recientes de espesores de sedimentos en el valle de la ciudad de Caracas encontrados en el mapa de espesores de sedimento realizado por Kantak, 2001 (Apéndice 3), llegando así a los resultados de este trabajo.

## **CAPITULO IV**

## **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

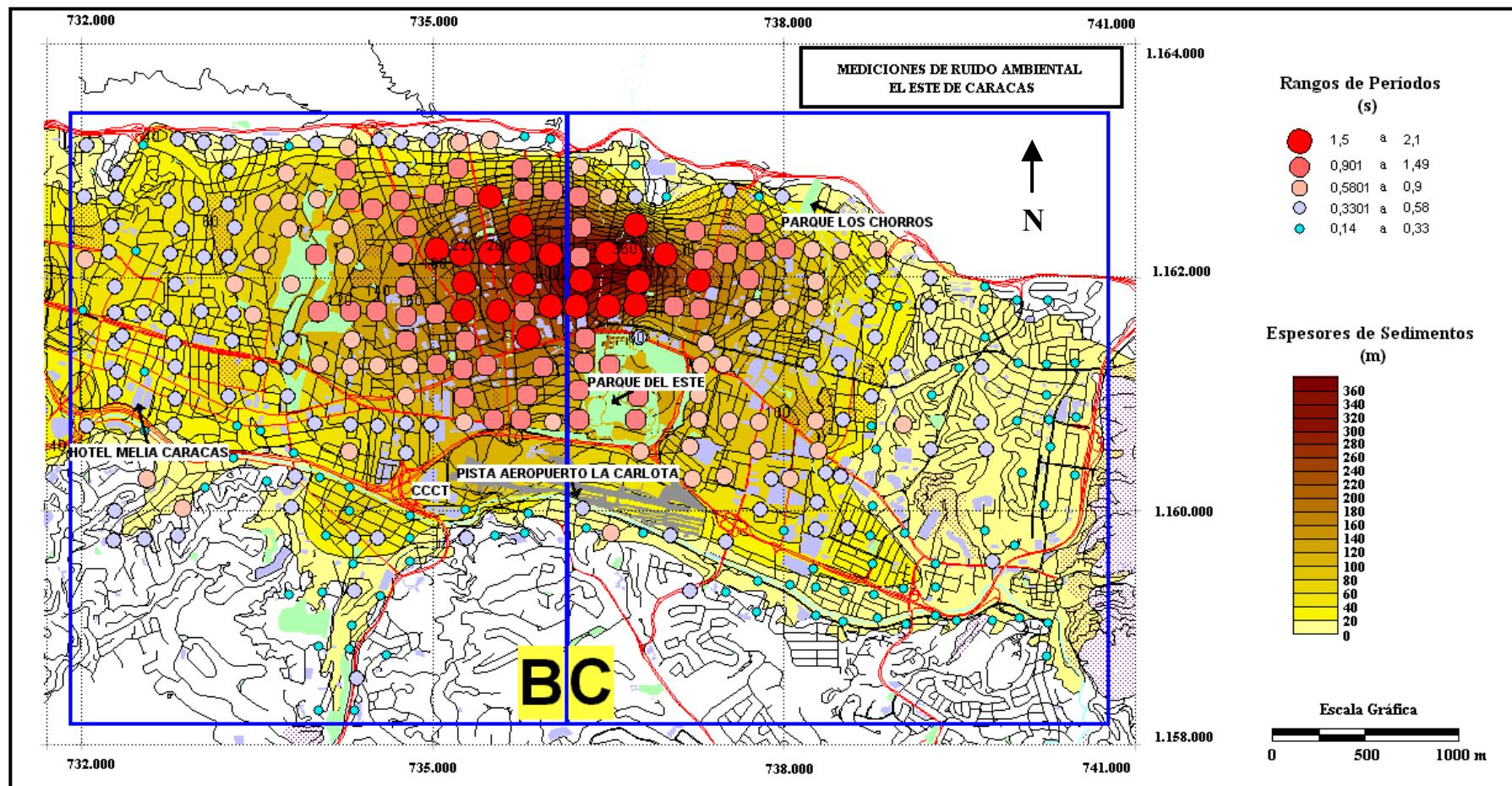
## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Luego de haber culminado la etapa de procesamiento de la data recolectada en las estaciones móviles de este proyecto, obteniendo así los valores del período fundamental de vibración del suelo en cada una de éstas (Apéndices 1), es posible realizar un mapa de distribución o de isoperíodos del Este de la ciudad de Caracas (Figura 4.1). Este mapa muestra la relación entre el período fundamental de vibración del suelo en cada una de las estaciones con el espesor de sediemntos presente.

En el mapa resultante de períodos, se observa una distribución de los rangos mas altos de 1,5 a 2 segundos entre estos la estación B17 de la zona C (B17C) con el valor máximo de período con 2 segundos, hacia el centro de la zona de estudio tal como los encuentra Rocabado, (2000), con valores de 1,8 a 2,1 para “Los Palos Grandes” (Apéndice 2), decreciendo éstos en forma radial hacia los bordes del mapa donde se encuentran los valores mas bajos de 0,15 a 0,33 segundos hacia el este y al sur y rangos de 0,33 a 0,58 al Oeste y Noroeste, y al Norte los valores 0,2 y 0,6 en el límite del valle.

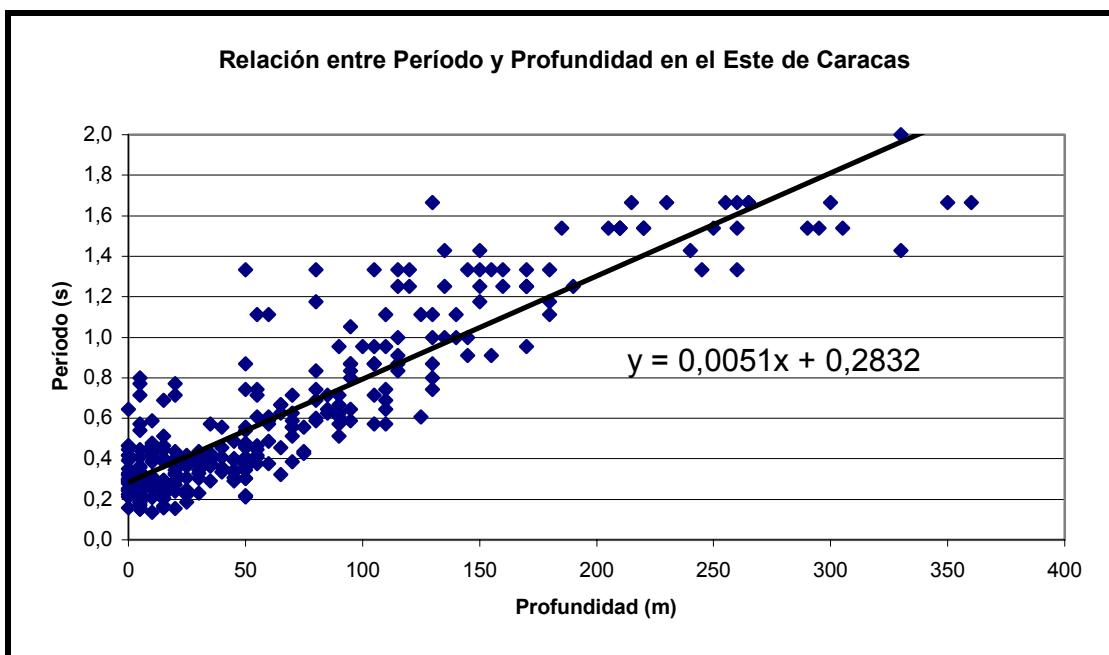
En el mapa de Espesores de sedimentos de esta zona de Caracas (Apéndice 3), encontramos los mayores valores de profundidad hacia su centro observando el máximo en el área de los Palos Grandes, hallando el mayor gradiente de éstos al norte, correspondientes al flanco sur del Cerro Ávila, donde se encuentra el borde con mayor pendiente de la cuenca del valle de la Ciudad.

Al Asociar el mapa de períodos obtenido en este trabajo con el mapa de espesores más reciente (Kantak, 2001), se observa una relación proporcional de los valores de períodos con los de profundidad o espesor de columna sedimentaria del valle, ésta muestra el incremento de los períodos fundamentales con el aumento en el espesor de sedimentos (Figura 4.1).



**Figura 4.1:** Mapa de valores de períodos obtenidos en las mediciones de la malla de 250 m al Este de Caracas sobre Mapa de espesores de sedimentos (Kantak, 2001; Sánchez, 2001)

En la Figura 4.2 se observa la relación entre los valores de períodos obtenidos como resultados de este proyecto con los espesores de columna sedimentaria asociadas a cada estación (Apéndices 1), donde se aprecia una tendencia clara de que el período fundamental aumenta con la profundidad de manera aproximadamente lineal como se trata de mostar con una recta de aproximación por mínimos cuadrados en la Figura 4.2.



**Figura 4.2:** Relación entre los valores de períodos obtenidos en el Este de la ciudad de Caracas con el espesor de sedimento asociado a cada estación

El valor de 0,2832 encontrado en la ecuación de la recta de aproximación para la relación periodo – profundidad de la Figura 4.2 expresa el valor promedio de un período que debe tener una estación que es medida sobre roca sólida o basamento, teniendo para el caso general del este del Valle de Caracas una relación dada por:

$$y = 0,0051 \cdot x + 0,2832 \quad [\text{s}]$$

Al comparar la relación mostrada en este trabajo con la encontrada por Rocabado, 2000 (Apéndice 4) se observa una estrecha coincidencia, pudiendo comparar éstas debido a que Rocabado, 2000 trabajó sobre el valle de Caracas completo, pero esto no representa una variante en contra, en virtud que los sedimentos a lo largo del valle poseen una misma fuente principal como es el Cerro Ávila y aportes secundarios de montañas al sur de éste, encontrando aluvión cuaternario a lo largo de toda la ciudad, ésta comparación difiere en un 0,081s para los valores fuera del valle, como se muestra en las siguientes ecuaciones:

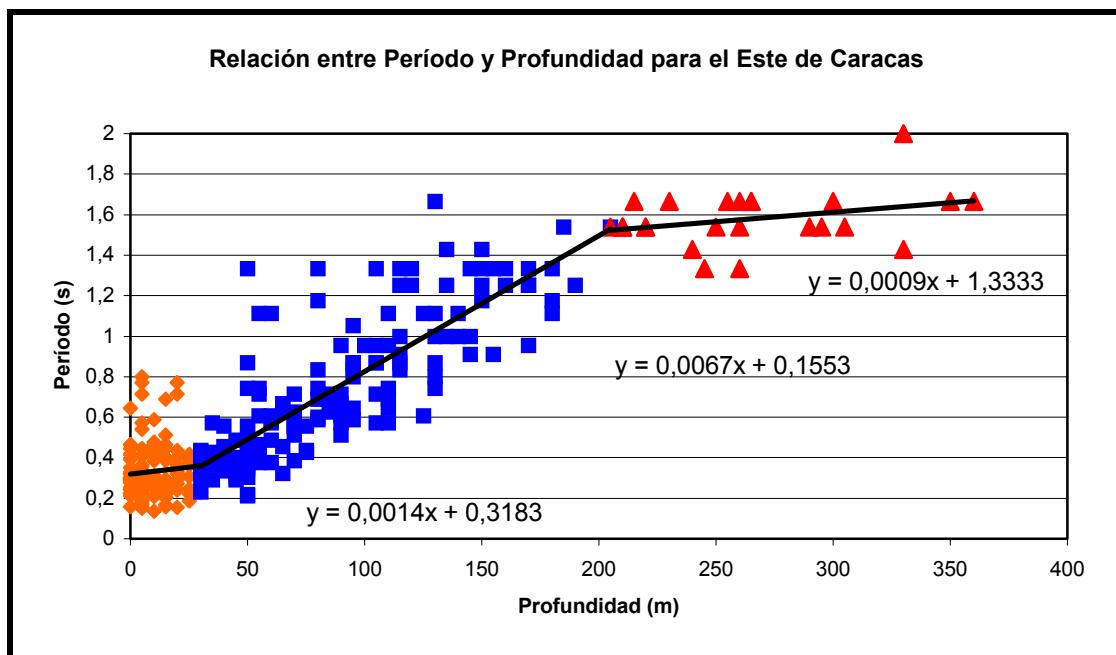
$$y = 0,0052 \cdot x + 0,2014 \quad [\text{s}] \quad - \quad \text{Rocabado, 2000}$$

$$y = 0,0051 \cdot x + 0,2832 \quad [\text{s}] \quad - \quad \text{Proyecto Actual (Moros, 2004)}$$

Al observar el mapa de distribución de períodos (Figura #4.1) y el valor obtenido en la relación de período – profundidad, se puede notar que las estaciones encontradas en la parte norte del mapa en el límite de sedimentos del valle, presentan un rango de espesor mayor al de los límites Este, Oeste y Sur, y doblan aproximadamente el valor de 0,2832 señalado en la ecuación obtenida para la relación de periodos con la profundidad, como el valor para mediciones sobre roca, esto puede deberse a que en el flanco sur del Cerro Ávila existe una meteorización del pie de monte tal que, en la medición, el contraste entre la superficie meteorizada y la roca virgen se evidencie como un cambio de impedancia lo suficientemente marcado como para obtener un valor de período de una estación, no adquirida sobre roca, sino sobre un borde del valle con un espesor de sedimentos equivalente al del material meteorizado.

Al oeste de la zona de estudio se muestran valores de 0,33 a 0,58 segundos, los cuales no concuerdan con los de roca debido a que al borde Oeste de la zona de estudio todavía se encuentran espesores de 20 a 40 metros y no el límite del valle.

Al observar detenidamente la gráfica, sobretodo los valores altos entre los 200 y 360 metros de profundidad, se puede señalar un comportamiento relativamente lineal, pero con otra pendiente que de los de menor profundidad, por ello se dividió la gráfica original de relación de periodos profundidad (Figura 4.2) en tres rangos principales según el espesor de sedimentos del punto de medición, primer tramo de 0 a 30 metros de espesor, segundo tramo de 30 a 200 y un tercer tramo de 200 a 360, el cual es el máximo valor encontrado dentro del valle de la ciudad. El resultado de lo anterior expuesto es una grafica de distribución de valores de período según la profundidad en el Este de la ciudad de Caracas (Figura 4.3), con relaciones entre estos valores según los tres rangos de profundidad escogidos para el análisis del comportamiento del período con la profundidad.

