



## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **“CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA MEDIANTE ESTUDIO DE RUIDO SÍSMICO AMBIENTAL, ÁREA METROPOLITANA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.”**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela para  
Optar al título de Ingeniero Geofísico  
Por la Br. Gascón Padrón Rosángela

Caracas, junio de 2009

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **“CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA MEDIANTE ESTUDIO DE RUIDO SÍSMICO AMBIENTAL, ÁREA METROPOLITANA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.”**

Tutor Académico: Dr. Michael Schmitz

Tutora Industrial: Ing. Mónica Paolini

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela para  
Optar al título de Ingeniero Geofísico  
Por la Br. Gascón Padrón Rosángela

Caracas, junio de 2009

## **DEDICATORIA**

*A Dios y a la Virgen por iluminar siempre mi camino.  
A mis padres y mi hermano por su apoyo incondicional  
A mis tíos Robert y Elena por ser mis padres sustitutos durante la carrera.*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **ACADÉMICOS**

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por brindarme una formación profesional, cultural y una experiencia de vida, permitiéndome pasar momentos maravillosos.

En especial a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

A mis profesores de carrera Antonio Ughi, por ayudarme siempre que lo necesité cuando tuve dudas en alguna asignatura de geofísica y por darme consejos acerca de mi Trabajo Especial de Grado. A Yaraixa Pérez, por creer siempre en los estudiantes y estar dispuesta a darnos oportunidades de obtener contacto con en el campo laboral a través de las pasantías de sísmica 3D y VSP.

A mi Tutor Académico el profesor Michael Schmitz por ayudarme a estructurar mi TEG, por aportar sus conocimientos y experiencia que fueron útiles durante el desarrollo de esta investigación.

A la profesora Nuris Orihuela, por su asesoría y consejos en mi TEG

### **PROFECIONALES**

A FUNVISIS y a su personal, especialmente al Departamento de Sismología por permitirme realizar mi TEG y el gran apoyo prestado durante la elaboración de esta investigación.

Un agradecimiento especial a mi tutora industrial, Mónica Paolini, por el gran apoyo prestado durante la elaboración de este TEG. Muchísimas gracias por estar siempre presente en cada etapa de la elaboración de esta investigación y compartir tus conocimientos y consejos durante todo este trayecto. Tu ayuda fue invaluable.

A los Ingenieros de FUNVISIS que me ayudaron durante la adquisición de datos: José Cruces y Familia (por recibirme en su casa), Fermín Noda Cecilio Morales y Eduin Amarís. Gracias por ayudarme en tan ardua tarea.

A los ingenieros que me brindaron asesoría durante la elaboración de este TEG: Víctor Rocabado y Kenny García.

Gracias al personal de INGEOMIN, en especial a Marilyn Manchego, Giovani Caicedo y a Carelis Navas por el préstamo de un mapa geológico del área de estudio inédito. Gracias por su amabilidad

Gracias al Fonacit, ya que esta investigación fue financiada con fondos de la Misión Ciencia en el marco del Proyecto Fonacit 2007 000939

## **PERSONALES**

A Dios y a la Virgen, quienes siempre han sido mi guía en el transcurso de mi vida.

A mis padres Miguel Gascón y María Padrón de Gascón y mis hermanos Miguel, María y Rosana Gascón. A mis padres por inculcarme principios y valores, no sólo con palabras, sino con hechos. Cada uno individualmente con sus historias de vida me ha mostrado que la principal limitante en la vida no es más que uno mismo. Y a mis hermanos por ser una fuente influyente de conocimientos a cerca de la vida, por auxiliarme en todo momento. ¡¡¡Gracias por su paciencia y apoyo!!!

A mis tíos Robert Gascón y Elena Reyes de Gascón, verdaderamente gracias por su apoyo y sus consejos. A mis primos Roberto y Mauricio por hacerme reír tanto.

A mis primos Crelia Padrón de Carrillo y a Eduardo Carrillo, por brindarme un hogar y calor familiar en un momento muy duro. Les estaré eternamente agradecida.

A Robert Ayán, por hacerme reír y sonreír hasta en los momentos más difíciles y siempre alentarme con su frase favorita: “Todo va a salir bien”. Un millón de gracias por ser mi compañero y amigo.

A mis compañeros de la universidad y de carrera: Miguel E., Mailyng, Ivavnova Joshua, Rodrigo, José Alirio, Alexis, Gabriel, Daniel, Renné, Vicente, Luis Miguel, Ana Mercedes, Clemente, Juanpablo. Gracias por los momentos tan maravillosos que compartimos y hacer de mi estancia en la universidad una experiencia inolvidable. (Disculpen los que no nombré, igual se les quiere mucho).

Gracias a todas a aquellas personas que de alguna manera u otra hicieron posible este Trabajo Especial de Grado.

**“Caracterización Geofísica Mediante Estudio de Ruido Sísmico Ambiental, Área Metropolitana del Estado Anzoátegui”**

**Autora:** Rosángela Gascón.

**Tutor Académico:** Dr. Michael Schmitz. **Tutora Industrial:** Ing. Mónica Paolini.

**Palabras Claves:** Ruido ambiental, período fundamental del suelo, efectos de sitio, microzonificación sísmica, mitigación de riesgo sísmico, espesor de sedimento.

**RESUMEN**

En busca de ampliar los estudios de efectos de sitio a través de la microzonificación sísmica, con el fin de delimitar la respuesta del subsuelo en áreas donde pueden ocurrir eventos sísmicos en el país, se ha desarrollado el “Proyecto de Investigación Aplicada a la Gestión de Riesgo en espacios Urbanos” en las ciudades de Barcelona y Puerto La Cruz, estado Anzoátegui.

El propósito del presente Trabajo Especial de Grado contempla una evaluación geofísica mediante mediciones de ruido ambiental, a través del Método de Nakamura (1989) o relación espectral H/V (Bard, 1999), el cual permite la obtención de los períodos fundamentales del suelo en la región de estudio y realizar una estimación del espesor de la capa de sedimentos a partir de la relación período – velocidad de onda de corte,  $V_s$ , (Rocabado *et al*, 2009).

Se generó un mapa de períodos fundamentales con los valores adquiridos en el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui. Se observó que los períodos registrados están en un rango comprendido entre 0,10 s y 1,53 s, donde el municipio Urbaneja presenta períodos comprendidos entre 0,18 s y 1,53 s; el municipio Sotillo de 0,10 s a 0,95 s, y el municipio Bolívar entre 0,10 s y 1,49 s, ubicándose los máximos valores en el municipio Urbaneja y los menores en el municipio Sotillo. Los espesores determinados a partir de la relación propuesta por Rocabado *et al*. (2009) muestran un máximo espesor de 147 m en el municipio Urbaneja.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO I.....	11
INTRODUCCIÓN.....	11
I.1 Planteamiento del problema.....	11
I.2 Objetivos.....	13
I.2.1 Objetivo General.....	13
I.2.2 Objetivos específicos.....	13
I.3 Justificación.....	14
I.4 Ubicación área de estudio.....	15
I.4 Antecedentes.....	16
CAPÍTULO II.....	23
MARCO GEOLÓGICO.....	23
II.1 Tectónica - Estructural.....	23
II.2 Sistema de Falla de El Pilar y Los Bajos-El Soldado.....	24
II.3 Deflexión de Barcelona.....	25
II.4 Falla de Urica y Cerro Grande.....	27
II.5 Geología Local.....	28
CAPÍTULO III.....	32
MARCO REFERENCIAL TEÓRICO.....	32
III.1 Microzonificación Sísmica.....	32
III.2 Efectos de sitio.....	33
III.3 Microtremores.....	34
III.4 Método de Nakamura o relación H/V.....	35
CAPÍTULO IV.....	39

METODOLOGÍA.....	39
IV.1 Mediciones de ruido ambiental .....	39
IV.1.1 Adquisición .....	39
IV.1.2 Procesamiento .....	42
IV.2 Análisis Geoestadístico .....	44
IV.3 Relación Período Fundamental – Profundidad de Sedimentos Blandos .....	44
IV.3.1 Relación según Rocabado (2002):.....	45
IV.3.2 Relación según Rocabado <i>et al.</i> (2009):.....	46
CAPÍTULO V .....	48
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
IV.1 Análisis Estadístico .....	48
IV.1.2 Medidas de dispersión y tendencia Central.....	48
IV.1.3 Histograma de Frecuencia.....	49
IV.1.4 Gráfico de Caja y Bigotes (Boxplot).....	50
VI.1.5 Análisis de Conglomerado. ....	51
IV.2 Ruido Ambiental: Períodos predominantes.....	52
IV.3 Relación Pico Predominante – Impedancia.....	56
IV.4 Relación Período Fundamental – Profundidad de Sedimentos Blandos .....	61
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES .....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
APÉNDICE A .....	76
APÉNDICE B.....	87
ESTADÍSTICA .....	87
APÉNDICE C.....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura 1.</b> Mapa de zonificación sísmica de Venezuela según la norma COVENIN 2001 .....	12
<b>Figura 2.</b> Mapa de ubicación del área de estudio .....	15
<b>Figura 3.</b> Mapa de ubicación de los perfiles sísmicos .....	17
<b>Figura 4.</b> Mapa de zonificación preliminar de las áreas potencialmente licuables .....	19
<b>Figura 5.</b> Situación de la Deflexión de Barcelona .....	26
<b>Figura 6.</b> Mapa de Fallas cuaternarias de Venezuela .....	28
<b>Figura 7.</b> Mapa de geología local del área de estudio .....	30
<b>Figura 8.</b> Estructuras y configuraciones tipo que pueden dar lugar a los efectos de sitio .....	33
<b>Figura 9.</b> Modelo asumido por Nakamura (1989) para la interpretación de microtemores .....	35
<b>Figura 10.</b> Estimación Período Profundidad propuesta por Rocabado (2002) y Rocabado <i>et al</i> (2009) .....	37
<b>Figura 11.</b> Adquisición .....	40
<b>Figura 12.</b> Estimaciones de ruido ambiental .....	41
<b>Figura 13.</b> Clasificación de picos para cada municipio .....	43
<b>Figura 14.</b> Relación Período – Profundidad estimada para la ciudad de Barcelona por Mendes (2004) .....	44
<b>Figura 15.</b> Ubicación del perfil sísmico 1 .....	45
<b>Figura 16.</b> Perfiles sísmicos .....	47
<b>Figura 17.</b> Histograma de frecuencia de los períodos determinados .....	49
<b>Figura 18.</b> Gráfico de Caja y Bicos .....	50
<b>Figura 19.</b> Análisis de conglomerados .....	51
<b>Figura 20.</b> Pico predominante representativo para cada municipio .....	52
<b>Figura 21.</b> Mapa de períodos fundamentales por rango .....	54
<b>Figura 22.</b> Mapa de isoperíodo del área en estudio .....	55

<b>Figura 23.</b> Ejemplo de picos claros determinados para el Área norte Metropolitana del estado Anzoátegui.....	57
<b>Figura 24.</b> Ejemplo de picos dobles determinados para el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui.....	58
<b>Figura 25.</b> Ejemplo de picos poco claros determinados para el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui .....	59
<b>Figura 26.</b> Clasificación por pico .....	60
<b>Figura 27.</b> Mapa de espesores del área de estudio. Relación según Rocabado (2002) ..	62
<b>Figura 28.</b> Mapa de espesores del área de estudio. Relación según Rocabado <i>et al.</i> (2009).....	64
<b>Figura 29.</b> Ubicación del perfil gravimétrico N° 3 del oeste de Barcelona .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
<b>Tabla 1.</b> Medidas de dispersión y tendencia central.....	44
<b>Tabla 2.</b> Estaciones de ruido ambiental adquiridas en 2009.....	89
<b>Tabla 3.</b> Estaciones de ruido ambiental adquiridas en 2004.....	119
<b>Tabla 4.</b> Espesores del área de estudio. Método Rocabado (2002) y Método Rocabado, <i>et al.</i> (2009).....	132

# CAPÍTULO I

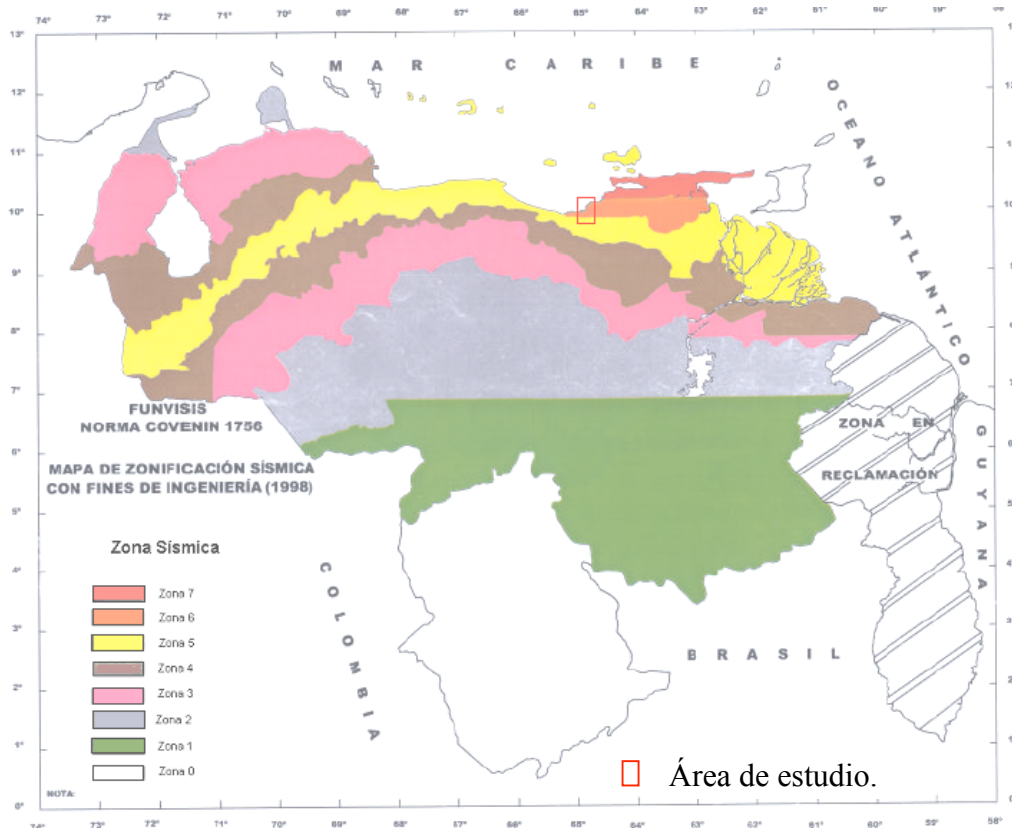
## INTRODUCCIÓN

### **I.1 Planteamiento del problema**

La zona norte de Venezuela es una región de gran complejidad geodinámica, dominada por la interacción entre las placas Caribe y Suramericana. El límite principal entre estas dos placas tectónicas corresponde al sistema de fallas dextrales de Boconó (Región Occidental), San Sebastián (Región Nor-Central) y El Pilar (Región Oriental). Dado el funcionamiento de este sistema de fallas, la placa Caribe se desplaza hacia el este con respecto a la placa Suramericana, constituyendo la falla El Pilar la de mayor importancia entre ambas, responsable de ser la fuente más activa de sismicidad superficial en el país (Audemard, 1999).

De acuerdo con la Norma Venezolana COVENIN 1756 – 2001, Edificaciones Sismoresistentes, se ha dividido al país en 8 zonas sísmicas que permiten clasificar el tipo de peligro sísmico. Para zonas comprendidas entre 0 y 2, el peligro sísmico es bajo, entre 3 y 4 es intermedio y entre 5 y 7 es elevado.

El área en estudio se encuentra ubicada en dos zonas sísmicas según el mapa de microzonificación sísmica (COVENIN, 2001). Los municipios Juan Antonio Sotillo y Diego Bautista Urbaneja pertenecen a la zona sísmica 6 y el municipio Simón Bolívar a la zona sísmica 5, consideradas zonas de peligro sísmico elevado (Figura 1). Debido a esta situación se hacen necesarios los estudios de microzonificación sísmica en el área en estudio con el fin de delimitar la respuesta sísmica del suelo ante la ocurrencia de un evento sísmológico.



**Figura 1.** Mapa de zonificación sísmica de Venezuela según la Norma COVENIN (2001).

La Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS, en conjunto con instituciones nacionales, ha desarrollado estudios de microzonificación sísmica en diferentes sitios del país, como Caracas (Rocabado et al, 2007) y Barquisimeto (Rocabado *et al*, 2005), obteniéndose resultados satisfactorios en cuanto a la estimación de efectos de sitios. El presente Trabajo Especial de Grado está enmarcado dentro del “Proyecto de la Investigación Aplicada a la Gestión Integral de Riesgo en espacios Urbanos”, en las ciudades de Barcelona y Puerto La Cruz y contempla la adquisición de datos de ruido ambiental en los municipios que conforman el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui.

Para el estudio de ruido ambiental, se emplea el método de Nakamura (1989), también conocido como relación espectral H/V (Bard, 1999). Esta técnica propone que los microtemores (vibraciones del suelo que pueden ser producto tanto de fuentes naturales, como de fuentes artificiales: actividad humana) pueden usarse para evaluar los efectos de sitio tomando en cuenta únicamente la relación o cociente espectral entre las

componentes verticales y horizontales del movimiento registrado en el lugar de estudio (Nakamura, 1989), permitiendo la obtención de los períodos fundamentales de vibración del suelo en el área de interés, generando como producto final un mapa de isoperíodos predominantes del suelo en la ciudad incluidos posteriormente en la base de datos del Sistema de Información Geográfica (SIG).

## **I.2 Objetivos**

### **I.2.1 Objetivo General**

Caracterizar la capa sedimentaria del Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui, a partir de mediciones de ruido ambiental, mediante la aplicación del Método de Nakamura (relación espectral H/V) y determinación de posibles efectos de sitio causados por los estratos sedimentarios.

### **I.2.2 Objetivos específicos**

- Recopilar información geológica, geofísica, cartográfica y de estudios previos realizados en la zona de estudio.
- Adquirir datos de ruido ambiental y aplicar el método de Nakamura (relación espectral H/V) para determinar los períodos fundamentales del suelo en el área en estudio.
- Generar mapa de isoperíodos predominantes del suelo e integración de datos en el Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Calcular espesor de sedimentos a partir de la relación período – profundidad de sedimentos blandos y período - vs.
- Interpretar de forma integrada los resultados geofísicos y geológicos.

### **I.3 Justificación**

El Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui se encuentra ubicada en la zona de interacción de las Placa Caribe y la Placa Suramericana, cuya expresión superficial está representada al oriente del país por la Falla del Pilar, responsable de generar la mayor actividad sísmica en Venezuela (Audemard, 1999).

Tomando en cuenta la amenaza natural a la que está expuesta el área de estudio y el constante aumento de la población, se hacen necesarios los estudios de microzonificación sísmica con el fin de realizar la evaluación de los efectos locales del suelo de acuerdo con las características geotécnicas y geológicas de cada sitio. Actualmente, se está ejecutando el “Proyecto de Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos” por FUNVISIS en conjunto con instituciones nacionales, cuyo objetivo principal se enfoca en la necesidad de mejorar y reactivar la infraestructura y capacidades humanas, en el seguimiento de las variables sismológicas, hidrometeorológicas, geotécnicas, geomorfológicas y tecnológicas en el territorio nacional para fines estadísticos, toma de decisiones, manejo de recursos asociados, prevención y mitigación de riesgo de desastre, siendo la contribución del presente Trabajo Especial de Grado la delimitación local del subsuelo a través de una evaluación geofísica que contempla mediciones de ruido ambiental, aplicando el método de Nakamura (1989), o relación espectral H/V (Bard, 1999).

A través del mapa de valores de períodos, producto del estudio de microtemores, así como también por medio de la integración de estudios geológicos, gravimétricos, geotécnicos y de sísmica de refracción, entre otros, se espera a futuro delimitar zonas que presentan comportamientos similares, permitiendo establecer requerimientos mínimos de diseño orientados a la prevención de desastres producto de movimientos sísmicos.

Mediante un análisis comparativo se busca determinar una mejor relación entre el período fundamental del suelo y la estimación del espesor de sedimentos de una manera rápida y sencilla, lo que se traduce en un menor costo que al aplicar otros métodos.

#### I.4 Ubicación área de estudio

El estado Anzoátegui se encuentra ubicada al noreste del país. Limita al norte con el Mar Caribe, al sur con el estado Bolívar, al oeste con los estados Miranda y Guárico y al este con los estados Sucre y Monagas. La zona en que forma parte de este estudio es el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui y está conformada por los siguientes municipios (Figura 2):

**Simón Bolívar:** Capital Barcelona, compuesto por las parroquias San Cristóbal y El Carmen.

**Juan Antonio Sotillo:** Capital Puerto La Cruz, compuesto por las parroquias Puerto La Cruz y Pozuelos

**Diego Bautista Urbaneja:** Capital Lecherías, compuesto por las parroquias Lecherías y El Morro.

**Guanta:** Capital Guanta

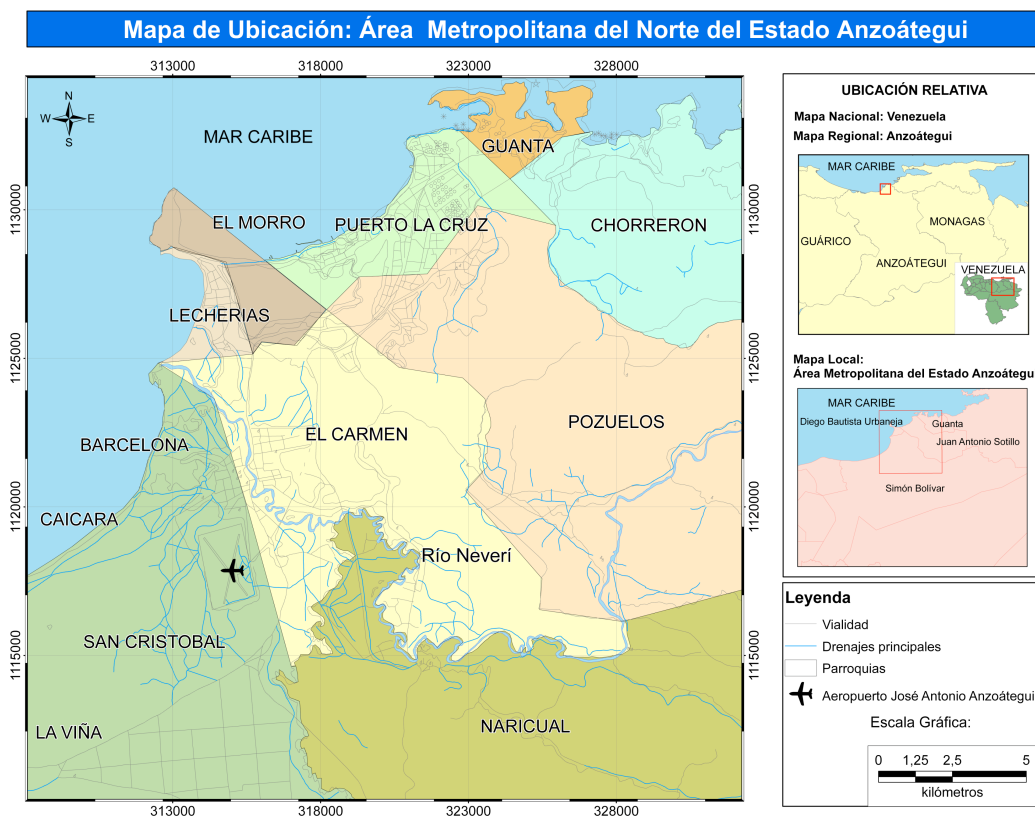


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio.

#### **I.4 Antecedentes**

Pimentel (1982): realizó una caracterización de los suelos de las ciudades de Barcelona y Puerto La Cruz a través de perfiles litológicos en los cuales se señalan algunas propiedades de los diferentes materiales presentes en la zona. En este estudio se determinaron cuatro áreas principales con características geológicas definidas:

**Áreas de afloramientos de rocas y de suelos residuales:** En la zona se encuentran rocas duras, como son las calizas cavernosas de la Formación El Cantil. Lo más usual en la zona son los afloramientos de lutitas y areniscas de la Formación Querecual y una lutita muy descompuesta de la Formación Chimana.

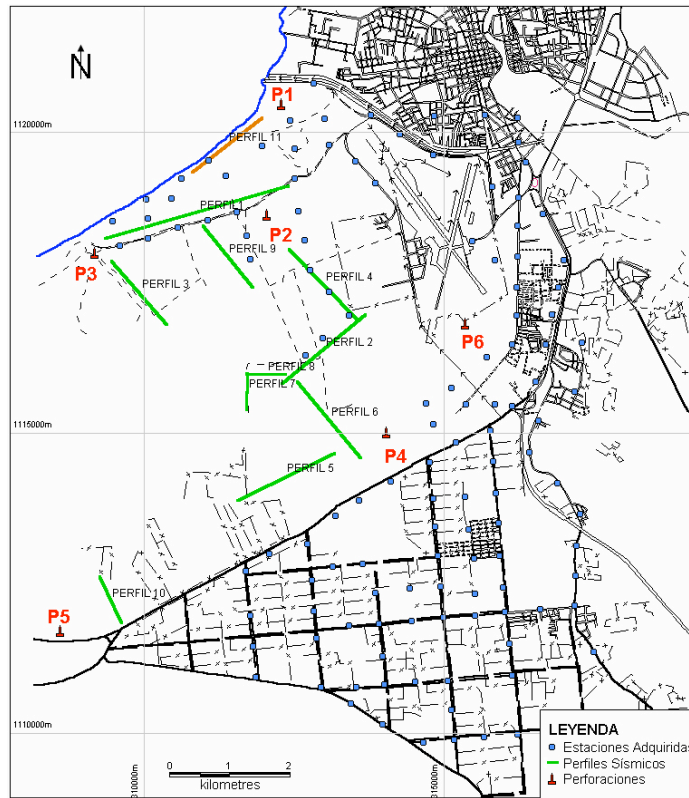
**Coluvios de pie de monte, al oeste de Barcelona:** Se trata de suelos depositados por torrentes, en abanicos o conos de deyección que, en un corto recorrido entre el pie de montaña y la costa, presentan una variada gama de suelos, que van desde gravas arcillosas hasta arcillas de alta plasticidad. Los materiales más gruesos que se encuentran al pie de la Cordillera son gravas y arenas arcillosas. Generalmente se trata de depósitos muy densos, de alta resistencia al corte. Cerca de la costa los materiales son de predominancia arcillosa; generalmente se trata de arcillas arenosas a muy arenosas, de plasticidad media a alta, muy duras y agrietadas, de granulometría bien gradada.

