

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL ÁREA SURESTE DE LA CUENCA DE MARACAIBO, MEDIANTE LA ADQUISICIÓN DE RUIDO SÍSMICO AMBIENTAL UTILIZANDO EL MÉTODO DE NAKAMURA.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Daza García, Fiorella Bernardette  
Para optar al título  
De Ingeniera Geofísica

Caracas, 2014

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL ÁREA SURESTE DE LA CUENCA DE MARACAIBO, MEDIANTE LA ADQUISICIÓN DE RUIDO SÍSMICO AMBIENTAL UTILIZANDO EL MÉTODO DE NAKAMURA.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Jesús González.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Luis Yegres.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Daza García, Fiorella Bernardette  
Para optar al título  
De Ingeniera Geofísica

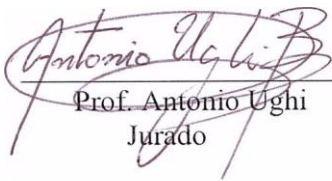
Caracas, 2014.

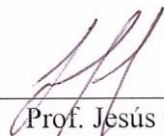
Caracas, Octubre de 2014.

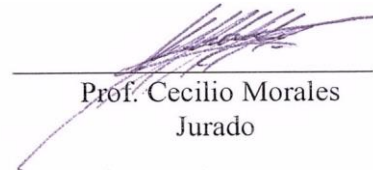
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Fiorella Bernardette Daza García, titulado:

**"Caracterización geofísica del área sureste de la Cuenca de Maracaibo, mediante la adquisición de ruido sísmico ambiental utilizando el método de Nakamura"**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniera Geofísico y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

  
Prof. Antonio Ughi  
Jurado

  
Prof. Jesús González  
Tutor Académico

  
Prof. Cecilio Morales  
Jurado

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecerle a Dios, por ser mi guía y mi fuerza en cada una de las decisiones de mi vida, por darme fe para continuar, amor para creer, fuerza para luchar, por cada amanecer, por cada cielo azul, por cada sonrisa, por cada día, por mi hermosa familia, por mis amigos, por toda la belleza que me rodea.

A mis padres, que han sido mi inspiración y mi modelo a seguir, por cada consejo que me han dado, porque me enseñaron que lo bueno se tarda pero llega, que la familia es primero que todo, que hay que echar pa' lante siempre, haciendo lo que sea por darnos lo que necesitáramos, me han enseñado que hay que luchar por nuestros sueños, me tocaron los mejores, los amo, gracias.

A mis hermanos, Tito, Ale y Nia, los mejores hermanos y amigos que me dio la vida, han estado desde el principio, con sus chistes y sus consejos, siempre juntos, apoyándome en lo que sea, especialmente mi hermana Nia, es la mejor amiga, hermana, consejera, y persona que conozco. A mi abuelo Cesar, porque más que un abuelo ha sido otro padre para mí.

A mis amigas del colegio, Albany, Carola y Mariangélica, mis cómplices y más que amigas mis hermanas, siempre me han apoyado en todo sin importar la idea loca que tenga, gracias por siempre estar ahí, no importa la distancia siempre seguiremos en contacto.

A mi querida, hermosa y única UCV, es la mejor universidad, por darme unos bonitos recuerdos de mi vida universitaria, es la universidad de la vida, cada pasillo, cada salón, cada rincón, a pesar de su situación contradictoria genera un gran y profundo amor por ella.

A los grandes y únicos amigos que me regalo la UCV, Andreina (nina), Andre (poyo), Kathe, Nohely, Gustavo, Pedro, Oswaldo, Cesar, Cherry, Gbus, Carlitos, Wolfis, Pity, y Boli, me acompañaron y apoyaron durante toda la carrera, por buscar cualquier excusa para tomar unos tragos, gracias por cada momento y cada vez que me tendieron su mano, son los mejores, los amo.

A mis amigos de la escuela de Geofísica, Andrea, Jesús, Lisfer, Kathryn, Evis, Naire, Henry, María Grazia, Aurora, José, Macero, fueron un gran apoyo y compañía durante mi

carrera y la tesis, gracias por su apoyo, sus chistes, sus consejos, los días y noches de estudio, los días en campo.

A los profesores de la escuela de Geología y Geofísica, por brindarnos sus conocimientos y ayudarnos a ser mejores profesionales y personas, especialmente a los profesores José Cavada, Ricardo Ambrosio, Yaraixa Pérez, Ronny Meza, Antonio Ughi, Mauricio Bermúdez, Ricardo Alezones y a mi tutor académico el profesor Jesús González, por brindarme sus conocimientos y ayuda en todo momento.

A la Fundación Venezolana de Estudios Sismológicos (FUNVISIS) por su apoyo incondicional conmigo, por su gran labor como institución y su eficiencia. Especialmente al gran profesor Michael Schmitz, por su fuente inagotable de conocimientos, por exigirnos al máximo y ser un ejemplo a seguir, a mi querido tutor Luis Yegres, por guiarme y ayudarme cada vez que lo necesite, al ingeniero Víctor Rocabado por prestarme su apoyo, así como también a Pedro Medina y Javier Parra, quienes me acompañaron a la adquisición de mis datos, y al resto de la gran familia FUNVISIS.

**DAZA, G., FIORELLA B.**

**CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL ÁREA SURESTE DE LA CUENCA DE MARACAIBO, MEDIANTE LA ADQUISICIÓN DE RUIDO SÍSMICO AMBIENTAL UTILIZANDO EL MÉTODO DE NAKAMURA**

**Tutor académico: Prof. Jesús González, Tutor industrial: Ing. Luis Yegres. Trabajo especial de grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2014, 102 pág.**

**Palabras Claves:** ruido sísmico ambiental, Geociencia Integral de los Andes de Mérida, método de Nakamura, cociente espectral H/V.

**Resumen.** A partir del año 2012, FUNVISIS viene desarrollando el proyecto de investigación GIAME (Geociencia Integral de los Andes de Mérida), que consiste en el estudio de las estructuras de la cadena montañosa de los Andes, así como de las cuencas que allí se encuentran, como lo es la Cuenca de Maracaibo, mediante la integración de distintos métodos geológicos y geofísicos. Un aspecto poco estudiado de la cuenca de Maracaibo es el comportamiento de las ondas sísmicas superficiales al propagarse, mediante métodos alternativos como el estudio de ruido sísmico ambiental, empleando el método de Nakamura (H/V).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar y estimar el espesor sedimentario, mediante la obtención de los periodos fundamentales del suelo, a través de mediciones de ruido sísmico ambiental. El área de estudio abarco una poligonal de 2.100 km<sup>2</sup>, en el borde sureste del Lago de Maracaibo. El procesamiento se realizó mediante el programa de interfaz gráfica Geopsy, utilizando los parámetros recomendados por la guía SESAME, para cuencas profundas.

Se observó que en los cocientes espectrales H/V se generaba la presencia de tres picos, por lo que se asoció cada pico a un cambio litológico o capa, el tercer pico no fue visible en todas las estaciones, por lo que no se tomó en cuenta como un tercer espesor. Asimismo se realizaron mapas de periodos y espesores referidos a cada pico, lo que permitió observa los cambios laterales y la geometría de la cuenca.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
CAPÍTULO I	1
1.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General:	2
1.2 Objetivos Específicos:	2
1.3 Localización del área de estudio:	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
1.5 ANTECEDENTES	5
CAPÍTULO II	8
2.MARCO GEOLÓGICO	8
2.1 Cuenca de Maracaibo	8
2.2 Rasgos Estructurales	9
2.3 Evolución Tectónica de la Cuenca de Maracaibo	10
2.3.1 <i>Per – Mo –Triásico</i>	10
2.3.2 <i>Triásico – Jurásico</i>	10
2.3.3 <i>Cretácico</i>	11
2.3.4 <i>Paleoceno – Eoceno</i>	11
2.3.5 <i>Oligoceno</i>	13
2.3.6 <i>Neógeno</i>	13
2.4 Estratigrafía general	15
2.4.1 Formación Lagunillas	16
2.4.2 Formación Misoa	16
2.4.3 Formación La Rosa	17
2.4.4 Formación Mirador	18
2.4.5 Formación Paují	19
2.4.6 Formación Betijoque	19
2.4.7 Formación Isnotú	20
CAPÍTULO III	21

3.MARCO TEÓRICO-----	21
3.1 Ondas sísmicas-----	21
3.1.1 Ondas corpóreas -----	22
3.1.2 Ondas Superficiales -----	23
3.2 Microtremores.-----	24
3.3 Amplificación de la energía sísmica-----	27
3.4 Métodos de Ondas sísmicas superficiales -----	28
3.4.1 Métodos Pasivos. -----	28
3.4.1.1 Método de Nakamura o Relación Espectral H/V -----	28
CAPÍTULO IV -----	31
4.METODOLOGIA -----	31
4.1 Fase 1. Revisión y recopilación de material bibliográfico.-----	31
4.2 Fase 2. Organización y planificación de campo. -----	31
4.3 Fase 3. Etapa de adquisición. -----	33
4.3.1 Equipo Utilizado -----	33
4.3.2 Parámetros de Adquisición -----	35
4.4 Metodología de Adquisición: -----	35
4.5 Metodología de procesamiento. -----	38
4.5.1 Descarga y conversión de los datos: -----	38
4.5.2 Transformación de los Datos a Formato SAF (Sesame ASCII Format). -----	40
4.6 Procesamiento de las señales con el programa Geopsy: -----	43
4.6.1 Carga de las señales y aplicación de filtros. -----	44
4.6.2 Selección de ventanas-----	46
4.7 Análisis Estadístico. -----	53
4.8 Calculo de Vs para estimación de espesores. -----	54
4.9 Datos de apoyo en líneas sísmicas 2D y pozos. -----	56
CAPÍTULO V -----	58
5.RESULTADOS Y ANALISIS-----	58
5.1 Análisis estadístico-----	58
5.2 Cocientes espectrales H/V-----	60
5.3 Mapa de periodos y espesores sedimentarios -----	67
5.4 Datos de apoyo con pozos y sísmica 2D. -----	79
CAPÍTULO VI -----	85