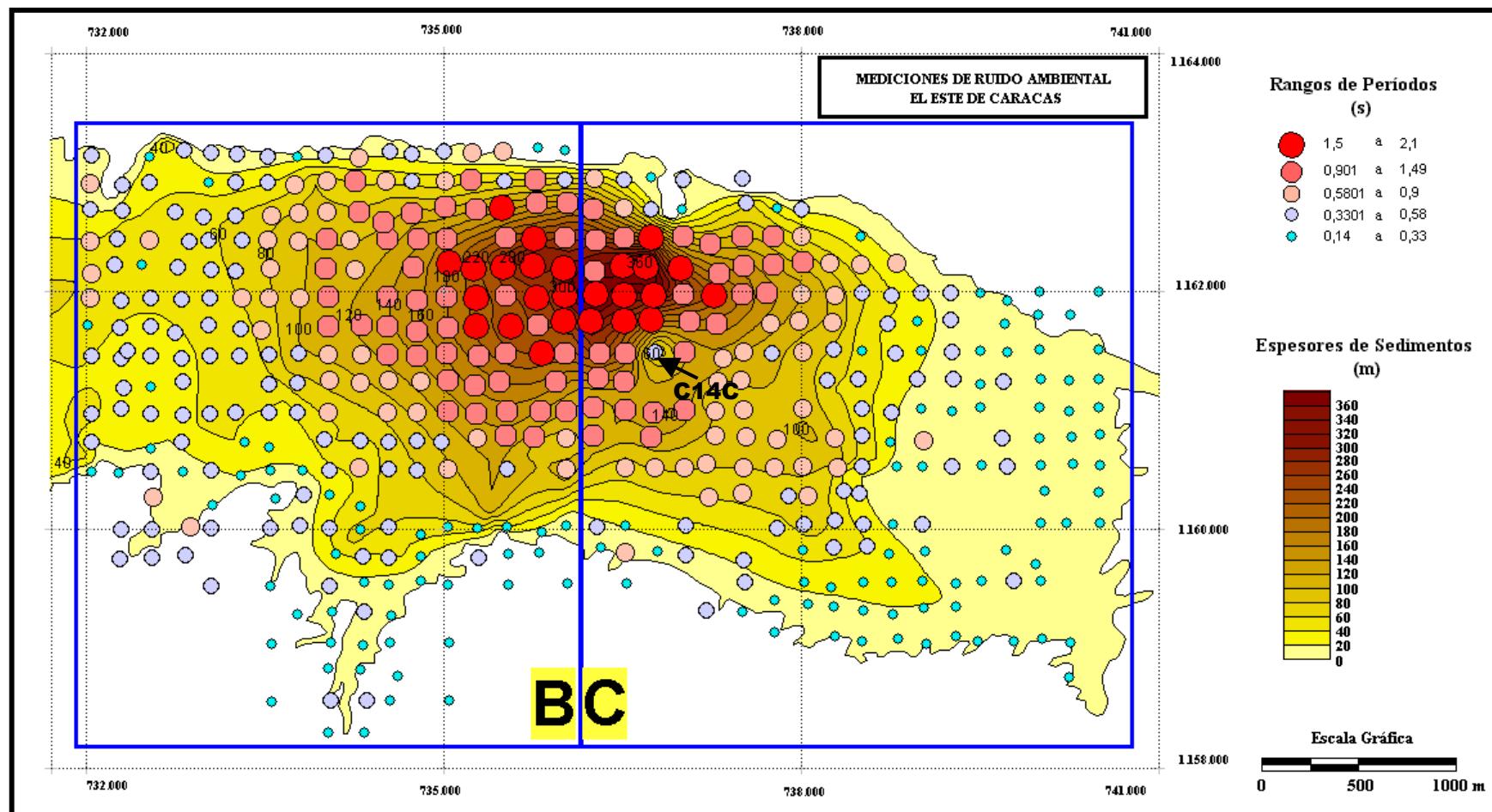


**Figura 4.3:** Relación entre los valores de períodos obtenidos al Este de la ciudad de Caracas con los espesores asociados a cada estación, analizando el comportamiento sobre tres rangos de profundidad.

En la Figura 4.3 se puede analizar según el valor en la pendiente de cada relación dada por la ecuación de la recta ajustada por mínimos cuadrados a cada tramo en que se dividió el comportamiento de los resultados para el Este de Caracas, detallando que el tramo medio entre los 30 y 200 metros de profundidad, presenta la mayor variación de períodos con la profundidad con un aumento de 0,067 segundos cada 10 metros en profundidad eso equivaldría a 0.67 segundos entre dos estaciones con 100 metros de diferencia en profundidad dentro de este rango.

Los tramos de los extremos, de 0 a 30 metros y de 200 a 360 metros de profundidad presentan un gradiente menor en esta relación, mostrando que al tener poco espesor de sedimentos como los encontrados en el valle de Caracas (de 0 a 30 metros), no se evidenciará un aumento muy marcado entre los períodos recolectados en esa zona, al igual que en una zona donde los espesores sean mayores a los 200 metros, aquí el aumento del período en las mediciones sería de 0,04 segundos cada 100 metros, pudiendo adjudicarle el causal de esto a la compactación que deben tener los sedimentos a esta profundidad, obteniendo una mayor impedancia por el aumento de la velocidad, que es menos contrastante con el medio rocoso infrayacentes a estos.

Para tener una idea mas clara de la relación entre la distribución de los períodos obtenidos en este proyecto con datos anteriores como el de Rocabado (2000), una vez que el presente trabajo hace una densificación a 250 metros de la realizada por el autor antes nombrado en su primera etapa de trabajo en una malla de 500 metros, se tomaron los datos de ambos proyectos y se realizó un mapa general (Figura 4.4) sobre la información mas reciente de espesores de sedimentos en la ciudad de Caracas (Kantak, 2000), en este se puede observar como ejemplo del detalle alcanzado por este proyecto, la estación C14C, la que se encuentra entre dos mediciones al este y oeste del trabajo de Rocabado, que no perciben el cambio de espesor existente en este punto, observado en el mapa de sedimentos.

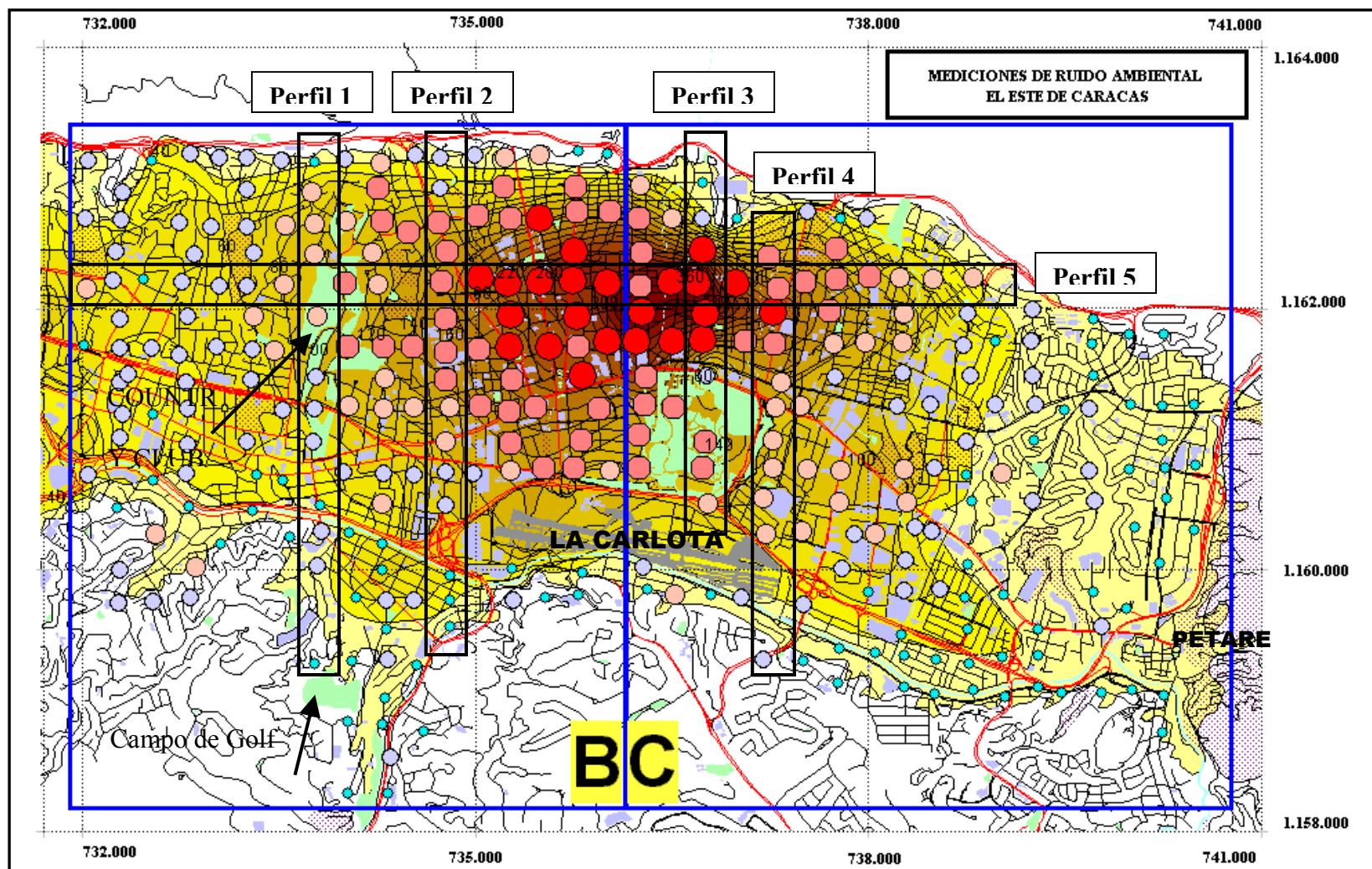


**Figura 4.4:** Mapa de distribución de períodos en el Este de Caracas con los datos resultantes de este trabajo y los datos de Rocabado, 2000, sobre la información de espesores de sedimentos mas reciente (Kantak,2001; Sánchez, 2001)

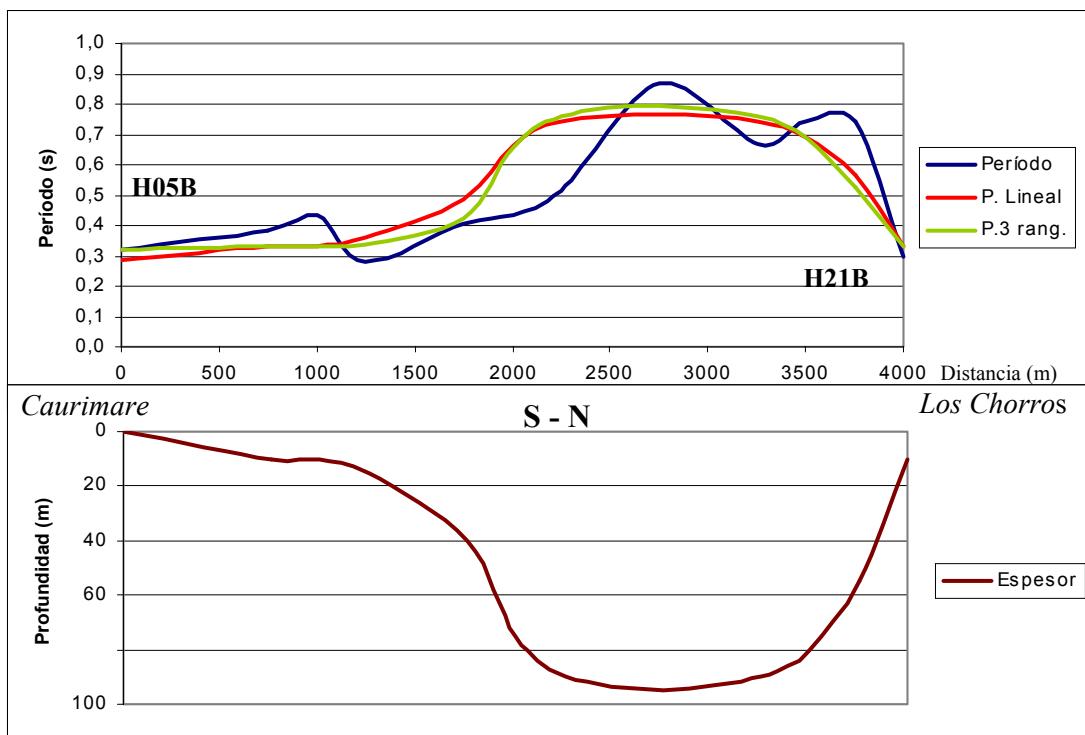
Al tener los datos completos de la malla de 250 metros en la Figura 4.4 con los resultados de Rocabado, 2000, se puede verificar la relación de los valores de períodos con los espesores de sedimentos, a la vez que se asevera los rangos de éstos obtenidos en ambos trabajos, tomando en cuenta que el presente proyecto se desarrolló de la misma forma que el mallado a 500 metros de Rocabado en lo que respecta a la adquisición de los datos, pero el procesamiento de los mismo se realizó con otro programa que es el SESAME, éstos que fueron procesados con una rutina distinta, arrojaron valores que bien se observan en el mapa, se manejan dentro de los mismos rangos que los procesados por Rocabado con el programa HV y Kaleydagraph.

Para observar la relación de los períodos fundamentales con los espesores de sedimentos de los resultados de este trabajo (Figura 4.1), se realizaron 5 perfiles de períodos en profundidad, en lugares con un cambio de espesor importante a manera de comparar el comportamiento del período con los cambios de espesor, observándose la ubicación de estos perfiles en la figura 4.5.

El Perfil 1 (Figura 4.6) posee una dirección norte – sur y una extensión de 4.000 metros, comenzando al norte con la estación H21B en las cercanías del Colegio Humbolt (Av. Boyacá), siguiendo hacia el sur por la columna de las estaciones “H” que atraviesan el Country Club, hasta llegar a la estación H05B (ver Apéndice 5) al sur al borde del campo de golf de la urbanización Valle Arriba, en este perfil se puede observar, primero, la estrecha relación de los valores de período con la profundidad, siendo los aumentos de estos proporcionales a los de espesor, evidenciado por la forma de la gráfica en la Figura 4.6 y respaldando la relación lineal mostrada en las Figuras 4.2 y 4.3, además se tiene información de la forma de la cuenca del valle, observando mayor pendiente en el lado norte de ésta que al sur, esto se debe a la presencia del Cerro Ávila hacia ese lado, el cual en su flanco sur tiene una pendiente aproximada de mas de  $35^{\circ}$ , a diferencia del sur de la cuenca que esta limitada por colinas de menor altura y pendientes mucho mas suaves.