**Áreas de sedimentos duros:** Los sedimentos duros de la zona se encuentran en áreas aisladas; generalmente se trata de planicies de terrazas marinas o aluviales muy antiguas., constituidos por arcillas arenosas duras, con intercalaciones de arenas muy arcillosas.

**Áreas de sedimentos blandos:** En la zona de Barcelona - Puerto La Cruz es frecuente encontrar grandes depósitos de sedimentos blandos, específicamente en las áreas planas bajas o áreas de sedimentación marina, cerca de ensenadas o antiguas salinas. Se encuentran arcillas muy blandas, normalmente consolidadas a poco consolidadas; su resistencia al corte es muy baja y su comprensibilidad alta.

INTEVEP Y FUNVISIS (1999): se realizó la adquisición e interpretación de 10 perfiles sísmicos de refracción al oeste de la ciudad de Barcelona (Figura 3), donde se observaron sedimentos blandos de la llanura costera saturados de agua impidiendo la determinación con precisión de las capas profundas con las ondas P. En la mayoría de los perfiles las llegadas de las ondas S se vieron enmascaradas por las ondas de sonido. Se obtuvo que con las onda

P se puede distinguir una capa superficial de 3 m a 10 m de espesor y velocidades sísmicas de 250 m/s a 500 m/s, un estrato intermedio de una velocidad de 1700 m/s a 1900 m/s a una profundidad de 20 m a 50 m en algunos sectores y un estrato profundo de velocidades de 2000 m/s a 2500 m/s. En relación con las ondas S, la calidad de la información es muy variable, dependiendo principalmente de la existencia o no de las ondas del sonido, ya que éstas en muchos casos caen junto con las fases más superficiales y por lo tanto no se pueden identificar con claridad. Las capas más superficiales corresponden a las arcillas y arenas secas.

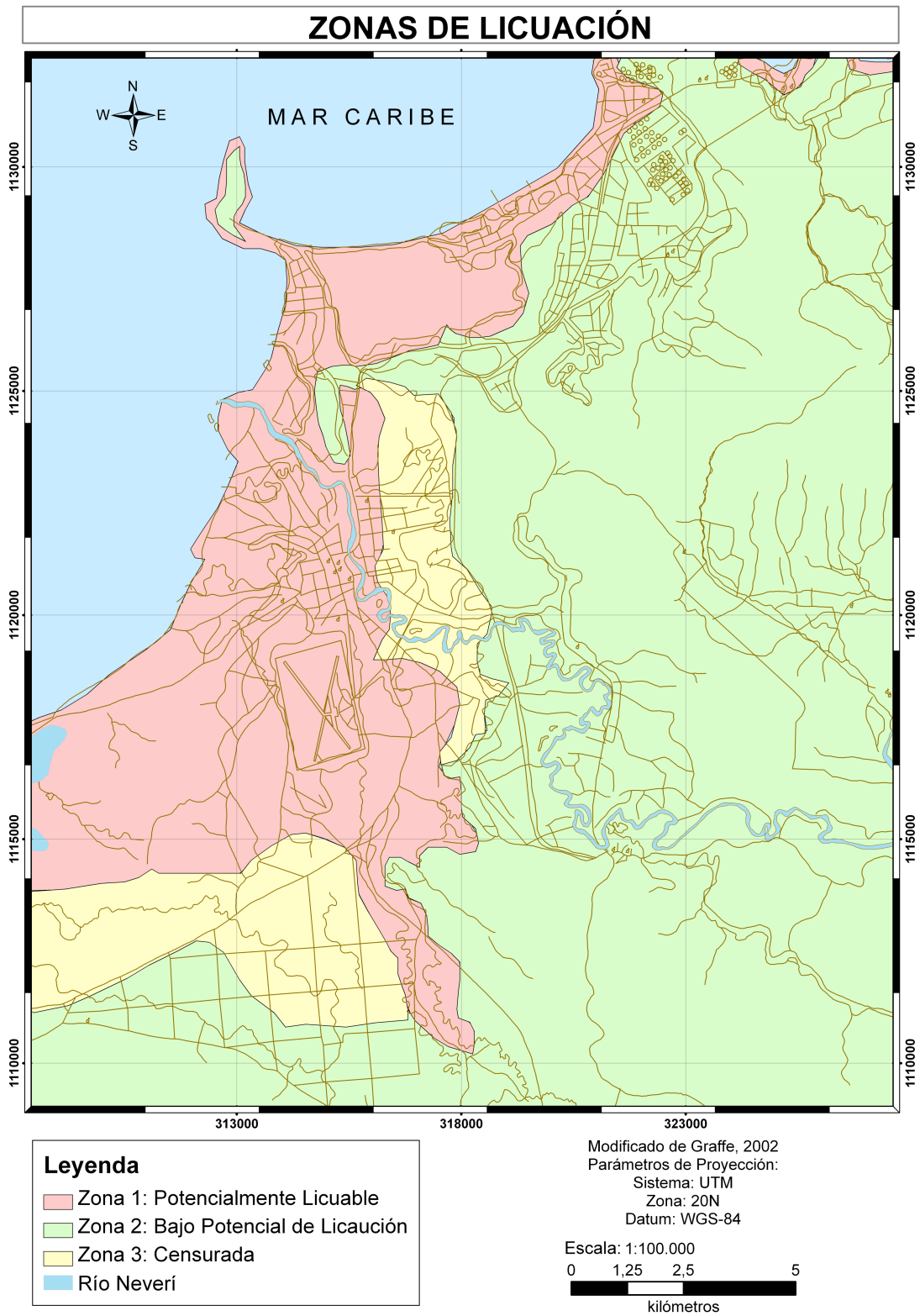


**Figura 3.** Mapa de ubicación de los perfiles sísmicos. (Tomado de INTEVEP Y FUNVISIS, 1999)

Graffe (2002): realizó un estudio mediante un método probabilístico propuesto por Seed y Cetin (2001) para evaluar el potencial de licuación en la zona norte del estado Anzoátegui, el cual incorpora nuevos factores de análisis que mejoran notablemente la respuesta dinámica del suelo. Con los resultados obtenidos se realizó un mapa de zonificación preliminar de las áreas potencialmente licuables en la zona norte del estado Anzoátegui (Figura 4), el cual fue elaborado bajo criterio geotécnico para las zonas donde se realizaron los sondeos y criterio geológico de Youd (1984).

La licuación afecta a los suelos arenosos sumergidos de mediana a baja densidad relativa, que al ser sometidos a la acción repentina de cargas cíclicas, generadas principalmente por sismos, ocurre una pérdida instantánea de la resistencia al corte la cual ocasiona daños considerables en la superficie del suelo, tales como agrietamientos, desplazamientos y asentamientos, los cuales pueden dañar irreversiblemente las estructuras que se encuentren fundadas sobre este tipo de suelos. De este trabajo se concluyó los siguientes:

- El margen costero de la zona norte del estado Anzoátegui es susceptible a licuar en una extensión de 2,5 km desde el borde de playa hacia tierra firme, el cual se reduce hacia el noroeste llegando hasta una extensión que varía entre 0,8 km y 1 km en la periferia del Complejo Jose.
- Los estratos de arena susceptibles a sufrir procesos de licuación, se encuentran a profundidades que varían entre 2 m y 4 m, siendo más superficiales hacia los márgenes costeros y cuentan con un espesor promedio que oscila entre los 3 m y 6 m.
- El nivel freático varía de superficial hasta los 3 m de profundidad en el margen costero, profundizándose a medida que se aleja de éste.



**Figura 4.** Mapa de zonificación preliminar de las áreas potencialmente licuables en la zona norte del estado Anzoátegui. (Modificado de Graffe, 2002).

Mendes (2004): realizó un estudio de caracterización geofísica del subsuelo de la zona oeste de Barcelona, estado Anzoátegui, aplicando métodos sísmicos, gravimétricos y mediciones de ruido ambiental. De este trabajo se concluyó que:

- Los períodos predominantes obtenidos a partir del análisis de la relación H/V (Bard, 1999) varían entre 0,3 s y 1,4 s. Hacia el norte de la zona de estudio (la costa), los valores se ubican entre 0,9 s y 1,4 s característicos de una zona de grandes espesores sedimentarios, mientras que para las zonas cercanas al pie de la montaña, los valores son menores encontrándose entre 0,3 s y 0,7 s que corresponde a una disminución en el espesor de sedimentos.
- Los valores de velocidades de propagación de ondas obtenidos a partir de los perfiles sísmicos de refracción indican que para las ondas P, las velocidades varían entre 250 m/s y 500 m/s para una capa superficial; para un estrato intermedio representado por una capa saturada, las velocidades se encuentran entre 1700 m/s y 1900 m/s, y en algunos sectores se observa un estrato profundo con velocidades entre 2000 m/s y 2500 m/s. Mientras que para las ondas S, la calidad de la información es muy variable entre los perfiles dependiendo principalmente de la existencia o no de la onda del sonido, debido a que en muchos casos se solapa con las fases superficiales de la onda S y por lo tanto no se puede identificar con exactitud. En el estrato más superficial identificado en los perfiles, las ondas S corresponde a una velocidad entre 150 m/s y 250 m/s; mientras que a mayor profundidad se pueden identificar discontinuidades en las ondas S, con velocidades comprendidas entre 400 m/s y 900 m/s. Del análisis de los perfiles sísmicos, se estima que el espesor de la capa más superficial es de 4 m a 9 m; esta interface se interpreta como el cambio de los sedimentos blandos cuaternarios saturados de agua a los sedimentos más consolidados del Pleistoceno superior. El estrato intermedio se encuentra a una profundidad de 25 m a 60 m y en algunos perfiles hay indicios para una interface profundidad, de más de 100 m de profundidad.

- Los valores de anomalías de Bouguer cubren un rango de -40,5 a -31,9 miligales, estando los valores mínimos asociados a la mayor acumulación de sedimentos presentes hacia la zona cercana a la costa.

Boiero y De Gouveia (2005): en la investigación realizada se obtuvieron los espectros de respuesta elásticos y normalizados, así como también los espectros de amplificación para el área correspondientes a los municipios Bolívar, Urbaneja, Sotillo y Guanta del estado Anzoátegui. Para obtener dichos espectros se realizó un análisis dinámico del subsuelo a partir de movimientos de entrada aplicado en el basamento rocoso, para lo cual fue necesario caracterizar dinámicamente los depósitos de suelo del área y seleccionar una serie de acelerogramas representativos de sismos que pudieran afectar la zona en estudio. A través del análisis e interpretación de 227 estudios de suelo en la zona y tomando como referencia mapas geológicos y geomorfológicos, se delimitaron 8 sectores con características geotécnicas similares y se obtuvo un perfil estratigráfico representativo para cada uno de ellos. El análisis dinámico fue realizado empleando el programa WESHAK v. 1.2 en cada uno de los perfiles representativos, considerando una fricción de amortiguamiento del 5%. Los espectros obtenidos fueron comparados con los construidos para cada sector según la norma COVENIN 1756:01, constatándose que para gran parte del municipio Sotillo éstos no envuelven a los espectros obtenidos en este estudio. De este estudio se concluyó lo siguiente:

- Los espectros de respuesta obtenidos para sismos cercanos son los que producen mayores aceleraciones espectrales. En general los sismos cercanos e intermedios envuelven a los lejanos y muy lejanos.
- En todos los espectros obtenidos los sismos cercanos tienen mayor aceleración espectral entre los períodos 0,00 s a 0,80 s, mientras que para los períodos mayores que 0,80 s prevalecen las aceleraciones de los eventos intermedios.
- Las máximas aceleraciones corresponden al noreste del Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui para eventos cercanos las cuales se encuentran entre 0,441 g y 0,461 g. Los períodos naturales de estos depósitos son bajos (0,39 s y 0,75s) y por lo tanto susceptibles de entrar en resonancia con los eventos antedichos.

- Para eventos lejanos y muy lejanos ocurren grandes amplificaciones para la aceleración espectral con respecto a la del terreno para períodos mayores a 0,70 s en todos los sectores delimitados.

Schmitz, M, *et al* (2006): Realizaron un estudio geofísico para la identificación de efectos de cuenca en áreas urbanas en Venezuela debido a la amenaza sísmica a la que está expuesta el norte del país por la interacción entre la placa Caribe y la Placa Suramericana, que ha sido evidenciada por terremotos perjudiciales históricos como por ejemplo el de 1812 y 1967, terremotos con una magnitud de 7,2 y 6,5, respectivamente. Los fuertes daños en Caracas durante el terremoto 1967 se han asociado a los efectos de sitio producidos por el relleno de sedimento de la cuenca. Esta situación se puede observar en la mayoría de las grandes ciudades situadas al norte de Venezuela, las cuales son cuencas rellenas con hasta 500 m de sedimentos cuaternarios dentro de áreas montañosas, como por ejemplo Caracas, Maracay y Barquisimeto. A mediados de los años noventa FUNVISIS comenzó a promover estudios geofísicos para investigar la forma y las características de los rellenos de las cuencas para contribuir a la reducción del desastre por sismos. Los métodos aplicados para la investigación fueron gravimetría, mediciones de microtemores, refracción sísmica, entre otras. En Caracas, un total de 350 m de sedimentos cuaternarios con un promedio de velocidad de onda S cerca de 850 m/s ha sido obtenido por investigaciones sísmicas. Los períodos predominantes correspondientes a las mediciones de microtemores ascienden hasta 2,2 s. Información integrada de perforaciones y modelados gravimétricos 3D dan un cuadro detallado de la interface entre el basamento rocoso y el sedimento. En el Área Metropolitana de Barquisimeto, el espesor de sedimentos alcanza hasta 500 m en el área de crecimiento rápido de Cabudare.

## CAPÍTULO II

### MARCO GEOLÓGICO

#### **II.1 Tectónica - Estructural**

La región occidental de la serranía del interior de Venezuela se encuentra conformada por rocas sedimentarias de edad Cretácico a Terciario, con un relieve que puede alcanzar hasta los 2.596 m.s.n.m. Estructuralmente, esta región se conoce como bloque Bergantín y se caracteriza por pliegues asimétricos de ejes decakilométricos de rumbo 70° este; su frente meridional está representado por un cinturón de corrimiento asociado a pliegues volcados con vergencia al sur. La tectónica presente es principalmente de tipo transpresivo, cuyo origen se encuentra asociado a la falla transcurrente dextral de El Pilar. Existen otras fallas prominentes a la región, también transcurrente dextrales pero de orientación noroeste-sureste, son del tipo sintético, relacionadas a la falla de El Pilar. Al oeste de Barcelona se ubica la depresión de Unare con elevaciones hasta de 600 m.s.n.m., caracterizadas por las molasas del Neógeno; este bloque cortical es conocido como Santa Rosa. La tectónica es principalmente de carácter distensivo, caracterizado por fallas normales verticales, o muy inclinadas, también se presentan escasos pliegues abiertos (Vivas, *et al.* 1985).

Entre los bloques anteriormente descritos se localiza una depresión alargada, de rumbo noroeste - sureste, con un relieve inferior a la de los dos bloques antes mencionados, se encuentra limitado por las fallas Urica – Cerro Grande y Santa Inés, entre estas dos estructuras existe un cinturón tectónico con pliegues de estilo propio, diferente a los de los bloques adyacentes y numerosas fallas inversas de alto ángulo que afectan al Neógeno. Este cinturón tectónico que aparentemente constituye la parte occidental del corrimiento frontal oriental, se denomina en este informe deflexión de Barcelona. (Vivas, *op cit.*).

## **II.2 Sistema de Falla de El Pilar y Los Bajos-El Soldado**

La falla de El Pilar se extiende en dirección este - oeste por unos 350 km, entre la fosa de Cariaco al oeste y el golfo de Paria al este. A excepción de un segmento en tierra de unos 80 km de longitud, entre los golfos de Cariaco y Paria en el estado Sucre, y las trazas que limitan los cerros de Caigüire en Cumaná, la traza activa de la falla de El Pilar es esencialmente submarina, tanto en mar afuera al norte de la ensenada de Barcelona como en los golfos de Cariaco y Paria (Audemard, *et al.* 2007).

La falla de El Pilar y Los Bajos - El Soldado se han subdividido en cinco tramos claramente diferenciables y a lo largo de los cuales se reconocieron evidencias de actividad tectónica reciente (DCT – FUNVISIS, 1994). Estos tramos son los siguientes:

- Tramo Occidental ubicado al Oeste de Cumaná.
- Tramo ubicado entre Cumaná y Casanay.
- Tramo ubicado al Este de El Pilar
- Tramo de Los Bajos-El Soldado

El tramo de interés para esta investigación, por su cercanía al área de estudio es el Tramo occidental ubicado al Oeste de Cumaná y se describe a continuación.

### **Tramo Occidental ubicado al Oeste de Cumaná.**

En este tramo, la falla de El Pilar presenta un recorrido casi submarino, la cual se ubica entre el Cañón del Río Manzanare y la fosa de Cariaco, donde el sistema del Piar se une con el sistema de falla de San Sebastián. Este tramo ha sido reconocido a través de perfiles geofísicos y de levantamientos batrimétricos.

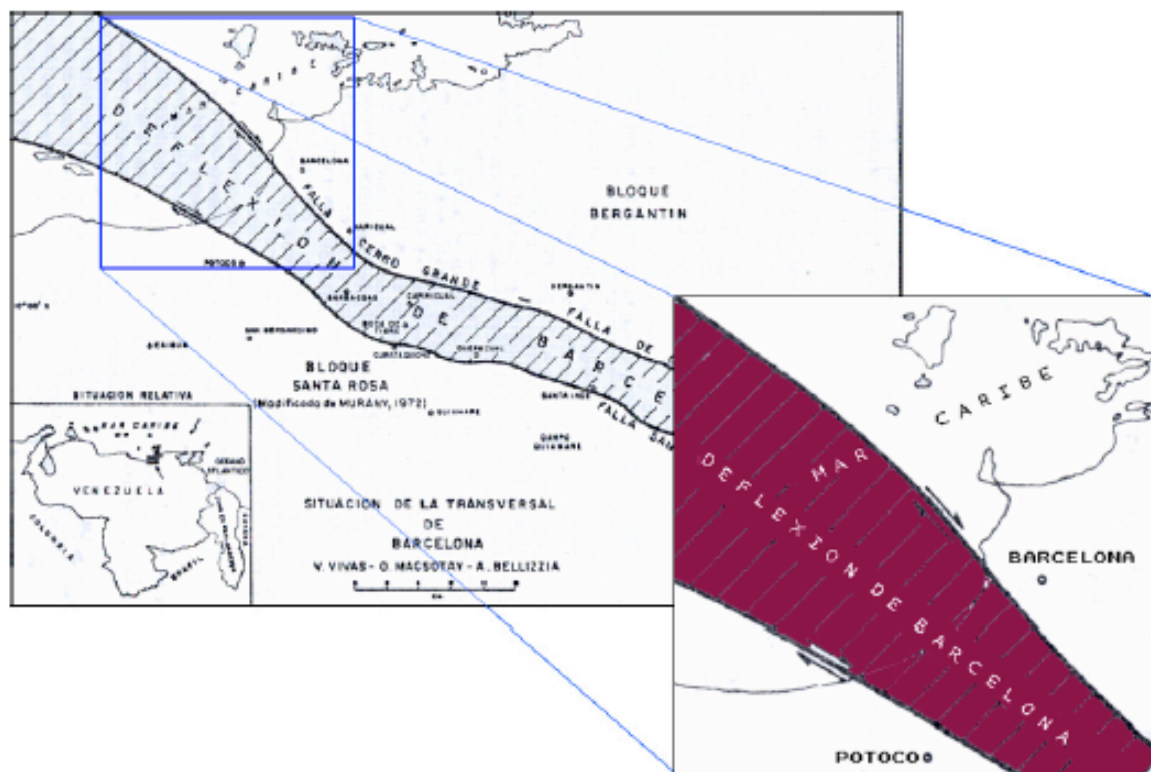
La unión del sistema de Falla del El Pilar con el sistema de San Sebastián se efectúa al sur de la Isla de La Tortuga, por medio de unos segmentos dispuestos en echelón, los cuales generan una zona de transtención constituida por un *pull apart* compuesto, de unos 30 km de ancho y de unos 160 km de largo, evidenciado por dos profundas depresiones con aspecto de graben pertenecientes a la llamada fosa de Cariaco.

En la extremidad occidental del tramo señalado, el movimiento principal de la falla de El Pilar es de tipo trascurrente dextral, con una componente normal en los límites norte y Sur del *pull-apart*, y un fallamiento secundario de tipo normal.

### **II.3 Deflexión de Barcelona.**

Hedberg (1937, 1944 y 1950), estudió el noroeste del estado Anzoátegui y definió la estratigrafía así como también las estructuras principales. Bucher (1952), definió el área designada como depresión de Barcelona o Unare, como el lugar en donde se hunden los declives de los pliegues en el extremo oeste de la Serranía del Interior (Figura 5). Rod (1959), definió a la falla de Urica trascurrente dextral, siendo la estructura responsable de los truncamientos estructurales de la Serranía del Interior. Vierbuchen (1978), define el bloque de Paria como una sub-placa limitada al oeste por la falla de Urica, la cual continúa hasta el Delta del Orinoco; el límite norte está definido por la falla de El Pilar y el oriental está enmarcado por una prolongación hacia el sur de la zona de subducción o sub-corrimiento del arco de las Antillas Menores, hasta su unión con la falla de Urica. En esta hipótesis la falla de Urica pasaría a ser una falla tipo transformante, sugiriendo este autor, que la actividad de la misma se inició en el Mioceno tardío. Munro y Smith (1984) interpretaron la falla como una geo - sutura transpresiva mayor y la extienden desde la zona de fallas de Coche hasta el área de Tucupita, asignándole un desplazamiento dextral de 35 km. Según los autores citados, las interpretaciones sísmicas de reflexión indican una amplia zona de dislocación de más de 10 km de ancho en la zona de falla de Urica, la cual presenta una geometría característica “en flor”, que es típica de las fallas trascurrentes y transpresivas. Esta falla separa la sub-Cuenca de Maturín, caracterizada por corrimientos superpuestos hacia el sur, por otra de tensión tipificada por fallamiento normal al sur de esta falla. Estos autores consideran además, que la cronología del evento ocurrió entre Mioceno superior y el Plioceno; también consideran que la zona de corrimientos superpuestos, característica del frente de montañas de Monagas y noroeste de Anzoátegui, es mucho más extensa de cómo había sido considerada originalmente (Vivas, *et al* 1985).

Hacia el noroeste del Río Querecual, la falla de Urica (Rob, 1959), se continúa con la falla inversa de Cerro Grande y más conservadoramente con la falla inversa de Capiricual, las cuales habían sido consideradas por Bellizzia y Bellizzia (1961), como corrimientos de alto ángulo. Gran parte de la sismicidad actual de Venezuela proviene de movimientos a lo largo de grandes fallas transcurrentes con rumbo noroeste, las cuales han sido activas desde el Pleistoceno. Informaciones obtenidas de Bellizzia *et al.* (1981) y Pérez y Aggarwal (1981), hacen hincapié en lo importante de las fallas transcurrentes en la sismicidad de la parte nor-oriental del Bloque Oriental, Península de Araya- Paria y el margen continental, al norte de la Península de Paria. Wong *et al.*, (1982), en base al desplazamiento de las anomalías residuales y gravimétricas, indican un desplazamiento del basamento de 35 km. Un apoyo indirecto al desplazamiento estimado por Salvador y Stainforth (1968) es suministrado por Wilson (1968), quien midió un desplazamiento lateral dextral de unos 10 km en la falla Los Bajos en Trinidad.