6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	85
BIBLIOGRAFIA-----	88
CAPITULO VII -----	92
7.ANEXOS-----	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación del área de estudio. Cuenca de Maracaibo.	3
Figura 2.1 Mapa de los límites de la Cuenca de Maracaibo (tomado del WEC 1997).	8
Figura 2.2 Mapa con rasgos estructurales presentes en el área. (PDVSA-2013).	10
Figura 2.3 Migración del frente de deformación del Caribe hacia el este suroeste en Venezuela Occidental (tomado del WEC, 1997).	12
Figura 2.4 Columna Estratigráfica del Lago de Maracaibo (Fuentes Parnaud et al. 1995, González de Juana et al. 1980 y Roger et al. 1989)	13
Figura 3.1 Propagación de ondas superficiales y ondas corpóreas en el suelo ( <a href="http://www.lis.ucr.ac.cr">http://www.lis.ucr.ac.cr</a> ).	23
Figura 3.2 Tipos de ondas. (a) Material no modificado como referencia. (b) Onda primaria. (c) Onda secundaria. (Monroe <i>et al.</i> 2008).	24
Figura 3.3 Modelo de propagación de ondas Rayleigh ( <a href="http://www.funvisis.gob.ve">www.funvisis.gob.ve</a> ).	25
Figura 3.4 Modelo de propagación de ondas Love ( <a href="http://www.funvisis.gob.ve">www.funvisis.gob.ve</a> ).	25
Figura 3.5 Fuentes de microtemores (Cuadra, P. 2007).	26
Figura 3.6 Comparación entre amplitud en roca y amplitud en sedimentos ( <a href="http://www.lis.ucr.ac">www.lis.ucr.ac</a> ).	28
Figura 3.7 Esquema de paso de ondas sísmicas en terrenos de distinta competencia (García <i>et al.</i> 2006).	29
Figura 4.1 Diagrama de secuencia de investigación.	32
Figura 4.2 Ubicación de las estaciones adquiridas.	33
Figura 4.3 Equipo digitalizador <i>REFTEK 130B</i> .	34
Figura 4.4 Especificaciones técnicas del <i>REFTEK 130B</i> ( <a href="http://www.reftek.com">www.reftek.com</a> ).	35
Figura 4.5 Sensor <i>Observer 151-30</i> ( <a href="http://www.reftek.com">www.reftek.com</a> ).	35
Figura 4.6 Ubicación de los cables en las entradas del digitalizador.	38
Figura 4.7 Adquisición de datos en campo.	39
Figura 4.8 Carpetas con datos extraídos de las memorias del digitalizador REFTEK.	40
Figura 4.9 Visualización de la señal con programa RT_View.	40
Figura 4.10 Archivos txt con horas de registro y nombre de las estaciones.	41
Figura 4.11 Rutina 2-rtcnvrt.vi	42
Figura 4.12 Rutina 3-movedata.vi	43

Figura 4.13 Rutina 4-Ref2Saf.vi-----	44
Figura 4.14 Esquema de secuencia de procesamiento de las señales de ruido sísmico.----	45
Figura 4.15- Ventana de trabajo Geopsy, con barra de herramientas “Waveform”.-----	46
Figura 4.16 Ventana de Frequency filter.-----	46
Figura 4.17 Ventana de <i>Automatic Gain Control</i> .-----	47
Figura 4.18 Parámetros a evaluar en la ventana de <i>Time, Processing y Output</i> .-----	48
Figura 4.19 Ventana <i>Raw signal</i> .-----	49
Figura 4.20 Fórmula de promedio al cuadrado.-----	50
Figura 4.21 Ventana <i>Processing</i> .-----	50
Figura 4.22 Pestaña <i>Output</i> .-----	51
Figura 4.23 Pestaña <i>Time windows</i> . Selección de ventanas.-----	52
Figura 4.24 Ventanas seleccionadas para estación 148.-----	52
Figura 4.25- Grafico H/V vs periodo para estación 148.-----	53
Figura 4.26- Ventana de Property Editor: H/V Results.-----	54
Figura 4.27 Sismograma sintético extraído del trabajo de Carrero, R. (2008).-----	56
4.28 Grafico de relación empírica entre la densidad y la velocidad de onda S y onda P. (Lowrie, 2005)-----	57
Figura 4.29 Mapa de ubicación de los transectos sísmicos- estructurales (PDVSA, 2014). 58	
Figura 5.1 Histograma de frecuencia de distribución de los periodos.-----	59
Figura 5.2 Relación H/V para dos estaciones. (a) Estación 090, ubicada en el perfil N° 1. (b) Estación 119, ubicada en el perfil N° 6.-----	61
Figura 5.3 Relación H/V para dos estaciones, con picos señalados en círculo rojo. (a) Estación 090, ubicada en el perfil n° 1. (b) Estación 119, ubicada en el perfil n° 6.-----	63
Figura 5.4 Mapa de ubicación geográfica de estaciones adquiridas con perfiles enumerados.-----	64
Figura 5.5 Mapa de períodos por rangos, de la primera capa.-----	70
Figura 5.6 Mapa de Isoperíodos, de la primera capa.-----	71
Figura 5.8 Mapa de Isoperíodos, de la segunda capa.-----	74
Figura 5.9 Mapa de espesor de la primera capa, obtenida con la relación de sedimentos con densidad.-----	76
Figura 5.10 (a) Mapa de sismicidad entre 1911 a 2011. (b) Mapa de fallas y orientación de fracturas (Tomado de Bermúdez et al., 2013; Carrero, 2008).-----	78

Figura 5.11 Mapa de espesor de la segunda capa, obtenida con la relación de sedimentos con densidad.-----	78
Figura 5.12 Mapa de ubicación de estaciones adquiridas, pozos y transectos sísmicos (modificado de PDVSA, 2014).-----	80
Figura 5.13 Resultados de gráficos H/V comparados con transecto A-A'.-----	81
Figura 5.14 Tomografía de la relación H/V a lo largo del perfil sobre el transecto A-A'.--	83
Figura 5.15 Resultados de gráficos H/V comparados con transecto BB'.-----	84
Figura 7.1 Cocientes espectrales del perfil N°1.-----	97
Figura 7.3 Cocientes espectrales del perfil N°3.-----	98
Figura 7.4 Cocientes espectrales del perfil N°4.-----	98
Figura 7.5 Cocientes espectrales del perfil N°5.-----	99
Figura 7.6 Cocientes espectrales del perfil N°6.-----	99
Figura 7.7 Cocientes espectrales del perfil N°7.-----	100
Figura 7.8 Cocientes espectrales del perfil N°8.-----	101
Figura 7.9 Cocientes espectrales del perfil N°9.-----	102
Figura 7.10 Cocientes espectrales del perfil N°10.-----	102

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2 Fuentes de ruido ambiental en función de la frecuencia. (Bonney-Claudet <i>et al.</i> 2006)-----	25
Tabla 4.1 Valores calculados para picos observados.-----	53
Tabla 5.1 Medidas de dispersión y tendencia central-----	57
Tabla 5.2 Procesamiento de datos.-----	59
Tabla 5.3 Correlación entre pozos y estaciones sobre el transecto AA'-----	77
Tabla 5.4 Estaciones cercanas a transecto B-B-----	80
Tabla 7.1 Procesamiento de datos. Perfil N°1.-----	91
Tabla 7.2 Procesamiento de datos. Perfil N°2.-----	91
Tabla 7.3 Procesamiento de datos. Perfil N°3.-----	91
Tabla 7.4 Procesamiento de datos. Perfil N°4.-----	92
Tabla 7.5 Procesamiento de datos. Perfil N°5.-----	92
Tabla 7.6 Procesamiento de datos. Perfil N°6.-----	93
Tabla 7.7 Procesamiento de datos. Perfil N°7.-----	93
Tabla 7.8 Procesamiento de datos. Perfil N°8.-----	94
Tabla 7.9 Procesamiento de datos. Perfil N°9.-----	94
Tabla 7.10 Procesamiento de datos. Perfil N°10.-----	94

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Al noroeste de Venezuela se encuentra ubicada la cuenca de Maracaibo, la cual está limitada por la Sierra de Perijá al oeste y el flanco occidental de Los Andes y la Serranía de Trujillo al este, ocupa una depresión tectónica de unos 52.000 km<sup>2</sup> de extensión, donde se han acumulado más de 10.000 m. de espesor de sedimentos cuyas edades se extienden desde el Cretácico hasta el Reciente, el lago mide 212 km de norte a sur y 92 km en su máxima anchura, constituye la cuenca petrolífera más rica de América del Sur (PDVSA-Intevep, 1997).

Al analizar la historia sísmica de la cuenca de Maracaibo, se observa que es considerada un área de sismicidad moderada, sin embargo no han existido mayores daños estructurales, siendo estos asociados a los sistemas de fallas de Oca-Ancón, Icotea y la falla de Valera. Los estudios revelan que hubo mayores daños y sensibilidad a estos en áreas de sedimentos no consolidados o suelos blandos, debido a que hay mayor amplificación de las ondas sísmicas, esto es denominado “efectos de sitio”, los cuales vienen dados por efectos superficiales del suelo y efectos topográficos. Los efectos topográficos según Franklin *et al.* (2006) son amplificadores que localmente se perciben debido a la resonancia de las ondas, por efecto de la topografía, y como consecuencia superficial del suelo, se da el aumento de la vibración debido a la repercusión de los suelos situados por encima del basamento rocoso, esto se produce cuando las ondas sísmicas penetran una cuenca sedimentaria con un contraste de impedancia evidente. Cuando las ondas sísmicas quedan atrapadas en la cuenca sedimentaria, estas presentan una fuerte amplificación propia de la cuenca, que se define como frecuencia fundamental.