**Figura 4.5:** Ubicación geográfica de los perfiles de períodos y espesores

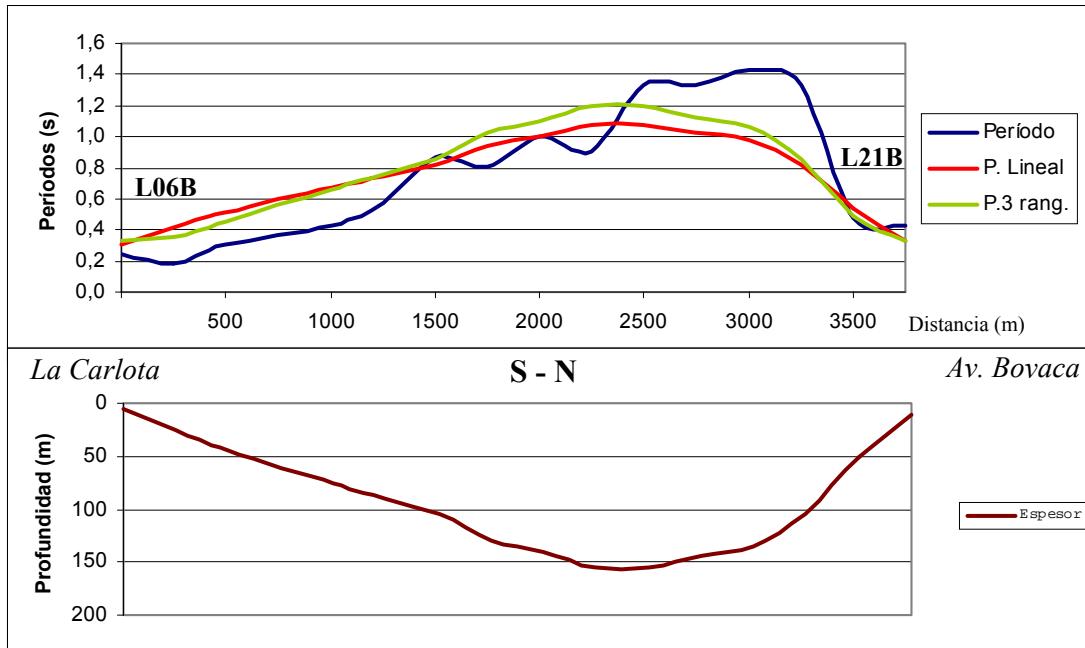


**Figura 4.6:** Perfil 1, de orientación norte – sur al oeste de la zona de estudio. En el gráfico: la línea *período* corresponde a los valores obtenidos en el proyecto, la línea *P. Lineal*, corresponde a la relación por aproximación lineal de todos los datos (Figura 4.2) y la línea *P.3 Rangos*, corresponde a la relación por la aproximación de tres rectas según los rangos de profundidad analizados (Figura 4.3).

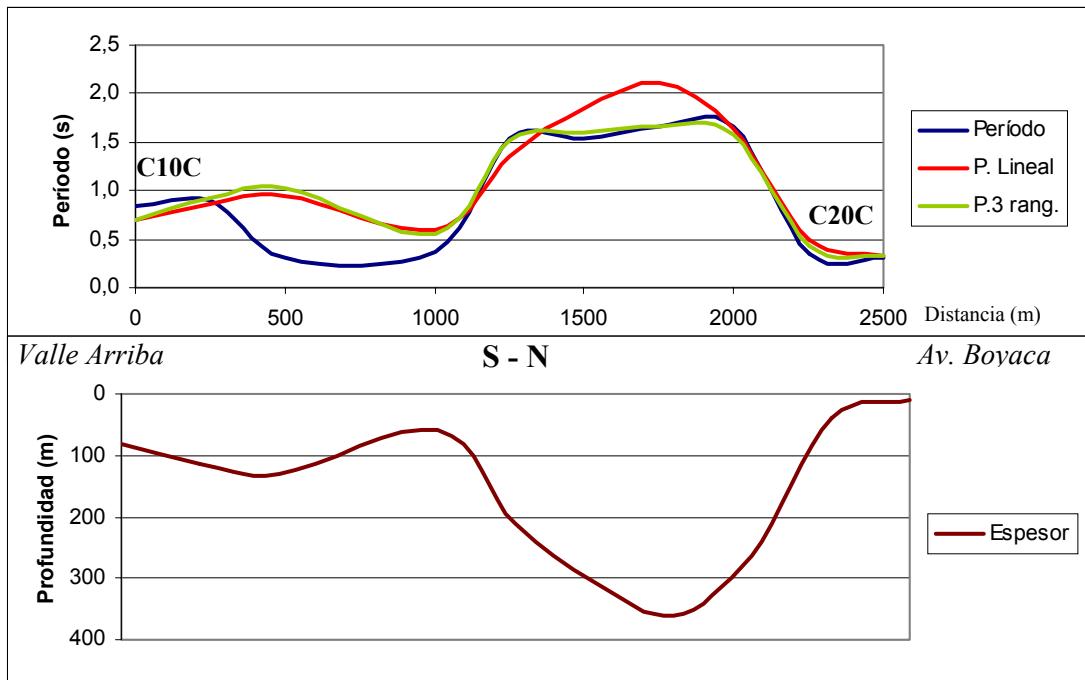
Los perfiles 2, 3 y 4 (Figuras 4.7, 4.8 y 4.9) poseen una dirección norte – sur con extensiones entre los 2.500 y 3.750 metros, estos tienden al mismo comportamiento que el perfil 1 referente a las pendientes y comportamiento de las mediciones en esta dirección, corroborando los resultados obtenidos sobre los períodos fundamentales y su relación con la profundidad, dependiendo estos de la geometría de la cuenca o espesor de sedimentos.

Un aporte importante de estos perfiles, es la demostración de que la densificación de la malla de mediciones obtiene mayor resolución obteniendo valores de las propiedades del suelo que no son observadas en mallas de mayor tamaño, esto se muestra particularmente en el perfil 3 (figura 4.8), en el cual, existe un alto en el basamento de 60 metros con respecto a los puntos adyacentes, donde esta ubicada la

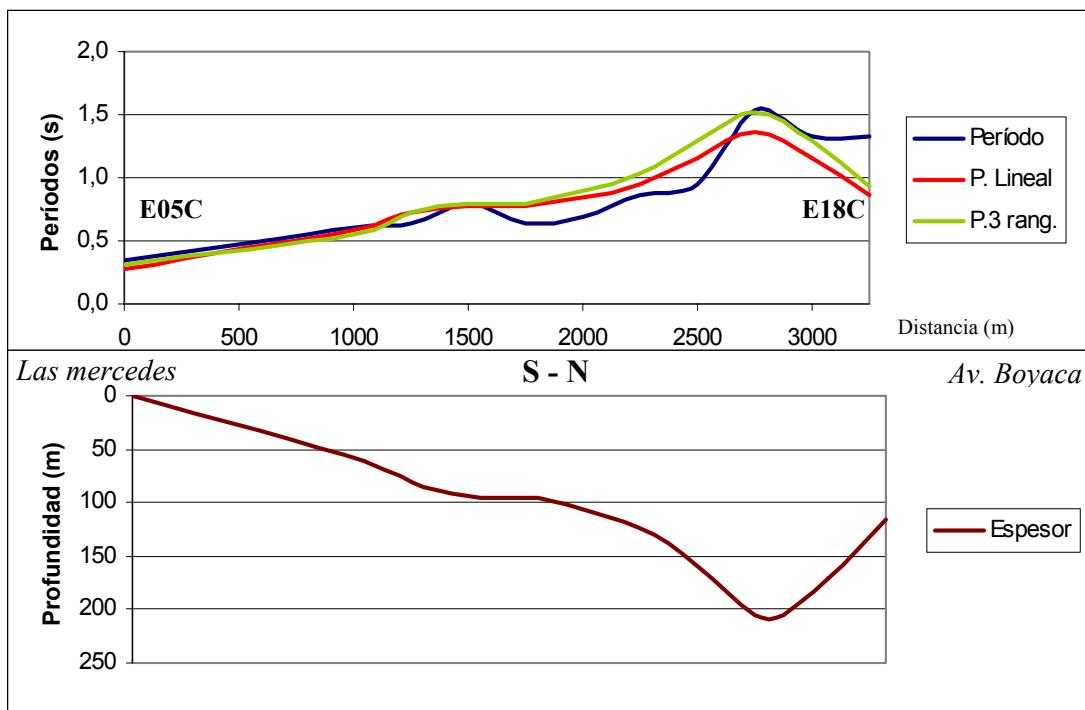
estación C14C que posee un valor de período de 0,38 segundos que si no fuese muestreado, la relación en el perfil no concordara tan efectivamente como en este caso.



**Figura 4.7:** Perfil 2, de dirección norte - sur, al oeste de la zona de estudio



**Figura 4.8:** Perfil 3, de dirección norte – sur, al este de la zona de estudio

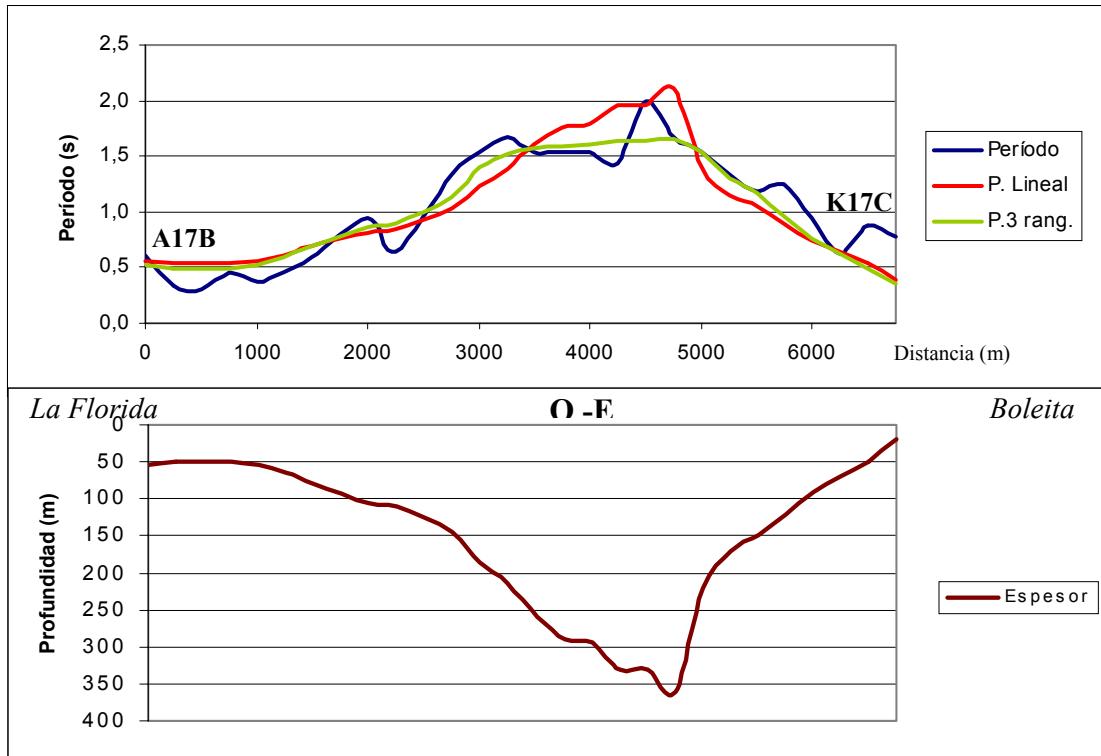


**Figura 4.9:** Perfil 4, dirección norte – sur, al este de la zona de estudio

El perfil 5 (figura 4.10), tiene una longitud de 6.500 metros y dirección este – oeste, abarcando el área de estudio en forma longitudinal por la fila numero 17 definida en la cuadrícula de distribución de estaciones, comenzando en el lado oeste en la estación A17C, ubicada cerca de la avenida principal de Las Palmas terminando en la K17C, adquirida en las cercanías del Centro Ávila y del parque Los Chorros, este atraviesa la parte mas profunda del valle con 360 metros de espesor, encontrando aquí la medición de más alto período de 2,00 segundos en la estación B17C, ubicada en la Plaza Santa Eduvigis a 100 metros al este de los Palos Grandes.

Estos 5 perfiles muestran claramente la profundidad predominante en el área de Los Palos Grandes, Altamira y Santa Eduvigis, y su relación directa con los valores de períodos fundamentales, hallando los más altos en esta zona, como se

pueden observar en las Figuras 4.1 y 4.4. Los datos origen de estos perfiles se encuentran en los Apéndices 5.



**Figura 4.10:** Perfil 5, dirección este - oeste

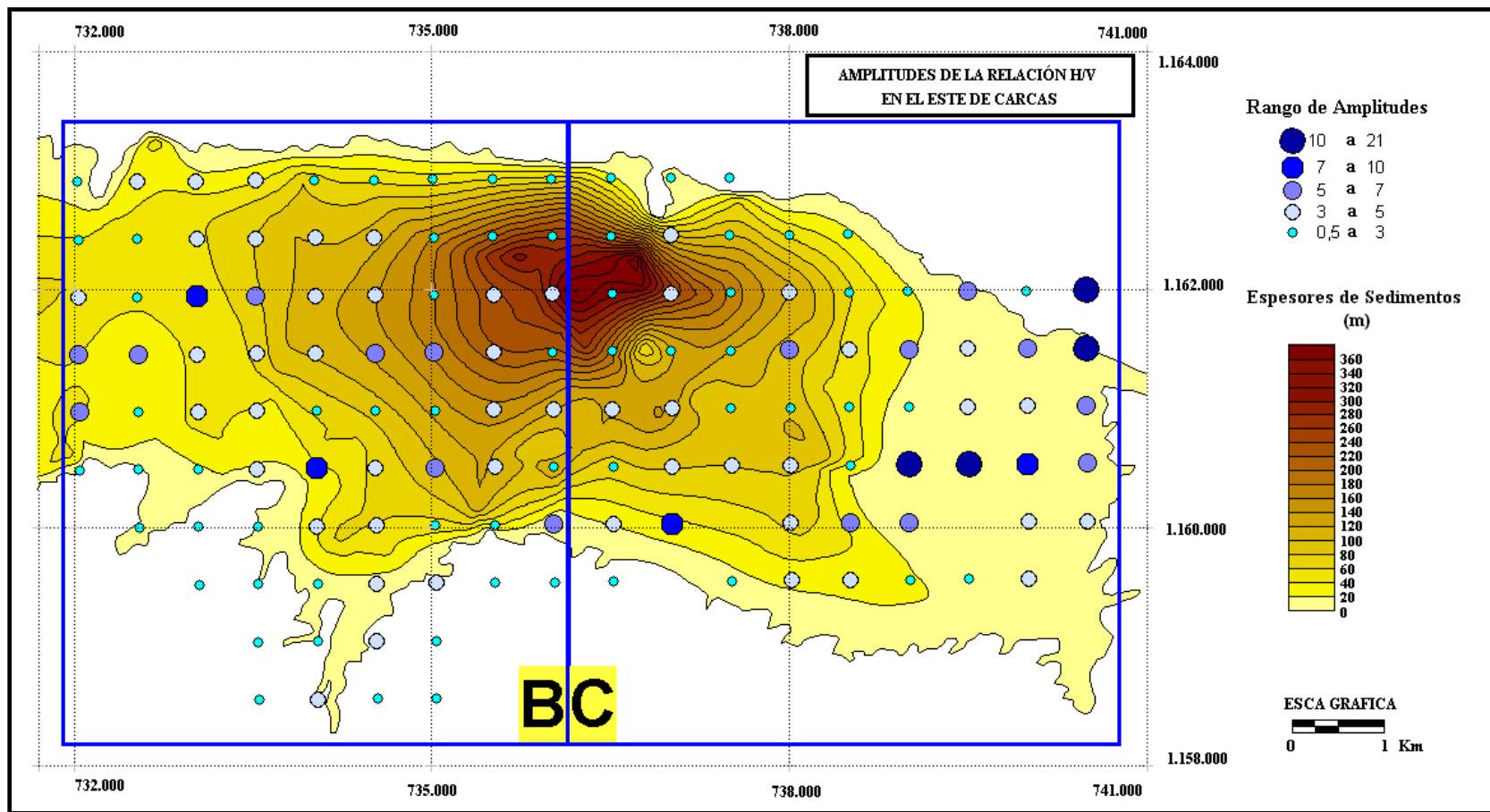
En los perfiles de período y profundidad, se observa que la aproximación lineal (línea roja), tiene un comportamiento muy parecido a los datos prácticos (línea azul), pero particularmente en los perfiles 3, 4 y 5 (Figuras 4.8, 4.9 y 4.10), los cuales poseen espesores mayores a 200 metros, se aprecia un mejor ajuste de la aproximación de tres rangos lineales (línea verde) a los datos reales que la fórmula lineal. Esto respalda la hipótesis acerca del cambio en la relación período – espesor a más de 200 metros de profundidad.