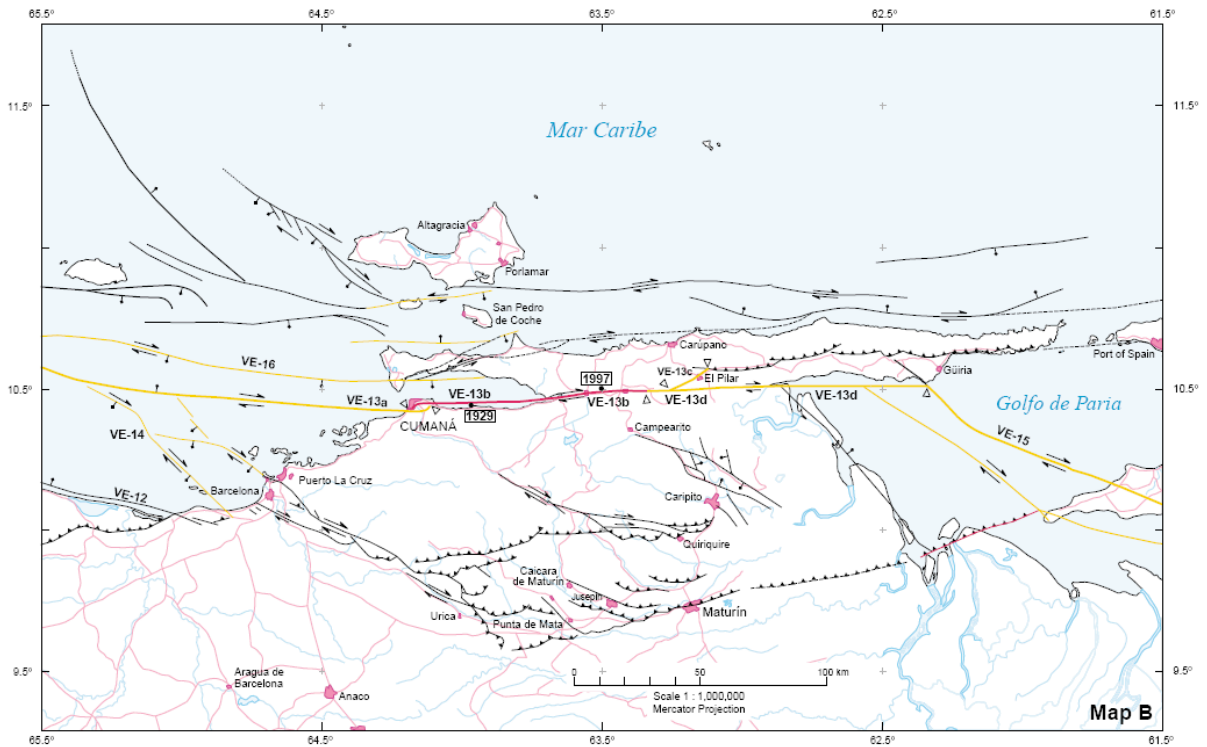
**Figura 5.** Situación de la Deflexión de Barcelona. Tomado de Vivas, *et al.* (1985).

#### **II.4 Falla de Urica y Cerro Grande.**

La falla de Urica se observa desde la zona petrolera de Tácata, pasando 6 km al norte de la población de Santa Inés, y continúa, según la línea de afloramientos de la Formación Naricual, hasta cruzar el río Querecual, perdiéndose hasta el sur de Barcelona. La falla de Cerro Grande, (Bellizzia y Bellizzia, 1961), es considerada como la continuación septentrional de la falla de Urica, que inicialmente funcionó como una falla transcurrente dextral, la cual evolucionó posteriormente como una falla inversa con el plano de falla buzando hacia el noreste.

A lo largo de la falla de Urica se observan pliegues cónicos, como el que se encuentra en el Río Orégano y que afecta la sedimentación de la Formación Naricual (Mioceno inferior) en su nivel volcado. Este pliegue con su eje norte  $60^\circ$  este, con declive  $45^\circ$  noreste, constituye un ejemplo de estructuras parásitas, asociadas a una falla transcurrente mayor, su eje axial forma un ángulo de  $45^\circ$  con respecto al plano de falla de Urica y corresponde correctamente a las estructuras previstas dentro del elipsoide de deformación (Harding, 1974). También posee zona de brechas fácilmente erosionables, constituidas por rocas de unidades adyacentes, como puede observarse en el Río Orégano y la quebrada El Maco, donde se presentan areniscas facetadas, trituradas, estriadas en un arreglo caótico; además existen rasgos geomorfológicos como son la alineación de ríos y quebradas a lo largo de los trazos de falla. Se pueden observar estrías en afloramientos y cambios abruptos en los rumbos de buzamiento, siendo frecuente encontrar capas en posición normal de un lado y volcado del otro y terminación de charnelas de pliegues asociados a fallas; de corrimientos que se vuelcan y terminan contra la falla de Urica como los anticlinales de Mundo Nuevo y Las Parásitas.

A continuación, en la figura 6 se presenta la recopilación de fallas cuaternarias realizada por Audemard, *et al.* (2000) donde se muestra la situación tectónica del área en estudio:



**Figura 6.** Mapa de fallas cuaternarias de Venezuela. Mapa B. Tomado de Audemard, *et al.* (2000).

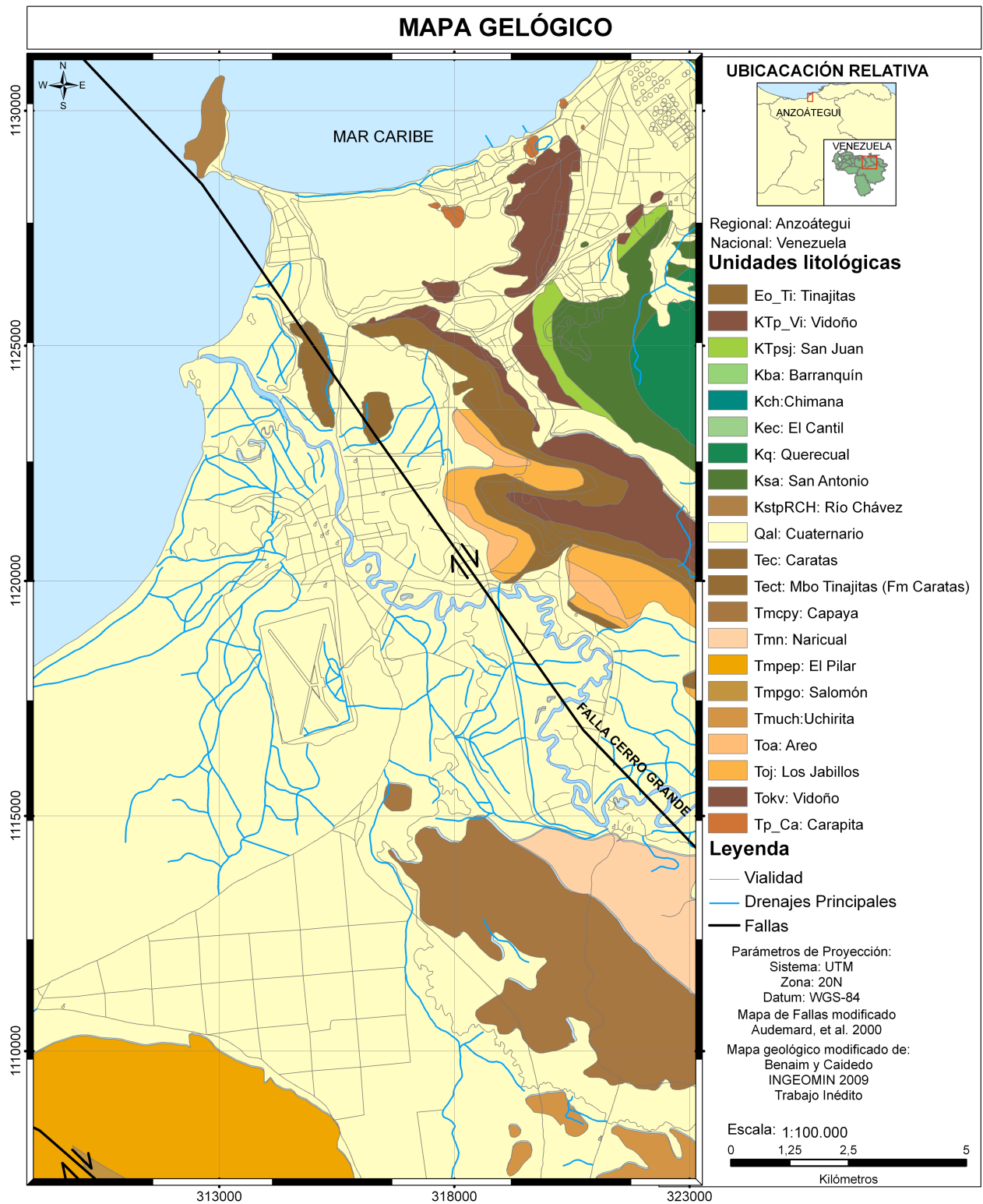
## II.5 Geología Local

Las formaciones o grupos que conforman el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui son el Grupo Chimana-Cantil-Barranquín, Grupo Guayuta, formación o Grupo Santa Anita y Formación Merecure.

Las rocas más antiguas del noreste de Venezuela son los esquistos, filitas, cuarcitas y calizas metamorizadas de la serie Caribe, de probable edad mesozoica antigua. Estas rocas están en contacto de falla con sedimentos no metamorizados del Cretáceo superior, con un espesor cercano a los 5.000 pies de areniscas depositados en aguas poco profundas, lutitas y calizas de arrecifes, generalmente variables, y que pertenecen a las formaciones Barranquín, El Cantil y Chimana. A estas siguen facies de aguas más profundas, con unos 3.000 a 4.000 pies de calizas negras, carbonáceo-bituminosas y

lutitas calcáreas con desarrollos locales de areniscas y fanita en su parte superior y que constituyen el grupo Guayuta (formaciones Querecual y San Antonio) de edad cretácea superior. Suprayacente, y en estado concordante con el grupo Guayuta, está la formación Santa Anita en un tramo superior de arenisca (Cretáceo Superior), un tramo intermedio de lutita (Cretáceo Superior – Paleoceno) y un tramo superior de limonitas calcáreas, areniscas dolomíticas y lutitas (Paleoceno – Eoceno). Toda la formación tiene un espesor cercano a los 2.400 pies.

La Formación Santa Anita está cubierta por la Formación Merecure, en la parte oriental del área el contacto entre ambas parece ser transicional, pero en las cercanías de Barcelona puede existir una discordancia erosional. La parte media de Merecure contiene foraminíferos orbitoides indicativos de una edad más joven. La parte superior de la formación está constituida por el tramo carbonífero de Naricual y es probablemente, en parte, de edad temprana. El espesor de la formación Merecure es de 5.500 a 7.500 pies, como se observa en la figura 7 (Hedberg y Pyre, 1944).



**Figura 7.** Geología local del área de estudio. Modificado de Benaim y Caicedo. INGEOMIN 2009. Trabajo inédito sujeto a revisiones.

En el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui la litología es bastante diversa, se presentan capas de arenas y arcillas intercaladas, con presencia de lentes de diversos materiales distribuidos de manera errática, tales como: limos, arcillas limosas, materia orgánica, arena fina limo – arcillosa, arena gravosa, gravas, etc. Esta variabilidad está relacionada con la génesis aluvial – coluvial de los diferentes depósitos del área: acumulaciones de sedimentos transportados por el Río Neverí, así como también la meteorización y desprendimiento de material proveniente de la falda de los cerros circundantes (Boiero y De Goveia, 2005).

Un estudio geotécnico preliminar en lotes, realizado por la compañía INGEOSOLUM C.A. (1998), Ingeniería de Suelos S. A. y Contemporáneo Internacional Inversiones C.A. al noroeste de Barcelona, proporcionó información sobre litologías, espesores y densidades del suelo en algunas áreas características de la zona a través de perforaciones geotécnicas de estudio SPT distribuidas por la zona, y localizadas cerca de los perfiles sísmicos adquiridos previamente para servir de apoyo para la interpretación y modelados de los datos sísmicos y gravimétricos. Las perforaciones geotécnicas reportaron en su mayoría que el material que cubre la superficie se constituye de materiales de relleno, que a su vez se encuentra en contacto con una capa de arcilla limosa algo arenosa fina blanda a muy dura, con presencia de conchas fragmentadas cementadas ocasionales más cercanas a la superficie. A partir de los primeros 10 m de profundidad se puede observar la presencia de capas de espesores variables entre 2 m y 4 m en algunas zonas; mientras que en otras, a casi la misma profundidad, se pueden reportar capas compuestas de arcilla limosa, limo algo arenoso fino con vetas de arcilla limosa y arena fina limosa algo suelta. A partir de los 10 m de profundidad en adelante, se pueden observar materiales de arcilla limosa algo arenosa, dura, de mediana plasticidad, con rocas calcáreas marrón amarillento y grises en vetas blandas, con algunos restos orgánicos. Por debajo de los 10 m de profundidad se encuentra una capa de arena fina muy limosa, medianamente densa a densa, suave, cuarzosa con un espesor aproximado de 2 m.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **III.1 Microzonificación Sísmica**

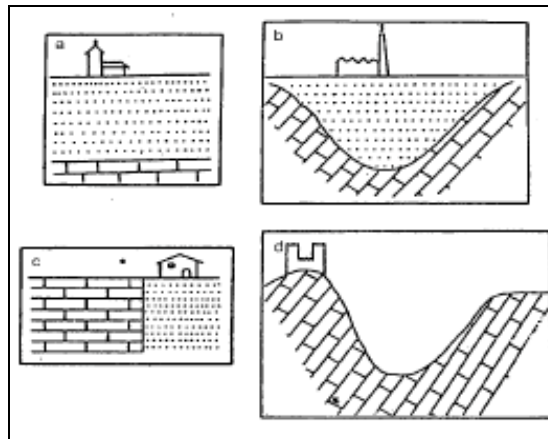
La microzonificación sísmica consiste en establecer zonas con comportamiento similar durante un sismo, de manera que puedan definirse allí, recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismoresistentes. Para cada una de las zonas, además de especificarse la fuerza sísmica posible, deben identificarse los tipos de fenómenos asociados que pueden desencadenarse a raíz del sismo, como son los deslizamientos, la amplificación exagerada del movimiento o la posibilidad de la licuación del suelo. La definición de estas zonas se hace con base en criterios topográficos, estratigráficos, geológicos, geofísicos, espesores y rigidez relativa de los materiales, entre otras características de los suelos. Por ejemplo, en las zonas montañosas, las consecuencias más importantes son los deslizamientos y avalanchas, además de la amplificación de las ondas por efectos topográficos. En los sitios donde la topografía es plana y con suelos relativamente blandos, existe la posibilidad de grandes amplificaciones del movimiento sísmico dependiendo de las características del sismo. En los depósitos conformados principalmente por materiales arenosos, especialmente cuando se trata de arenas limpias sueltas ubicadas a menos de 15 metros de profundidad y con niveles freáticos altos existe la posibilidad de que se presente el fenómeno llamado licuación, en el cual se pierde toda la capacidad de soporte del suelo presentándose grandes asentamientos del terreno y generando pequeños volcanes de arena y hundimiento de las edificaciones que estén localizadas sobre éstos. Con base en el mapa de microzonificación sísmica, una ciudad puede adelantar la planificación de su desarrollo, teniendo en cuenta las restricciones a los tipos de construcción y los parámetros de diseño definidos para las diferentes zonas de la ciudad (OMPAD - Alcaldía de Manizales. 2008)

De acuerdo con OMPAD - Alcaldía de Manizales, (2005) los objetivos de la microzonificación sísmica son los siguientes:

- Evaluar los efectos locales del suelo de acuerdo con las características geotécnicas y geológicas de cada sitio
- Analizar los registros sísmicos disponibles en la ciudad con el fin de establecer posibles correlaciones y puntos de calibración
- Identificar los problemas asociados con los efectos sísmicos en la zona
- Obtener un mapa general de microzonificación de la ciudad en la cual se presentan las diferentes zonas y se especifican los requisitos y recomendaciones de diseño y construcción en cada una de ellas.

### III.2 Efectos de sitio

El origen de los efectos de sitio es la presencia de relieves (efecto topográfico), de materiales superficiales (suelos blandos) o fuertes discontinuidades laterales del subsuelo (Figura 8), y pueden ser determinantes para la distribución de la vibración del suelo y por lo tanto para la distribución de daño en caso de un terremoto (Coral, 2002).



**Figura 8.** Estructuras y configuraciones tipo que pueden dar lugar a efectos de sitio. a) Capas sedimentarias horizontales sobre substrato rocoso; b) Relleno sedimentario de un valle; c) Discontinuidades laterales bruscas; d) Relieves (Efecto topográfico). Tomado de Bard et al., 1995.

Al considerar la geología local, se distinguen dos fenómenos que normalmente dan lugar a una amplificación del movimiento y por consiguiente pueden ocasionar daños a obras civiles. El primero de éstos es la ampliación por resonancia y está asociado a la interacción de la onda sísmica y la estructura del subsuelo, esta aparece en medios estratificados con rigidez creciente con la profundidad y resulta de la superposición de

múltiples reflexiones dentro de los estratos de baja velocidad cercanos a la superficie. Su efecto depende fundamentalmente de la frecuencia. El segundo tipo de amplificación no requiere de las discontinuidades bruscas donde tienen lugar fenómenos de reflexión, más bien, se trata de un efecto debido a la baja impedancia de los materiales próximos a la superficie. (Coral, *op cit.*)

### **III.3 Microtremores**

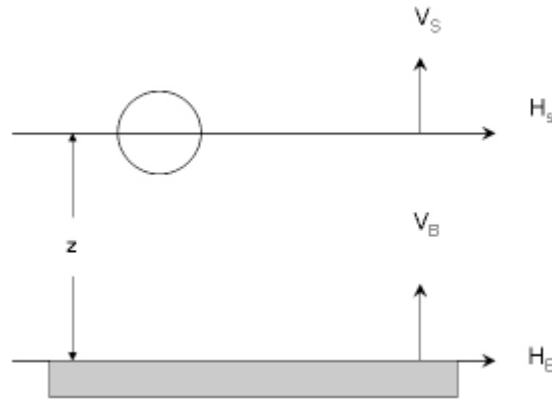
Los microtremores, también conocidos como ruido ambiental, microtrepidaciones, microtemblores, oscilaciones omnipresentes y ruido de fondo, son vibraciones aleatorias inducidas en las masas de suelo y roca por fuentes naturales y artificiales. Este tipo de información es principalmente utilizada para el estudio de las propiedades y formas de las capas superficiales. Los microtremores según su origen, se clasifican en vibraciones de origen natural y artificial.

***Vibraciones de origen natural o Microsismos:*** son oscilaciones inducidas por fuentes naturales internas y externas como las olas oceánicas, tormentas, vientos, presión atmosférica, lluvias, géiseres, actividad volcánica, entre otros. Los microsismos se caracterizan principalmente por su inestabilidad debido al tipo de fuente que los genera y son afectadas principalmente por las condiciones climáticas, llegando a presentar algunas amplitudes y períodos que varían entre 2 a 3 o más segundos (microtremores de período largo). Este tipo de vibraciones está compuesto principalmente por ondas Rayleigh.

***Vibraciones de origen artificial o Microtremores:*** Este tipo de vibraciones son generadas principalmente por fuentes artificiales internas y externas, como producto de la actividad humana, como el tráfico vehicular, el paso de peatones, maquinaria industrial, explosiones, etc. La característica principal de los microtremores es su estabilidad, debido a que presenta períodos entre 0,1 s y 1,0 s (microtremores de periodo corto) y están compuestos principalmente por ondas S y Rayleigh. En general, a las vibraciones de tipo natural y/o artificial que están presentes en las capas superficiales se les conoce como microtremores. (Yuri, 2006)

### III.4 Método de Nakamura o relación H/V

Es una metodología empleada para estimar los efectos de sitio mediante registros instrumentales a través de las mediciones de ruido ambiental (Nakamura, 1989), el cual se basa en la interpretación de los espectros de Fourier de las componentes horizontales y verticales de microtremores, como ondas superficiales Rayleigh, las cuales se propagan en una capa blanda de sedimentos sobre un medio rocoso (Figura 9).



**Figura 9.** Modelo asumido por Nakamura (1989) para la interpretación de Microtremores. Tomado de Rocabado (2002).

Se considera que en las componentes horizontales y verticales de los registros son similares en la base rocosa. De acuerdo con Nakamura (*op cit.*), debemos suponer que la componente vertical del movimiento no es amplificada por la capa sedimentaria por lo tanto se asume que las fuentes muy locales no afectarán el movimiento de microtremores en la base de la capa sedimentaria. De lo descrito anteriormente se obtiene la siguiente función de transferencia  $A_s(t)$ .

$$A_s(t) = \frac{V_s(t)}{V_B(t)} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde  $V_s(t)$  y  $V_B(t)$  son los espectros de amplitud de Fourier de las componentes verticales del movimiento en la superficie y del movimiento incidente en el basamento rocoso, respectivamente.

La forma espectral de la fuente del movimiento de microtremores en la componente horizontal viene dada de la siguiente manera:

$$S_E(t) = \frac{H_s(t)}{H_B(t)} \quad (\text{ec. 2})$$

Las componentes horizontales en la superficie si son afectadas por las ondas superficiales, ya que en la mayoría de los casos el ruido artificial se propaga principalmente como onda Rayleigh, mas no en el basamento rocoso. Para compensar  $S_E$  por el espectro de la fuente, se calcula una relación modificada del efecto de sitio,  $S_M$ , de la siguiente manera:

$$S_M(t) = \frac{S_E(t)}{A_S(t)} = \frac{\frac{H_s(t)}{V_s(t)}}{\frac{H_B(t)}{V_B(t)}} \quad (\text{ec. 3})$$

Tomando en cuenta que las componentes horizontales y verticales del movimiento en el basamento rocoso son similares se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{H_B(t)}{V_B(t)} = 1 \quad (\text{ec. 4})$$

Utilizando registros de microtemores obtenidos en perforaciones de pozos, la función de efecto de sitio, corregida por el término de la fuente, puede escribirse de la siguiente manera:

$$S_M(t) = \frac{H_s(t)}{V_s(t)} \quad (\text{ec. 5})$$

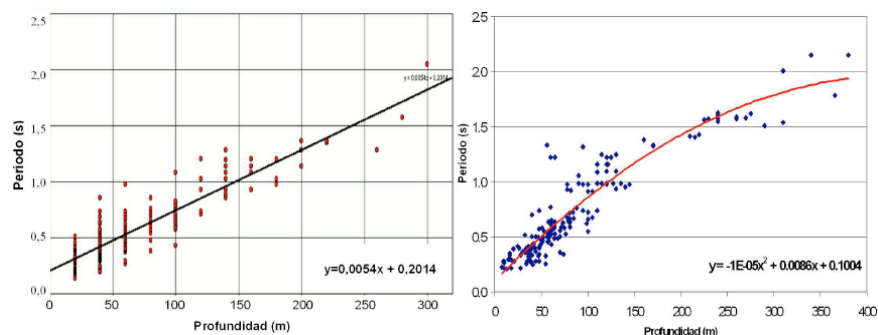
Entre las diferentes metodologías para la determinación de los efectos de sitio, analizadas detalladamente por Bard (1999), destaca el método de la relación espectral H/V, introducido por Nogoshi e Igarashi (1971) e interpretado como un pico prominente en la ellipticidad de las ondas de Rayleigh alrededor de la frecuencia fundamental del suelo (e.g. Field y Jacob, 1995; Lachet y Bard, 1994; Konno y Ohmachi, 1998), si existe un contraste de impedancia considerable (2,5 - 3) entre el material en superficie y el

basamento (Bard, 1999). Este pico en la relación H/V está asociado a una disminución de la onda de Rayleigh fundamental, que predomina en la componente vertical de los registros de ruido ambiental (Bard, 1999). El método de H/V ha sido aplicado para estimar la frecuencia natural de los sedimentos y el espesor de sedimentos (e.g. Ibs-von Seht & Wohlenberg, 1999; Parolai et al., 2001, 2002).

### III.5 Relación Período Fundamental – Profundidad de Sedimentos Blandos

Estudios de ruido ambiental se han realizado en la ciudad de Caracas (Abeki, *et al.* 1995; Duval, *et al.* 1998; Enomoto, *et al.* 2000; Rocabado, 2002; Moros, 2004; Moreno, 2004), con el fin de determinar las causas de los efectos de sitios evidenciados luego del terremoto de Caracas de 1967 y determinaron que los espesores de sedimentos tienen una gran influencia, ya que la mayoría de las zonas afectadas con daños estructurales, como San Bernardino y Los Palos Grandes, se encuentran ubicadas en las zonas de mayores espesores (FUNVISIS, 1978).

Para la determinación de espesores en el Valle de Caracas, Rocabado (2002), propuso una relación lineal entre el período y la profundidad, la cual se ajusta muy bien para espesores de sedimentos bajos, pero subestima los espesores con profundidades mayores a los 200 m., por lo cual se generó una nueva aproximación, pero esta vez del tipo polinómica de grado 2 (Rocabado *et a.*, 2009), apoyada en la inclusión de pozos geotécnicos disponibles para el valle de Caracas (Amaris *et al.*, 2009) obteniéndose un buen ajuste para los espesores pequeños, pero con inconvenientes para los mayores a 150 m (Rocabado, *op cit.*). Estas aproximaciones se obtuvieron de manera empírica hasta obtener el mejor ajuste. (Figura 10)



**Figura 10.** Izquierda: Relación período – profundidad (estimación lineal según Rocabado, 2002). Derecha: Estimación polinómica (estimación polinómica según Rocabado et al, 2009). Tomado de Rocabado et al, 2009.

Para la estimación de espesores también se consideró la inclusión de las velocidades de ondas de corte, derivada de la estimación de Kramer (1996) de la expresión del período horizontal fundamental del depósito en función de la velocidad promedio de ondas de corte en todo su espesor, de lo cual se obtuvo la siguiente ecuación (Rocabado *et al*, 2009):

$$H = \frac{T \cdot V_{s_{inf}}}{4} + 30 \left( 1 - \frac{V_{s_{inf}}}{V_{s_{30}}} \right) \quad (\text{ec.6})$$

Donde:

$V_{s_{inf}}$ : es la velocidad promedio de las ondas de corte entre el basamento rocoso y la capa superficial de 30 m de espesor en (m/s)

**T**: es el valor de período medido en el sitio en (s)

$V_{s_{30}}$ : es el valor promedio de ondas de corte para los primeros 30 m en cada microzona en m/s, el cual es asignado de acuerdo a la configuración geológica de la cuenca y los datos sísmicos existentes (FUNVISIS, 1978; Sánchez *et al*. 2005).