La cuenca de Maracaibo, cuenta con un extenso y profundo espesor de sedimentos, por lo que se ve afectada por este fenómeno. Se han planteado diferentes técnicas para lograr la determinación de los efectos superficiales de sitio, para este caso se estudiara el planteado en base a la medición de ruido sísmico ambiental.

El ruido ambiental viene dado por las vibraciones del suelo producidas por efectos naturales, como el viento, tormentas, mareas, olas, etc, o producidas por efectos artificiales, como tráfico de vehículos, maquinaria, paso de peatones, etc.

Las investigaciones basadas en la medida del ruido sísmico ambiental empezaron a popularizarse a partir del trabajo de Nakamura (1989), basado en la técnica del cociente espectral (H/V). El cual propuso evaluar las características del sitio, como frecuencia de resonancia y amplificación de las ondas de terremotos, en las cuencas sedimentarias. Esta técnica aunque ha sido controvertida, ha tenido gran aceptación debido a la fiabilidad para determinar el periodo predominante o fundamental del suelo, y a su bajo costo y fácil implementación.

Por lo que este trabajo especial de grado, enmarcado dentro del proyecto de investigación denominado GIAME (Geociencia Integral de los Andes de Mérida) desarrollado por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) en conjunto con otras instituciones, evaluará los efectos de sitio en el área sureste de la cuenca de Maracaibo, utilizando la técnica de Nakamura, de manera de caracterizar la capa sedimentaria así como de determinar y calcular su período.

### **1.1 Objetivo General:**

Caracterizar la capa sedimentaria del área sureste de la cuenca de Maracaibo, mediante la adquisición de ruido sísmico ambiental, utilizando el método de Nakamura o relación espectral (H/V).

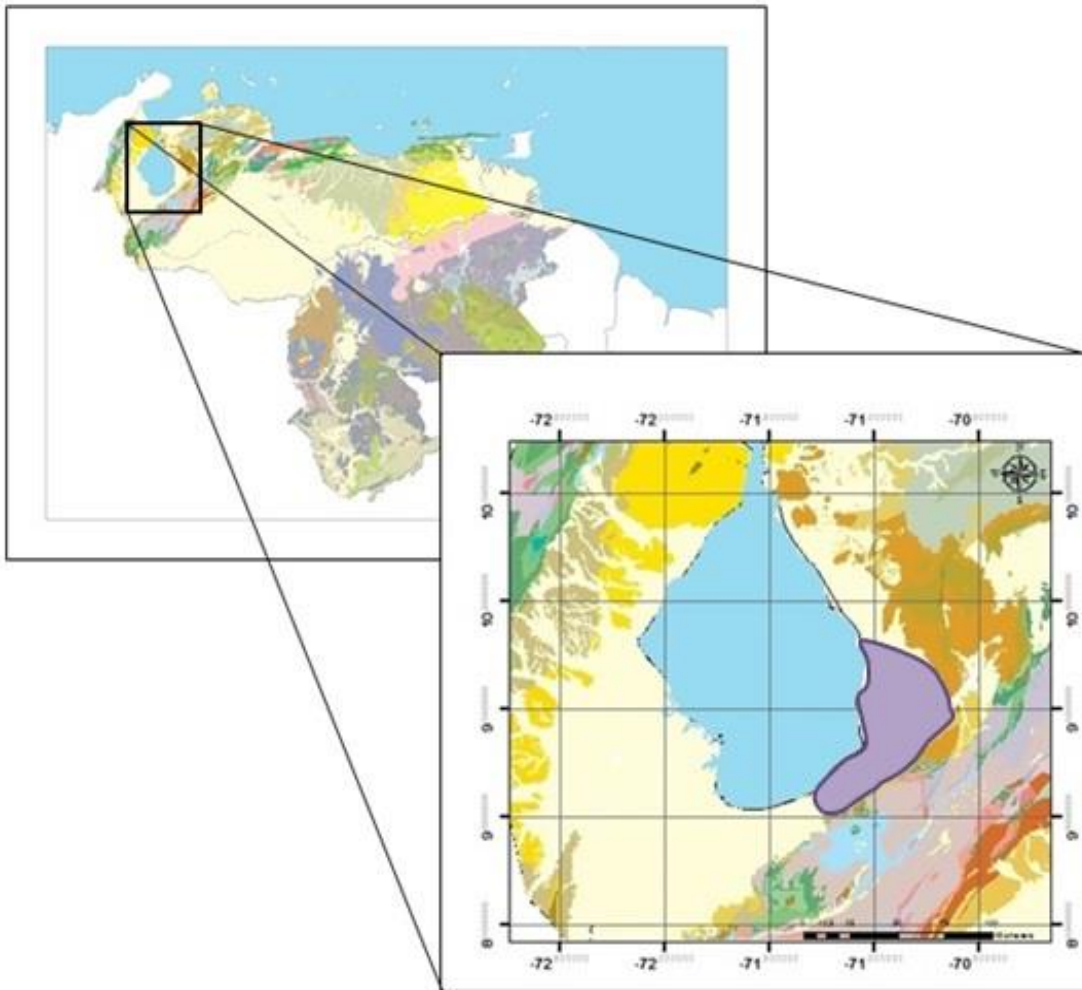
### **1.2 Objetivos Específicos:**

- Adquirir datos de ruido sísmico ambiental, usando un espaciamiento de 3 km para las carreteras nacionales, y para vías secundarias una separación de 5 a 7 km, entre estaciones de medición.
- Determinar los periodos fundamentales del suelo en el área de estudio.
- Generar mapa de isoperíodos y periodos predominantes del suelo.
- Calcular y elaborar mapa de espesores sedimentarios.

### 1.3 Localización del área de estudio:

La cuenca de Maracaibo (figura 1.1), se ubica en el extremo occidental de Venezuela, abarcando gran parte del estado Zulia, el cual yace sobre una cuenca sedimentaria, limitada por la Sierra de Perijá al oeste y el flanco occidental de los Andes y la Serranía de Trujillo al este, ocupa una depresión tectónica de unos 52.000 km<sup>2</sup> de extensión, donde se han acumulado más de 100.000 metros de espesor de sedimentos cuyas edades se extienden desde el Cretácico hasta el reciente. (PDSA-Intevep, 1997).

La zona de estudio se encuentra ubicada entre los límites del estado Zulia y Mérida, específicamente en el borde sureste del Lago de Maracaibo, se estableció una poligonal de 2100 km<sup>2</sup>, tomando en cuenta el mapa vial del área, desde la población de Mesa Julia hasta Bachaquero.



**Figura 1.1** Ubicación del área de estudio. Cuenca de Maracaibo.



#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Desde el año 2012 la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), junto con otras instituciones como PDVSA y universidades, como la Universidad Central de Venezuela y Universidad de los Andes, con financiamiento del Ministerio de Ciencia y Tecnología, vienen desarrollando un proyecto de gran magnitud y alcance denominado proyecto de Geociencia Integral de Los Andes de Mérida (GIAME), cuyo objetivo es realizar un estudio integrado que genere información de las estructuras geológicas y geomorfológicas de la cadena montañosa de los Andes de Mérida, así como también de las cuencas petrolíferas de la región, como son la Cuenca de Maracaibo y la Cuenca Barinas-Apure, y de esta manera lograr caracterizar la capa sedimentaria y contribuir a la precisión en el cálculo de la amenaza sísmica de la región. Este proyecto resulta de fundamental importancia al campo de las geociencias, porque implicara un aporte científico, debido a que se empleara la integración de varios métodos geológicos y geofísicos.

Al noroeste de Venezuela se encuentra la depresión estructural y acumulación de más de 10.000 m. de espesor de sedimentos denominada Cuenca de Maracaibo, la cual forma parte de la Cuenca Occidental de Venezuela, ésta se formó debido a la interacción entre las placas del Caribe y Suramérica, así como diversos procesos geodinámicos, produciendo también el levantamiento montañoso llamado Cordillera de los Andes, ubicado al sur de dicha cuenca.

La cuenca de Maracaibo representa una de las cuencas petrolíferas más importantes de Venezuela, debido a su elevado potencial petrolífero. Existen diversos trabajos de investigación en el área de las geociencias sobre esta cuenca, en los cuales se han empleado diferentes métodos para estudiar su génesis y geometría. Un aspecto poco estudiado de la cuenca de Maracaibo es el comportamiento de las ondas sísmicas superficiales al propagarse a lo largo de dicho espesor sedimentario, mediante métodos alternativos como el estudio de ruido sísmico ambiental.

Los estudios de ruido sísmico ambiental han sido muy desarrollados en los últimos años, obteniendo resultados significativos en cuanto a la relación espesor de la capa sedimentaria y el periodo calculado por la relación H/V. Según Rocabado *et al.* (2005) en Venezuela se han obtenido resultados aceptables en diferentes ambientes sedimentarios, tanto en

sedimentos blandos, tal como se ha determinado en Cariaco (González *et al.*, 2004) y Cumana (Abeki *et al.*, 1998), así como en cuencas de considerable profundidad de sedimentos heterogéneos como lo es el valle de Caracas (Rocabado *et al.*, 2001, Semblat *et al.*, 2002).

De las diferentes técnicas empleadas, la desarrollada por Nakamura (1989), denominada método de Nakamura o relación H/V, basada en el análisis de mediciones de ruido sísmico ambiental, ha tenido gran aceptación debido a su bajo costo y fácil implementación; este método nunca ha sido aplicado para esta área de estudio, ni para cuencas de gran espesor sedimentario. Dicho esto, la presente investigación, consistirá en la adquisición de datos de ruido sísmico ambiental, mediante el método de Nakamura o relación espectral H/V, con el levantamiento de 80 estaciones en el borde del sureste del Lago de Maracaibo, para luego ser procesados e interpretados.

Este trabajo aportó nueva información geofísica de la zona, pretendiendo mostrar el método de Nakamura como método alternativo y de bajo costo, para la caracterización de cuencas sedimentarias profundas, estudiando la relación de los periodos de los suelos con el espesor de las capas sedimentarias, lo que permitió obtener datos que sirven para estimar la estructura y geometría del área sureste de la cuenca de Maracaibo.