Para profundidades menores a 200 metros no se aprecia un diferencia tan marcada entre las dos aproximaciones como para espesores mayores.

Como se puede observar en la figura 3.6, en cada estación fue registrado el valor de la amplitud máxima del pico en la relación espectral H/V, estas amplitudes según Nakamura, (1989), tienen relación con la función de transferencia de las ondas S a través del medio sedimentario. Otros autores (Duval, 1998; Bard, 1999) explican que para que este valor tenga tal relación, debe adquirirse con otras consideraciones, distintas a la adquisición de ruido ambiental como duración y ondas a estudiar, e incluso aplicar un procesamiento distinto principalmente en el suavizado del espectro de la señal, para corroborar una de estas opiniones, estos datos de amplitud fueron representados en un mapa de rangos (Figura 4.11), del mismo modo que los períodos para observar la relación entre estos.

En el mapa de distribución de Amplitudes (Figura 4.11), no se halla una relación notable de estos valores con los de períodos o profundidad, ni un comportamiento uniforme de los datos, los mayores rangos se encuentran principalmente hacia el este y otros en menor densidad al sur y al oeste, pero muy puntuales, no observando tendencia alguna que comparar con los estudios de ruido Ambiental, coincidiendo con los trabajos de Abeki et al. (1998) y Bard (1999).

Este resultado puede explicarse con las observaciones de Abeki, 1998 y Nakamura, 1989, estos señalan que en los estudios de microsismos y microtremores, no se encuentran variaciones en los valores de frecuencia de resonancia para un misma estación, no así en los valores de amplitud, obteniendo distintos valores en la técnica H/V aplicada a registros de eventos sísmicos, microsismos, mitremores e incluso observando variaciones de estos entre mediciones diurnas y nocturnas.



**Figura 4.11:** Mapa de distribución de valores de Amplitud de la relación H/V en el este de Caracas

Nakamura, (2000), define la frecuencia fundamental como  $F_0 = V_S / 4h$ , refiriéndose a relación entre las múltiples refracciones de las ondas S en el espesor sedimentario y su profundidad para evidenciar el pico en la relación H/V, debido a que se tiene información de las frecuencias a través del período obtenido en cada estación ( $T = 1/F$ ) y de la profundidad mediante el mapa de espesores de sedimentos del valle, se puede realizar un mapa de velocidades promedio en el área (Figura 4.12), donde se encuentra una relación entre las velocidades de onda S con la profundidad y a su vez con los períodos fundamentales del suelo.

Estos resultados dependen directamente del funcionamiento de la técnica, encontrando buenos resultados en zonas donde el método de Nakamura funcione correctamente, es decir donde exista contrastes de impedancia marcado entre dos medios, como por ejemplo, el valle de Caracas, donde según Abeki, 1998 y Duval, 1998, el método puede ser aplicado exitosamente. Los rangos de velocidad S no son precisos en espesores pequeños (desde 20 m/s), estos comienzan a ser mas precisos al pasar los 30 metros de profundidad, en la figura 4.12 se observan valores desde 270 hasta 1.250 m/s en la parte más profunda del Valle (estos datos se encuentran en el Apéndice 1), hallando una buena relación entre estos con los valores conocidos para la velocidad S en aluvión y sedimentos no consolidados.

El aumento en la velocidad de las ondas S en la parte mas profunda del valle, evidencia un posible cambio en la impedancia de los sedimentos, disminuyendo la diferencia entre esta y la de la roca donde yace la columna sedimentaria.



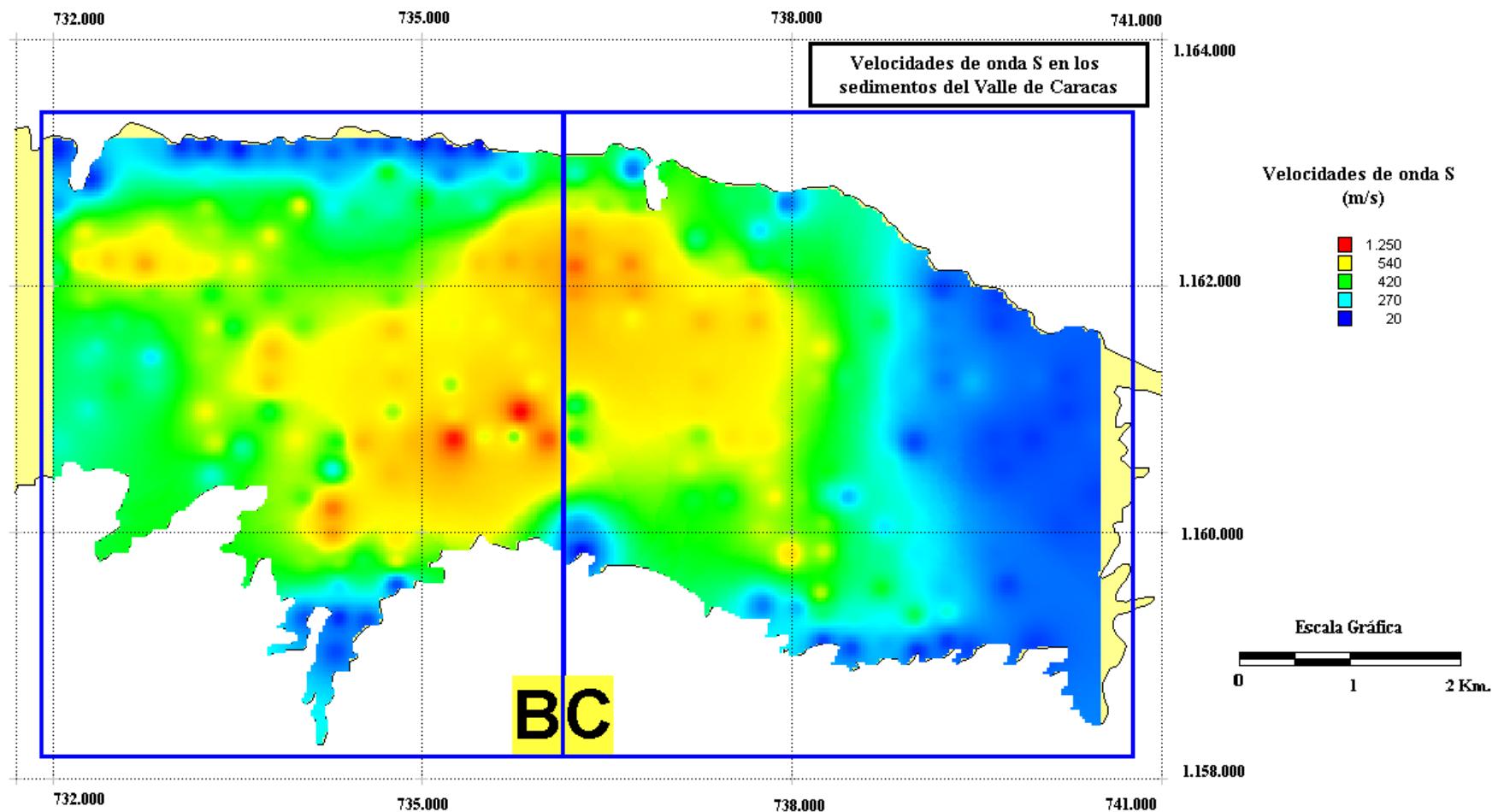
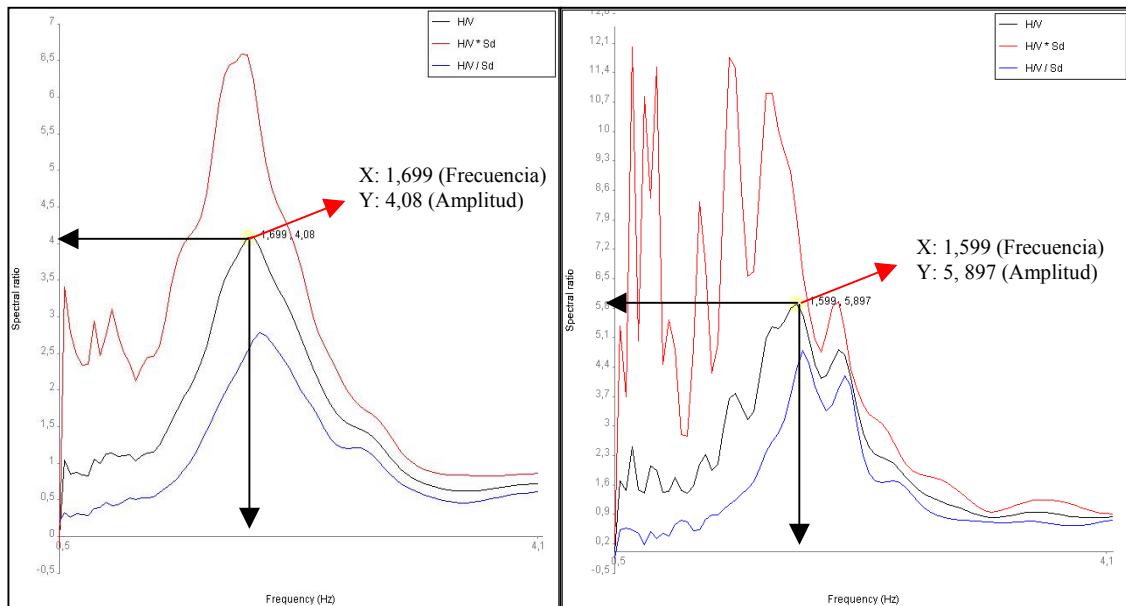


Figura 4.12: Mapa de velocidad de Onda S en el este del valle de Caracas

Para analizar la diferencia en el procesamiento de los datos de acuerdo al número de ventanas y la influencia de esto en los valores de amplitud y período obtenidos, se realizó un procesamiento paralelo a algunas estaciones con un número de ventanas mayor a 15 y otro con solo 2, observando un ejemplo de los resultados en la figura siguiente (Figura 4.13):



**Figura 4.13:** Comparación del procesamiento de una estación con distintos número de ventanas. *Izquierda:* estación E09C procesada con mas de 15 ventanas. *Derecha:* Estación E09C procesada con 2 ventanas.

En la Figura 4.13, se observa claramente que el número de ventanas de procesamiento en los registros puede ayudar a la mejor identificación del pico máximo de la relación espectral H/V, facilitando la fase de interpretación de las señales. También, es apreciable la diferencia entre los valores de Amplitud en ambos picos, no siendo tan amplia en los valores de período,

## **CAPITULO V**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La aplicación del método es posible gracias a la presencia de grandes espesores de sedimentos sobre la roca basamento en la ciudad de Caracas, comprobado anteriormente por Abeki, 1998 y Duval 1998.
- En cuanto al tiempo de grabación de la estaciones, es recomendable tener como mínimo 10 minutos para obtener un número de ventanas de procesamiento mayor a 15, con las cuales, la relación espectral marca mejor el pico de la frecuencia de resonancia, recomendando el aumento de éste en presencia de espesores mayores a 200 metros.
- Para Interpretar el espectro H/V se necesita información geológica (estructural – sedimentaria de la zona de estudio) (Bard, 1999), es decir, el método aplicado individualmente puede tener errores que solo pueden ser observados, al tener datos de espesores o profundidad y condiciones de estratos sedimentario.
- La relación de período - espesor en el este de Caracas, puede definirse en tres rangos de profundidad, en virtud que, el mayor cambio en los valores de período se observa en espesores entre 30 y 200 metros, con una relación  $y = 0,0067x + 0,1553$ . En los rangos de 0 a 30 m. y de 200 a 360, estos valores no tiene variaciones tan marcadas.
- Al igual que un tiempo de grabación adecuado, también es necesario, calma alrededor de la estación en la adquisición, para obtener mayor número posible de ventanas limpias dentro del registro.
- Claramente se observa en la relación período – profundidad, que los valores de período aumentan con el espesor de sedimentos, hallando los mas altos rangos

de éste en la parte más profunda del valle y los mas bajos hacia los límites de este.

- Al comparar los resultados obtenidos por Rocabado en el 2000 con los del presente trabajo, puede observarse una coincidencia en los valores máximos y mínimos de períodos y el valor de corte en las fórmulas que relacionan éstos con los espesores, aun tomando en cuenta que ambos trabajos fueron realizados con rutinas de procesamiento distintas.
- Los valores más altos de período, de 1,5 a 2,00 segundos, se encuentran en el área de Los Palos grandes, Altamira y Santa Eduvigis, asociados a los espesores de sedimentos mas grandes del valle, obteniendo resultados muy cercanos a los de Rocabado, 2000, (de 1 a 2,1 segundos)
- Los períodos más pequeños están asociados a zonas de poca profundidad como el límite del valle, y a mediciones sobre roca, estos van desde 0,15 a 0,33 segundos.
- Se observa el aumento del detalle en la densificación de la malla, al encontrar valores de período entre puntos de menor distancia, aportando mas información acerca de las propiedades en la caracterización de suelos, como ejemplo, la estación C14C de este trabajo detalla la información entre las estaciones L04 y M04 del proyecto de Rocabado, 2000, indicado en el perfil 3 (Figura 4.8).
- Las amplitudes no tienen una relación bien definida, las mas altas se ubican al este del valle, hallando algunos valores medios hacia el sur y al este del área de estudio, encontrando los menores rangos sobre los espesores de sedimentos más grandes de la ciudad, como es dicho por Abeki, 1998, el estudio de ruido ambiental no es la mejor forma de obtener valores certeros de éstas, debido a

que poseen particularidades al momento de la adquisición y procesamiento frente los períodos fundamentales (Bard, 1999).

- Los perfiles realizados con los datos de período y profundidad, evidencian el aumento del detalle obtenido con la densificación de la malla de mediciones de 500 a 250 metros, consiguiendo información para la caracterización de la zona en mediciones con menor distancia entre estas, esto contribuye a una mejor microzonificación sísmica para estudios frente a amenaza sísmica.
- Para realizar estudios de Amplitudes máximas, se recomienda analizar las observaciones expuestas por Bard, 1999, para la adquisición y procesamiento de los registros de las vibraciones del suelo.
- Se debe tener cuidado al analizar las velocidades de onda S estimadas por este método, observando que los valores de éstas no son coherentes para rangos muy pequeños de espesor, dando un buen resultado para valores de profundidad mayores a 30 metro aproximadamente, como los obtenidos para el valle de Caracas, que representan un promedio para los sedimentos de esta cuenca entre 270 y 1.250 m/s desde espesores de 30 metros a 360.
- El programa Sesame representa una fácil, amistosa y precisa herramienta de procesamiento, debido a que ésta guarda parámetros para trabajos individualmente, y hace una selección de ventanas múltiples procesando toda la información, dando como resultado, un promedio de las operaciones realizadas en cada rango de datos; esto muestra una gran ventaja en la comparación de esta rutina frente a otras como el programa H/V y el Kaleydograph que solo permiten procesar una ventana a la vez.
- El estudio de Ruido Ambiental es un método sencillo que, con rapidez, sencillez y economía puede ser usado para caracterización de suelos, debido a que con un

solo equipo, se pueden realizar múltiples mediciones en corto tiempo y con poco personal.