Para comprobar esta ecuación, se aplicó para la estimación de la profundidad en la zona de San Bernardino, donde existe una perforación geotécnica. El valor de espesor de sedimentos fue de 198 m, aplicando la ecuación 6, espesor muy cercano al reportado por la perforación: 205 m (Amaris *et al*, 2009).

Los parámetros utilizados fueron los siguientes:

$V_{s_{inf}} = 750$  m/s (Sánchez *et al*. 2005)

$V_{s_{30}} = 470$  m/s (Morales *et al*. 2008)

**T** = 1,15 s (Rocabado, 2002).

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

A continuación se dará una breve descripción del procedimiento a seguir para la obtención de los mapas de isoperíodos.

#### **IV.1 Mediciones de ruido ambiental**

##### **IV.1.1 Adquisición**

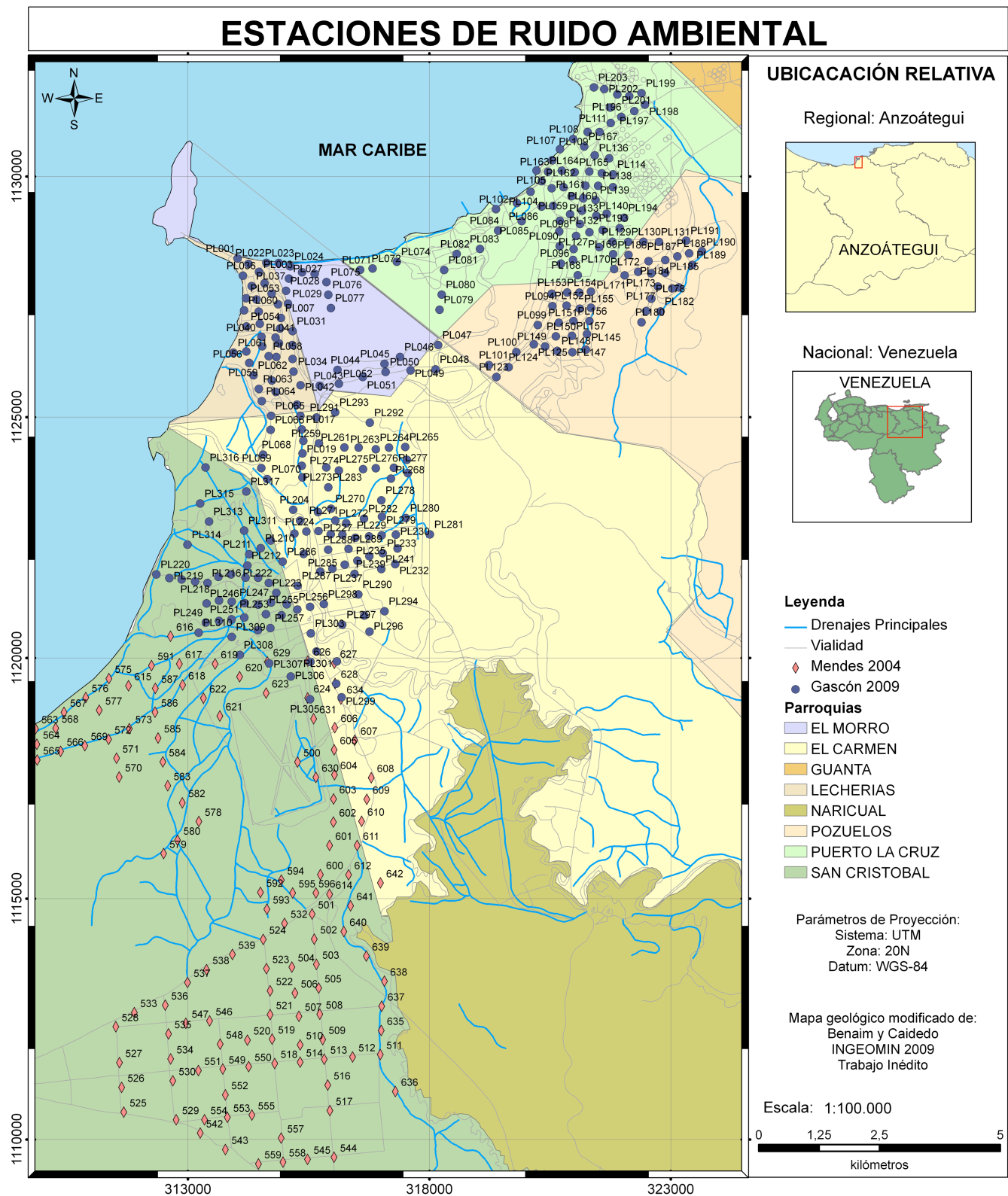
Para la adquisición de datos de ruido ambiental se utilizó un sismógrafo modelo Orion y un sensor modelo CMG - 40T, marca Güralp de tres componentes, con respuesta plana en velocidad de 0,02 s a 30 s. (Figura 11). Cada medición fue realizada con un espaciamiento promedio de 250 m, y un tiempo de registro de 20 minutos. Se adquirieron 77 estaciones en el municipio Urbaneja, 126 en el municipio Sotillo y 114 en el municipio Bolívar, dando un total de 317 estaciones adquiridas (Figura 12). Seis de las estaciones adquiridas en el municipio Bolívar se realizaron sobre puntos adquiridos por Mendes (2004), con el fin de realizar un control de los datos y poder correlacionar ambas mediciones.

El trabajo realizado por Mendes (2004), consistió en la adquisición de 143 estaciones de ruido ambiental con espaciamiento de 500 m ubicadas al oeste de la ciudad de Barcelona. Los instrumentos de adquisición fueron los mismos que en la actual investigación y los tiempos de registros fueron de 5 minutos.

Antes de obtener los datos con el Orion en cada uno de los sitios de medición, se controlaron factores tales como: estabilidad de la señal, ubicación del sensor lejos de tuberías de alumbrado, teléfonos o sistema de alcantarillado, vientos muy fuerte, lluvia directa sobre la medición, suelos húmedos, entre otros (Bard, 1999).



**Figura 11.** Adquisición. (a) Sensor, modelo CMG - 40T, marca Güralp de tres componentes. (b) Sismógrafo, modelo Orion. (c) Programación del equipo para la medición (d) Disposición de los equipos.



**Figura 12.** Estaciones de ruido ambiental adquiridas por Mendes (2004) y en el actual estudio.

#### **IV.1.2 Procesamiento**

Los datos descargados del sismógrafo ORION poseen un formato RingBuffer, los cuales deben ser transformados a formato Ascii y finalmente a formato Saf, a través de una serie de algoritmos para que así puedan ser leídos por el programa de procesamiento. (Apéndice A)

Se realizó el procesamiento de los datos a través del programa GEOPSY, (Wathelet, M. 2002) el cual permite la obtención del período fundamental del suelo a través del pico máximo reportado, asociado a contrastes de impedancia de los estratos presentes en el subsuelo. A los datos adquiridos se les aplicó un filtro paso banda con frecuencia menor de 0,21 Hz y frecuencia mayor de 15 Hz, con el fin clarificar y evitar el enmascaramiento de la señal, ya que las frecuencias naturales del suelo se encuentran entre 0,1 Hz y 10 Hz (Coral, 2002). Después de aplicado el filtro se realizó la relación H/V, con al menos 20 ventanas de procesamiento de aproximadamente 20 s de ancho para garantizar una buena elección del pico predominante.

Se realizó un reprocesamiento de los datos de ruido ambiental adquiridos por Mendes (2004), originalmente procesados con los programas KNGW y SESAME, donde realizó un análisis comparativo de las respuestas obtenidas con ambos programas, y concluye que mediante el programa Kanagawa (KNGW) los resultados son coherentes considerando que el tiempo de adquisición fue de 5 minutos y establece que esto puede deberse a la facilidad de definir parámetros o criterios a la hora de seleccionar la respuesta. Con el programa Sesame se nota una diferencia considerable en la respuesta que se esperaba, puntualmente al norte de la zona de estudio en donde los períodos han de ser altos por encontrarse en una zona de mayor espesor sedimentario y el resultado fue opuesto; esto se puede atribuir a que el algoritmo del programa trabaja más eficientemente con datos adquiridos en un tiempo de grabación de 10 minuto, permitiendo así que él pueda seleccionar mayor cantidad de ventanas para promediar el resultado final y la apariencia de varios picos dificulta la identificación del periodo predominante de vibración del suelo (Mendes, 2004)

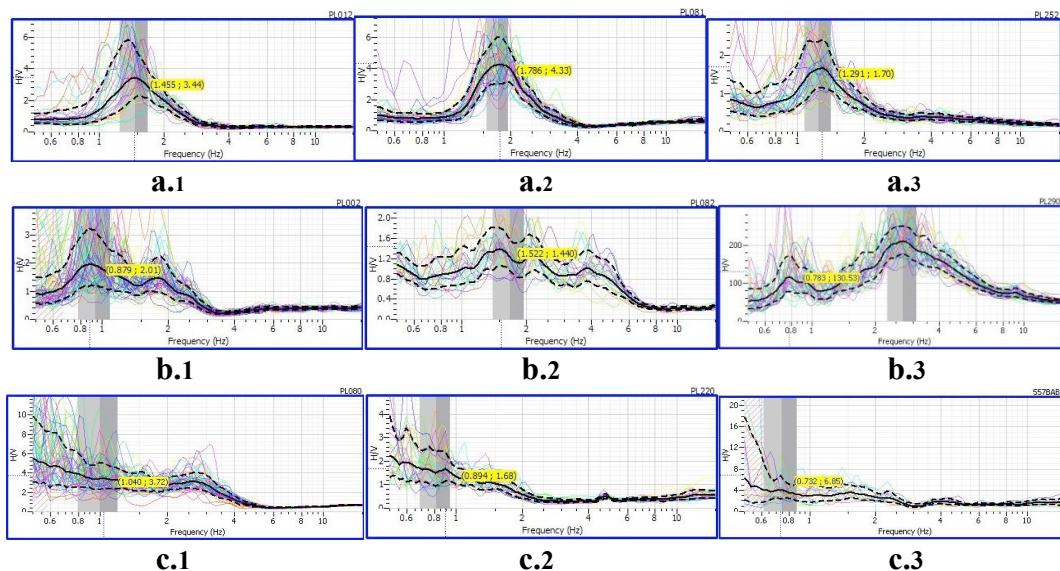
Al reprocesar los datos obtenidos por Mendes (2004) con el programa GEOPSY, se logró identificar 8 picos predominantes que no habían sido identificados con los

programas KNGW y SESAME en las estaciones 518, 527, 537, 547, 573, 596, 615 y 618. Esto puede deberse a que el programa posee algoritmos que permiten hacer mejores muestreos con menor cantidad de ventanas.

En los datos adquiridos en esta investigación, 16 de los datos no pudieron ser transformados al formato Saf, al igual que 15 de los adquiridos por Mendes (2004), ya que presentaban un tamaño de registro un poco más grande de lo normal (2MB) y no fue aceptado por el programa convertidor de formato, por lo tanto no pudieron ser procesados y a 11 de ellos no pudo determinársele los picos predominantes, debido a una respuesta plana por la poca impedancia de los materiales o por la presencia de roca muy cercana a la superficie (SESAME, 2004)

Después de eliminar los datos que presentaron problemas en el procesamiento se obtuvo un total de 418 mediciones de ruido ambiental.

Con el fin de determinar de manera cualitativa la impedancia entre el basamento rocoso y la capa de sedimentos se dividieron los datos en tres grupo: picos claros, picos dobles y picos poco claros, ya que la visualización del pico predominante del suelo está directamente relacionada con los contrastes de impedancia en el subsuelo (Figura 13).



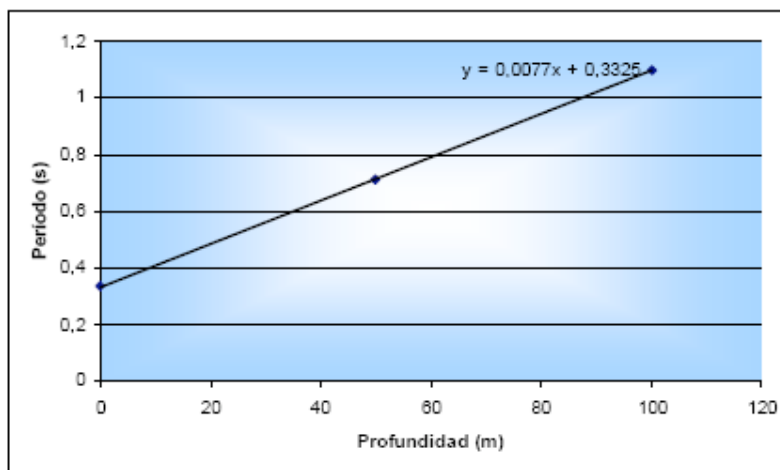
**Figura 13.** Clasificación de picos para cada municipio. **(a)** Picos claros: **(a.1)** Urbaneja, **(a.2)** Sotillo, **(a.3)** Bolívar **(b)** Pico Doble: **(b.1)** Urbaneja, **(b.2)** Sotillo, **(b.3)** Bolívar **(c)** Pico Poco Claro: **(c.1)** Urbaneja, **(c.2)** Bolívar, **(c.3)** Barcelona oeste

## IV.2 Análisis Geoestadístico

Se realizó un análisis estadístico en el cual se hicieron estudios de medidas de Dispersión Central (Desviación Estándar, Varianza y Rango), Medidas de Tendencia Central (Media, Moda, Mediana), gráficos de Cajas y Bigotes, Histogramas de Frecuencias y un Análisis de conglomerado, el cual consiste en dividir los datos en distintos grupos o subpoblaciones que indican la presencia de distintos materiales existentes en el subsuelo. El número de grupos se determina después de observar el histograma de frecuencia, el cual arroja el número de subpoblaciones presentes. Para este estudio se utilizó el programa SPSS 13.0 for Windows (US Government, 2004).

## IV.3 Relación Período Fundamental – Profundidad de Sedimentos Blandos

En esta investigación se realizó un análisis comparativo entre la estimación de espesores sedimentarios propuesta por Rocabado (2002), con los parámetros obtenidos para la ciudad de Barcelona por Mendes (2004) la cual se muestra en la figura 14 y la actual propuesta de Rocabado *et al* (2009) tomando en cuenta el aporte de las ondas de corte. Esta comparación se realiza con el fin de determinar cual ajusta mejor de acuerdo con el modelo gravimétrico realizado por Mendes (2004).



**Figura 14.** Relación Período – Profundidad estimada para la ciudad de Barcelona por Mendes (2004), basada en la estimación lineal según Rocabado (2002).

#### IV.3.1 Relación según Rocabado (2002):

Para esta estimación se utilizó una regresión lineal, a partir de un número de 7 puntos sobre el perfil sísmico 1 al oeste de Barcelona (Figura 15), el cual es un número pequeño por lo cual la aproximación es bastante generalizada. La ecuación obtenida a partir de la estimación de período vs. profundidad es la siguiente:

$$Y = 0.0077X + 0.3325 \quad (\text{ec. 7})$$

Donde:

**X:** es la profundidad

**Y:** es el período.

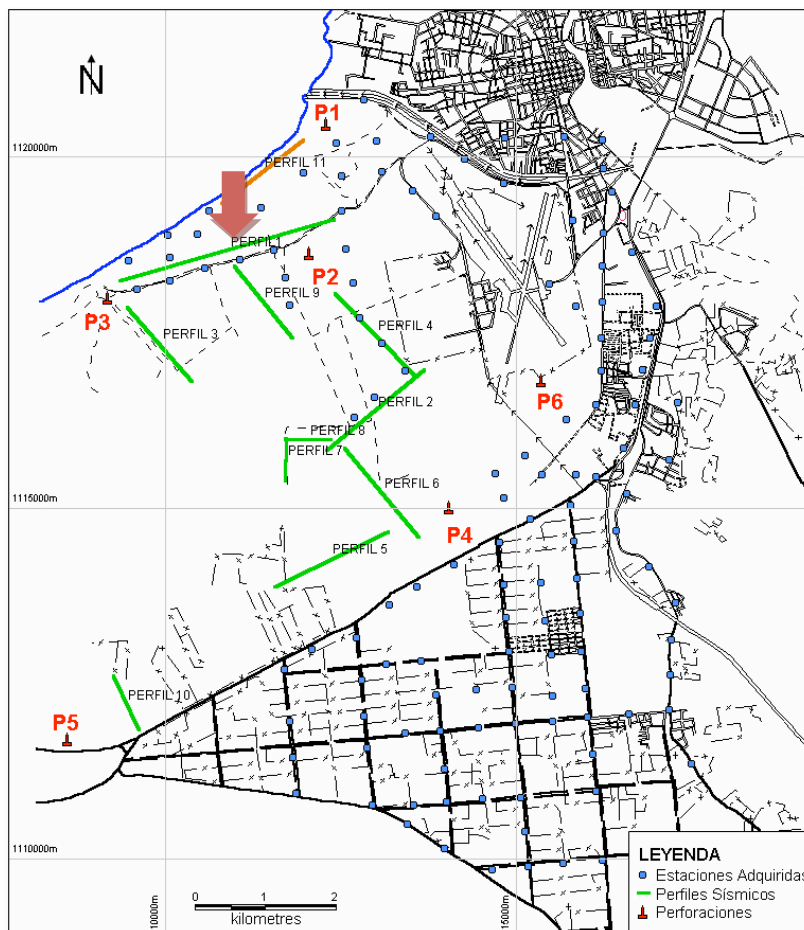


Figura 15. Ubicación del Perfil sísmico 1.

#### IV.3.2 Relación según Rocabado *et al.* (2009):

Para la estimación propuesta por Rocabado *et al.* (2009) observada en la ecuación 6, se utilizaron las velocidades de las ondas de corte obtenidas del análisis de los perfiles sísmicos realizados por Mendes (2004) y en lugar de utilizarse la de los primeros 30 m, se utilizó la de los primeros 50 m, ya que se visualizan mejor porque la zona en estudio posee un nivel freático muy cercano a la superficie provocando distorsión. Se realizó una suma de los espesores de los primeros 50 m entre la suma de su respectivo tiempo, al igual que entre el basamento y la capa superficial observados en cada uno de los perfiles sísmicos (figura 16), dando como resultados los siguientes parámetros:

$V_{sinf} = 395$  m/s.

$V_{s50} = 365$  m/s.

$T$  = periodo medido en cada estación.

$$H = \frac{T \cdot V_{sinf}}{4} + 30 \left( 1 - \frac{V_{sinf}}{V_{s50}} \right) \quad (\text{ec. 6})$$

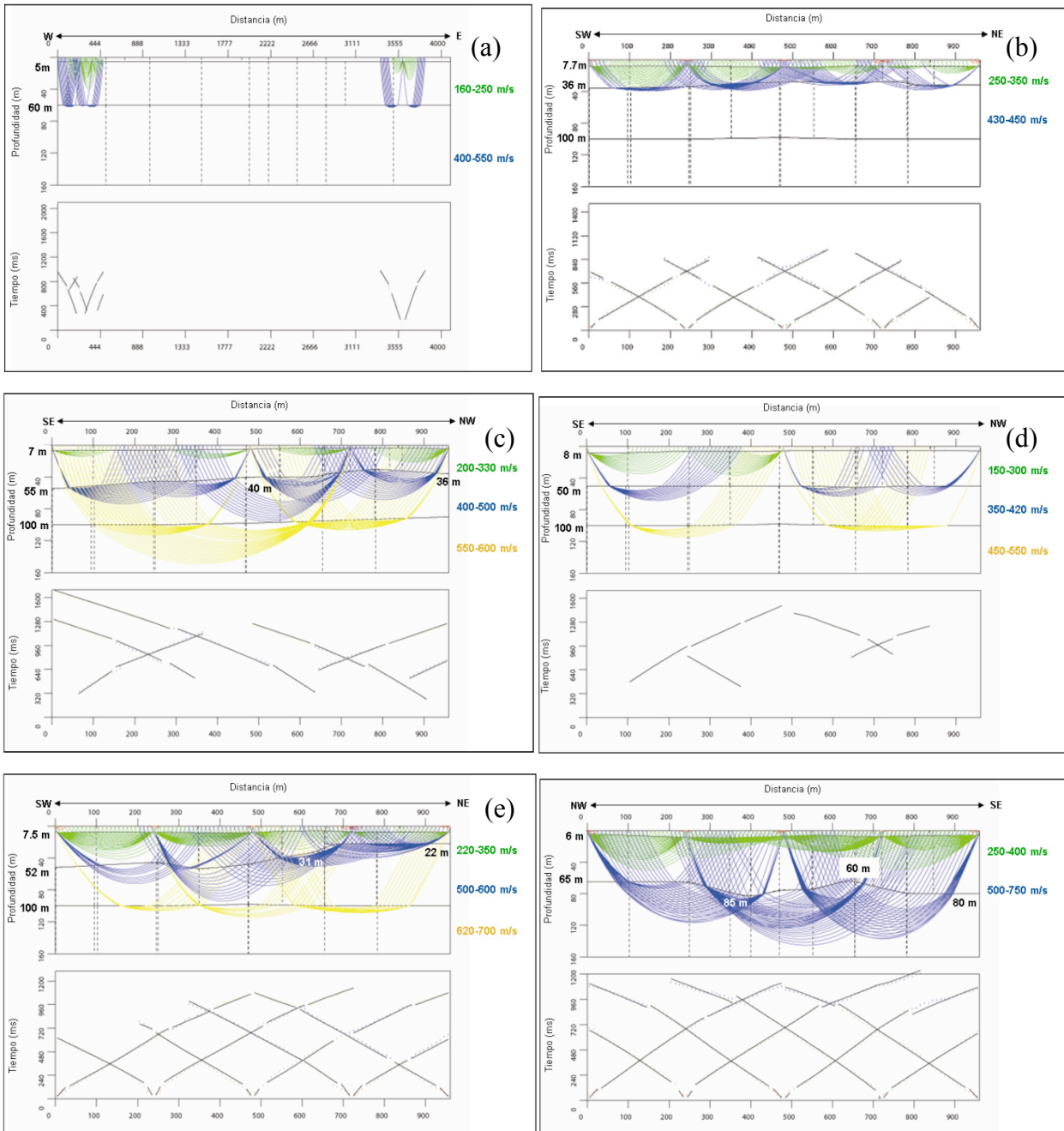
Donde:

$V_{sinf}$ : es la velocidad promedio de las ondas de corte entre el basamento rocoso y la capa superficial de 50 m de espesor en (m/s)

$T$ : es el valor de período medido en el sitio en (s)

$V_{s50}$ : es el valor promedio de ondas de corte para los primeros 50 m en cada microzona en m/s.

A continuación se muestran algunas de los perfiles sísmicos utilizados en este estudio:



**Figura 16 (a):** Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 1, ubicado a lo largo de la vía principal de acceso a la carretera de Caicara. **(b):** Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 2, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar. **(c):** Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 3, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar. **(d):** Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 4, ubicado en los límites de la empresa camaronera Siembramar. **(e):** Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 5, ubicado al lado oeste de la arenera, paralelo a la autopista Barcelona –Píritu. **(f):** Modelo sísmico 2D de velocidades y espesores de ondas S del PERFIL 6, ubicado al lado norte de la arenera, perpendicular al límite sur de la camaronera.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### IV.1 Análisis Estadístico

Después de determinar los valores de período fundamental, se procedió a realizar un análisis estadístico utilizando medidas de dispersión y tendencia central, histogramas, gráficos de cajas y bigotes y un análisis de conglomerados, para determinar el comportamiento de los datos y así observar valores atípicos y posteriormente generar un mapa de períodos por rango y de isoperíodos del área en estudio. De esto se obtuvo los siguientes resultados:

#### IV.1.2 Medidas de dispersión y tendencia Central

**Tabla 1. Medidas de dispersión y tendencia central**

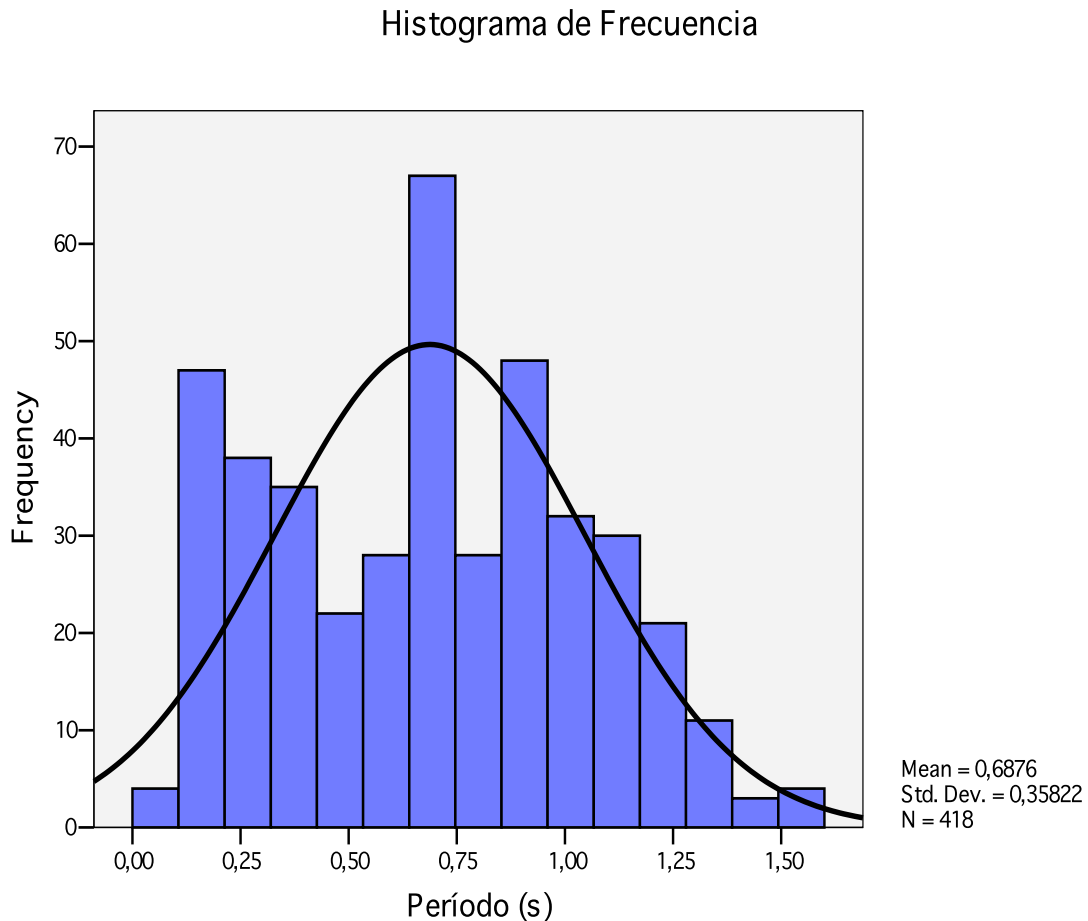
Período

N	Validos	418
	Perdidos	0
Media		,6876
Mediana		,6978
Moda		,70
Desviación Estándar		,35822
Varianza		,128
Rango		1,43
Mínimo		,10
Máximo		1,53

De acuerdo con la Tabla 1 no existen datos fuera de rango, la muestra es unimodal, con media de 0,6876 s, posee una mediana de 0,6978 s y moda 0,70 s, todas muy cercanas entre sí, lo que indica que los datos tienen un comportamiento de distribución normal. Posee un rango de 1,43 s, una desviación estándar de 0,358 s y una varianza de 0,128 s,

las cuales son bastante bajas, correspondientes con el comportamiento normal de los datos y un mínimo de 0,10 s y un máximo de 1,53 s.