## **1.5 ANTECEDENTES**

La aplicación del ruido sísmico natural como fuente de energía en los registros sísmicos, ha crecido rápidamente en los últimos años, debido a los distintos proyectos que se han venido desarrollando, conllevando un amplio progreso de esta técnica. El ruido sísmico en la exploración geofísica ha experimentado un gran desarrollo en las últimas dos décadas.

Las investigaciones basadas en la medida del ruido ambiental, se popularizaron a partir de 1989, cuando Nakamura realizó mediciones de microtemores en subestaciones férreas en Japón, proponiendo la relación espectral entre las componentes horizontales y la vertical.

Nogoshi e Iragashi (1971) realizaron la comparación de la relación H/V de las ondas Rayleigh con microtemores, concluyendo que en su mayoría los microtemores están

compuestos por ondas Rayleigh, y que esta relación H/V es un buen indicador para estimar la estructura del suelo.

El proyecto europeo SESAME (2001-2004) fue una de las investigaciones que más trabajo y avance en el procesado del ruido sísmico ambiental, tomaron en cuenta el desarrollo del programa, así como limitaciones y pautas del método.

Después del 2001, FUNVISIS empezó a realizar estimaciones del espesor de sedimentos a partir de valores de periodo fundamental del suelo, debido a la relación de que a mayor valor de periodo, mayor será el valor de profundidad. Aplicando este método para distintos ambientes sedimentarios, entre ellos Cumana (Abeki *et al.* 1998), Caracas (Rocabado *et al.* 2000) y en Barquisimeto (Rocabado *et al.* 2000).

Para el año 2000, se realizó un estudio mediante estaciones de ruido ambiental, aplicando el método de Nakamura, Rocabado, V. estableció los periodos fundamentales del suelo en la ciudad de Caracas, efectuando 450 mediciones, hallando que los valores más altos se asocian a la zona de Los Palos Grandes y San Bernardino, debido al mayor espesor de sedimentos.

En el norte de Grecia en la ciudad de Thessaloniki, en el año 2004, se realizó un trabajo de investigación basado en ruido ambiental, que consistió en levantar estaciones con dos tipos de sensores, con grabaciones de 10 a 40 minutos, con el fin de ver las variaciones diurnas y temporales, con fines de estudios de microzonificación y ambientes urbanos.

En el 2009, se realizó la publicación de un artículo de investigación de determinación de periodos fundamentales en la ciudad de Mérida, a partir de mediciones de ruido sísmico ambiental, realizado entre investigadores de la ULA y de FUNVISIS, siendo estos Mazuera, F., González, L., Rocabado, V. y Klarica, S., este trabajo consistió en la aplicación del método de Nakamura, adquiriendo en un rango entre 15 a 25 minutos, donde se obtuvo un mapa de distribución de los periodos.

En el área occidente de Venezuela, se realizó una investigación de Arnaiz, Rodríguez y Audemard (2011), fundamentada en la teoría de flexión de placas, para generar modelos gravimétricos corticales, ellos concluyeron que la flexión de la cuenca de Maracaibo no

está controlada únicamente por los Andes de Mérida, sino por otras cargas, y cuenta con un espesor cortical de 36 km y un espesor elástico de 16 km.

En el 2013 se realizó un estudio gravimétrico llevado a cabo por Camacho, llamado “Generación de un mapa de basamento de la cuenca de Maracaibo, a partir de datos gravimétricos y magnéticos satelitales”, en el cual se identificó y modeló el basamento de la cuenca, con sus respectivos contrastes de densidad y magnetización, respaldándolos con líneas sísmicas interpretadas y datos de pozo.

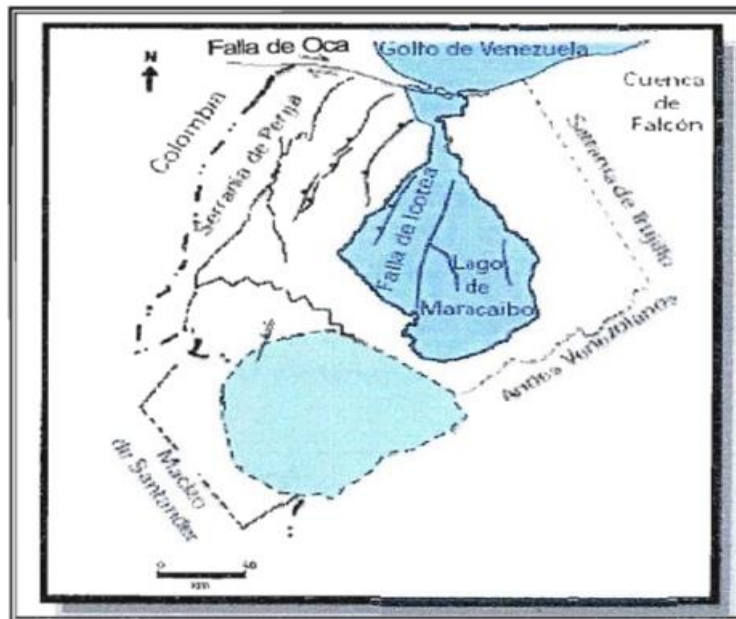
En el marco del proyecto GIAME, PDVSA se está llevando a cabo un proyecto de exploración en el flanco norandino-este, que consiste en la interpretación de 2500 km de líneas sísmicas 2D y cuenta con datos de pozos del área, denominado “Cinemática del flanco noroccidental de los andes de Mérida, Venezuela: interacción entre estructuras de piel fina y piel gruesa”, lo cual permitirá realizar un modelado cinemático, visualizando la interacción de las estructuras de piel gruesa y piel fina que se originaron en el flanco noroccidental de los Andes de Mérida.

## CAPÍTULO II

### MARCO GEOLÓGICO

#### 2.1 Cuenca de Maracaibo

La cuenca de Maracaibo es una cuenca de tipo antepaís, que abarca un área aproximada de 52.000 km<sup>2</sup> y se encuentra localizada en el bloque tectónico en Maracaibo. Como se observa en la figura 2.1, se delimita al oeste-noreste por el piedemonte de la Sierra de Perijá, al oeste-suroeste por la frontera colombiana hasta un punto sobre el río Guarumito, 12,5 km. Al oeste de la población de La Fría; al sureste por el piedemonte andino desde el punto mencionado hacia el río Motatán, ligeramente al este del cruce de Agua Viva ; al este noreste por la zona de piedemonte occidental de la Serranía de Trujillo y una línea imaginaria dirigida al norte hasta encontrar la frontera de los estados Zulia y Falcón, donde puede observarse un pequeño saliente hacia el este en la región de Quiros y en su parte norte, por la línea geológica de la falla de Oca.



**Figura 2.1** Mapa de los límites de la Cuenca de Maracaibo (tomado del WEC 1997).

La extensión de este trapecioide, de aproximadamente 50.000 km<sup>2</sup>, corresponde políticamente en su mayor parte al Estado Zulia y extensiones menores a los estados

Táchira, Mérida y Trujillo. Las líneas mencionadas anteriormente son bastante arbitrarias en sentido fisiográfico y geológico, pero corresponden en realidad al carácter geoeconómico de la cuenca petrolífera como tal (González de Juana *et al.* 1980).

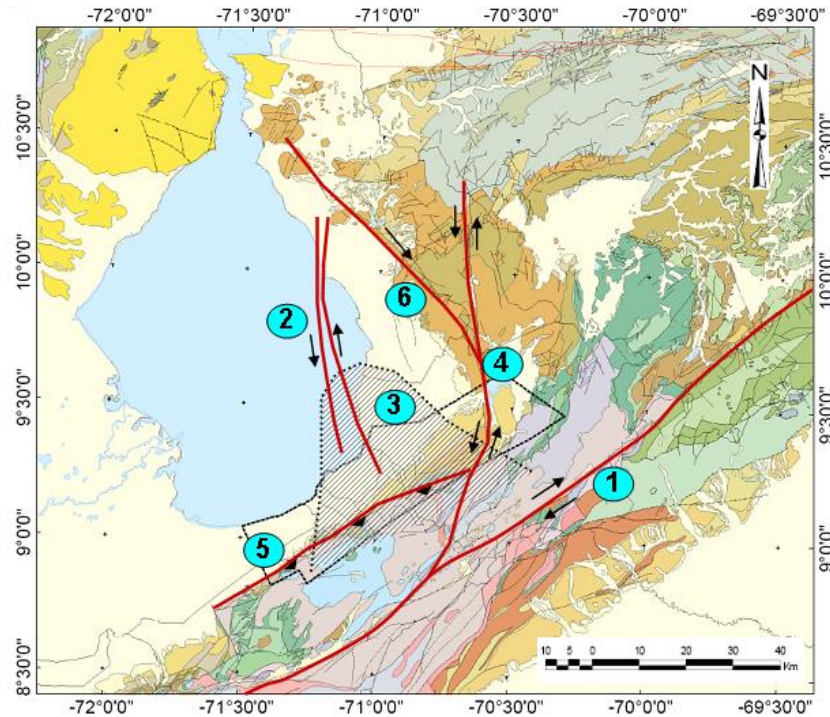
Las rocas presentes en esta región, vienen dadas por aporte de sedimentario provenientes de los Andes y de la sierra de Perijá, constituidas por materiales gruesos hacia el piedemonte de las dos cordilleras y sedimentos más finos hacia la parte central de la depresión tectónica.

## **2.2 Rasgos Estructurales**

La cuenca de Maracaibo se encuentra enmarcada dentro de tres alineamientos orogénicos: la sierra de Perijá al oeste, los Andes de Mérida al sureste y la serranía de Trujillo al este, completándose con cuatro zonas de fallas principales: la falla Oca hacia el norte, la falla de Santa Marta al oeste y la falla de Boconó y Valera al sureste.