- Se recomienda una buena planificación al momento de adquirir datos de ruido ambiental, tomando en cuenta, primero: el tiempo del registro según los espesores que se estimen en el área a estudiar, segundo: tratar en la medida de lo posible, que no hayan perturbaciones fuertes a un radio de 10 metros del sensor, y tercero: la ubicación e identificación de las estaciones para facilitar su reconocimiento en mapas para su interpretación o ubicación en caso de que sea necesario la repetición de la medición.
- Para corroborar la relación entre período y profundidad en el valle de Caracas, se recomienda realizar un estudios a detalle en una zona de alto espesor (200 metros en adelante), de espesor medio (de 30 a 200 metros) y otro en espesores pequeños, desde 0 a 30 metros, siendo aconsejable una malla de 100 metros en cada zona para obtener mayor cantidad de datos y así poder observar el comportamiento de los valores de período en cada rango de profundidad para comparar luego los resultados con los expuestos en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS

- Abeki, N., T. Enomoto, T. Guevara, y Z. Villegas, (1995). Fundamental concept for Seismic microzonation and preliminary surveys of microtremor observatios in Caracas and Cumaná City, Venezuela. Segundo Coloquio Internacional sobre “Microzonificación Sísmica” y V Reunión de Cooperación Iberoamericana, Cumana, Venezuela. Resumen.
- Abeki, N., Seo, K., Matsuda, I., Enomoto, T., Watanabe, D., Schmitz, M., Rendón, H. y Sánchez, A. (1998). Microtremor observations in Caracas City, Venezuela. Proceedings of the Second International Symposium on The Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Vol. 2.
- Bard, P. Y. (1998). Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?, Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées et Observatoire de Grenoble, France.
- Duval, A.-M., J.-P. Méneroud, S. Vidal, y A. Singer, (1998). Relation between curves obtained from microtremor and site effects observed after Caracas 1967 Earthquake. 11<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engieneering. Balkema, Rotterdam. Resumen.
- FUNVISIS, 1978. Segunda Fase del Estudio del Sismo ocurrido en Caracas el 29 de Julio de 1967. Ministerio de Obras Públicas, Comisión Presidencial para el estudio de Sismo, FUNVISIS, Caracas, Venezuela, Volumen A, p 517.
- Kantak, P., 2001. Espesores de los sedimentos y principales unidades geológicas del valle de Caracas. Taller Internacional “Estudios de métodos y acciones para contrarrestar los efectos producidos por el Terremoto de caracas (1999 – 2000)” Serie Técnica No.1, Caracas, Venezuela. p 99.

Nakamura, Y. 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. QR of RTI, 30 N° 1.

Nakamura, Y. 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's Technique and its applications. Systen and Data Research Co. Tokyo, Japón.

Rocabado, V. (2000). Períodos Fundamentales del suelo de la Ciudad de Caracas a partir de mediciones de Ruido Ambiental. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Rocabado, V. (2003). Manual práctico: Ruido Ambiental. Caracas, Venezuela.

Rosset, P., A. De La Puente, L. Chouinard, D. Mitchell y J. Adams, (2003). Site effect asseesment at small scales in urban ares : A tool for preperedness and mitigation. Montreal. Canada.

Sánchez, J. N. Orihuela, R Meza, R Ambrosio. (2001). Modelaje Gravimétrico del Basamento de la Cuenca de Los Palos Grandes Taller Internacional “Estudios de métodos y acciones para contrarestar los efectos producidos por terremotos en Caracas” (1999-2001), Caracas, Venezuela. p.158.

Seed, H. B., H. Dezfulian e I. M. Idriss (1970). Relationships between soil conditions and build damage in the Caracas earthquake of July 29, 1967, Report N°. EERC 70-2 to the Presidential Comission for Investigation of the Earthquake, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

Seo. K, (1992). A joint work for mesurements of microtremors in the Ashigara valley, in Int. Symp. Effects of Surf. Geol. On Deismic Motion, ESG, Odawara, Japan, p. 43 – 52.

## **APÉNDICES**

## Apéndice 1

**Tabla #1:** Tabla de resultados e información de las mediciones de ruido Ambiental

Est. 250m	x (m)	y (m)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Amplitud	Profundidad (m)	Vs (m/s)
A07C	736307	1159855	0,3127	3,198	1,428	5	63,96
A08C	736278	1160024	0,3848	2,599	3,941	15	155,94
A11B	732043	1160735	0,3923	2,549	6,464	30	305,88
A11C	736252	1160786	1,1111	0,900	4,840	110	396
A12C	736252	1161032	1,2500	0,800	2,566	115	368
A13C	736286	1161272	1,2500	0,800	7,073	170	544
A14C	736298	1161484	1,3333	0,750	6,297	245	735
A15B	732011	1161722	0,3032	3,298	1,478	50	659,6
A15C	736225	1161753	1,6667	0,600	5,118	300	720
A16C	736264	1161977	1,6667	0,600	1,590	350	840
A17B	732035	1162154	0,6064	1,649	6,334	55	362,78
A17C	736257	1162170	1,4286	0,700	4,730	330	924
A18C	736271	1162428	1,3333	0,750	4,141	260	780
A19B	732024	1162689	0,4350	2,299	2,789	20	183,92
A19C	736245	1162692	1,2500	0,800	3,750	160	512
A20C	736253	1162947	0,7148	1,399	3,007	55	307,78
A21B	732041	1163139	0,4446	2,249	2,840	5	44,98
B07B	732273	1159751	0,4446	2,249	2,658	0	0
B07C	736520	1159810	0,5886	1,699	0,638	10	67,96
B08B	732290	1159999	0,4168	2,399	4,884	0	0
B10B	732268	1160478	0,3281	3,048	2,873	0	0
B12B	732290	1161014	0,3775	2,649	8,900	30	317,88
B13B	732309	1161190	0,3455	2,894	5,091	30	347,28
B13C	736509	1161247	1,4286	0,700	7,134	150	420
B141B	732289	1161437	0,3848	2,599	3,445	30	311,88
B14B	732344	1161502	0,4002	2,499	5,915	30	299,88
B15B	732281	1161696	0,3775	2,649	3,480	35	370,86
B15C	736505	1161755	1,6667	0,600	8,094	265	636
B16B	732283	1161920	0,4083	2,449	4,265	50	489,8
B17B	732233	1162222	0,3449	2,899	1,803	50	579,8
B17C	736491	1162209	2,0000	0,500	7,275	330	660
B18B	732258	1162436	0,3334	2,999	5,223	45	539,82
B19B	732293	1162681	0,3638	2,749	2,295	25	274,9
B19C	736502	1162696	0,8703	1,149	1,823	105	482,58
B20B	732303	1162895	0,3573	2,799	2,359	5	55,98
C07B	732542	1159763	0,4653	2,149	5,775	0	0
C07C	736792	1159815	0,1371	7,296	3,274	10	291,84
C09B	732560	1160277	0,8006	1,249	10,165	5	24,98
C10C	736770	1160515	0,8340	1,199	4,058	80	383,68
C11B	732537	1160686	0,2501	3,998	4,042	15	239,88

## Apéndice 1

**Tabla #1:** Tabla de resultados e información de las mediciones de ruido Ambiental  
(Continuación)

Est. 250m	x (m)	y (m)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Amplitud	Profundidad (m)	Vs (m/s)
C11C	736736	1160784	0,9099	1,099	6,423	115	505,54
C12C	736756	1160989	1,1111	0,900	5,850	130	468
C13B	732533	1161195	0,3032	3,298	4,136	30	395,76
C14C	736767	1161489	0,3775	2,649	4,872	60	635,76
C15B	732530	1161703	0,3923	2,549	3,106	35	356,86
C15C	736730	1161761	1,5385	0,650	6,452	210	546
C16C	736751	1161965	1,5385	0,650	7,775	305	793
C17B	732462	1162223	0,3032	3,298	5,122	50	659,6
C17C	736687	1162199	1,6667	0,600	5,433	360	864
C18C	736734	1162450	1,6667	0,600	7,213	265	636
C19C	736736	1162690	0,3573	2,799	1,470	40	447,84
C20C	736728	1162961	0,3127	3,198	1,226	10	127,92
C21B	732529	1163129	0,2900	3,448	4,110	20	275,84
D07B	732827	1159790	0,4653	2,149	4,393	0	0
D07C	737023	1159790	0,4446	2,249	1,135	15	134,94
D08B	732865	1160020	0,6456	1,549	4,374	0	0
D10B	732810	1160485	0,2533	3,948	3,222	10	157,92
D11B	732792	1160740	0,3775	2,649	4,471	25	264,9
D12B	732804	1160963	0,3775	2,649	7,062	35	370,86
D13B	732800	1161242	0,4257	2,349	2,129	35	328,86
D14B	732792	1161434	0,5718	1,749	1,477	35	244,86
D15B	732740	1161653	0,3775	2,649	2,577	35	370,86
D15C	737054	1161750	1,1765	0,850	5,235	180	612
D16B	732797	1161938	0,3923	2,549	4,676	45	458,82
D17B	732759	1162202	0,4548	2,199	1,561	50	439,8
D17C	736983	1162194	1,5385	0,650	9,420	220	572
D18B	732856	1162418	0,3573	2,799	2,143	50	559,8
D19B	732740	1162664	0,4880	2,049	1,490	45	368,82
D19C	736997	1162693	0,2900	3,448	1,366	5	68,96
D21B	732819	1163184	0,3638	2,749	4,184	20	219,92
E05C	737199	1159324	0,3510	2,849	1,564	0	0
E09B	733053	1160208	0,1588	6,297	2,409	5	125,94
E09C	737220	1160277	0,6064	1,649	6,583	60	395,76
E10C	737195	1160555	0,6456	1,549	3,314	85	526,66
E11C	737271	1160788	0,8006	1,249	3,954	95	474,62
E12B	732290	1161014	0,4350	2,299	1,395	30	275,88
E12C	737273	1160999	0,6456	1,549	3,270	95	588,62
E13C	737293	1161244	0,6901	1,449	3,801	110	637,56
E14C	737332	1161433	0,8703	1,149	3,086	130	597,48
E15B	733022	1161714	0,4002	2,499	20,583	45	449,82

## Apéndice 1

**Tabla #1:** Tabla de resultados e información de las mediciones de ruido Ambiental  
(Continuación)

Est. 250m	x (m)	y (m)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Amplitud	Profundidad (m)	Vs (m/s)
E15C	737280	1161731	0,9533	1,049	2,946	170	713,32
E16C	737265	1161971	1,5385	0,650	5,327	210	546
E17B	733044	1162178	0,3775	2,649	3,478	55	582,78
E17C	737309	1162153	1,3333	0,750	3,299	170	510
E18C	737234	1162400	1,3333	0,750	4,801	115	345
E19B	732976	1162626	0,3848	2,599	2,058	50	519,8
E21B	733042	1163160	0,3391	2,949	4,204	5	58,98
F05C	737501	1159309	0,2900	3,448	2,382	0	0
F07C	737506	1159740	0,4083	2,449	1,001	25	244,9
F09C	737496	1160301	0,6671	1,499	8,469	65	389,74
F10B	733293	1160456	0,2704	3,698	4,256	20	295,84
F11B	733325	1160735	0,2300	4,348	4,567	30	521,76
F11C	737529	1160778	0,6064	1,649	3,795	90	593,64
F12B	733252	1160979	0,3334	2,999	3,367	45	539,82
F13C	737485	1161257	0,7148	1,399	3,295	105	587,58
F14B	733281	1161457	0,4446	2,249	4,961	55	494,78
F15B	733295	1161690	0,4168	2,399	2,770	55	527,78
F16B	733305	1161947	0,5886	1,699	3,836	60	407,76
F17B	733250	1162170	0,4548	2,199	4,661	65	571,74
F17C	737509	1162209	1,1765	0,850	2,962	150	510
F18B	733302	1162433	0,5559	1,799	5,158	70	503,72
F19B	733250	1162632	0,4880	2,099	4,882	60	491,76
F19C	737536	1162744	0,5408	1,849	0,880	50	369,8
F20B	733252	1162915	0,4257	2,349	5,360	30	281,88
F21B	733254	1163153	0,4083	2,449	3,715	5	48,98
G04C	737770	1159138	0,2900	3,448	1,996	0	0
G05C	737773	1159405	0,2779	3,598	2,095	10	143,92
G08C	737795	1160018	0,3923	2,549	1,327	50	509,8
G09B	733577	1160256	0,2987	3,348	3,283	0	0
G09C	737891	1160282	0,5131	1,949	5,228	70	545,72
G10C	737773	1160517	0,5992	1,669	4,345	80	534,08
G11B	733530	1160694	0,3079	3,248	5,240	25	324,8
G11C	737786	1160762	0,6254	1,599	3,175	90	575,64
G13B	733528	1161222	0,4083	2,449	3,879	55	538,78
G14C	737742	1161481	0,5718	1,749	4,081	110	769,56
G15B	733462	1161675	0,6671	1,499	7,577	65	389,74
G15C	737732	1161731	0,7413	1,349	4,115	130	701,48
G16C	737700	1161984	0,9099	1,099	3,437	145	637,42
G17B	733535	1162189	0,5886	1,699	3,620	80	543,68
G17C	737757	1162228	1,2500	0,800	5,621	120	384

## Apéndice 1

**Tabla #1:** Tabla de resultados e información de las mediciones de ruido Ambiental  
(Continuación)

Est. 250m	x (m)	y (m)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Amplitud	Profundidad (m)	Vs (m/s)
G18C	737758	1162460	1,3333	0,750	3,925	80	240
G19B	733548	1162640	0,7148	1,399	6,142	70	391,72
G19C	737789	1162696	0,3281	3,048	1,228	30	365,76
G21B	733516	1163130	0,5718	1,749	5,737	5	34,98
H05B	733770	1159291	0,3177	3,148	3,009	0	0
H05C	738050	1159373	0,2943	3,398	5,484	15	203,88
H07C	738002	1159835	0,2900	3,448	3,102	45	620,64
H08B	733790	1160037	0,3848	2,599	3,171	10	103,96
H09B	733820	1160296	0,4350	2,299	1,856	10	91,96
H09C	738045	1160282	0,5886	1,699	1,629	70	475,72
H10B	733810	1160503	0,2818	3,548	9,117	15	212,88
H12B	733763	1160985	0,4083	2,449	3,085	40	391,84
H13B	733768	1161237	0,4350	2,299	1,943	75	689,7
H14B	733777	1161476	0,5131	1,949	2,415	90	701,64
H15C	737972	1161746	0,8703	1,149	4,305	115	528,54
H16B	733789	1161940	0,8703	1,149	8,210	95	436,62
H17C	738010	1162247	0,9533	1,049	2,408	90	377,64
H18B	733773	1162422	0,6671	1,499	2,421	90	539,64
H19B	733773	1162654	0,7413	1,349	7,115	80	431,68
H19C	737990	1162690	0,4653	2,149	1,945	15	128,94
H20B	733745	1162890	0,7413	1,349	2,609	55	296,78
H21B	733770	1163128	0,2987	3,348	1,958	10	133,92
I01B	734023	1158299	0,2248	4,448	1,944	0	0
I03B	734025	1158842	0,2501	3,998	3,770	0	0
I04C	738273	1159110	0,2533	3,948	3,105	5	78,96
I05B	734055	1159307	0,2042	4,898	4,145	5	97,96
I05C	738269	1159354	0,1682	5,947	5,874	15	356,82
I06C	738245	1159513	0,1551	6,447	5,454	20	515,76
I07B	734085	1159793	0,2900	3,448	2,931	35	482,72
I07C	738267	1159847	0,3449	2,899	6,035	45	521,82
I08C	738281	1160082	0,4653	2,149	5,305	55	472,78
I09B	734034	1160290	0,2223	4,498	2,188	25	449,8
I09C	738353	1160326	0,5559	1,799	8,120	40	287,84
I10C	738294	1160518	0,6254	1,599	2,015	65	415,74
I11B	733989	1160755	0,3705	2,699	2,379	50	539,8
I11C	738276	1160770	0,6901	1,449	2,900	80	463,68
I13B	734030	1161255	0,7148	1,399	1,504	85	475,66
I13C	738213	1161259	0,5559	1,799	3,731	70	503,72
I14C	738261	1161508	0,5559	1,799	6,181	75	539,7
I15B	734029	1161712	0,9533	1,049	7,633	110	461,56