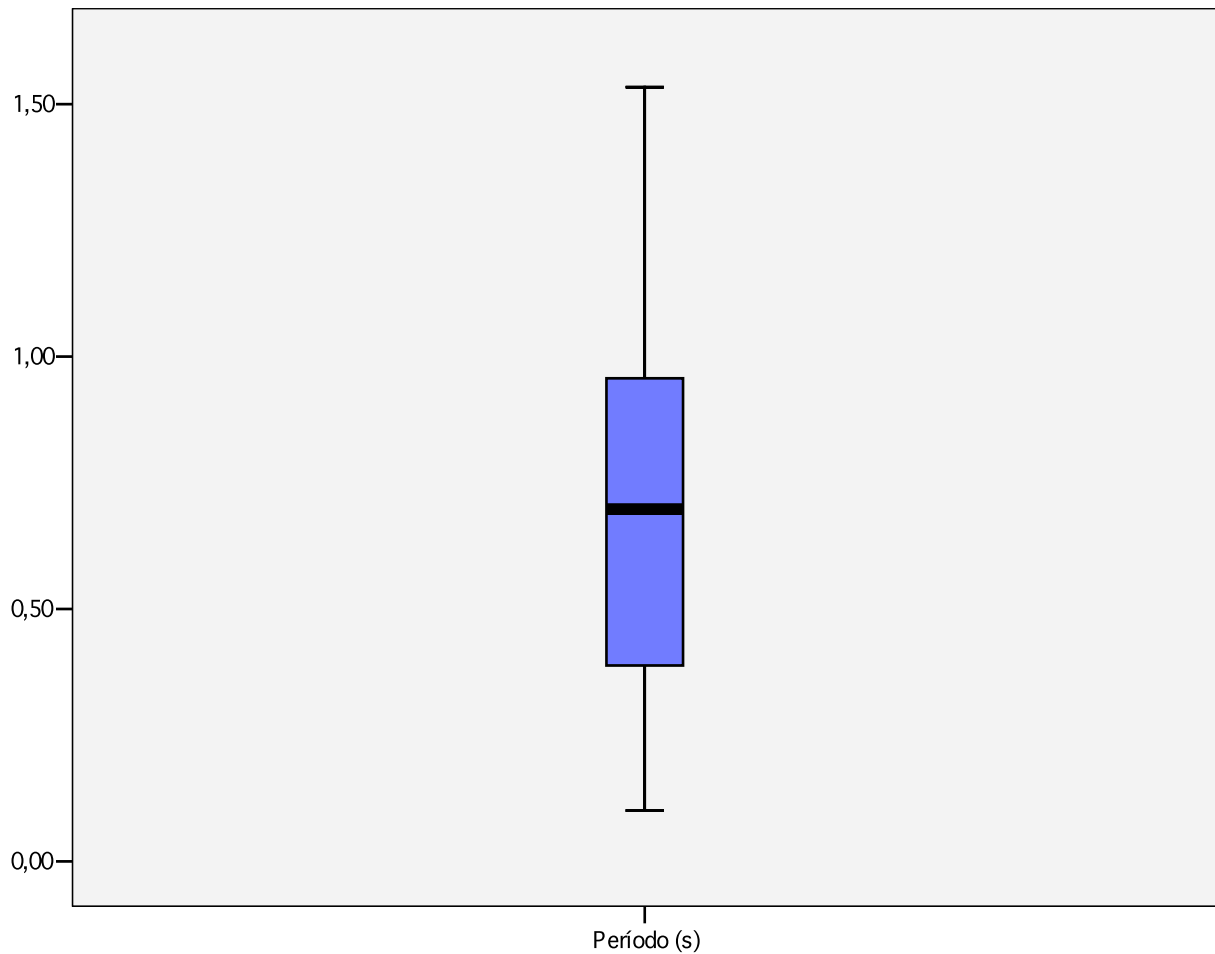
#### IV.1.3 Histograma de Frecuencia



**Figura 17.** Histograma de frecuencia de los períodos determinados.

En el histograma de frecuencia de la figura 16 se observa que los datos presentan al menos 3 subpoblaciones. Estas poblaciones se dividen entre 0,1 s a 0,55 s; 0,55 s a 0,85 s y 0,85 s a 1,6 s. Esto indica que el área en estudio posee al menos tres características geológicas distintas, que pueden estar influenciadas por las distintas formaciones o grupos allí presentes.

#### IV.1.4 Gráfico de Caja y Bigotes (Boxplot)



**Figura 18.** Gráfico de caja y bigote de los períodos obtenidos.

En el gráfico de caja y bigotes de la figura 17 se observa que no existen datos fuera de rango, y la mediana, que viene representada por la franja negra, se ubica muy cercana al centro, lo cual guarda relación con la tabla 1, donde la media y la mediana están muy cercanas, indicando un comportamiento normal de los datos, por lo tanto el sesgo de los datos es casi nulo, mostrando una muy buena simetría.

### VI.1.5 Análisis de Conglomerado.

Se realizó un análisis de conglomerado donde se dividieron los datos en tres grupos, de acuerdo con el número de subpoblaciones arrojados por el histograma de frecuencia. que representan los distintos materiales que pueden existir en la zona, como lo son los sedimentos cuaternarios y los afloramientos de las formaciones o grupos que conforman el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui (Grupo Chimana-Cantil-Barranquín, Grupo Guayuta, formación o Grupo Santa Anita y Formación Merecure.). (Figura 19)

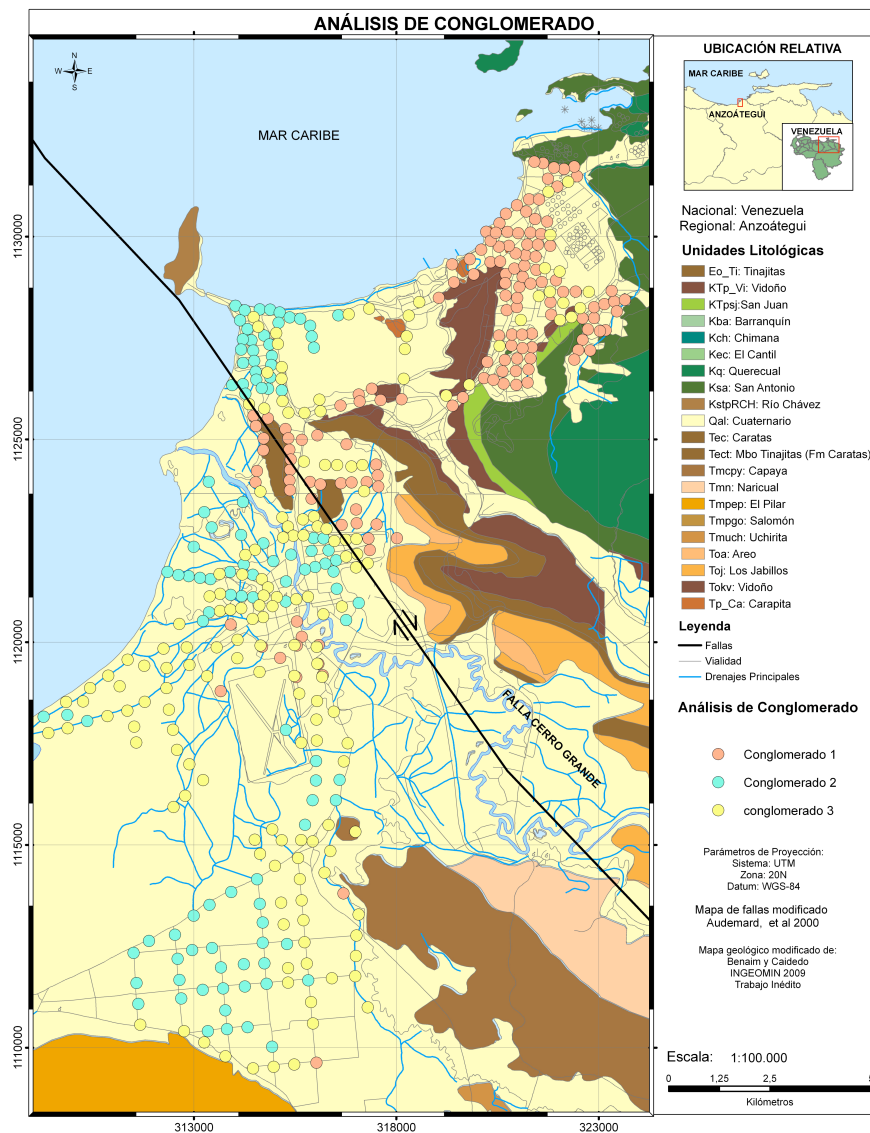
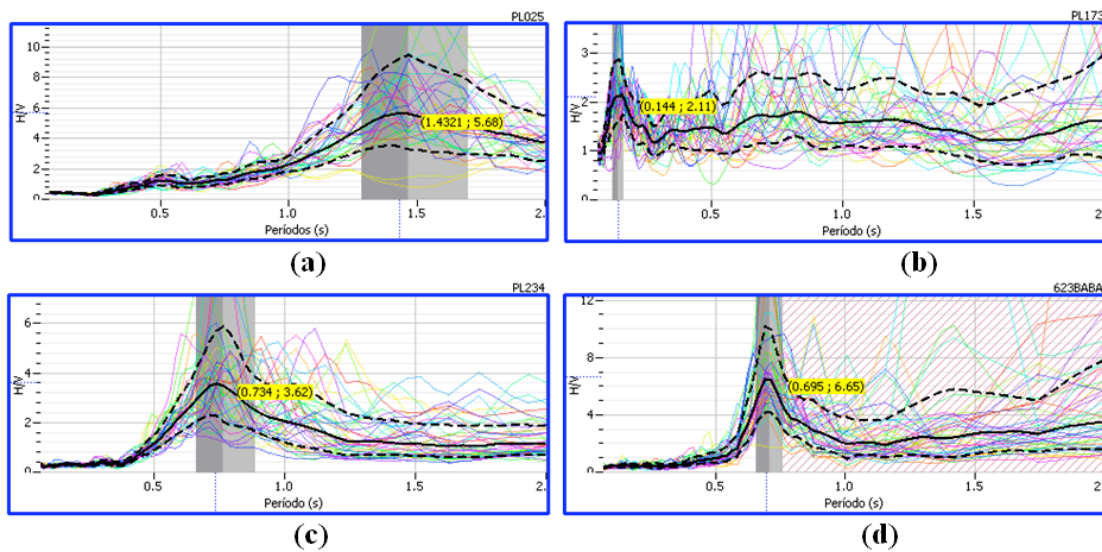


Figura 19. Distribución de los valores de períodos a través del análisis de conglomerado.

Se observa que en el municipio Urbaneja (Lechería), existen los tres tipos de materiales (conglomerado 1, 2 y 3), en el municipio Sotillo se encuentran de los del tipo 1 y 3 y en el municipio Bolívar del tipo 2 y 3. De acuerdo con la ubicación de los conglomerados, se puede inferir que el conglomerado 1 agrupa a aquellos materiales o formaciones rocosas, el conglomerado 2 a los sedimentos más blandos y el conglomerado tres a los sedimentos un poco más consolidados.

#### IV.2 Ruido Ambiental: Períodos predominantes

Después de determinar los picos predominantes para cada una de las zonas en estudio (Figura 20) se obtuvieron las siguientes respuestas características para el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui.

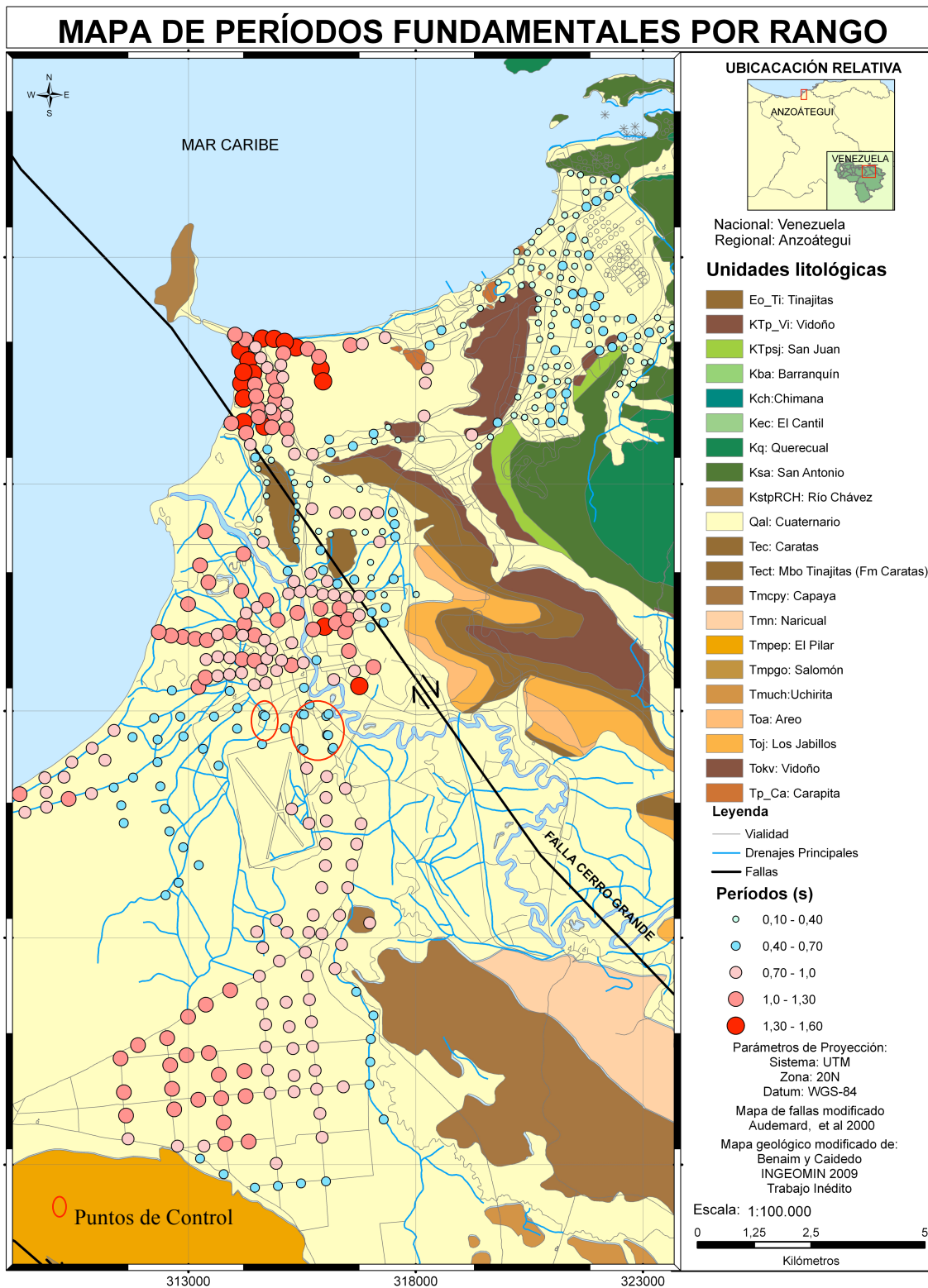


**Figura 20.** (a) Pico predominante del municipio Urbaneja, (b) Pico predominante del municipio Sotillo, (c) Pico predominante del municipio Bolívar (Norte) y (d) Pico predominante del municipio Bolívar (Sur)

A partir de los picos fueron obtenidos los valores de período fundamental y se realizaron mapas de períodos por rango (Figura 21) y de isoperíodos (Figura 22), de los cuales se obtuvo que los valores de períodos fundamentales del suelo se encuentran en un rango entre 0,10 s y 1,53 s y se distribuyen de la siguiente manera:

- **Municipio Urbaneja (Lechería):** los períodos determinados se encuentran entre 0,18 s y 1,53 s, con tendencia a disminuir hacia el sur, donde se encuentran formaciones rocosas de afloramiento localizado de la Formación Naricual. Los valores altos se encuentran al noroeste del área de estudio, cercanos a la costa
- **Municipio Sotillo (Puerto la Cruz):** en esta zona los períodos se encuentran entre 0,10 s y 0,95 s, disminuyendo desde la costa en el oeste hasta pie de montaña en el este, donde se encuentran la Formación Vidoño y el Grupo Guayuta.
- **Municipio Bolívar (Barcelona):** se determinaron períodos entre 0,10 s y 1,49 s, concentrándose los mayores valores en el centro, por el aporte sedimentario del Río Neverí y los menores se ubican hacia el borde donde lo circundan una serie de montañas provenientes de la formaciones Naricual y Quiamare. Sólo las estaciones PL237 y PL296, ubicadas en Barcelona, se encontraron fuera del intervalo de valores de 0,10 s a 1,3 s; con períodos de 1,49 s y 1,37 s respectivamente.

Los mayores valores fueron registrados en el municipio Urbaneja debido a que se encuentra muy cerca de la costa, compuesto por material de relleno. Los mínimos valores se ubican en el municipio Sotillo donde se encuentra la mayoría de los afloramientos rocosos. Se observa que la Falla de Cerro Grande, a pesar de no poseer una sismicidad importante (vivas, et al. 1985) delimita de manera indirecta la respuesta de los períodos ubicados al oeste de la Serranía del Interior (Al norte de la falla) y los que se encuentran al sur de la falla, siendo las primeras de bajo período y las segundas de bajo a alto, con excepción del área de Lecherías, ya que posee una influencia importante sobre la geología de la zona.



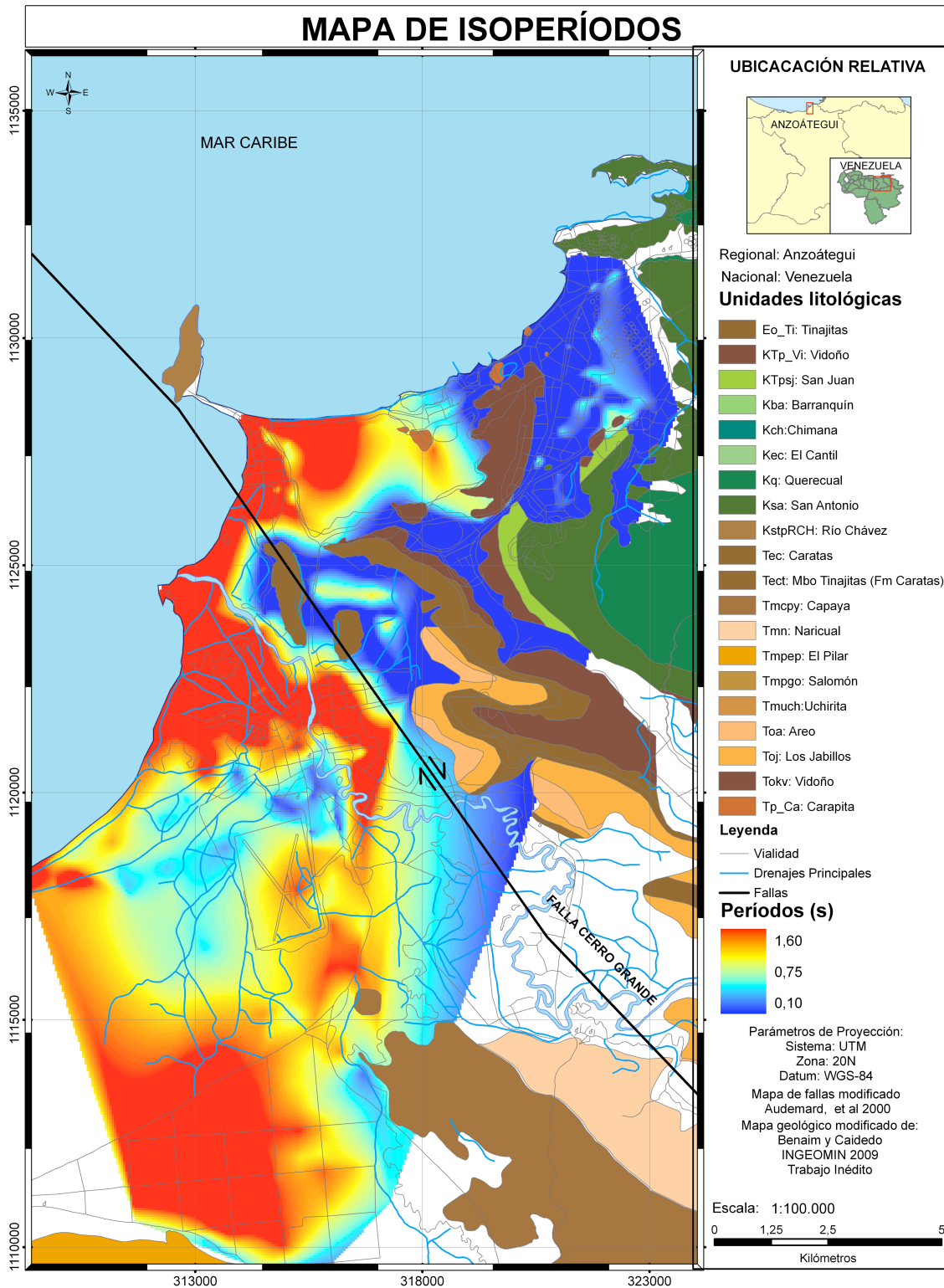


Figura 22. Mapa de isoperíodos del área en estudio.

En los seis puntos de control adquiridos en las mismas estaciones que Mendes (2004), se observa una diferencia de 0,2 s aproximadamente en los valores de períodos. Esto puede deberse al tiempo de registro de los datos, ya que en el 2004 se hicieron registros de 5 minutos y en la actualidad de 20 minutos, con lo cual se obtiene un mayor muestreo de los espectros de frecuencia, permitiendo una mayor confiabilidad de los datos.

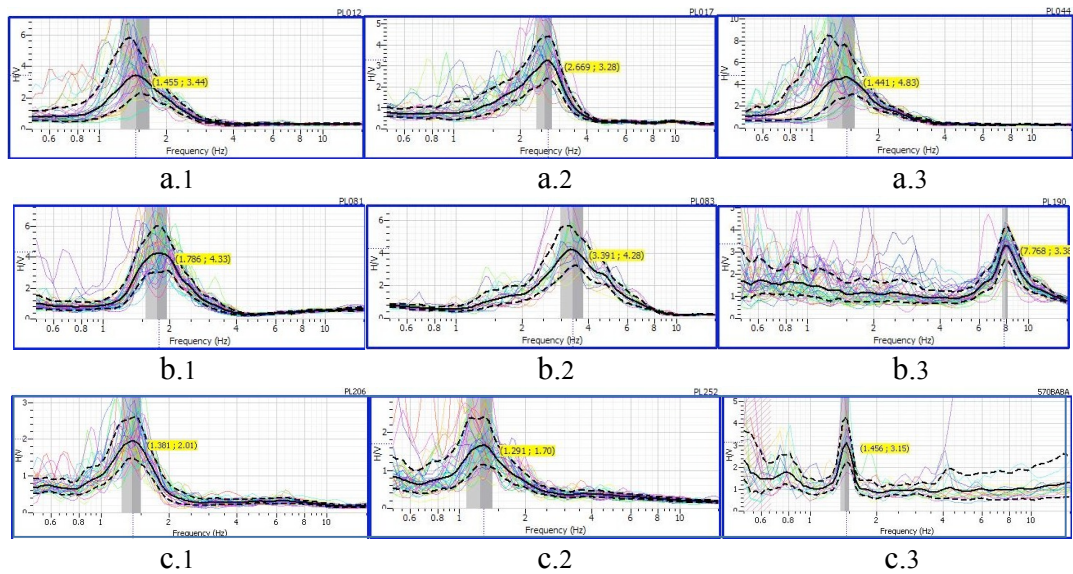
Al observar el análisis de conglomerado y el mapa de períodos por rango, se puede notar que guardan una buena relación, donde los valores de períodos y los conglomerados tienen una distribución muy similar, obteniéndose que los valores bajos de períodos se encuentran asociados con el conglomerado 1, los altos con el conglomerado 2 y los intermedios con el conglomerado 3. Se puede notar que en los puntos de control, los conglomerados son diferentes para los adquiridos por Mendes (2004) y los actuales, eso puede deberse a la diferencia antes mencionada en los registros de medición, la cual es más visible con el análisis de conglomerado ya que los datos están divididos en tres grupos y los períodos por rango están clasificados en 5.