En la figura 2.2 se observan enumerados los elementos estructurales del área:

1. Falla de Boconó.
2. Falla de Pueblo Viejo.
3. Arco de Mérida.
4. Falla de Valera.
5. Corrimiento de Las Virtudes.
6. Falla de Burro Negro.



**Figura 2.2** Mapa con rasgos estructurales presentes en el área. (PDVSA-2013).

### 2.3 Evolución Tectónica de la Cuenca de Maracaibo

La evolución de la Cuenca de Maracaibo ha sido bastante compleja a lo largo del tiempo geológico, esta no llegó a presentar una configuración semejante a la actual hasta el Mioceno medio. A continuación se presentan los procesos evolutivos que afectaron los procesos de génesis.

#### 2.3.1 Per – Mo – Triásico

Metamorfismo y plegamiento andino, intrusiones ígneas, formación del Arco de Mérida, levantamiento de la región central del Lago de Maracaibo precursora de la subsiguiente Plataforma de Maracaibo. El borde continental se levanta produciendo retirada general de los mares de Venezuela Occidental. Fijación de los caracteres petrológicos del mayor porcentaje de rocas que se encuentran actualmente en el *substratum* de la Cuenca de Maracaibo (González de Juana *et al.* 1980).

#### 2.3.2 Triásico – Jurásico

En Venezuela la rotura o rifting de Pangea (súper continente que reunía las masas continentales de América, Europa y África actuales) produjo varias estructuraciones importantes que posteriormente influyeron en la evolución de las cuencas sedimentarias

venezolanas. Dentro de Venezuela Continental, la apertura del proto-Caribe indujo el desarrollo de valles de extensión o grabenes, con una tendencia noreste, en los que se incluyen los grabenes de Apure, Mantecal y Espino, así como también grabenes de los Andes y Perijá, y el ubicado en el Lago de Maracaibo (Wec 1997).

### ***2.3.3 Cretácico***

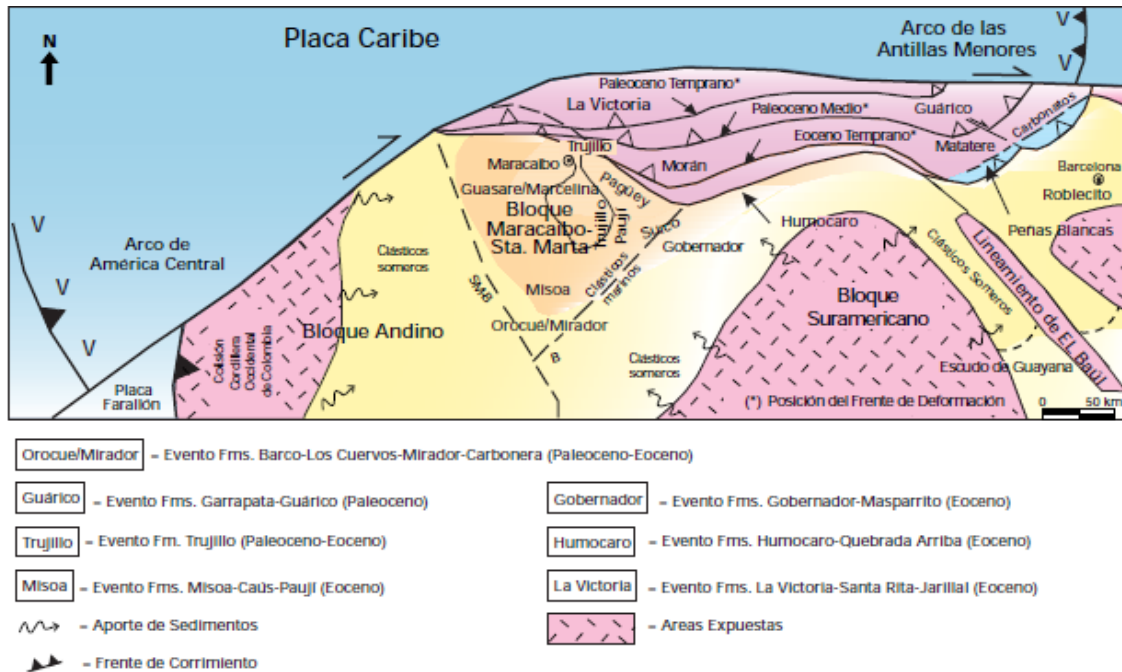
En el occidente la sedimentación fue controlada en su inicio por el sistema de fallas de los grabenes jurásicos, como se puede evidenciar en los espesores de los clásticos arenosos de la Formación Río Negro, los cuales varían desde más de 2 kilómetros en el Surco de Machiques, hasta unos pocos metros en algunas localidades del Flanco Norandino. A continuación la subsidencia se estabilizó y el Grupo Cogollo (carbonático) se depositó en un extenso mar epicontinental transgresivo sobre Venezuela Occidental. El equivalente clástico lateral hacia el Cratón o Escudo de Guayana lo conforma la Formación Aguardiente.

En Perijá y la Cuenca del Lago de Maracaibo, la Formación La Luna pasa verticalmente a calizas glauconíticas (Miembro Socuy) y lutitas oscuras y areniscas delgadas de las Formaciones Colon y Mito Juan (Wec 1997).

### ***2.3.4 Paleoceno – Eoceno***

Venezuela Occidental sufrió el efecto de la colisión entre la Placa de Nazca y el Occidente Colombiano. En la figura 2.3 se observa la sedimentación y evolución paulatina del frente de deformación asociado a la entrada de la Placa Caribe frente a Sudamérica.





**Figura 2.3** Migración del frente de deformación del Caribe hacia el este suroeste en Venezuela Occidental (tomado del WEC, 1997).

Al norte y oeste de la Cuenca de Maracaibo al inicio del Paleoceno, la Formación Guasare representa ambientes someros y refleja lejanía de los frentes de deformación, previamente a la instalación de los ambientes paludales costeros de la Formación Marcelita.

Durante el Eoceno, en la cenca del Lago de Maracaibo, existió un marco sedimentario complejo que se caracterizó por sistemas deltaicos - estuarinos, fluvio-costeros y marinos, en diferentes ubicaciones geográficas, delante de los frentes de corrimiento, ya sea el de Perijá o el relativamente más joven del estado Lara, hacia el este.

La Formaciones Barco – Los Cuervos y Mirador – Carbonera, representan dos pulsos semejantes de ambientes fluvio – deltaicos entre el Paleoceno y el Eoceno medio en el occidente de la Cuenca de Maracaibo, en su parte central las Formaciones Guasare, Trujillo, Misoa, Caus y Pauji constituían los equivalentes más marinos de los primeros, con una profundización paulatina de los ambientes hacia el noreste (Wec 1997).

### **2.3.5 Oligoceno**

Durante el oligoceno, la acumulación de sedimentos en la Cuenca de Maracaibo fue preservada mayormente hacia sus flancos: al oeste los clásticos arenosos de las Formaciones Carbonera y Ceibote, al sur y este los clásticos finos de la Formación León y hacia el centro del Lago de Maracaibo: la Formación Icotea, se encuentra solo en depresiones controladas estructuralmente; su litología característica es de limolitas y arcillitas, con cantidades menores de areniscas (Wec 1997).

### **2.3.6 Neógeno**

El Neógeno en Venezuela está signado por importantes periodos de formación de montañas, los cuales son una consecuencia directa de la interacción de las placas del Caribe y Suramérica.

Se inicia la transgresión marina de la Formación La Rosa, que penetró profundamente hacia el sur depositando sus arenas basales en la parte central de la cuenca sobre la superficie erosionada del Eoceno medio; en los bordes de la transgresión, Costa de Bolívar y su área de Boscán – Urdaneta, ambientes costero – deltaicos depositaron excelentes recipientes petrolíferos en horizontes más altos. Sobre la Formación La Rosa se depositó la Formación Lagunillas, menos marina, que llegó a excavar fondos de canales fluviales en lutitas de la Formación La Rosa. Produjo en la zona de la Costa de Bolívar secuencias arenosas, excelentes recipientes de petróleo. La sedimentación del Mioceno, constituyó la cobertura impermeable para preservar los hidrocarburos en las arenas truncadas del Eoceno, las arenas basales miocenas, como la arena de Santa Bárbara, en contacto con arenas eocenas truncadas, fueron alimentadas con petróleo eoceno; el nuevo gradiente hacia el suroeste del fondo de la cuenca miocena favoreció la emigración longitudinal hacia arriba, en dirección norte – noroeste, tanto en las arenas basales como en el plano de discordancia Eo – mioceno. Esta emigración fue detenida principalmente por las barreras de permeabilidad formadas en la sedimentación marginal de las formaciones La Rosa y Lagunillas o por sellos de asfalto buzamiento arriba.

Al final del Mioceno se produjo el levantamiento definitivo de la Cordillera de Los Andes en forma predominante vertical; en su norte se depositan gruesas formaciones continentales

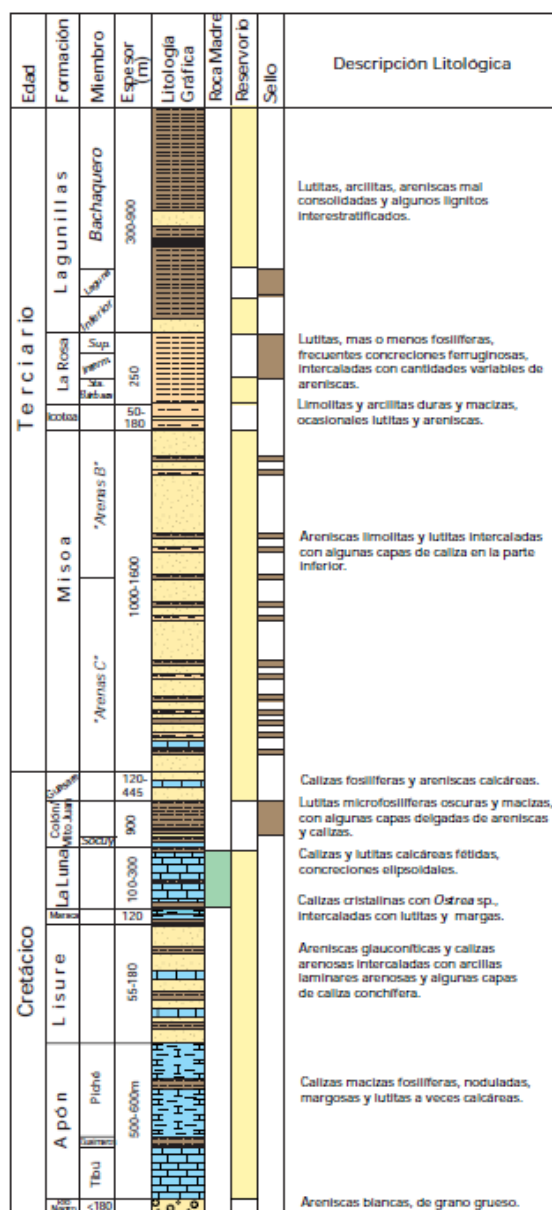
características de la anterior ante fosa andina subsidente. No hay indicios de compresión en el centro – norte de la cuenca, como consecuencia de este levantamiento.