## Apéndice 1

**Tabla #1:** Tabla de resultados e información de las mediciones de ruido Ambiental  
(Continuación)

Est. 250m	x (m)	y (m)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Amplitud	Profundidad (m)	Vs (m/s)
I15C	738258	1161742	0,6254	1,599	2,049	90	575,64
I16C	738271	1161966	0,7148	1,399	3,831	90	503,64
I17B	734007	1162193	0,9533	1,049	7,848	105	440,58
I17C	738236	1162235	0,6254	1,599	2,311	70	447,72
I19B	734010	1162672	0,6254	1,599	1,786	85	543,66
I21B	734001	1163147	0,4083	2,449	2,297	10	97,96
J01B	734328	1158292	0,1588	6,297	1,576	0	0
J02B	734352	1158568	0,3923	2,549	0,889	0	0
J03B	734290	1158825	0,2779	3,599	2,015	0	0
J04B	734311	1159027	0,2223	4,498	5,489	5	89,96
J04C	738506	1159059	0,2274	4,398	1,844	5	87,96
J05B	734329	1159314	0,3638	2,749	8,599	5	54,98
J05C	738513	1159323	0,2021	4,948	6,454	15	296,88
J06B	734323	1159555	0,2440	4,098	6,351	15	245,88
J07B	734319	1159777	0,3334	2,999	3,785	40	479,84
J07C	738544	1159860	0,4002	2,499	5,551	35	349,86
J08B	734290	1160000	0,3228	3,098	2,604	65	805,48
J09B	734290	1160201	0,2175	4,598	2,064	50	919,6
J09C	738479	1160301	0,4002	2,499	8,005	20	199,92
J10B	734282	1160515	0,7413	1,349	7,271	50	269,8
J11B	734299	1160745	0,5718	1,749	3,022	60	419,76
J11C	738502	1160785	0,4653	2,149	2,166	50	429,8
J13B	734298	1161232	0,5886	1,699	4,209	95	645,62
J13C	738469	1161264	0,5559	1,799	6,167	50	359,8
J14B	734310	1161472	0,8340	1,199	4,171	115	551,54
J15B	734301	1161713	1,1111	0,900	3,119	125	450
J17B	734256	1162186	0,6456	1,549	2,970	110	681,56
J17C	738496	1162228	0,8703	1,149	4,839	50	229,8
J18B	734211	1162432	0,8703	1,149	2,331	95	436,62
J19B	734282	1162672	1,1765	0,850	6,774	80	272
J20B	734252	1162928	1,1111	0,900	5,695	55	198
J21B	734281	1163118	0,7148	1,399	2,899	20	111,92
K03B	734608	1158772	0,2248	4,448	2,097	0	0
K04C	738803	1159090	0,2084	4,798	5,414	10	191,92
K05B	734550	1159277	0,2223	4,498	4,852	5	89,96
K05C	738766	1159285	0,2223	4,498	11,253	15	269,88
K06C	738751	1159555	0,2470	4,048	8,875	25	404,8
K07B	734528	1159770	0,3638	2,749	3,801	35	384,86
K07C	738734	1159795	0,2411	4,148	7,051	20	331,84
K08C	738761	1160043	0,2382	4,198	4,381	15	251,88

## Apéndice 1

**Tabla #1:** Tabla de resultados e información de las mediciones de ruido Ambiental  
(Continuación)

Est. 250m	x (m)	y (m)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Amplitud	Profundidad (m)	Vs (m/s)
K10C	738791	1160530	0,2063	4,848	1,464	15	290,88
K11B	734528	1160733	0,3848	2,599	5,433	70	727,72
K11C	738744	1160731	0,3281	3,048	7,027	20	243,84
K12C	738748	1160982	0,4168	2,399	3,376	25	239,9
K13B	734529	1161249	0,7413	1,349	5,861	110	593,56
K14C	738781	1161486	0,3923	2,549	2,965	25	254,9
K15B	734523	1161706	1,0000	1,000	2,073	135	540
K15C	738721	1161724	0,3775	2,649	1,279	35	370,86
K16C	738754	1161967	0,4548	2,199	3,737	40	351,84
K17C	738795	1162234	0,7698	1,299	3,014	20	103,92
K19B	734484	1162583	1,0526	0,950	7,156	95	361
K21B	734538	1163176	0,4257	2,349	1,936	10	93,96
L04C	739039	1159038	0,3228	3,098	1,182	5	61,96
L05C	739019	1159340	0,1588	6,297	4,367	15	377,82
L06B	734805	1159569	0,2411	4,148	2,153	5	82,96
L07B	734802	1159773	0,1853	5,397	4,526	25	539,7
L07C	739030	1159814	0,2300	4,348	2,019	15	260,88
L08B	734799	1159958	0,3079	3,298	3,133	45	584,64
L10B	734769	1160502	0,4257	2,349	2,351	75	704,7
L11B	734768	1160752	0,5718	1,749	4,995	90	629,64
L11C	739017	1160744	0,6901	1,449	2,898	15	86,94
L12B	734767	1160987	0,8703	1,149	2,940	105	482,58
L13B	734800	1161247	0,8006	1,249	8,208	130	649,48
L13C	738964	1161267	0,3449	2,899	4,783	20	231,92
L14B	734773	1161460	1,0000	1,000	6,663	140	560
L15B	734767	1161665	0,9099	1,099	2,602	155	681,38
L15C	738969	1161751	0,3228	3,098	4,640	20	247,84
L16B	734773	1161923	1,3333	0,750	7,489	155	465
L17B	734741	1162206	1,3333	0,750	11,254	145	435
L18B	734783	1162442	1,4286	0,700	9,034	135	378
L19B	734724	1162662	1,3333	0,750	8,825	105	315
L20B	734730	1162927	0,4764	2,099	1,326	50	419,8
L21B	734725	1163152	0,4257	2,349	2,435	10	93,96
M04C	739291	1159103	0,2859	3,498	10,203	5	69,96
M05C	739292	1159355	0,2042	4,898	3,074	15	293,88
M06C	739293	1159553	0,2704	3,698	1,276	15	221,88
M10C	739256	1160535	0,5131	1,949	3,531	15	116,94
M11B	734979	1160739	0,5718	1,749	8,483	105	734,58
M12C	739263	1160999	0,2900	3,448	2,238	15	206,88
M13B	735031	1161254	1,2500	0,800	4,735	150	480

## Apéndice 1

**Tabla #1:** Tabla de resultados e información de las mediciones de ruido Ambiental  
(Continuación)

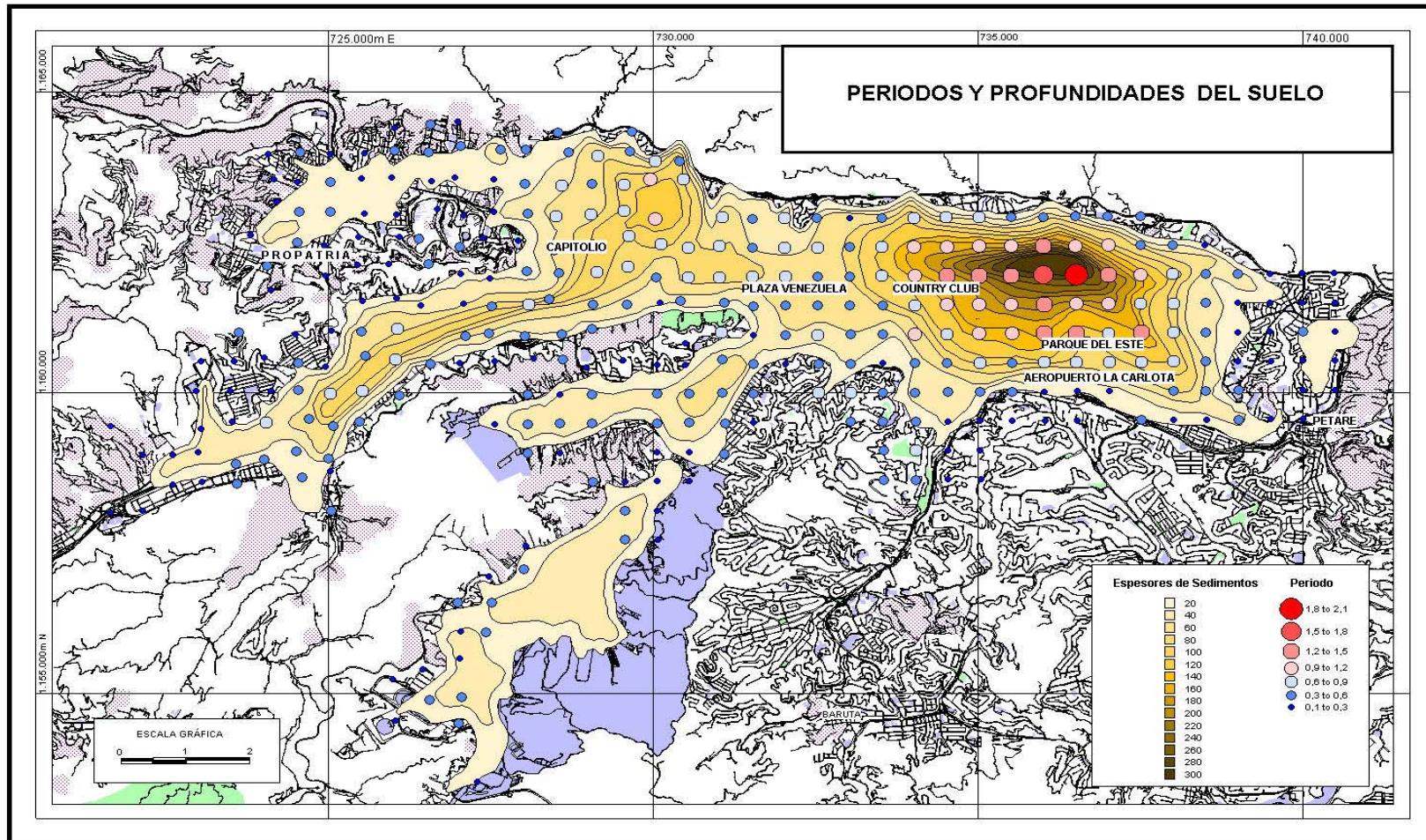
Est. 250m	x (m)	y (m)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Amplitud	Profundidad (m)	Vs (m/s)
M13C	739268	1161268	0,4446	2,249	2,769	15	134,94
M14C	739256	1161493	0,4002	2,499	7,955	15	149,94
M15B	735029	1161693	1,3333	0,750	2,396	180	540
M15C	739242	1161758	0,4002	2,499	3,739	15	149,94
M16C	739247	1161991	0,4764	2,099	4,441	10	83,96
M17B	735038	1162233	1,5385	0,650	6,102	185	481
M19B	735011	1162709	0,9533	1,049	3,581	100	419,6
M21B	734993	1163176	0,5408	1,849	2,138	5	36,98
N04C	739469	1159063	0,2411	4,148	5,330	5	82,96
N07B	735289	1159769	0,4168	2,399	1,719	0	0
N08B	735274	1160012	0,2129	4,698	5,330	50	939,6
N11B	735272	1160766	0,6064	1,649	2,153	125	824,5
N12B	735266	1160978	1,0000	1,000	6,171	145	580
N13B	735253	1161214	1,3333	0,750	4,230	160	480
N13C	739497	1161224	0,2943	3,398	2,064	15	203,88
N14B	735283	1161461	1,2500	0,800	3,633	190	608
N15B	735261	1161708	1,5385	0,650	6,396	205	533
N16B	735268	1161950	1,5385	0,650	4,843	210	546
N17B	735248	1162198	1,6667	0,600	10,090	215	516
N19B	735269	1162691	1,3333	0,750	4,431	120	360
N20B	735219	1162934	1,3333	0,750	5,336	50	150
N21B	735230	1163160	0,7148	1,399	3,190	5	27,98
O04C	739781	1159062	0,2533	3,948	1,591	0	0
O06C	739776	1159574	0,4653	2,149	2,046	10	85,96
O07B	735531	1159796	0,3228	3,098	1,869	0	0
O07C	739711	1159835	0,2943	3,398	2,401	10	135,92
O10C	739722	1160536	0,4653	2,149	2,498	10	85,96
O11B	735518	1160786	1,0000	1,000	5,664	130	520
O11C	739680	1160766	0,4548	2,199	2,741	10	87,96
O13B	735459	1161247	1,1111	0,900	5,826	180	648
O13C	739687	1161241	0,4548	2,199	2,531	10	87,96
O14C	739719	1161491	0,2741	3,648	3,381	10	145,92
O15B	735558	1161710	1,6667	0,600	5,470	230	552
O15C	739700	1161728	0,2382	4,198	4,767	5	83,96
O16C	739717	1161919	0,2565	3,898	3,309	5	77,96
O17B	735490	1162204	1,5385	0,650	7,151	260	676
O19B	735486	1162696	1,6667	0,600	4,787	130	312
O21B	735491	1163173	0,7698	1,299	2,969	5	25,98
P04C	740012	1159085	0,2565	3,898	1,252	5	77,96
P07B	735789	1159811	0,2987	3,348	1,248	0	0