### **IV.3 Relación Pico Predominante – Impedancia**

Para establecer una relación entre los picos predominantes y la impedancia entre sedimentos y basamento rocoso, se clasificaron los picos obtenidos en tres tipos: picos claros, picos dobles y picos poco claros (Figuras 23, 24, y 25).

De acuerdo con la guía de SESAME (2004) para la implementación de la relación espectral H/V para mediciones de ruido ambiental, procesamiento e interpretación, cada pico corresponde con una respuesta específica del subsuelo, como geometría de la cuenca e información de sitio. A continuación se dará una interpretación a cada uno de los picos obtenidos en esta investigación en base a las observaciones hechas por la guía del SESAME (2004).

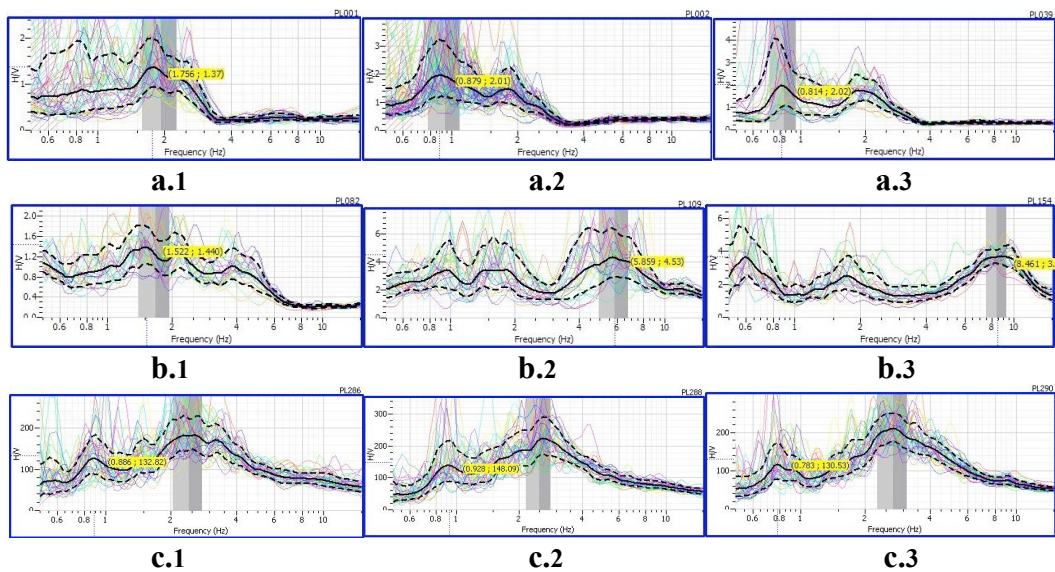
## Picos claros:



**Figura 23.** Ejemplo de picos claros determinados para el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui. **(a) Municipio Urbaneja:** (a.1) Estación PL012, (a.2) Estación PL017, (a.3) Estación PL044. **(b) Municipio Sotillo:** (b.1) Estación PL081, (b.2) Estación PL083, (b.3) Estación PL190. **(c) Municipio Bolívar:** (c.1) Estación PL206, (c.2) Estación PL252, (c.3) Estación 570BABA.

**Interpretación de acuerdo con el área de estudio:** La profundidad de los sedimentos estimados a partir de la relación período fundamental – profundidad propuesta por Rocabado *et al* (2009), es de un máximo de 140 m. En zonas que reflejan este tipo de picos, por lo general presentan un buen contraste de impedancia entre sedimento y basamento rocoso.

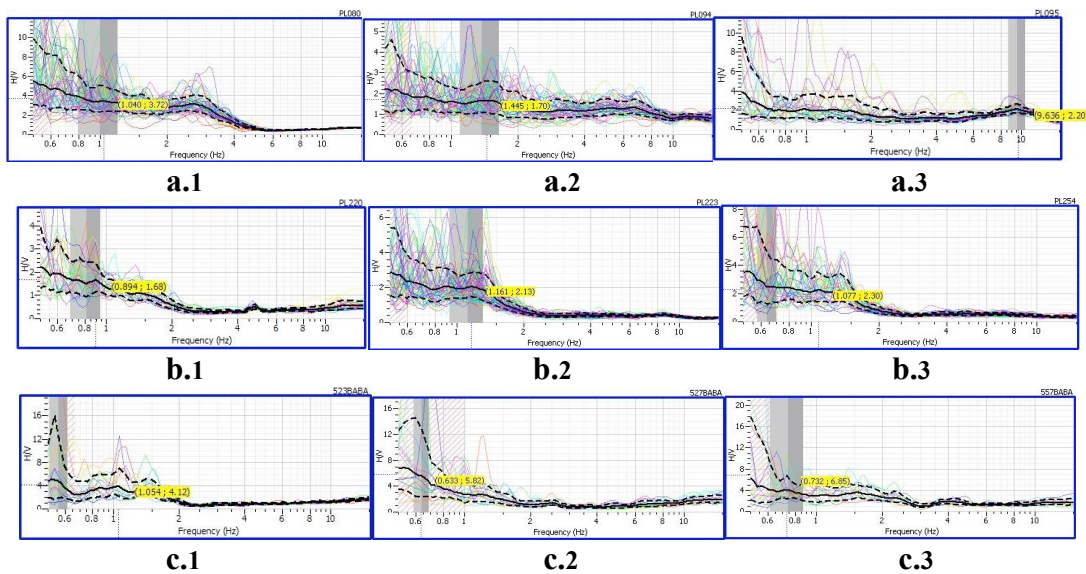
## Picos Dobles:



**Figura 24.** Ejemplo de picos dobles determinados para el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui. **(a) Municipio Urbaneja:** (a.1) Estación PL001, (a.2) Estación PL002, (a.3) Estación PL039. **(b) Municipio Sotillo:** (b.1) Estación PL082, (b.2) Estación PL109, (b.3) Estación PL154. **(c) Municipio Bolívar:** (c.1) Estación PL286, (c.2) Estación PL288, (c.3) Estación PL290.

**Interpretación de acuerdo con el área de estudio:** Los picos dobles que se muestra en la figura 24 pertenecen a zonas del área de estudio que muestra dos contrastes de impedancia marcados debido a las características Geológicas y litológicas de los materiales presentes, como son los sedimentos cuaternarios del tipo aluvionales y las rocas de las distintas formaciones presentes en el área de estudio.

## Picos Poco Claros:



**Figura 25.** Ejemplo de picos poco claros determinados para el Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui. **(a) Municipio Sotillo:** (a.1) Estación PL080, (a.2) Estación PL094, (a.3) Estación PL095. **(b) Municipio Bolívar:** (b.1) Estación PL220, (b.2) Estación PL223, (b.3) Estación PL254. **(c) Oeste de Barcelona:** (c.1) Estación 557BABA, (c.2) Estación 523BABA, (c.3) Estación 527BABA.

**Interpretación de acuerdo con el área de estudio:** los picos poco claro que se muestran en la figura 25 pertenecen a zonas del área de estudio donde el contraste de impedancia entre la capa sedimentaria y el sedimento rocoso es muy bajo, según los criterios expuestos por Bard (1999).

Al clasificar los picos de en picos claros, picos dobles y picos poco claros, se observó que:

- la mayoría de los picos claros se encuentran en el municipio Urbaneja, zona que presentó mayor contraste de impedancia entre sedimento y basamento rocoso del Grupo Gauyuta y también los espesores más altos.
- Los picos dobles se encontraron la mayoría en Barcelona, específicamente hacia el sur donde se encuentran dos materiales distintos, como los sedimentos cuaternarios y las rocas de las formaciones Naricual y Cayapa, con contrastes de impedancia marcados.

- Los picos poco claros se encontraron la mayoría en el municipio Sotillo donde se obtuvieron los menores espesores y la mayor cantidad de afloramiento rocoso. En el municipio Urbaneja no se observó este tipo de pico (Figura 26).

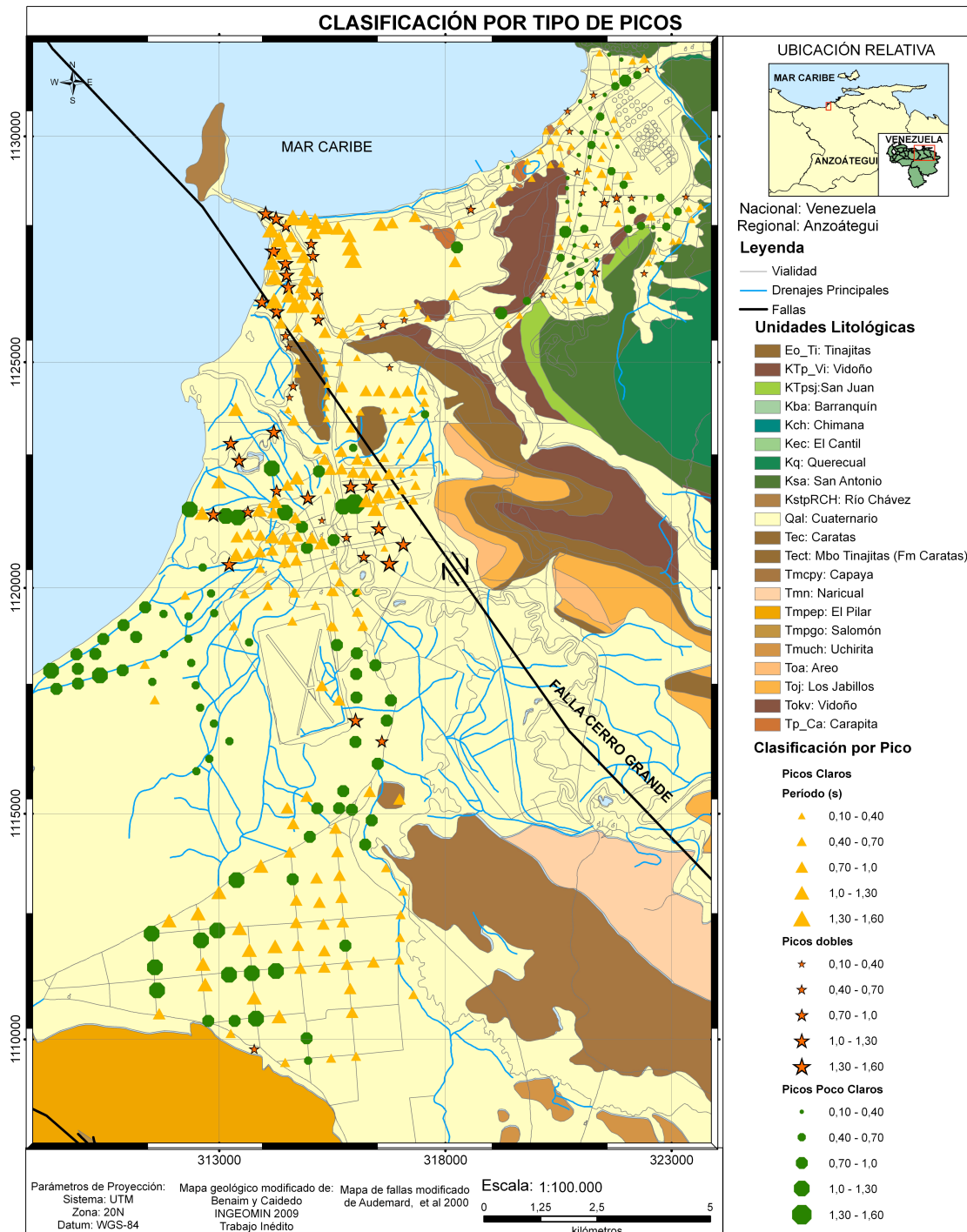
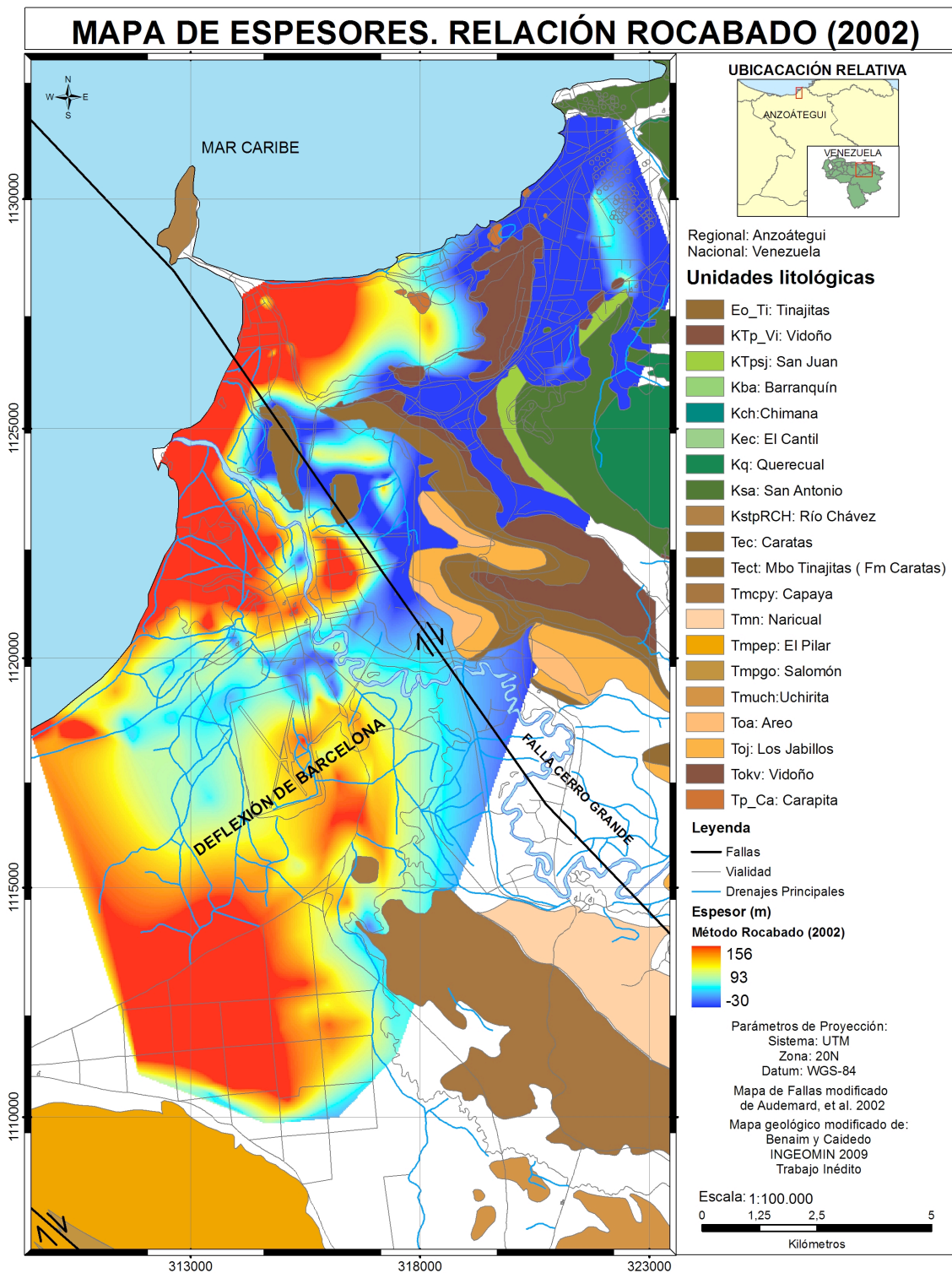


Figura 26. Clasificación por picos

#### **IV.4 Relación Período Fundamental – Profundidad de Sedimentos Blandos**

Se realizó un mapa de espesores con el método propuesto por Rocabado (2002), con la aproximación lineal propuesta por Mendes (2004), en el cual se observa que se obtiene un valor máximo de 156 m ubicado en el municipio Urbaneja (Figura 27). Con este método se pudo observar que los valores ajustan para el municipio Bolívar, específicamente al oeste de Barcelona, con valores comprendidos entre 22 m y 120 m para la cual la fórmula fue estimada, pero para los municipios Urbaneja y Sotillo se obtuvieron valores negativos, lo cual evidencia que presenta un problema de ajuste para estas zonas, ya que la fórmula fue realizada sin contemplar valores tan bajos de períodos como los que se encuentran en estas zonas.



**Figura 27.** Mapa de espesores del área en estudio, obtenido con la relación propuesta por de Rocabado (2002).

El mapa de espesores de sedimentos (Figura 28) obtenido a partir de la relación de período fundamental – profundidad de sedimentos blandos propuesta por Rocabado *et al* (2009), utilizando como velocidad promedio de las ondas de corte entre el basamento rocoso y la capa superficial de 50 m de espesor ( $v_{sinf}$ ) 395 m/s y 365 m/s como el valor promedio de ondas de corte para los primeros 50 m en cada microzona ( $V_{s50}$ ) muestra un espesor máximo de 147 m aproximadamente, ubicado en el municipio Urbaneja.

# MAPA DE ESPESTORES. RELACIÓN ROCABADO et al (2009)

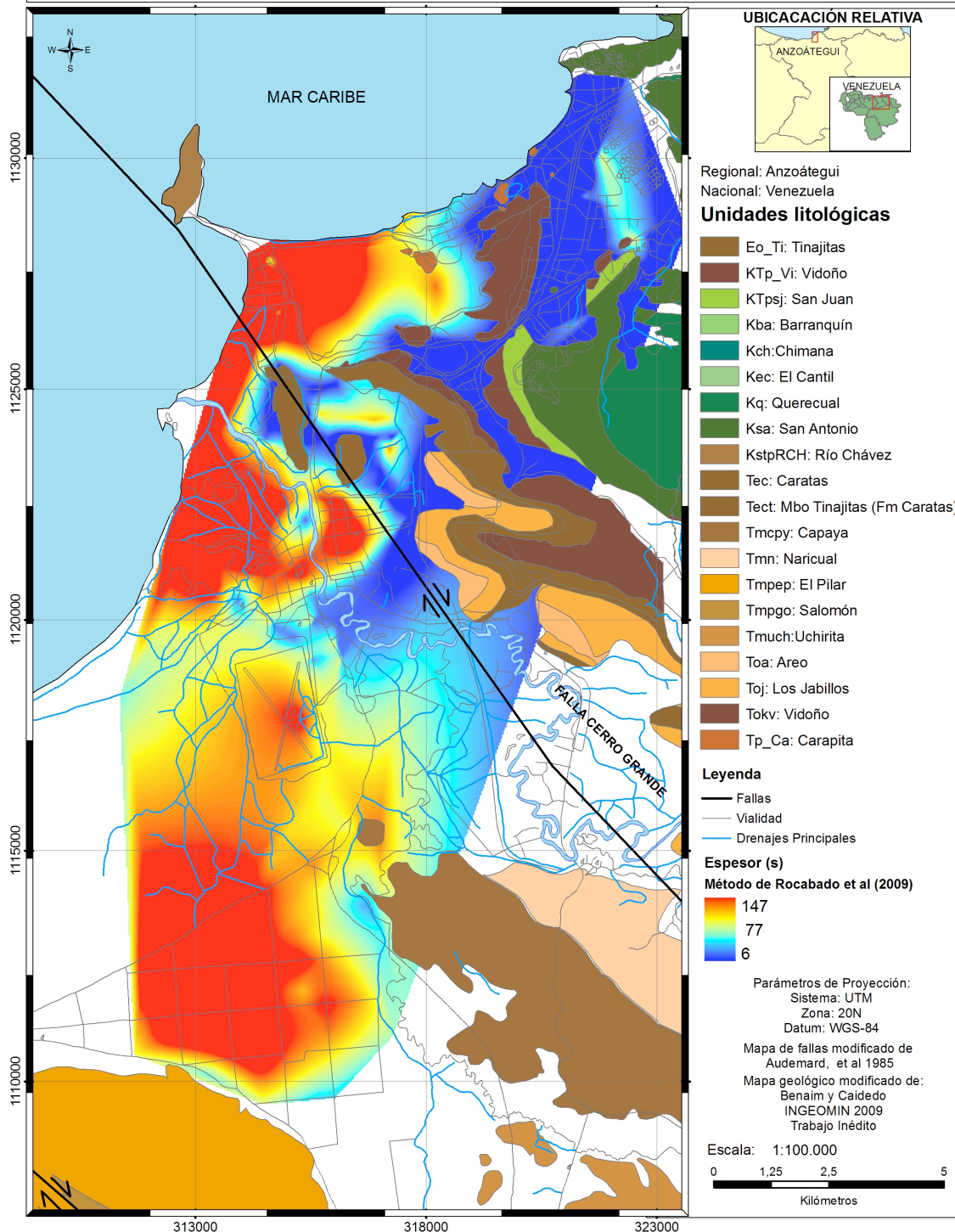
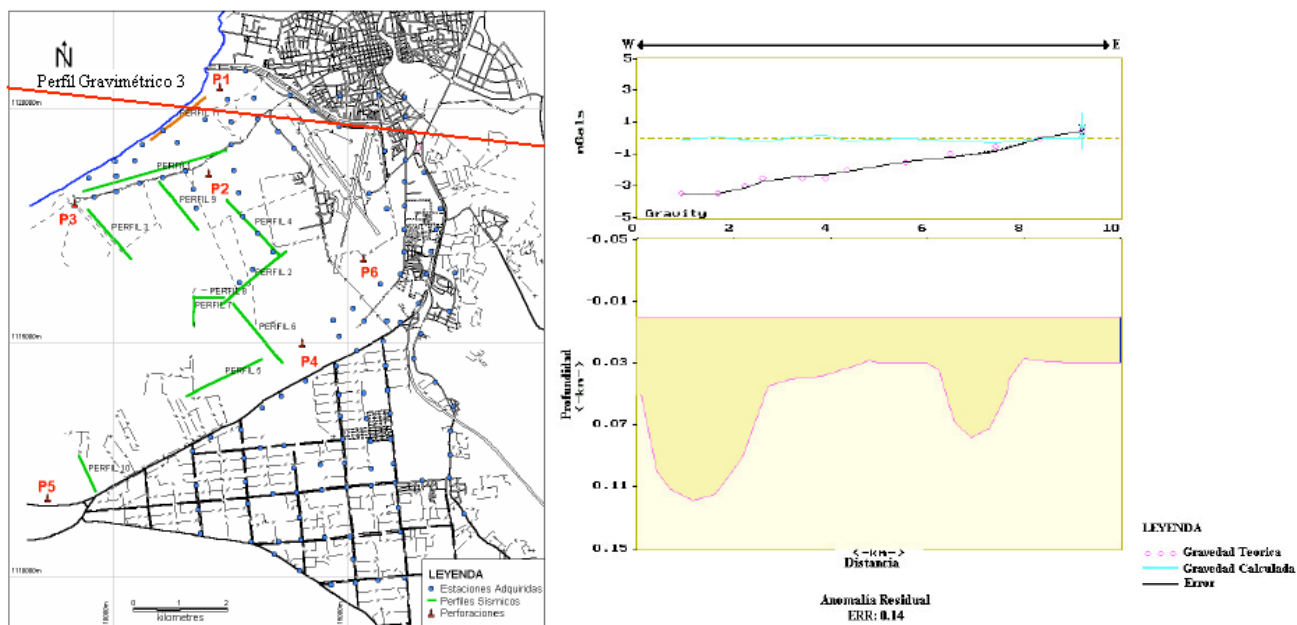


Figura 28. Mapa de espesores del área en estudio, obtenido según la relación de Rocabado *et al* (2009).

Los resultados obtenidos guardan una relación directa entre los períodos fundamentales y espesores de sedimentos, por lo tanto en el municipio Sotillo se encontraron espesores bajos, con tendencia a disminuir hacia el pie de montaña y de aumentar hacia la costa, espesores altos para el municipio Urbaneja, excepto en los afloramientos localizados de la Formación Naricual y espesores intermedios en el municipio Bolívar, tendiendo a aumentar hacia el centro debido al aporte sedimentario del Río Neverí y a disminuir hacia los bordes por la presencia de las formaciones Naricual y Cayapa. Los espesores obtenidos para el oeste de Barcelona se encuentran en un rango entre 40 m y 120 m. De acuerdo con en el modelo del perfil gravimétrico (Figura 29), obtenido por Mendes (2004) se observa un valor de espesor máximo de 120 m aproximadamente para el oeste de Barcelona. Esto muestra que el espesor obtenido por el método de Rocabado *et al* (2009) ajusta al modelo del perfil gravimétrico, pudiendo interpolarse esta respuesta al resto de los resultados. En cambio el método de Rocabado (2002), con la fórmula de estimación de espesores propuesta por Mendes (2004), se observa que se ajusta para los valores altos, mas no para los valores bajo, además que presenta valores negativos para los municipios Urbaneja y Sotillo.