La historia de la Cuenca Petrolífera de Maracaibo se termina durante el Cuaternario con la formación de notables manifestaciones externas indicativas de la presencia de hidrocarburos (González de Juana *et al.* 1980).

## 2.4 Estratigrafía general

Los sedimentos que integran la cuenca de Maracaibo, alcanzan un volumen total de aproximadamente 250.000 km<sup>2</sup> (González de Juan *et al.* 1980).

La descripción de las formaciones pertenecientes a la columna estratigráfica (figura 2.4), fueron tomadas del Léxico Estratigráfico de Venezuela.



**Figura 2.4** Columna Estratigráfica del Lago de Maracaibo (Fuentes Parnaud *et al.* 1995, González de Juana *et al.* 1980 y Roger *et al.* 1989)

### **2.4.1 Formación Lagunillas**

Descripción litológica: En términos generales, la formación consiste en areniscas poco consolidadas, arcillas, lutitas y algunos lignitos.

Las características individuales de los miembros reflejan el cambio de ambiente marino somero, a deltaico y fluvial.

Miembro Lagunillas Inferior: está compuesto por areniscas friables, de grano fino, de color variable de marrón a gris claro y a blanco, intercaladas con lutitas gris claro, gris verdoso o gris oscuro. Localmente se encuentran lignitos.

Miembro Ojeda: en la costa oriental del lago; consiste en arcillas moteadas, areniscas color gris, localmente glauconíticas y lutitas grises. En el área lago Central, se encuentran lutitas color gris a gris verdoso y gris oscuro, areniscas colores blanco, gris o marrón y lignitos (Szenk, op. cit.).

Miembro Marlago: en el área lago Central consiste, en areniscas blancas, gris o marrón con lutitas gris oscuro y verdoso y lignito (Szenk, op. cit.).

Miembro Laguna: consiste principalmente en lutitas grises fosilíferas (zona Litophaga, Hoffmeister, (op. cit.); Sutton, (op. cit.); además, areniscas color gris o marrón localmente glauconíticas, y arcillas arenosas moteadas.

Miembro Urdaneta: compuesto principalmente por arcillas de color gris verdoso claro, verde, rojo oscuro, marrón y marrón rojizo, con capas delgadas de arena arcillosa (Szenk, op. cit.). Está restringido al área lago Central.

Miembro Bachaquero: está formado por areniscas arcillosas potentes, de colores gris o marrón con arcillas gris, marrón o moteadas, lutitas gris a gris azulado y lignitos.

### **2.4.2 Formación Misoa**

Descripción litológica: las características de los sedimentos de la Formación Misoa, dependen de su posición en la cuenca, del ambiente de sedimentación, de la distancia entre ellos y de la fuente de los mismos. Hacia el noreste hay más lutitas y areniscas de grano fino, mientras que hacia el sur y sureste, el porcentaje de arena aumenta al 80 y 90% de la sección, y los granos se hacen más gruesos. Se encuentran areniscas, limolitas y lutitas

intercaladas en distintas cantidades, en toda la sección y hacia el este, en la sierra, algunas capas de caliza en la parte-inferior. En el área del lago se encuentran capas delgadas de caliza, en la parte inferior (Miembro C-7).

Las areniscas presentan tamaños variados de grano, pero en general, son de grano fino y gradan a limolitas y luego a lutitas. Son generalmente auras, micáceas, frecuentemente carbonáceas y generalmente bien estratificadas a macizas. Se presentan en unidades compuestas, con espesores normales de varias decenas de metros, las cuales localmente se agregan para totalizar espesores de centenares de metros, formando serranías pronunciadas. En el subsuelo, estas mismas arenas forman yacimientos múltiples verticales, con distribución lateral de decenas de kilómetros. Ghosh et al. (1989) identificaron los tipos de arcosa-subarcosa y sublitarenita-subarcosa, en las áreas de Urdaneta-Lagunillas y cuarzo-arenitas en la de Barúa-Motatán.

Las lutitas tienen composición variable, casi siempre son micáceas, arenosas a limolíticas, con abundantes estratos delgados, estrías y películas de arena, limo y material carbonáceo (incluyendo restos de hojas), que les den un aspecto laminado con estructura "flaser". Se presentan tanto en forma de intercalaciones menores en las unidades compuestas de arenisca-limolita, como en secuencias que alcanzan varios centenares de metros de espesor, entre complejos de areniscas. Las lutitas han sido depositadas en ambientes de prodelta, de aguas someras, e interdeltáico, principalmente, y son diferenciables por las delgadas capas de lignito y por el material carbonáceo que contienen.

Las calizas son escasas y se presentan en la base de la formación, en la región suroriental y en el subsuelo del lago. Brondijk (op. cit.) las describe como de color gris a gris azulado, duro, con espesores de menos de un metro a varios metros, arenoso, gradando a areniscas calcáreas. Generalmente son bioclásticas, con foraminíferos grandes, algas y fragmentos de moluscos. En las antiguas referencias se denominaban Segundo Horizonte de Orbitoideos.

### **2.4.3 Formación La Rosa**

Descripción litológica: Las características litológicas de los miembros de la Formación La Rosa son:

Miembro Santa Bárbara (VALIDO): Está formado por areniscas arcillosas poco consolidadas, grises a marrones, que localmente pueden alcanzar espesores bastante grandes, lutitas gris verdoso interlaminadas con areniscas. En el área de Cabimas, las lutitas forman un intervalo de hasta 28 m entre cuerpos de arenisca. También se encuentran lignitos y nódulos de siderita. Sutton (op. cit.) menciona capas delgadas de caliza dura en la parte sur del campo costanero de Bolívar.

Lutita La Rosa (INVALIDO): lutitas gris verdoso a verde claro, fósiles, con laminaciones. Intercalaciones de areniscas delgadas fosilíferas.

Arena Intermedia (INVALIDO): arenas arcillosas en capas delgadas con lutitas verdosas fosilíferas y arcillitas arenosas.

Arena La Rosa (INFORMAL): areniscas friables, macizas de grano fino, gris a marrón y lutitas gris verdoso con moluscos y foraminíferos.

Extensión geográfica: la formación abarca la parte oriental y central del lago de Maracaibo, extendiéndose hacia el este, hasta el área de Quiroz, donde aflora.

#### **2.4.4 Formación Mirador**

Descripción litológica: según González de Juana (1980) la sección tipo se caracteriza por areniscas blancas de grano fino a medio con capas delgadas de gránulos o guijarros de cuarzo; toda la sección presenta material carbonáceo, observándose algunas intercalaciones de lutitas en su tercio superior y capas delgadas de carbón interestratificadas con las mismas. Se dividió en tres unidades informales descritas a continuación:

El intervalo inferior está constituido por areniscas macizas de grano grueso con estratificación cruzada en escala de metros, intercalada con arcillas limosas y arenosas. Hacia el sur se observan algunos niveles conglomeráticos, en el subsuelo de Alturitas, las areniscas son de grano fino y laminadas. *Staff Of Caribbean Petroleum Co. (op. cit.)* mencionaron la presencia en el subsuelo de un intervalo lutítico de 20 a 30 m de espesor, que se caracteriza por arcillitas y lutitas gris oliva claro, localmente carbonáceas y con una o dos capas lenticulares de carbón. Este intervalo constituye un marcador notorio en los registros eléctricos de pozos relativamente cercanos, y no parece tener continuidad regional, como sucede al sur de Táchira donde está ausente. El intervalo superior, muestra

areniscas cuarzosas limpias de grano grueso a conglomeráticas; las areniscas son lenticulares con acanaladuras y frecuentemente macizas (González de Juana *et. al., op. cit.*).

Renz (1959) señala que las areniscas cuarzo-feldespáticas de la Formación Mirador, están divididas en dos partes por una capa de arcillita gris pálida, cerca del pueblo de Rubio en la carretera de San Cristóbal. Key (1960) reconoce 3 unidades litológicas en la Formación Mirador y la existencia de una discordancia en la base del miembro superior de la formación.

#### **2.4.5 Formación Paují**

Descripción litológica: esencialmente, la unidad es una espesa secuencia de lutitas, claramente diferenciable de las areniscas de las formaciones Misoa infra yacente, y Mene Grande supra yacente. Las lutitas típicas tienen color gris mediano a oscuro, y son macizas a físciles y concrecionarías. En estado fresco, son firmes, y frecuentemente exhiben fractura concoidal, pero meteorizan rápidamente a masas blandas y escamosas. En general, hay una virtual ausencia de arenas; una excepción, restringida a la región de Mene Grande, es la Arena de Paují Medio (Middle Paují Sand).

Espesor: el espesor total en la sección de referencia del río San Pedro, es de 1.200 m. En otros sitios, la complejidad estructural impide la medición precisa, o bien, el tope de la formación ha sido erosionado. En el subsuelo del lago de Maracaibo, se reconocen espesores erosionados de hasta 820 m en Ceuta, y en el centro del lago hay hasta 200 m preservados.