## Apéndice 1

**Tabla #1:** Tabla de resultados e información de las mediciones de ruido Ambiental  
(Continuación)

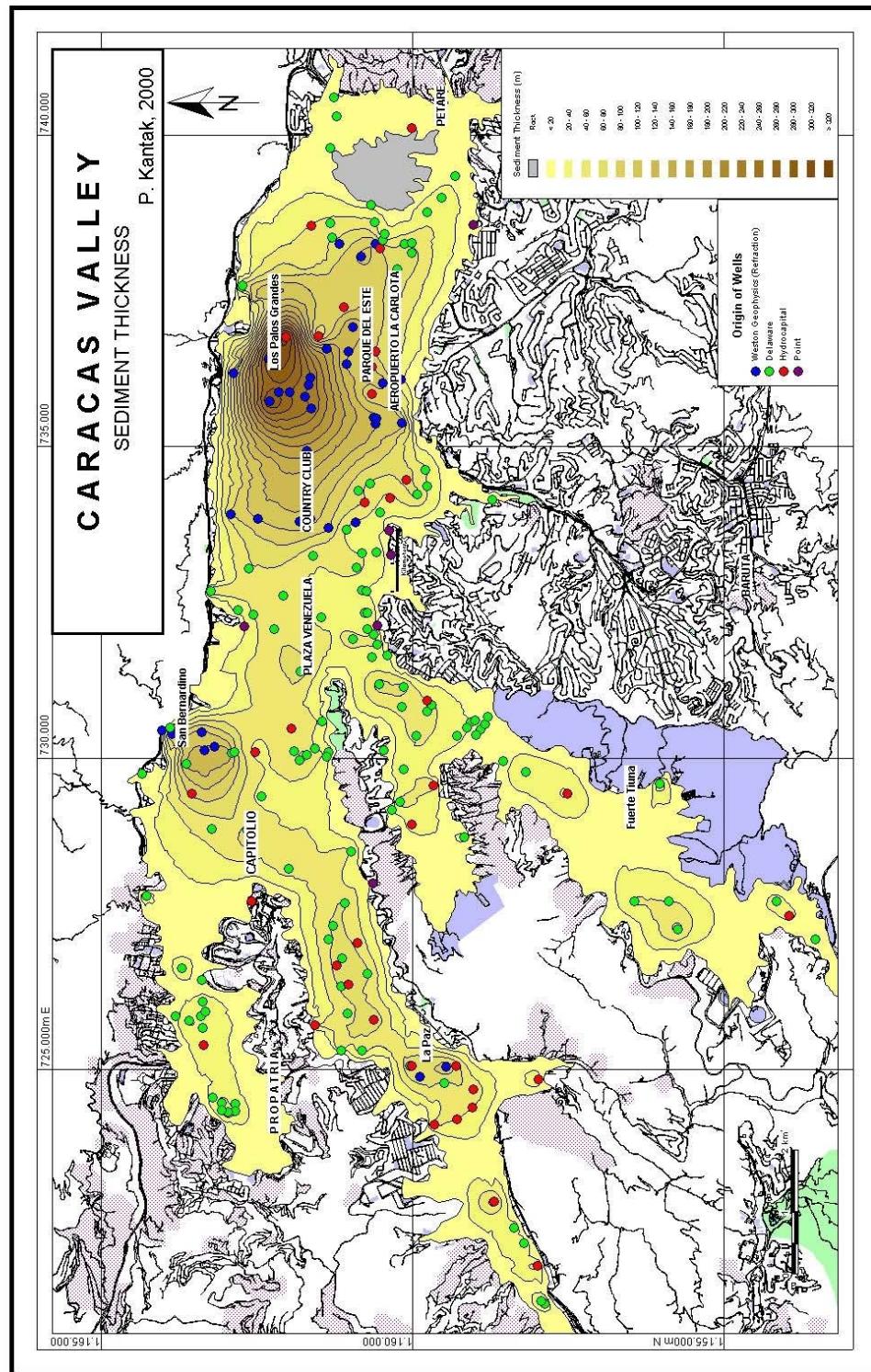
Est. 250m	x (m)	y (m)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Amplitud	Profundidad (m)	Vs (m/s)
P07C	739964	1159711	0,1516	6,597	20,701	5	131,94
P08B	735811	1159980	0,2987	3,348	0,458	10	133,92
P09C	740032	1160326	0,2327	4,298	1,839	5	85,96
P11B	735749	1160779	1,0000	1,000	3,670	115	460
P11C	739988	1160773	0,2741	3,648	1,755	5	72,96
P12B	735810	1160992	1,1111	0,900	2,914	140	504
P13B	735937	1161239	1,2500	0,800	5,459	170	544
P13C	740000	1161265	0,1516	6,597	4,451	5	131,94
P14B	735816	1161486	1,5385	0,650	7,687	220	572
P15B	735780	1161713	1,4286	0,700	4,314	240	672
P15C	739986	1161807	0,2987	3,348	2,765	0	0
P16B	735774	1161945	1,6667	0,600	7,061	255	612
P17B	735741	1162214	1,5385	0,650	7,811	290	754
P18B	735752	1162443	1,5385	0,650	4,984	250	650
P19B	735773	1162740	1,2500	0,800	5,139	135	432
P20B	735766	1162935	1,1111	0,900	3,934	60	216
P21B	735784	1163211	0,2859	3,498	1,936	0	0
Q03C	740237	1158756	0,2129	4,698	1,327	0	0
Q04C	740252	1159048	0,2440	4,098	3,757	0	0
Q08C	740216	1160060	0,2129	4,698	1,134	5	93,96
Q10C	740274	1160551	0,1870	5,347	6,837	5	106,94
Q11B	736021	1160767	0,8340	1,199	2,757	95	455,62
Q11C	740266	1160784	0,1943	5,147	2,705	5	102,94
Q12C	740245	1160998	0,2533	3,948	4,130	5	78,96
Q13C	740244	1161258	0,2274	4,398	2,985	5	87,96
Q15B	736000	1161753	1,6667	0,600	4,449	260	624
Q15C	740251	1161803	0,2900	3,448	2,132	0	0
Q17B	736000	1162193	1,5385	0,650	4,986	295	767
Q19B	736029	1162747	1,3333	0,750	7,212	150	450
Q21B	736006	1163190	0,2440	4,098	2,387	0	0
R09C	740484	1160310	0,2382	4,198	8,964	5	83,96
R11C	740497	1160805	0,1710	5,847	4,103	5	116,94
R13C	740488	1161267	0,1836	5,447	12,095	5	108,94

## Apéndice 2



Apéndice 2: Mapa de períodos de la ciudad de Caracas (Rocabado,2001)

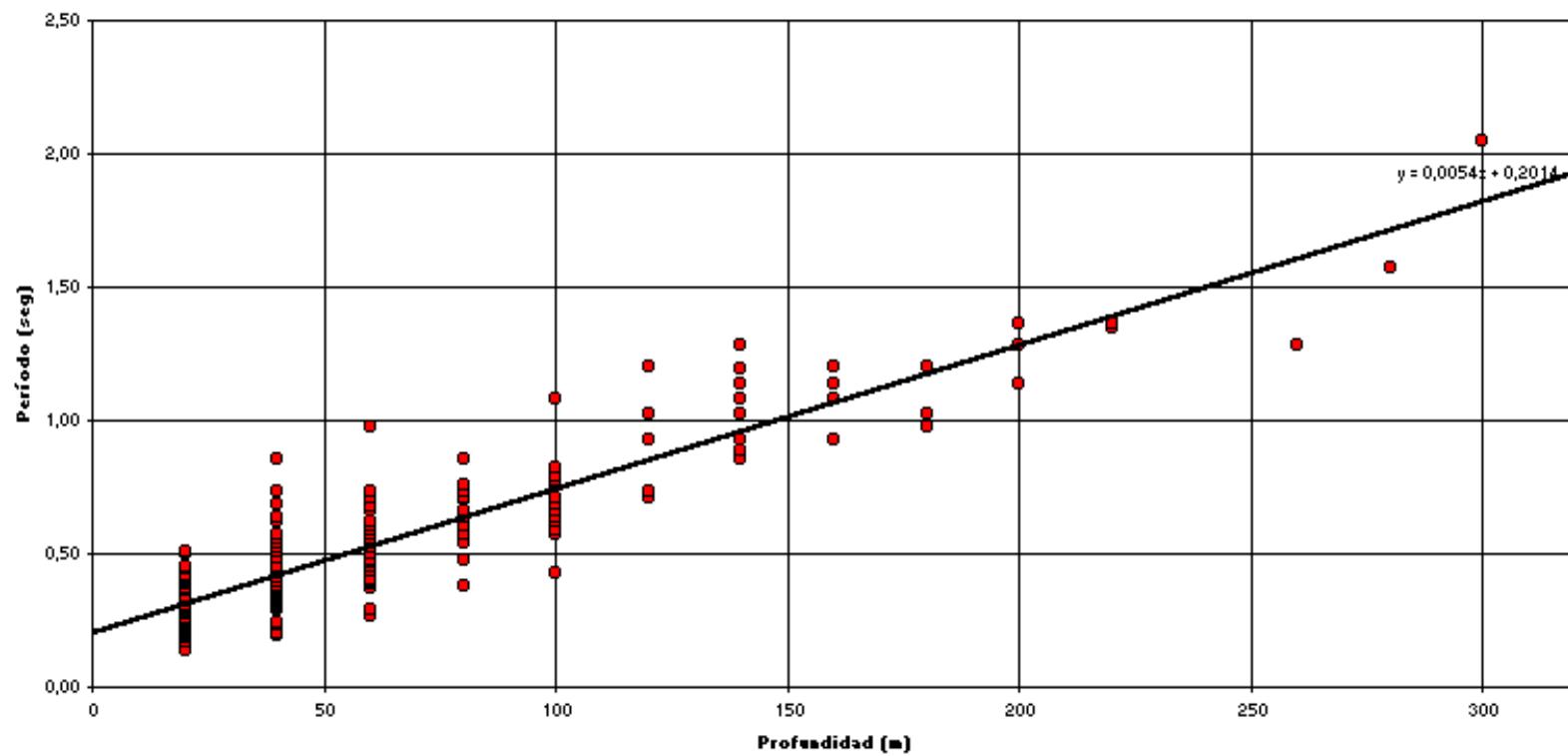
### Apéndice 3



Apéndice 3: Mapa de espesores de sedimentos del Valle de Caracas (Kantak, 2001)

## Apéndice 4

Relación entre Período y Profundidad para Caracas



Apéndice 4: Relación período profundidad en la ciudad de Caracas (ROCABADO,2000)

## Apéndice 5

Tabla de datos de los perfiles Período - Profundidad

### Perfil 1.

Estación	Distancia	Período	Espesor	P. Lineal	P.3 rang.
H05B	0	0,3177	0	0,2832	0,3183
H08B	750	0,3848	10	0,3342	0,3323
H09B	1000	0,4350	10	0,3342	0,3323
H10B	1250	0,2818	15	0,3597	0,3393
H12B	1750	0,4083	40	0,4872	0,4233
H13B	2000	0,4350	75	0,6657	0,6578
H14B	2250	0,5131	90	0,7422	0,7583
H16B	2750	0,8703	95	0,7677	0,7918
H18B	3250	0,6671	90	0,7422	0,7583
H19B	3500	0,7413	80	0,6912	0,6913
H20B	3750	0,7413	55	0,5637	0,5238
H21B	4000	0,2987	10	0,3342	0,3323

### Perfil 2.

Estación	Distancia	Período	Espesor	P. Lineal	P.3 rang.
L06B	0	0,2411	5	0,3087	0,3253
L07B	250	0,1853	25	0,4107	0,3533
L08B	500	0,3079	45	0,5127	0,4568
L10B	1000	0,4257	75	0,6657	0,6578
L11B	1250	0,5718	90	0,7422	0,7583
L12B	1500	0,8703	105	0,8187	0,8588
L13B	1750	0,8006	130	0,9462	1,0263
L14B	2000	1,0000	140	0,9972	1,0933
L15B	2250	0,9099	155	1,0737	1,1938
L16B	2500	1,3333	155	1,0737	1,1938
L17B	2750	1,3333	145	1,0227	1,1268
L18B	3000	1,4286	135	0,9717	1,0598
L19B	3250	1,3333	105	0,8187	0,8588
L20B	3500	0,4764	50	0,5382	0,4903
L21B	3750	0,4257	10	0,3342	0,3323

## Apéndice 5

Tabla de datos de los perfiles Período – Profundidad  
(Continuación)

### *Perfil 3.*

Estación	Distancia	Período	Espesor	P. Lineal	P.3 rang.
C10C	0	0,8340	80	0,6912	0,6913
C11C	250	0,9099	115	0,8697	0,9258
C12C	500	0,3032	130	0,9462	1,0263
C14C	1000	0,3775	60	0,5892	0,5573
C15C	1250	1,5385	210	1,3542	1,5223
C16C	1500	1,5385	305	1,8387	1,6078
C17C	1750	1,6667	360	2,1192	1,6573
C18C	2000	1,6667	265	1,6347	1,5718
C19C	2250	0,3573	40	0,4872	0,4233
C20C	2500	0,3127	10	0,3342	0,3323

### *Perfil 4.*

Estación	Distancia	Período	Espesor	P. Lineal	P.3 rang.
E05C	0	0,3510	0	0,2832	0,3183
E09C	1000	0,6064	60	0,5892	0,5573
E10C	1250	0,6456	85	0,7167	0,7248
E11C	1500	0,8006	95	0,7677	0,7918
E12C	1750	0,6456	95	0,7677	0,7918
E13C	2000	0,6901	110	0,8442	0,8923
E14C	2250	0,8703	130	0,9462	1,0263
E15C	2500	0,9533	170	1,1502	1,2943
E16C	2750	1,5385	210	1,3542	1,5223
E17C	3000	1,3333	170	1,1502	1,2943
E18C	3250	1,3333	115	0,8697	0,9258

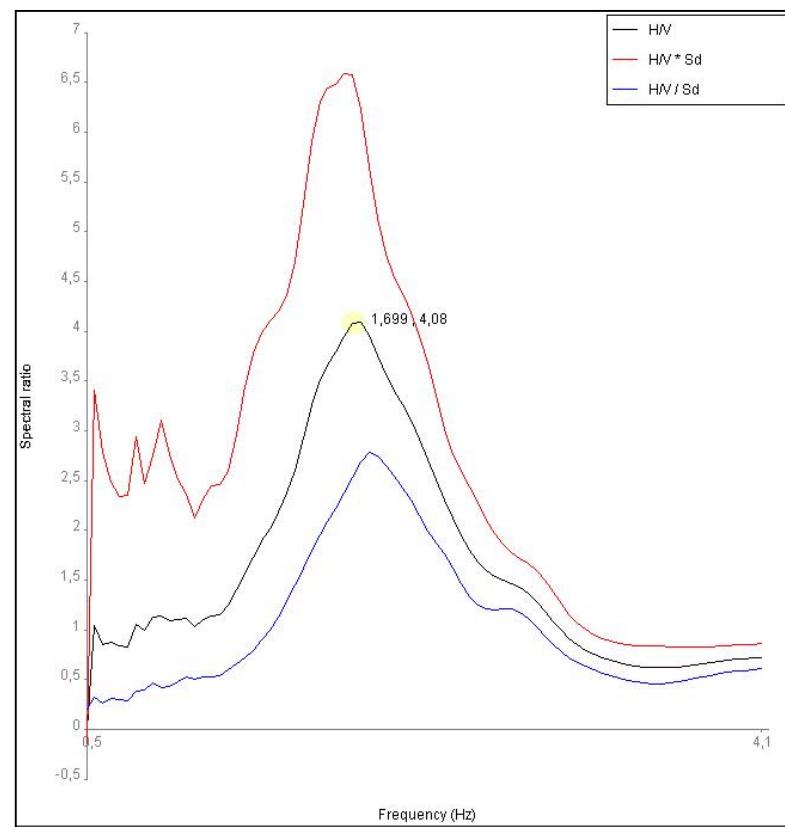
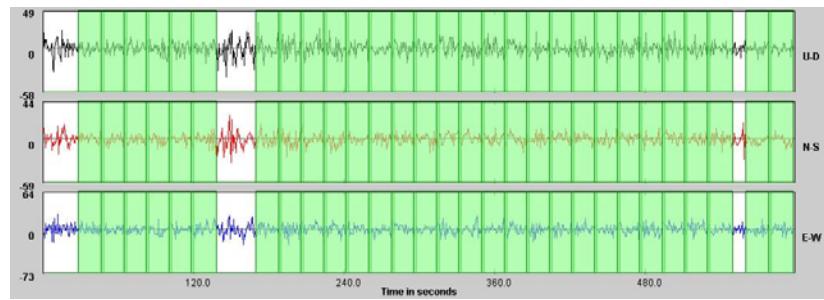
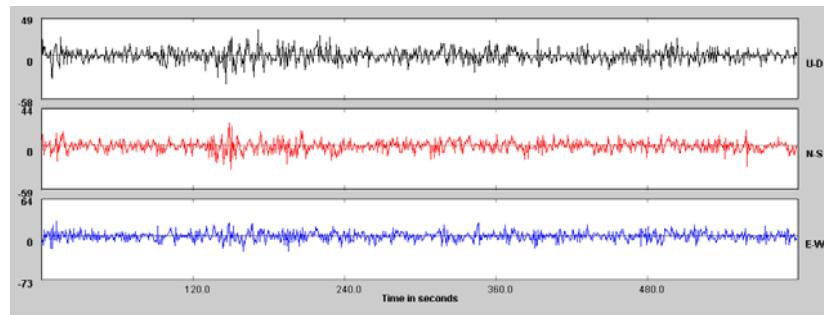
## Apéndice 5