**Figura 29.** Ubicación del perfil gravimétrico N° 3 del oeste de Barcelona con orientación W-E. Tomado de Mendes (2004)

## CONCLUSIONES

### **Ruido Ambiental**

Siguiendo los objetivos contemplados en este Trabajo Especial de Grado, cumpliendo con las etapas de adquisición, procesamiento e interpretación de datos de ruido ambiental, aplicando el método de Nakamura (relación espectral H/V) para determinar el período fundamental del suelo en el área en estudio, se concluye:

Los de períodos fundamentales del suelo obtenidos en el área de estudio se encuentran en un rango entre 0,10 s y 1,53 s, distribuyéndose de la siguiente manera:

**Municipio Urbaneja (Parroquias Lecherías y el Morro):** se observan los mayores períodos en toda el área en estudio (hasta 1,53 s), ubicados hacia el norte, lo cual indica la presencia de grandes espesores y/o sedimentos blandos. Se considera que la razón principal para estos valores son los sedimentos blandos que se encuentran muy cerca de la costa. Los valores tienden a disminuir hacia el sur, debido a la presencia de formaciones rocosas que afloran localmente, pertenecientes a la Formación Naricual.

**Municipio Sotillo (Parroquias Puerto la Cruz y Pozuelos):** se encuentran los menores valores de períodos, que alcanzan un máximo de 0,95 s, con tendencia a disminuir hacia el este, por la proximidad a un gran macizo rocoso, perteneciente al Grupo Guayuta.

**Municipio Bolívar (Parroquias Barcelona, San Cristóbal y El Carmen):** los valores más altos se observan en el centro, de 0,70 s a 1,30 s, debido al aporte sedimentario del Río Neverí. También se observan valores altos en la localidad de Caicara cercanos a la costa, relacionados con sedimentos blandos y grandes espesores de sedimentos, al igual que en la localidad de La Viña, con valores entre 1,0 s y 1,30 s con tendencia a disminuir en la cercanía del macizo rocoso pertenecientes a las formaciones Naricual y Cayapa.

### **Relación Período Fundamental – Profundidad de Sedimentos Blandos**

Los espesores de sedimentos guardan relación directa con los períodos fundamentales determinados, ya que a mayor período fundamental mayor será el espesor de sedimentos. Por lo tanto, mediante la utilización de períodos fundamentales y tomando

en cuenta los valores de las ondas de corte, obtenidos por métodos sísmicos (Mendes, 2004) se puede determinar el espesor de la capa de sedimentos de una manera rápida y a un bajo costo.

Se realizó un mapa de espesores de sedimentos del cual se obtuvo un espesor máximo de 147 m ubicado en el municipio Urbaneja utilizando la relación según Rocabado *et al.* (2009). Los valores de espesores obtenidos para el oeste de Barcelona concuerdan con los arrojados por los modelos gravimétricos realizados por Mendes (2004). En cambio, los obtenidos por la fórmula de estimación de espesores determinada por Mendes (2004) con la relación según Rocabado (2002), presenta valores negativos al momento de extrapolarla hacia los municipios Urbaneja y Sotillo. Se considera que la fórmula de Rocabado *et al* (2009) es una herramienta útil y eficiente para determinar espesores en ausencia de pozos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, donde se muestran espesores importantes de sedimentos blandos y los trabajos previos, gran parte del Área Metropolitana del norte del estado Anzoátegui posee sedimentos blandos que podrán tener un considerable potencial de licuación (Pimentel, 1981 y Graffe 2002). Por lo tanto es importante que se realicen mapas de microzonificación con en el fin de establecer las posibles zonas de riesgo, para que al momento de realizar las edificaciones se tomen en cuenta los parámetros mínimos requeridos para construir en estos tipos de suelo y así evitar daños estructurales y humanos al momento de que se produzca un evento sísmico.

## **RECOMENDACIONES**

Para la estimación de sedimentos se recomienda elegir las velocidades de ondas de corte para cada microzona, ya que éstas poseen una gran influencia sobre el resultado de espesores estimado, una vez que se hayan analizado los datos sísmicos de Barcelona y Puerto La Cruz que se llevan a cabo actualmente.

Se recomienda remedir en aquellos lugares que presentaron mayor cantidad de picos poco claros, con la finalidad de determinar si los mismos son producto de mediciones que requieren mayor tiempo de registro (mayor a 20 min) o son producto de la disposición geológica en la zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeki, N., Enomoto, T., Guevara, T. y Villegas, Z. (1995). Fundamental concept for Seismic microzonation and preliminary surveys of microtremor observations in Caracas and Cumaná City, Venezuela. II Coloquio Internacional sobre “Microzonificación Sísmica” y V Reunión de Cooperación Iberoamericana, Cumana, Venezuela, 12 al 16 de junio de 1995, Resumen.
- Amarís, E., Sánchez, J., Rocabado, V., Moncada, J., Schmitz, M. (2009). Espesores de sedimentos. Subcapítulo 3.3 - Informe Final, Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, FUNVISIS.
- Audemard, F. (1999). Nueva percepción de la sismicidad histórica del segmento en tierra de la falla de El Pilar, Venezuela nororiental, a partir de primeros resultados paleosísmicos. Mem. VI Cong. Venez. Sismología e Ingeniería Sísmica. Mérida, Venezuela (CD-Rom).
- Audemard, F., Cox, J., Dart, R. y Machette, M. (2000). Mapa de fallas cuaternarias de Venezuela. Mapa B. Escala 1:100.000. Proyecto de cooperación entre el U.S. Geological Survey (USGS) y la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) con el apoyo do Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo S.A. (INTEVEP) y Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA).
- Audemard, F., Beck, C., Moernaut, J., De Rycker, K., De Batist, M., Sánchez, J., González, M., Sánchez, C., Versteeg, W., Malavé, G., Schmitz, M., Van Welden, A., Carrillo, E., Lemus, A. (2007). La depresión submarina de Guaracayal, estado Sucre, Venezuela: Una barrera para la prolongación de la ruptura cosísmica a lo largo de la falla de El Pilar. *Interciencia*.VOL. 32 N° 11.
- Bard, P. Y. (1995). Effects of surface geology on ground motion: recent results and remaining issues. Proc. 10<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria. 28 p.
- Bard, Y. P. (1999). Microtremor measurements: A tool for site effect estimation? The Effects of Surface Geology on Seismic motion. 3, pp. 151 – 1279.

- Bellizzia, G., y Bellizzia M. (1961). Geología y reservas de la cuenca carbonífera de Naricual, estado Anzoátegui, Bol. Geol. (Caracas) Publ. Esp. 3 (4) 1569 – 1606.
- Bellizzia, A., Pimentel, N. y Muñoz, M. N. (1981) Geodynamic Investigations Venezuela: Geology and Tectonics of Northern South America. Vol. Geol. (Venezuela), Publ. Esp. No. 9, 140 pp.
- Benain, N. y Caicedo, G. (2009) Cartografía geológica. Hoja Barcelona. Escala 1:100.000. INGEOMIN. Trabajo Inédito.
- Boiero, A., G., De Gouveia (2005). Determinación y Análisis de Espectros de Respuestas en los municipios Bolívar, Urbaneja, Sotillo Y Guanta, Estado Anzoátegui. Trabajo especial de Grado, Escuela de Geología Minas y Geofísica, facultad de Ingeniería, UCV. Caracas, Venezuela. P 134.
- Bucher, W. H. (1952) Geologic structure and orogenic history of Venezuela, Geol. Soc. Amer., Mem. 49, 113
- Coral H., (2002). Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para la microzonificación sísmica de áreas urbanizadas en Andorra. Tesis Doctoral. E. T. S. Ingenieros de camino C. y P. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica. P 185.
- COVENIN (2001) Edificaciones sismorresistentes. Norma Venezolana COVENIN 1756:2001. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Fondonorma, MTC, MINFRA, FUNVISIS, Caracas, 123 pp.
- DCT – FUNVISIS (1994). Proyecto INTEVEP 92 – 175. Estudio neotectónico y de geología de fallas activas de la region nororiental de Venezuela. Volumen I. Pag 49.
- Duval, A.-M., Méneroud, J.-P., Vidal, S. and Singer, A. (1998). Relation between curves obtained from microtremor and site effects observed after Caracas 1967 earthquake. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Rotterdam, (CD), 9 pp.
- Enomoto, T., Schmitz, M., Matsuda, I., Abeki, N., Masaki, K., Navarro, M., Rocabado, V., y Sánchez, A. (2000). Seismic risk assessment using soil dynamic

- characteristics in Caracas, Venezuela. 6th International Conference on Seismic Zonation, Palm Springs, CD-ROM, 6 pp.
- Field, E.H. y Jacob, K.H. (1995). A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference-site dependent. BSSA, 85, 1127-1143.
- 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 del Sismo, FUNVISIS, Caracas, Venezuela, Volumen A, 517 pp.
- Graffe, G. (2002). El Fenómeno de Licuación en el Subsuelo del Área Norte del Estado Anzoátegui, un enfoque actual de Evaluación y Análisis. Trabajo Especial de Grado, Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de Oriente.
- Harding, T. P. (1974) Petroleum traps associated with wrench faults. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bul. 58(7): 1290 – 1304.
- Hedberg, H. D. (1937) Estratigrafía de la sección del Río Querecual en el noreste de Anzoátegui, Bol. Geol. Miner. 1(2-4): 253 – 265. Caracas.
- Hedberg, H. D. (1950) Geology of the Eastern Venezuela Basin (Anzoátegui – Monagas – Sucre - Eastern Guarico portion). Geol. Soc. Amer., Bull. 61(11):1173 – 1216.
- Hedberg, H. D. y Pyre, A. (1944) Stratigraphy of northeastern Anzoátegui, Venezuela. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull, Vol 20, N° 1, P 1-28.
- Ibs-von Seht, M. and Wohlenberg, J. (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. BSSA, 89, 250-259.
- INGEOSOLUM, C.A. (1998) Estudio geotécnico complementario para evaluación del oleoducto en Pantano Guarapiche. Informe No.9710-01 para INCOSTAS. (Intevep).
- INTEVEP y FUNVISIS. (1999). Proyecto INTEVEP 98-437. Informe Técnico.
- Konno, K. and Ohmachi, T. (1998). Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. BSSA, 88, 228-241.
- Kramer S. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.

- Lachet, C. y P. Bard (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. *J. Phys. Earth*, 42,377.
- Mendes, M. (2004). Caracterización Geofísica del Subsuelo de la Zona Oeste de Barcelona – Estado Anzoátegui Aplicando Métodos Sísmicos y Gravimétricos. Trabajo especial de Grado, Escuela de Geología Minas y Geofísica, facultad de Ingeniería, UCV. Caracas, Venezuela. P 201.
- Morales, C., Schmitz, M., González, M., Cataldi, A., Rojas, H., Rojas, S y Masy, J. (2008). Aplicación de métodos geofísicos para la caracterización de sitios en el estudio de microzonificación sísmica de Caracas. Conferencia 50 aniversario Sociedad Venezolana de Geotecnia. Caracas, Venezuela. Memoria en CD. 8 p.
- Moreno, F. (2004). Relación entre el Período Fundamental de vibración de suelo y el espesor de sedimentos en la parte oeste de la ciudad de Caracas, Municipio Libertador, mediante la aplicación del método de Nakamura en una malla de 250 metros. Trabajo Especial de Grado – Universidad Central de Venezuela. 128 p.
- Moros, L. (2004). 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 – Universidad Central de Venezuela. 115 p.
- Munro, S. y Smith, F. (1984) The Urica fault zone, northeastern Venezuela. *GSA. Mem.* 162. 213 – 216.
- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamics Characteristic Estimation of Surface Using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of Railway Tech Res. Inst.* 30, pp. 25-33.
- Nogoshi, M. e Igarashi, T. (1971). On the amplitude characteristics of microtremor (part 2). *Jour. Seism. Soc. Japan*, 24, 26-40 (en Japonés con resumen en Inglés).
- OMPAD - Alcaldía de Manizales, (2008). Gestión de riesgo en Manizales. Manizales Colombia. <http://www.col.ops-ms.org/desastres/docs/pereira/01presentacion.htm>, 2008.

- Parolai, S., Bormann, P. and Milkereit, C. (2001). Assessment of the natural frequency of the sedimentary cover in the Cologne area (Germany) using noise measurements. *J. of Earthquake Engineering*, 5, 541-564.
- Parolai, S., Bormann, P. and Milkereit, C. (2002). New relationships between  $V_s$ , thickness of sediments, and resonance frequency calculated by the H/V ratio of seismic noise for the Cologne area (Germany). *BSSA Short Note*, Vol. 92, 2521-2527.
- Pérez, C. (2004) *Técnica de Análisis Multivariante de Datos. Aplicaciones con SPSS*. Editorial Prentice Hall. Madrid, España. P. 646
- Pérez, O. y Aggarwal (1981). Present day tectonics of the southeastern Caribbean and northeastern Venezuela. *FUNVISIS. Dpto de Sismología. Caracas. Res.*, 86, 10,791-10,804.
- Pimentel, P. (1982). Los Suelos de la zona Barcelona – Puerto la Cruz. VII Seminario de Mecánica de Suelos-Problemática de Cimentación en áreas Urbanas de Venezuela. II Reunión de Profesores de Mecánica de Suelos y materias afines. p. 141-170.
- Rocabado, V. (2002). Periodos fundamentales del suelo de la ciudad de Caracas a partir de mediciones de ruido ambiental. Tesis de grado. Publicado en CD GEOS 35 (2002) UCV, Caracas.
- Rocabado, V., Sanchez, J. y Schmitz, M. (2005). Caracterización de suelos de Barquisimeto -estado Lara, Venezuela-, aplicando métodos geofísicos y geotécnicos. *IMME*, 43 (2), 35-48.
- Rocabado, V. (2005). Manual Práctico de Procesamiento Ruido Ambiental. *FUNVISIS*. Inédito 23 p
- Rocabado, V., Schmitz, M., Sánchez, J., Reinoza, C., (2007). Geophysical studies in Barquisimeto metropolitan area, Venezuela, as contribution to a seismic microzoning study. 4<sup>th</sup> International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Thessaloniki, Greece, 2007, Memorias.

- Rocabado, V. Schmitz, M. Hernandez, J. Morales, C. (2009). Relación entre período del suelo y profundidad de los sedimentos para la ciudad de Caracas. V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica. Caracas, Venezuela. Memorias en CD. 4 p.
- Rod, E (1959) West end of Serranía del Interior, Eastern Venezuela. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bul. 43(4): 772 – 789.
- Salvador, A. y Stainforth (1968) Clues in Venezuela to geology of Trinidad, and viceversa. 4<sup>th</sup> Caribb. Geol. Conf., trinidad, 1965, Trans 1: 31 – 40.
- Sánchez, J., Schmitz, M. y Cano, V. (2005). Mediciones sísmicas profundas en Caracas para la determinación del espesor de sedimentos y velocidades sísmicas como aporte para el estudio de microzonificación sísmica. Boletín Técnico del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Vol 43. 49-67.
- Schmitz, M, Rocabado, V, Sánchez J, Reinoza C, Amaris E y Cornou C (2006). Geophysical studies for the identification of basin effects in urban areas in Venezuela. SC24A-06. Advances in Seismic Microzoning in Latin American Countries and Their Implications for Public Policies I. AGO Spring Meeting. Acapulco, México.
- Seed, R. B. y Cetin, K. O. (2001). Recent advances in soil liquefaction Engineering and seismic site response evolution. College of Engineering University of California, Berkeley, March. Papers Pl-2.
- Sesame (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. [http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/Del-D23-HV\\_User\\_Guidelines.pdf](http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/Del-D23-HV_User_Guidelines.pdf)
- US Government (2004). SPSS Statistical Package for the Social Sciences. V 13.0 [Programa].
- Vierbuchen, R. Jr. (1978) The tectonics of northeastern Venezuela and southeastern Caribbean Sea. PhD Thesis, Princeton University, USA. 174
- Vivas, V., Bellizzia, A., Macsotay, O. (1985) Deflexión de Barcelona: Rasgo Estructural Primario en Venezuela Nororiental. VI Congreso Geológico Venezolano. Tomo IV. Memoria.

- Wathelet, M. (2002). Geopsy (Geophysical Signal database for noise array Processing), V. 2.0.0-beta [Programa].
- Wilson, C. (1968) The Los Bajos fault. 4th Carbb. Geol. Conf. Trinidad, 1965. Trans. 1: 87 – 89.
- Wong, J., Passelaqua, Graterol, V. y Flores, J. (1982). Interpretación gravimétrica de la región Guanipa Sur. 1er Congreso Venezolano de Geofísica, 21 – 25 Nov., 1982.
- Youd, T. L. (1984) Geological effect: liquefaction and associate ground failure. U.S. Geologic Sourvery Open – file Reporte 84 – 760, pp 210 – 232.
- Yuri, C. S. A. (2006). Microtremores. Compendio de Trabajos de Investigación CNDG – Biblioteca Instituto Geofísico del Perú. V. 7 p. 43 -56.

## APÉNDICE A

### PROCESAMIENTO DE DATOS DE RUIDO AMBIENTAL

Para poder procesar los datos con el programa GEOPSY, es necesario convertir los datos del formato del sismógrafo ORION (cuyo formato interno de almacenamiento es un archivo RingBuffer preasignado), al formato ASCII, que es uno de los formatos de entrada del programa empleado para el procesamiento de datos de ruido ambiental; para los cuales es necesario realizar una secuencia de procesamiento que permita transformar estos datos en el formato de interés.

Antes de comenzar a realizar el procesamiento de los datos se recomienda crear carpetas donde van a ser almacenados los datos:

- **Originales**
- **Orion**
- **Ascii** y dentro de ella se crean las subcarpetas BHE, BHN, BHZ
- **X** y dentro de ella se crean las subcarpetas BHE, BHN, BHZ
- **Y** y dentro de ella se crean las subcarpetas BHE, BHN, BHZ
- **SAF** y dentro de ella se crean las subcarpetas BHE, BHN, BHZ

A continuación se presenta un fragmento del Manual práctico de Procesamiento Ruido Ambiental (Rocabado, 2005):

#### 1. CONVERSIÓN DE DATOS ORION A ASCII

Los datos grabados en los equipos ORION no se encuentran listos para ser trabajados en PC personales con Sistema Operativo Windows, por lo cual es necesario realizar una secuencia de procesamiento previa que permite transformar estos datos a formato ASCII.

Los datos contenidos en el disco duro del ORION se almacenan dentro de un RingBuffer de grabación preasignado, el cual para el caso de mediciones de ruido ambiental es de 2 MB para cada uno de los canales de grabación.

La primera línea de comandos a ejecutar es: RBTRIM (figura 1), el cual extrae del Buffer asignado de grabación los datos almacenados

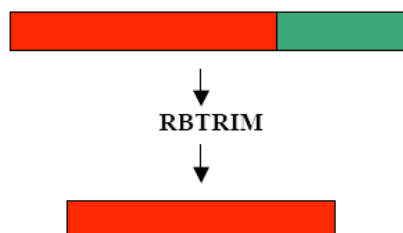


Figura 1: Esquema de uso de Buffer de grabación asignado

La ejecución de este comando se puede realizar al volumen total de datos, se ejecutara sin discriminar el nombre de los archivos, se generan de esta forma archivos de menor

tamaño (aprox. 60 a 100 Kb), precedidos de la letra R antes del nombre, obteniendo los siguientes archivos, 4 por cada punto de medición:

- RA01.BHE: correspondiente a la componente Este-Oeste
- RA01.BHN: correspondiente a la componente Norte-Sur
- RA01.BHZ: correspondiente a la componente vertical
- RA01.SOH: corresponde a la información del estado del equipo

Los pasos sucesivos corresponden a la transformación sucesiva de los datos hasta llegar a ASCII, se recomienda agrupar en carpetas individuales cada una de las componentes, los archivos con extensión “.SOH” no se utilizan para las secuencias de procesamiento. Es recomendable crear previamente cada una de las carpetas necesarias en la secuencia de procesamiento, generalmente son: ORION, XDATA, YDATA, y ASCII. Dentro de cada una de ellas las carpetas BHE, BHN y BHZ.

Una vez extraídos los datos del ringbuffer, se ejecuta el comando `Extractp`, representado en la siguiente línea de comandos:

```
Extractp -a -i path (ruta de entrada) -o path (ruta de salida)  
Extractp -a -i c:\datos\ruido\caracas\bhe\*. * -o c:\datos\ruido\xdata\bhe\
```

La ejecución de este comando se puede realizar al volumen total de datos, los archivos obtenidos mantendrán su nombre, pero estarán precedidos por la letra X.

- XA01.BHE
- XA01.BHN
- XA01.BHZ

El siguiente paso es ejecutar el comando `X5decomp`, la línea de comando es la siguiente:

```
X5decomp -i path (ruta de entrada) -o path (ruta de salida)
```

La ejecución de este comando se puede realizar al volumen total de datos, los archivos obtenidos mantendrán su nombre, pero estarán precedidos por la letra Y.

- YA01.BHE
- YA01.BHN
- YA01.BHZ

La etapa final consiste en obtener los datos en formato ASCII, se recomienda crear una secuencia de comandos (.BAT) que realice el procedimiento (figura 2), a continuación se muestra la línea tipo para un archivo:

```
Y5dump -h -d path (ruta de entrada) > path (ruta de salida) + nombre del archivo
```

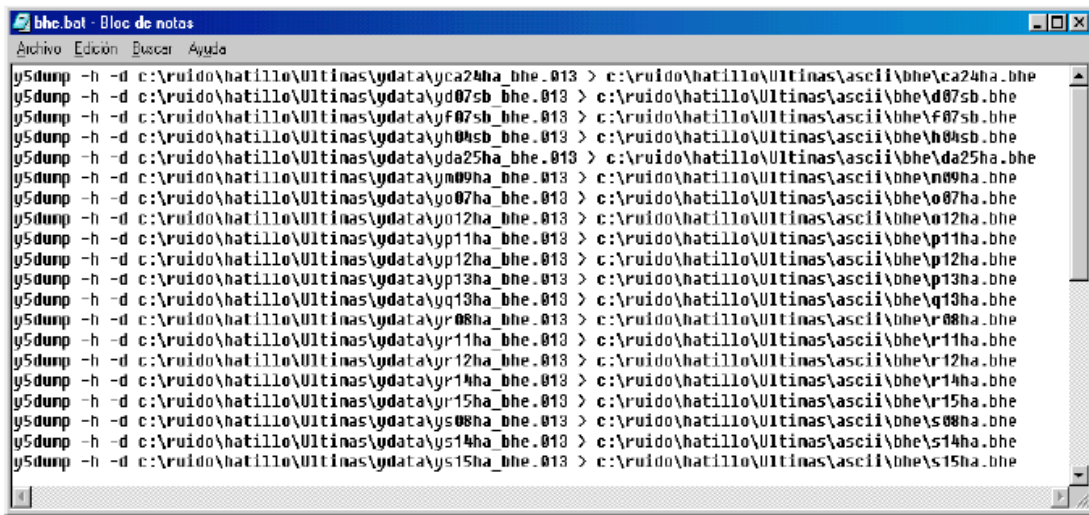


Figura 2: Ejemplo de archivo .BAT que debería ser generado. Se dispone de una rutina en LABVIEW llamada “Orion-Ascii.vi” (figura 3), que permite generar el archivo .BAT para cada una de las componentes.

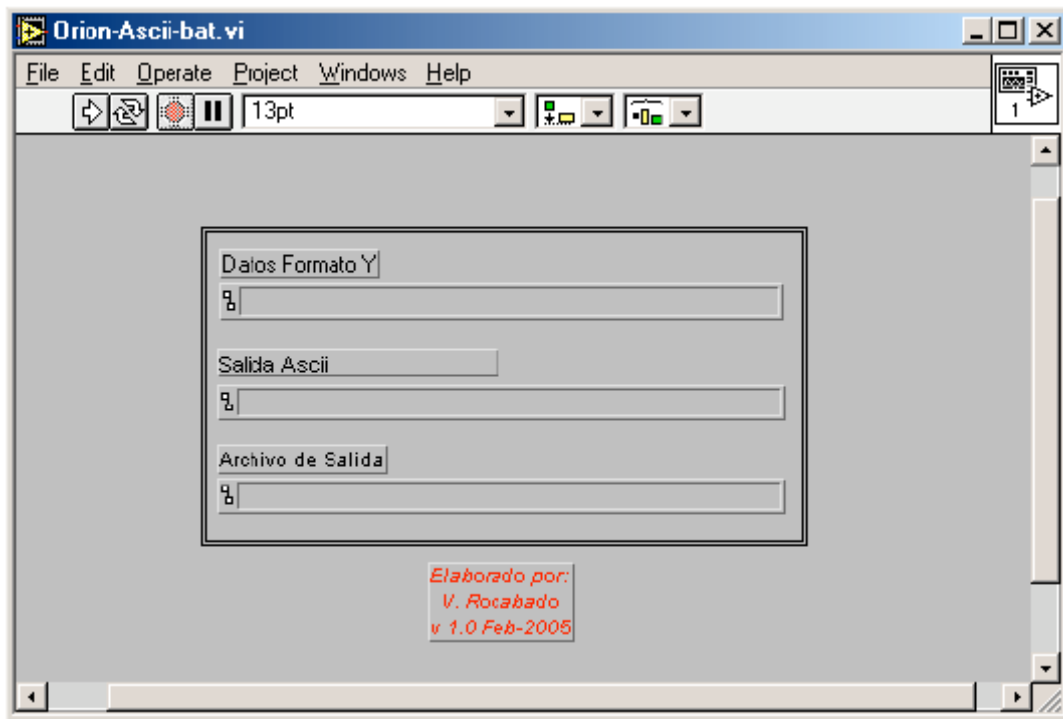


Figura 3: Ventana inicial del programa para generar archivos .bat

Este programa permite seleccionar la ubicación de los datos en formato Y, indicar la ruta de salida de los archivos ASCII (figura 4) y por último crear el archivo .BAT con su nombre respectivo.