#### **2.4.6 Formación Betijoque**

Esta formación queda ubicada en las cercanías del pueblo de Betijoque en el Estado Trujillo. Garner especificó "las colinas bajas al oeste del pueblo". Liddle mencionó capas que forman "*badlands*" al sur del pueblo. Hoja 6044, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

Descripción litológica: Los elementos más destacados son capes de conglomerados macizos, de hasta 12 metros de espesor, que forman 25% de la unidad; en la mitad superior



los conglomerados son mal escogidos, mal cementados y más gruesos. La mayor parte de la unidad consiste de arcillas macizas de color gris verdoso oscuro que gradan localmente a pardo y negro, generalmente arenosas, y localmente carbonáceas y fosilíferas (restos de plantas). También se presentan areniscas mal cementadas y mal escogidas, y limolitas en estratos delgados a macizas, con mucha intergradación lateral entre los cuatro tipos de rocas.

Feo-Codecido (1956, *Léxico Estratigráfico de Venezuela*) describió las "formaciones" Vichú y Sanalejos como equivalentes de las partes inferior y superior, respectivamente, de la Formación Betijoque de Sutton. Estos nombres sólo habían aparecido previamente en el Cuadro de Correlación de Mencher *et al.* (1951, 1953). La unidad superior se caracteriza por capas muy macizas de conglomerado grueso, prácticamente ausentes en la inferior. El rango formacional actual de Betijoque convierte estas dos subdivisiones en miembros, como se muestra en el Cuadro de Correlación del Primer Congreso Venezolano del Petróleo (Soc. Venez. Ing. Petrol., 1963).

#### **2.4.7 Formación Isnotú**

Localidad tipo: Afloramientos en y al oeste del pueblo de Isnotú, sobre la carretera Motatán-Betijoque en Trujillo oeste-central.

Extensión geográfica: La formación aflora en una faja bastante continua a lo largo del flanco noroccidental de Los Andes, desde Táchira hasta Trujillo. También se reconoce en el subsuelo del Lago de Maracaibo (Borger y Lenert, 1959); algunos autores se refieren al mismo intervalo con el nombre de Formación La Puerta (Young, 1960).

Descripción litológica: Predominantemente arcillas (65%), con numerosas areniscas intercaladas y capas subordinadas de arcilla laminar, carbón y conglomerado. Las arcillas son macizas pero blandas, de color gris claro, corrientemente abigarradas en rojo, púrpura y amarillo y localmente carbonáceas; las areniscas son de color variable, principalmente blancas a gris claro y se presentan en capes de 2 a 3 metros de espesor.

Espesor: En la faja de afloramientos el espesor es bastante constante de 11.000 metros, disminuyendo al norte y al oeste.

## CAPÍTULO III

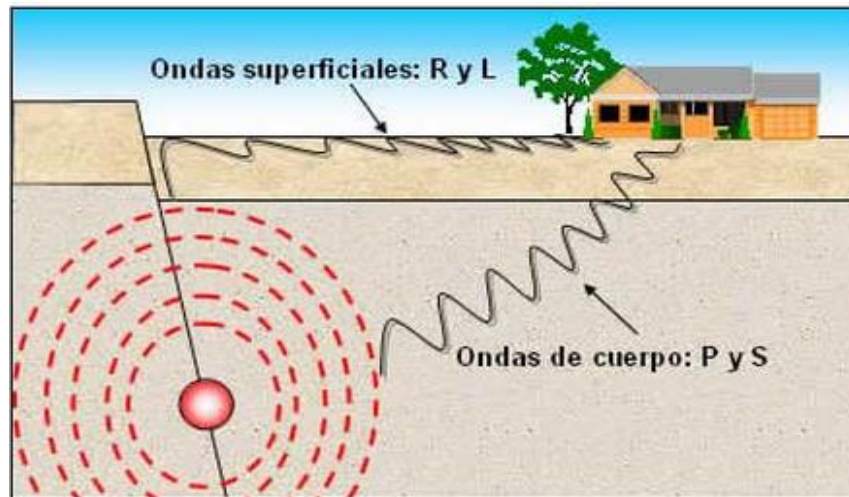
### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Ondas sísmicas

El fallamiento de una roca o sismo, consiste en la liberación repentina de los esfuerzos tectónicos, siendo esto la fuente natural de las ondas sísmicas. De acuerdo a Ugalde *et al.* (2009) cuando un bloque terrestre se fractura y una parte del mismo se desplaza una corta distancia durante un intervalo de tiempo, la enorme cantidad de energía liberada, se transmite a través del medio en forma de movimiento ondulatorio o de ondas elásticas. Pero no solos los terremotos generan ondas sísmicas; también el hombre, con fines de prospección es capaz de generar artificialmente movimientos sísmicos más débiles consumiendo energía, eso sí, en una cantidad mucho menor que la que ocasiona un sismo natural.

Las ondas sísmicas tienen las mismas propiedades que cualquier otro tipo de onda, es decir poseen amplitud, frecuencia, y periodo, estas dependerán de la energía propagada, y a su vez se modifican al atravesar un medio.

Existen dos clases de ondas sísmicas en la naturaleza como expresión de la propagación de la energía liberada, esto se observa en la figura 3.1. La primera clase corresponden a las ondas corpóreas, estas viajan a través del cuerpo sólido de la Tierra, y la segunda clase llamada ondas superficiales, son las que viajan a lo largo de la superficie de la Tierra (Alva, 1996; Monroe *et al.*, 2008,).



**Figura 3.1** Propagación de ondas superficiales y ondas corpóreas en el suelo (<http://www.lis.ucr.ac.cr>).

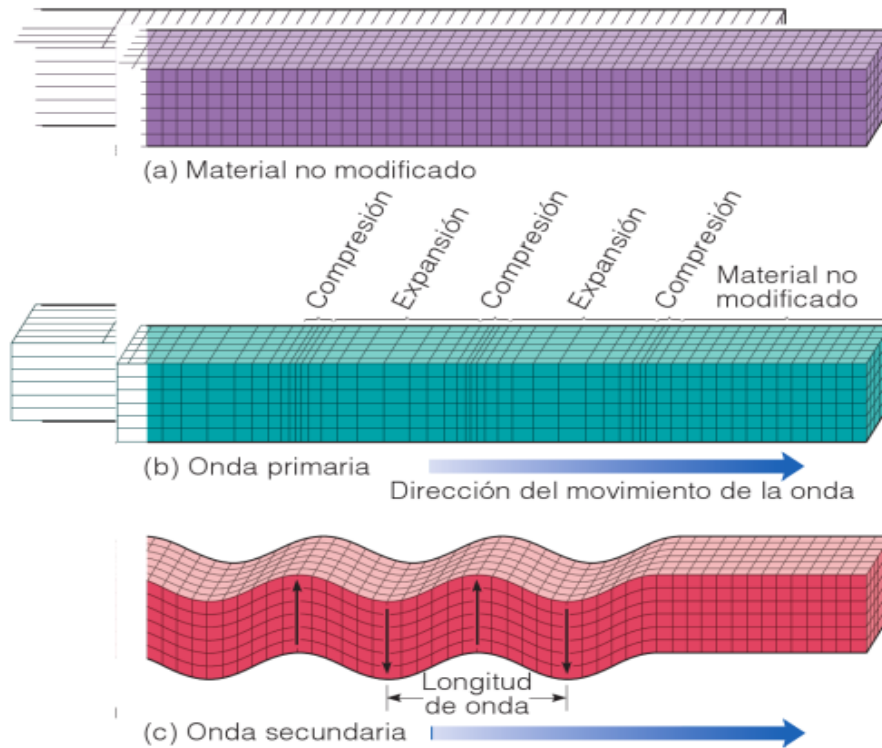
### 3.1.1 Ondas corpóreas

Las ondas corpóreas u ondas de cuerpo, son las que pueden viajar a través de medios elásticos, estas son las ondas P o también llamadas ondas longitudinales y las ondas S u ondas transversales, la velocidad de las mismas dependerá de la densidad y elasticidad de los materiales del medio por el que se propaguen.

Ondas P: llamadas ondas longitudinales o primarias, son las ondas sísmicas más veloces, estas son las primeras en llegar a las estaciones sísmicas, pudiendo viajar a través de sólidos, líquidos y gases.

Ondas S: llamadas ondas transversales, de cizalla o secundarias, son más lentas que las ondas P, y solo pueden viajar a través de medios sólidos. Son llamadas de cizalla porque se mueven el material en perpendicular a la dirección de la onda, originando esfuerzos en cizalla en el material que atraviesa.

En la figura 3.2, se observan los cambios que experimenta el medio, según el tipo de onda.

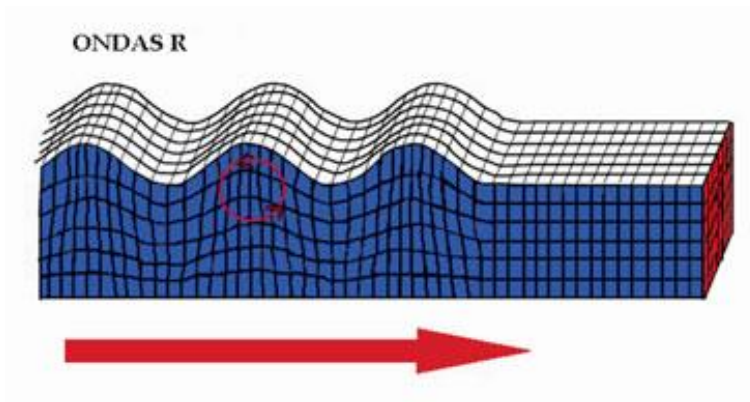


**Figura 3.2** Tipos de ondas. (a) Material no modificado como referencia. (b) Onda primaria. (c) Onda secundaria. (Monroe *et al.* 2008).