Tabla de datos de los perfiles Período – Profundidad  
(Continuación)

### *Perfil 5.*

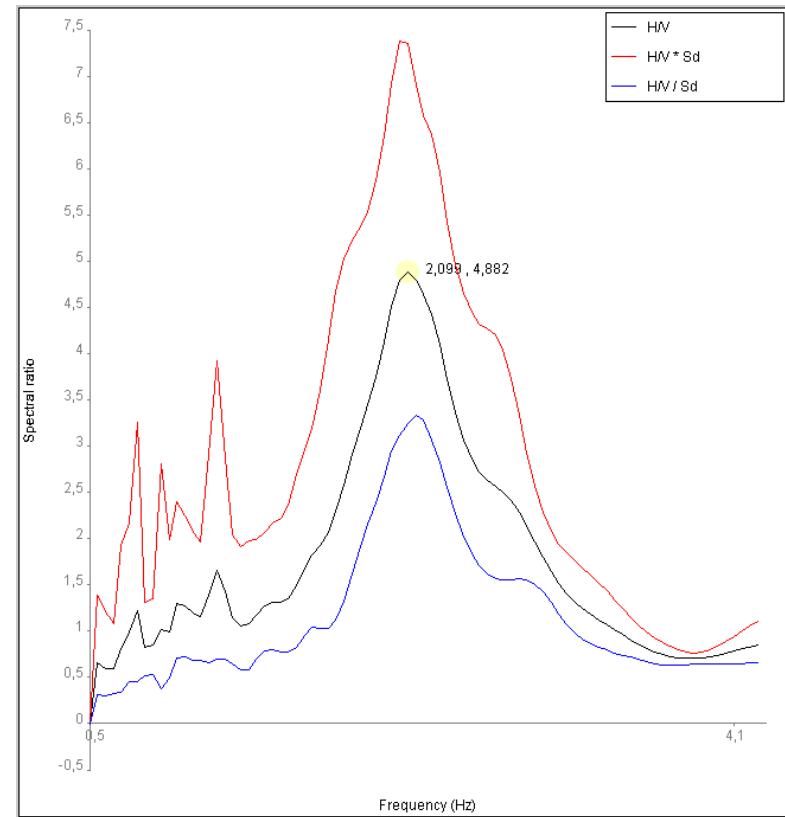
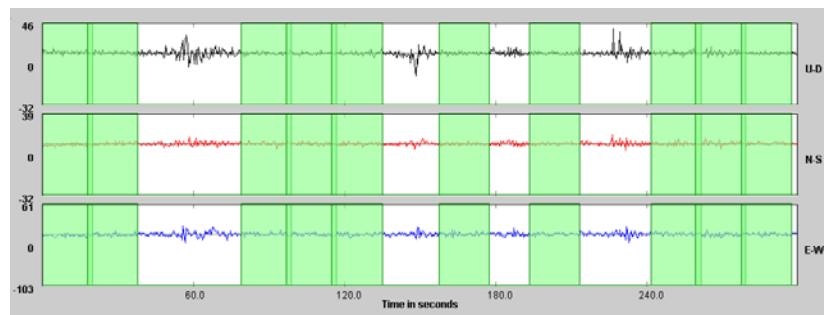
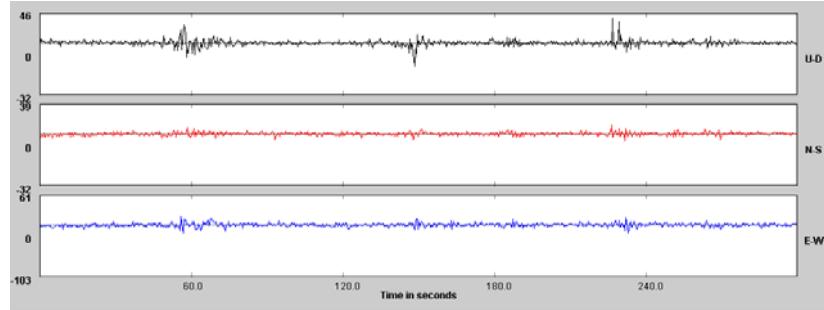
Estación	Distancia	Período	Espesor	P. Lineal	P.3 rang.
A17B	0	0,6064	55	0,5637	0,5238
B17B	250	0,3449	50	0,5382	0,4903
C17B	500	0,3032	50	0,5382	0,4903
D17B	750	0,4548	50	0,5382	0,4903
E17B	1000	0,3775	55	0,5637	0,5238
F17B	1250	0,4548	65	0,6147	0,5908
G17B	1500	0,5886	80	0,6912	0,6913
I17B	2000	0,9533	105	0,8187	0,8588
J17B	2250	0,6456	110	0,8442	0,8923
L17B	2750	1,3333	145	1,0227	1,1268
M17B	3000	1,5385	185	1,2267	1,3948
N17B	3250	1,6667	215	1,3797	1,5268
O17B	3500	1,5385	260	1,6092	1,5673
P17B	3750	1,5385	290	1,7622	1,5943
Q17B	4000	1,5385	295	1,7877	1,5988
A17C	4250	1,4286	330	1,9662	1,6303
B17C	4500	2,0000	330	1,9662	1,6303
C17C	4750	1,6667	360	2,1192	1,6573
D17C	5000	1,5385	220	1,4052	1,5313
E17C	5250	1,3333	170	1,1502	1,2943
F17C	5500	1,1765	150	1,0482	1,1603
G17C	5750	1,2500	120	0,8952	0,9593
H17C	6000	0,9533	90	0,7422	0,7583
I17C	6250	0,6254	70	0,6402	0,6243
J17C	6500	0,8703	50	0,5382	0,4903
K17C	6750	0,7698	20	0,3852	0,3463

## Apéndice 6



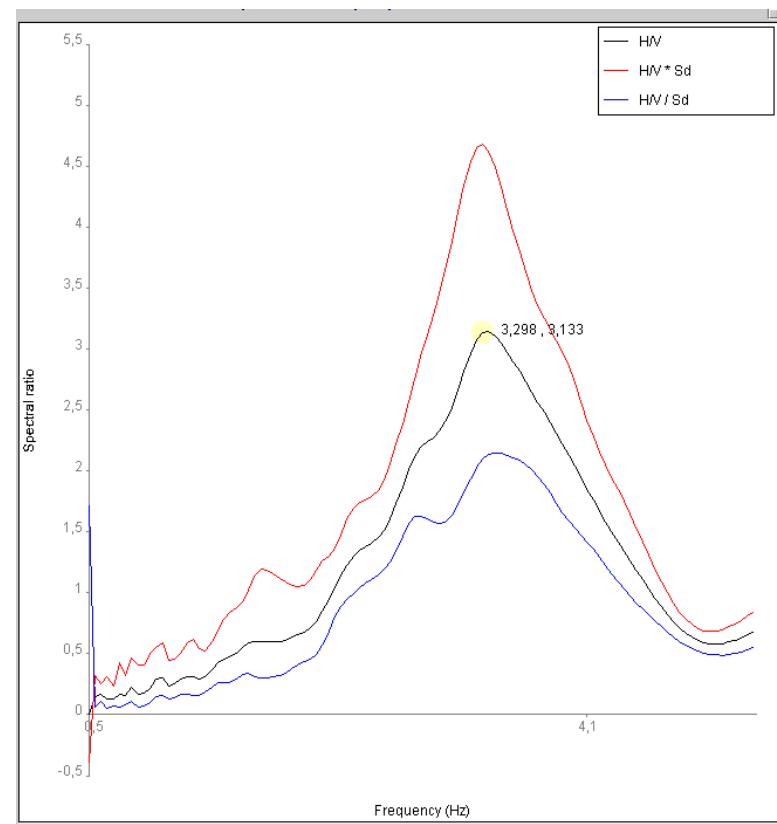
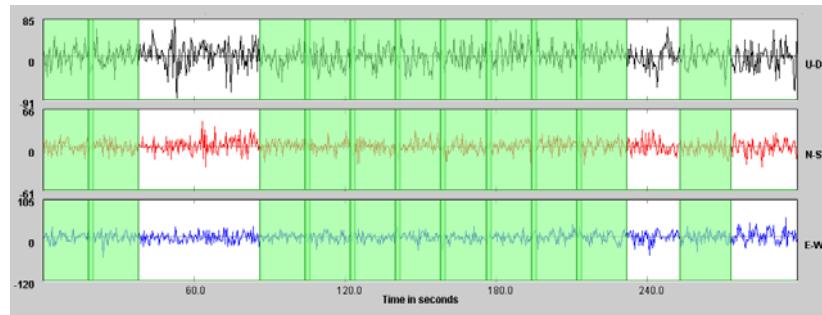
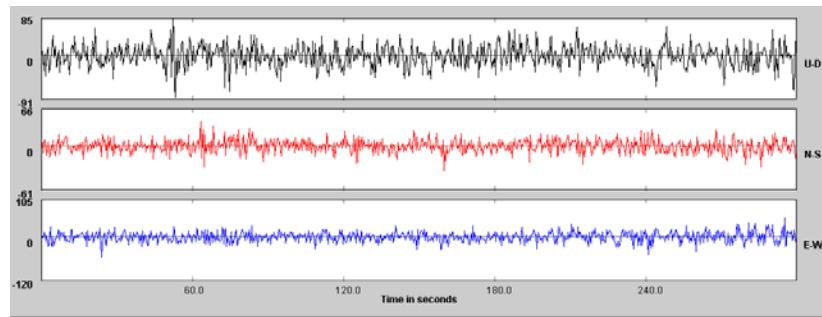
Apéndice 6: Señal, selección de ventanas de procesamiento y relación espectral H/V de la estación E09B

## Apéndice 6



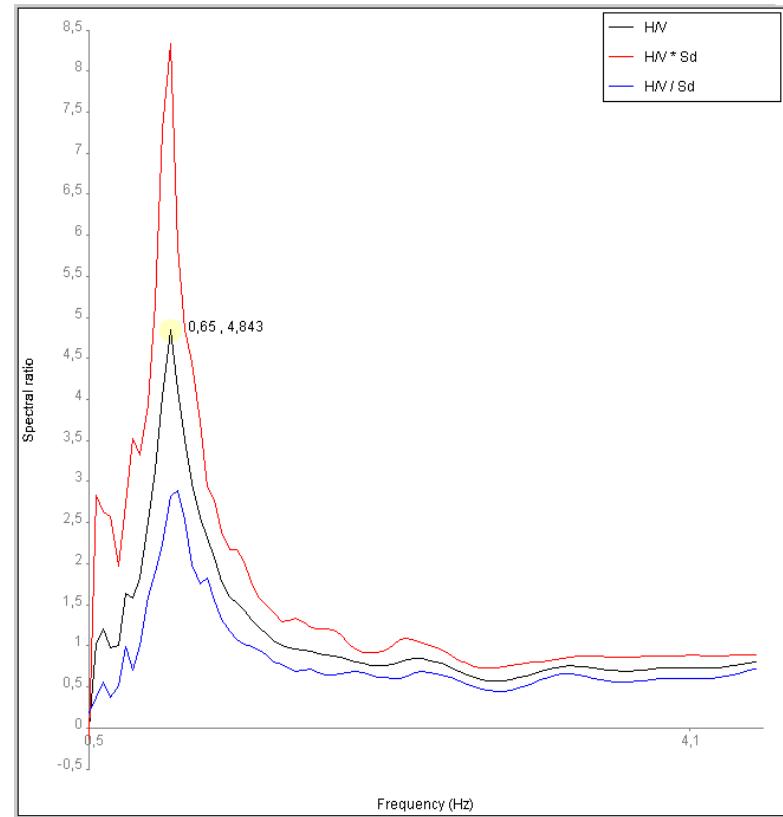
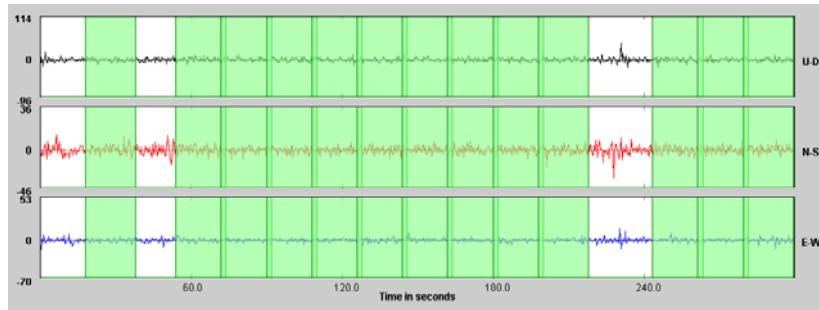
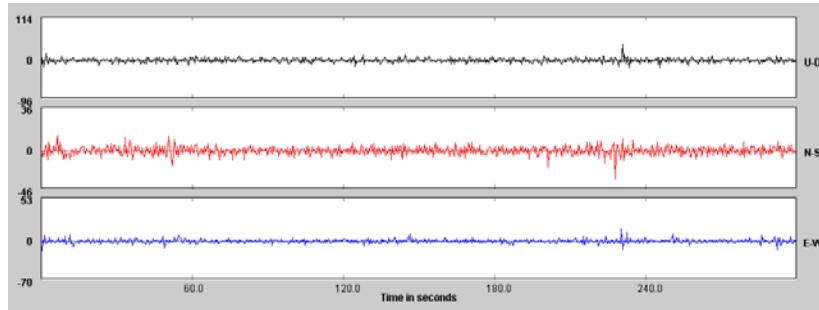
Apéndice 6: Señal, selección de ventanas de procesamiento y relación espectral H/V de la estación F19B

## Apéndice 6



Apéndice 6: Señal, selección de ventanas de procesamiento y relación espectral H/V de la estación L08B

## Apéndice 6



Apéndice 6: Señal, selección de ventanas de procesamiento y relación espectral H/V de la estación N16B