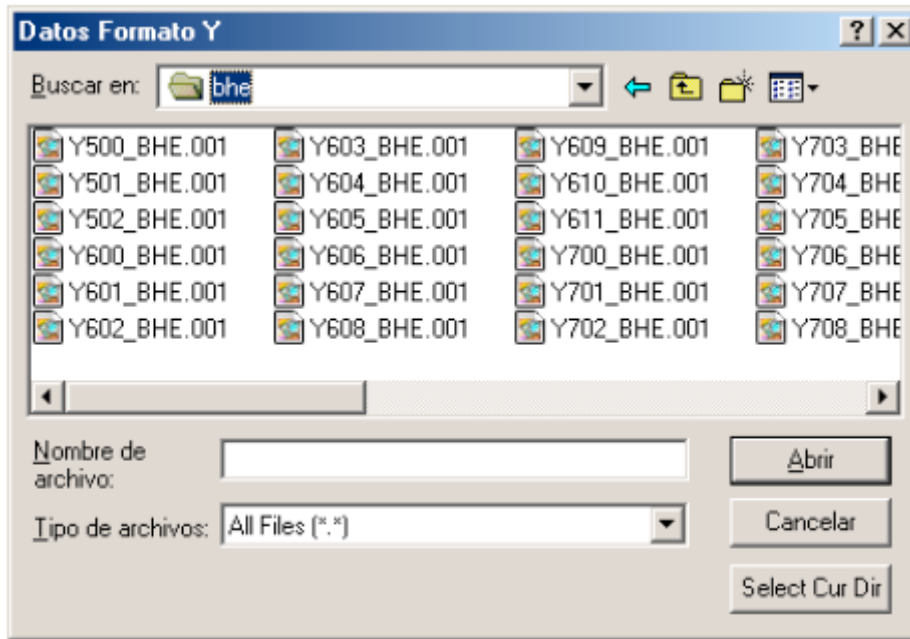


Figura 4: Ventana de selección del directorios que contienen datos en formato Y.

En la ventana anterior (figura 4) seleccionamos la ubicación de los datos en formato Y, abrimos el directorio que contiene los datos y posteriormente hacemos clic sobre la opción “**Select Cur Dir**” se repite el proceso para cada uno de los canales (BHN, BHE y BHZ).

Posteriormente el programa requerirá la ubicación del directorio en el que se almacenaran los datos ASCII una vez que se ejecute el archivo .BAT, de manera similar a la anterior, ubicamos el directorio, abrimos el mismo y seleccionamos “**Select Cur Dir**” (figura 5). Se deberá realizar la misma operación para cada uno de los canales (BNH, BHE y BHZ).

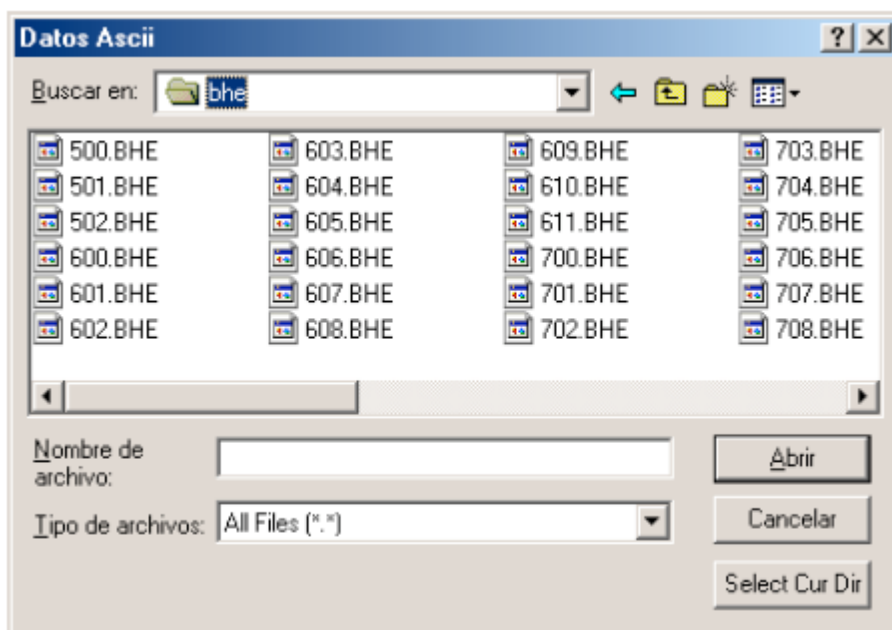


Figura 5: Selección de ubicación del directorio donde se almacenaran los datos en ASCII.

El último paso solicitado por el programa es indicar el nombre del archivo de salida que se desea generar, se debe crear un archivo .BAT (figura 6) para cada una de las componentes grabadas.

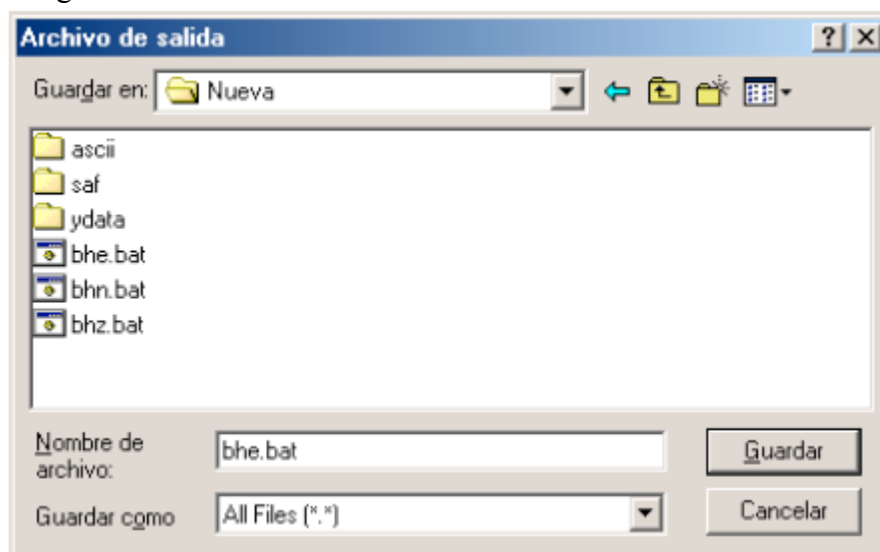


Figura 6: Ubicación de los archivos de salida .bat

Luego se ejecutaran cada uno los archivos .BAT para generar los datos Ascii correspondientes a cada uno los canales de grabación.

En el esquema inferior (figura 7) se resume la secuencia de pasos necesarios para convertir los datos grabados con los equipos ORION a formato ASCII.

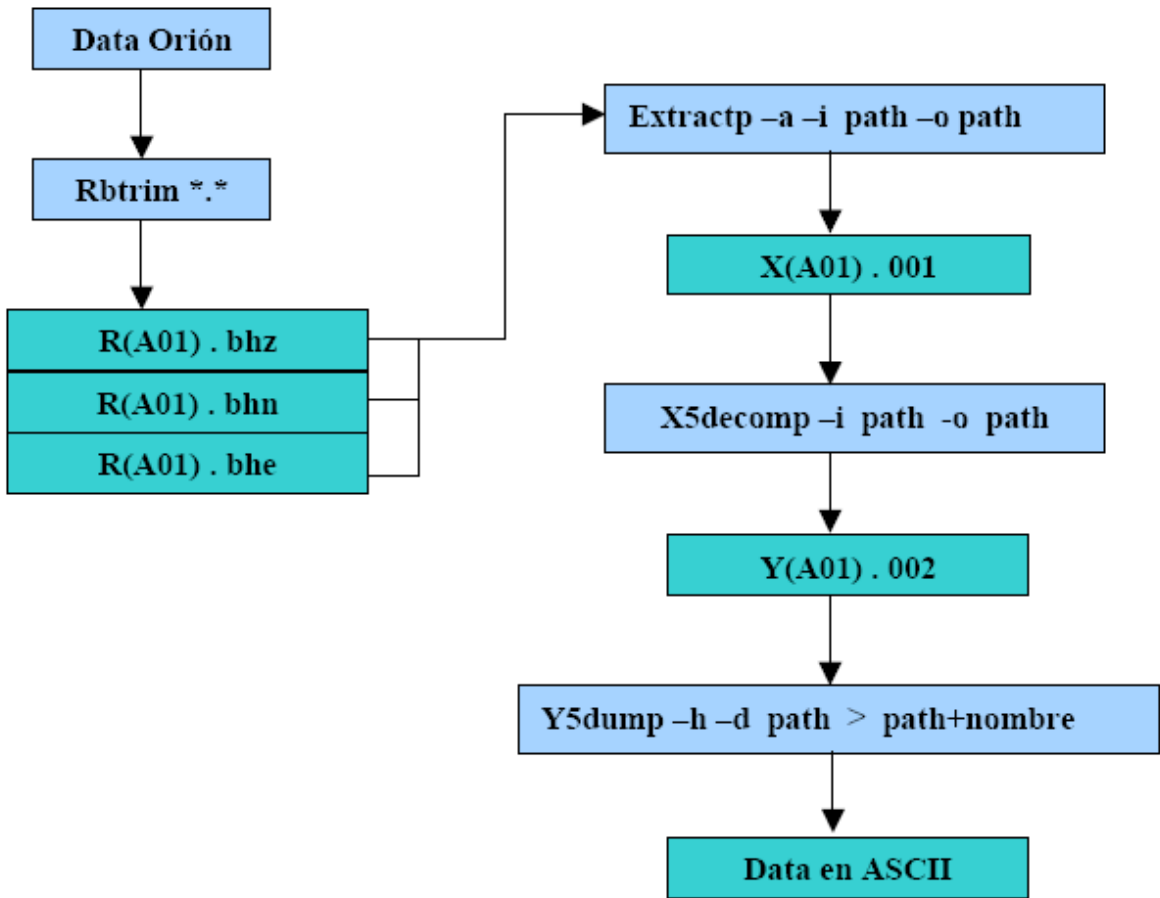


Figura 7: Esquema de conversión de datos en formato ASCII.

## 2. CONVERSIÓN DE DATOS ASCII A SESAME ASCII FORMAT (SAF)

Se dispone de una rutina desarrollada en LABVIEW que permite realizar la conversión de datos ASCII provenientes de equipos ORION a datos .SAF (Sesame ASCII Format), el nombre de la rutina es: “**Formato Sesame MF.vi**” (figura 8).

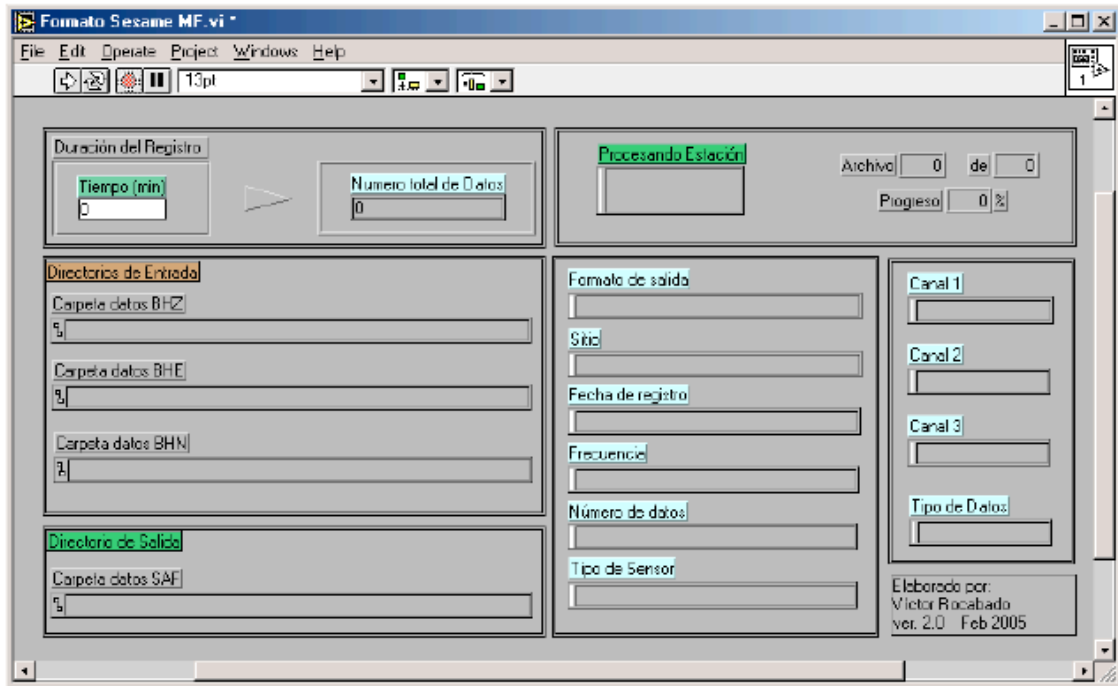


Figura 8: Ventana principal del programa de conversión de formato

Este programa solo requiere la ubicación de los directorios que contienen los datos de los respectivos canales de grabación, así como el directorio de salida de datos en formato SAF. Es necesario indicar el tiempo de grabación de los archivos, que para la mayoría de los casos será de 10 minutos

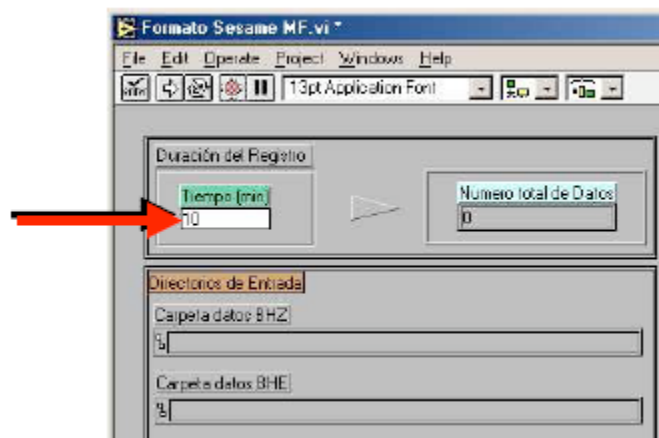


Figura 9: Ingreso del tiempo de grabación para cada uno de los archivos

Se ejecuta el programa seleccionando el icono de flecha simple, ubicado en la parte superior derecha del programa (figura 10)



Figura 10: Ubicación del icono de inicio de programa

Seguidamente el programa solicitará la ubicación de cada uno de los directorios que contienen los datos, comenzando por los datos del canal vertical (BHZ) (figura 11)

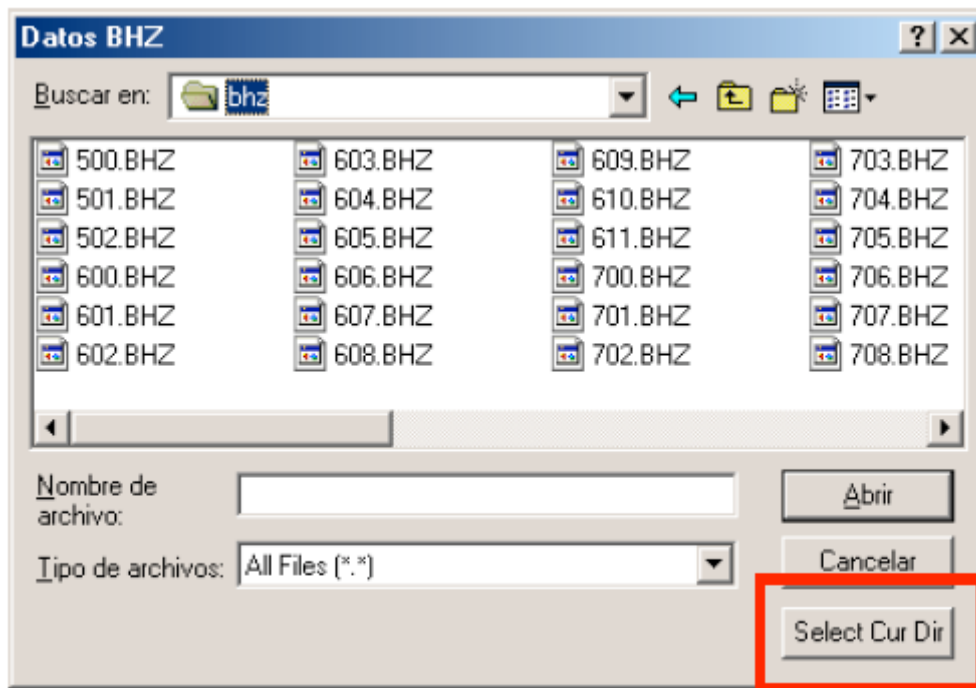


Figura 11: Selección de directorios que contienen los datos respectivos

Una vez ubicado el directorio, se abre el mismo y seleccionamos “**Select Cur Dir**”, con lo cual el programa solicitará los datos para la componente este-oeste (BHE), luego los

datos correspondientes a la componente norte-sur (BHN), en cada una de estas ventanas se debe repetir el proceso realizado para la componente BHZ.

El último paso es indicar la ubicación de los archivos de salida, en caso de no existir el directorio se deberá crear uno, abrimos el directorio y seleccionamos “**Select Cur Dir**” (figura 12).

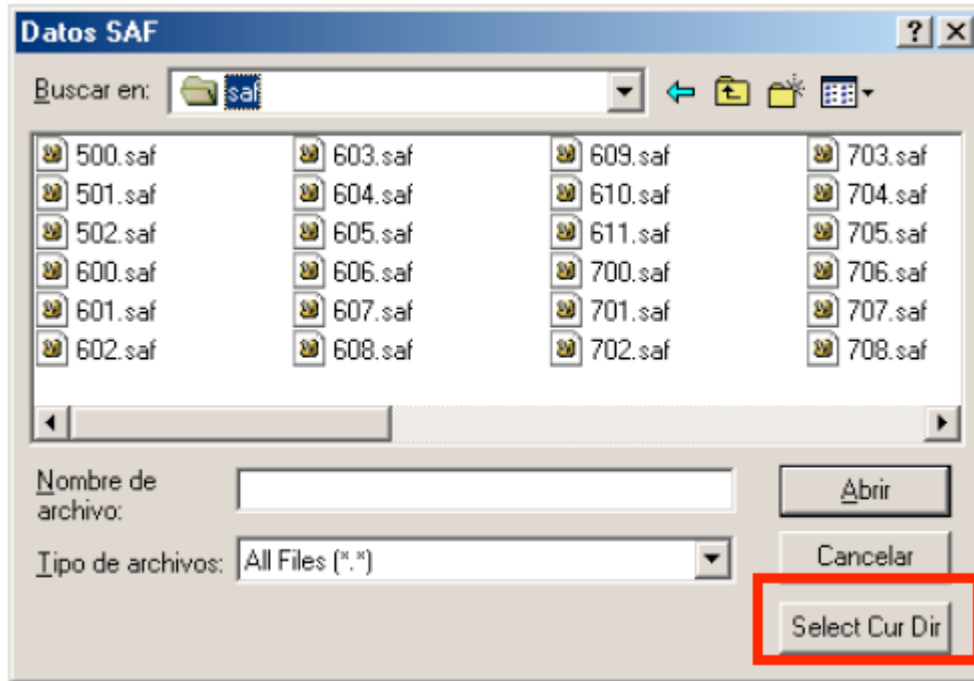


Figura 12: Selección del directorio de salida de los archivos .SAF

En este momento el programa comenzara a realizar la conversión de formatos automática para cada una de los componentes (figura 13), es recomendable verificar durante el proceso que los directorios seleccionados sean los correctos, en caso de haber problemas se puede detener el proceso y reiniciarlo nuevamente.

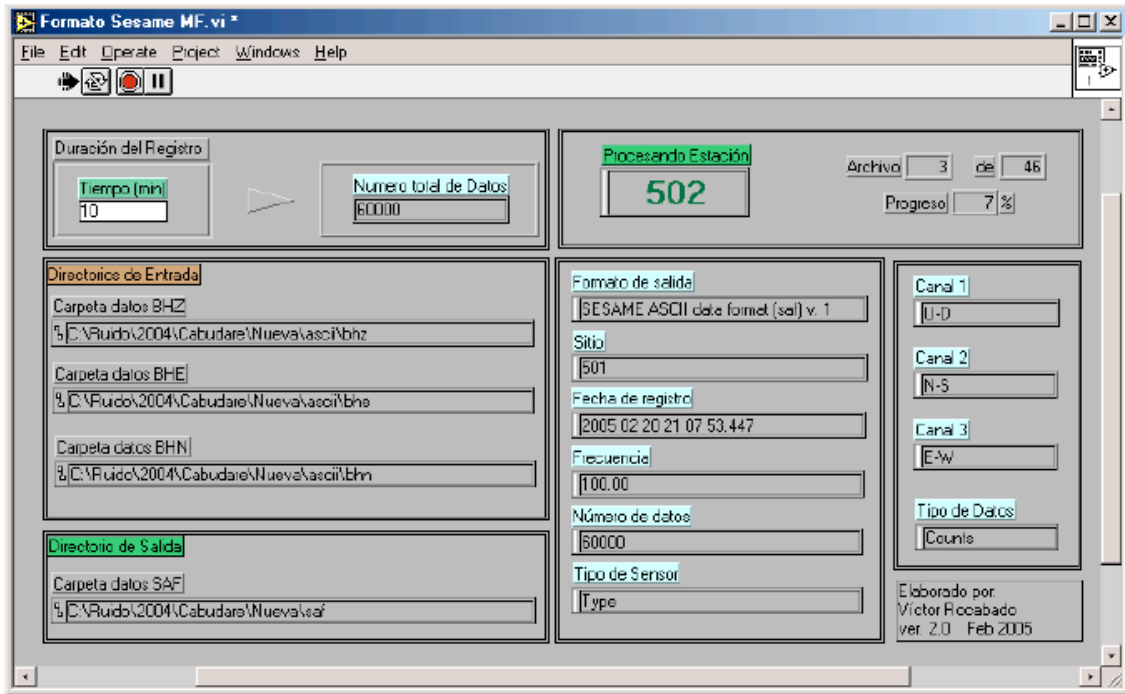


Figura 13: Ventana típica del programa durante su ejecución, se dispone de toda la información referente a ubicación de archivos de origen y directorio de salida.

En la figura 14 se puede observar la apariencia de un archivo .SAF típico luego de finalizada la conversión de formatos

```
SESAME ASCII data format (saf) v. 1
STA_CODE = 130
START_TIME = 2004 09 26 15 38 55.897
SAMP_FREQ = 100.00
NDAT = 60000
CH0_ID = U-D
CH1_ID = N-S
CH2_ID = E-W
UNITS = Counts
#SENSOR_TYPE = Guralp
####-----
-8623  -3340  -2128
-444   -2721  -4044
-633   3995   -4917
6805   2838   6074
9158   -765    6533
6146   -2350  -4761
291    -2682   1603
```

Figura 14: Esquema de salida de un archivo .SAF

## APÉNDICE B ESTADÍSTICA

A continuación se definen conceptos básicos de la estadística aplicados a los datos obtenidos en esta investigación, tomado del libro de Pérez (2004).

**Estadística:** es la rama de la matemática que se encarga de recopilar, analizar interpretar y representar datos

**Población:** es el fenómeno que se desea estudiar y describir a través de datos o elementos pertenecientes a un universo.

**Muestra:** es una discretización del fenómeno que se desea estudiar.

**Medidas de Tendencia central:** es la tendencia de los valores a distribuirse hacia el centro del conjunto de datos debido a su magnitud. Las medidas de tendencia central más comunes son la media, la moda y la mediana.

- **Media:** sea una muestra de  $n$  datos  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ . la media se define como

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

(ec. 8)

- **Moda:** es el dato que más se repite
- **Mediana:** es el dato que divide a la muestra en dos.

**Medidas de dispersión:** Son aquellas medidas que permiten determinar cuánto se aleja un dato de un cierto valor central y permite identificar la concentración de los datos en un cierto sector del recorrido de la variable. Se trata de coeficiente para variables cuantitativas.

**Rango:** es la diferencia de los valores del dato mayor menos el dato menor. Indicando poca dispersión en el caso de un valor pequeño o mucha dispersión para valores grandes, como también la existencia de valores extremos.

**Desviación estándar:** es la medida de dispersión más utilizada tanto en aspectos descriptivos como analíticos. Se define por la raíz cuadrada positiva de la varianza.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 \right]}$$

(ec. 9)

**Varianza:** describe la tendencia de una variable aleatoria a desviarse del valor de su media. Matemáticamente se le conoce como el segundo momento de la variable X alrededor de su valor esperado. Es muy importante debido a que se utiliza para discutir la magnitud de los posibles errores en cualquier predicción que se haga y siempre se debe considerársela como una manera de medir dispersión.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 \right]$$

(ec. 10)

**Histograma de frecuencias:** es un método gráfico en barras de análisis exploratorio que clasifica el total de los datos en grupos, denominados clases y cuantifica la frecuencia de aparición de cada dato dentro de su correspondiente clase, para poder así intuir la distribución de probabilidad de los datos, su normalidad, su simetría y otras propiedades interesantes del análisis de datos.

**Diagrama de Caja y Bigotes:** permite analizar y resumir un conjunto de datos univariante dado. Esta herramienta de análisis exploratorio de datos va a permitir estudiar la simetría de los datos, detectar valores atípicos y vislumbrar un ajuste de los datos a una distribución de frecuencias determinada.

**Análisis de Conglomerados:** se utiliza para definir una serie de técnicas, fundamentalmente algoritmos, que tienen por objeto la búsqueda de grupos similares de individuos o de variables que se van agrupando en conglomerados. Dada una muestra de individuos, de cada uno de los cuales se dispone de una serie de observaciones, este análisis permite clasificarlos en grupos lo más homogéneos posibles en base a las variables observadas.