### 3.1.2 Ondas Superficiales

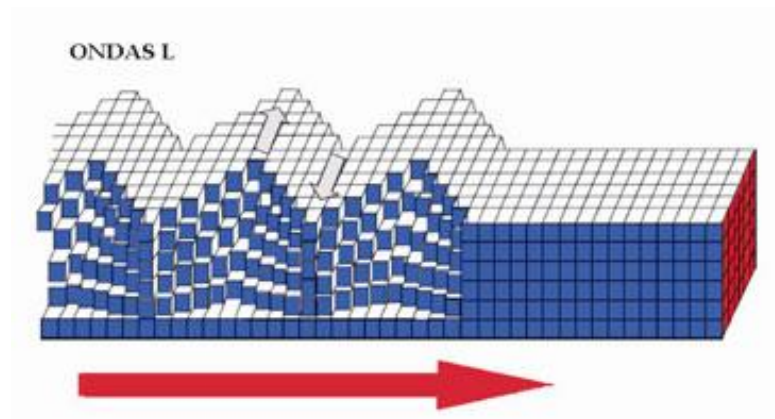
Las ondas superficiales se desplazan a lo largo de la superficie de la Tierra, y son más lentas que las ondas de cuerpo. Este tipo de ondas produce un movimiento ondulante o de balanceo. Debido a su baja frecuencia estimulan a las estructuras, provocando que entren en resonancia con mayor facilidad que las ondas de cuerpo, conllevando a ser más destructivas y a predominar a grandes distancias de la fuente. (Espíndola, 1994; Cuadra, 2007; Monroe *et al.* 2008). Existen dos tipos de ondas superficiales:

- **Ondas Rayleigh:** también llamadas como *ground roll*, son ondas sísmicas superficiales, que se caracterizan por ser de baja frecuencia, baja velocidad y gran amplitud. Este tipo de ondas causa un movimiento rodante semejante a las ondas del mar, moviéndose en forma elíptica retrograda en el plano vertical (figura 3.3), este movimiento disminuye exponencialmente con la profundidad.



**Figura 3.3** Modelo de propagación de ondas Rayleigh ([www.funvisis.gob.ve](http://www.funvisis.gob.ve)).

- Ondas Love: como se observa en la figura 3.4, es la onda sísmica superficial que se propaga con mayor velocidad, moviéndose en forma horizontal de cizalla, provocando cortes horizontales en la tierra. Al igual que las ondas Rayleigh, su amplitud decrece con la profundidad.



**Figura 3.4** Modelo de propagación de ondas Love ([www.funvisis.gob.ve](http://www.funvisis.gob.ve)).

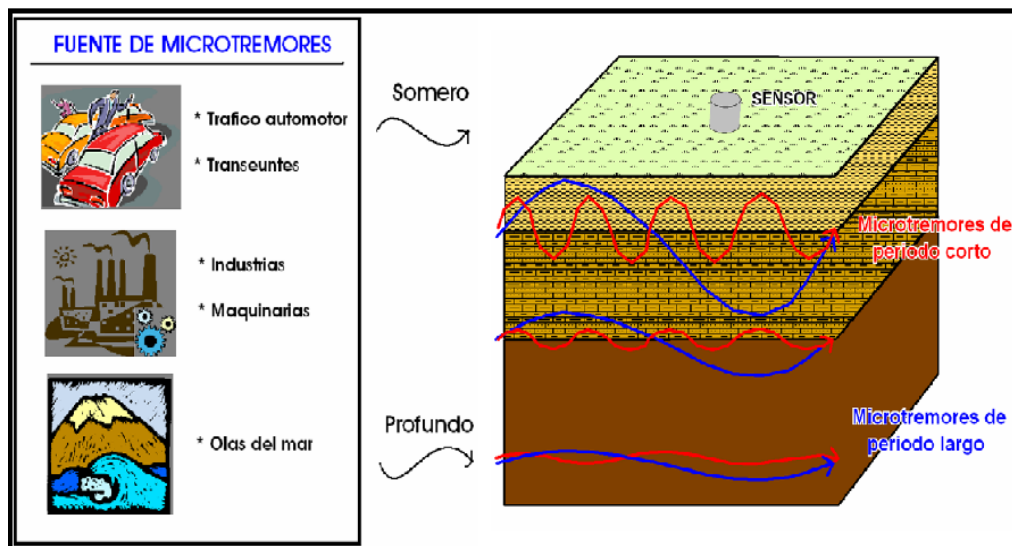
### 3.2 Microtremores.

El ruido sísmico ambiental también es conocido como microtremores, microtrepidaciones, ruido sísmico de fondo o vibraciones ambientales.

Las ondas sísmicas son continuamente registradas en las estaciones sismológicas, debido a que el uso de instrumentación de banda ancha es altamente sensible, donde registran rangos de frecuencias de 0.0333 a 50Hz, pudiendo permitir registrar las ondas producidas por terremotos en casi cualquier parte del mundo, la mayoría del tiempo lo que se registra es el

ruido de fondo también llamado ruido sísmico ambiental, este variara dependiendo de la geología de la zona, observándose mayor ruido en las cuencas sedimentarias.

La fuente del ruido sísmico puede tener varios orígenes (figura 3.5), según Havskov *et al.* (2010) el producido por el hombre o también llamado ruido cultural este es de origen artificial, ocasionado por el tráfico, industria y maquinaria, con altas frecuencias (>2-10 Hz), estas caen rápidamente cuando se alejan de la fuente. Se propagan principalmente como ondas superficiales de alta frecuencia las cuales se atenúan rápidamente con la distancia y decrecen fuertemente en amplitud con la profundidad. Este tipo de ruido tiene usualmente una gran diferencia entre el día y la noche.



**Figura 3.5** Fuentes de microtremores (Cuadra, P. 2007).

El viento también produce ruido, debido a que la turbulencia del viento moverá cualquier objeto lo cual generara ruido de fondo. Usualmente este ruido es de alta frecuencia. Los arboles también transmiten vibraciones del viento al suelo, a través de las raíces y por lo tanto las estaciones deberían estar alejadas de estos. Asimismo, el viento también actúa sobre objetos grandes, tales como torres y postes.

El ruido generado por el oleaje, es el ruido más extendido, con valores bajos de frecuencia, entre 0,3 a 0,5 Hz. Los microsismos de largo periodo se generan solo en aguas poco profundos en las regiones costeras, donde la energía de las olas se convierte directamente

en energía sísmica, ya sea a través de las variaciones de presión verticales o el golpe de las olas en la orilla.

Además de las mencionadas, hay otras fuentes de ruido ambiental como los tremores volcánicos, presión atmosférica, los efectos asociados con la variación de temperatura, corrientes de agua o actividades que generan ruido de fondo, de fuentes locales.

En la tabla 3.2 se muestran los valores de ruido sísmico de acuerdo a Gutenberg (1958), Asten (1978) y Asten and Henstridge (1984), para distintos rangos de frecuencias. El ruido sísmico inferior a 1Hz se le atribuye a origen natural.

En el pasado, el ruido sísmico se consideraba algo negativo, que debía anularse o evitarse, para así obtener señales limpias, pero en la actualidad, debido a los distintos trabajos de investigación, se ha convertido en una excelente herramienta para caracterizar los efectos locales y las propiedades dinámicas de las estructuras en el subsuelo (Cutipa, 2006).

**Tabla 3.2** Fuentes de ruido ambiental en función de la frecuencia. (Bonneyoy-Claudet *et al.* 2006).

Fuente	Gutengerg (1958)	Asten (1978), Asten and Henstridge (1984)
Olas oceánicas golpeando costas	0.05-0.1 Hz	0.5-1.2 Hz
Monzones y perturbaciones meteorológicas a gran escala	0.1-0.25 Hz	0.16-0.5 Hz
Ciclones sobre océanos	0.3-1Hz	0.5-3 Hz
Condiciones meteorológicas a gran escala	1.4-5Hz	
Tremor volcánico	2-10 Hz	
Urbano	1-100Hz	1.4-30Hz

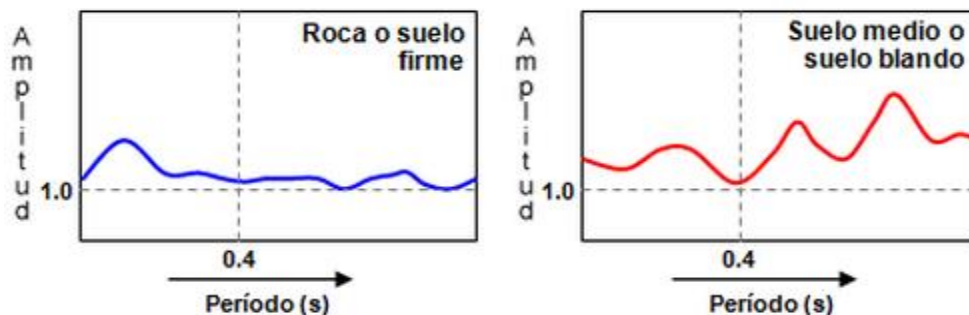
El análisis de los microtemores es una herramienta aplicada para deducir las propiedades del suelo, en el campo de la microzonificación, evaluación de efectos de sitio, así como en el estudio de la amenaza sísmica (Moreno L. *et al.* 2000).

### 3.3 Amplificación de la energía sísmica

Al producirse un sismo, se libera una gran energía de deformación almacenada. Esta energía se transmite por el interior de la tierra en forma de ondas sísmicas que normalmente se atenúan con la distancia al foco emisor y con el tiempo. (García *et al.* 2006).

La amplificación de la energía sísmica o también llamado “efectos de sitio” son alteraciones en duración, amplitud y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando alcanzan la superficie, debido a la influencia de las condiciones geológicas y topográficas durante o después de un terremoto. Entre mayor espesor sedimentario, se encuentre bajo la estación, mayor será su amplificación (Rodríguez, 2008).

Debido a esto un suelo blando y suelto puede temblar más intensamente que una roca dura, estando a la misma distancia del hipocentro (figura 3.6).

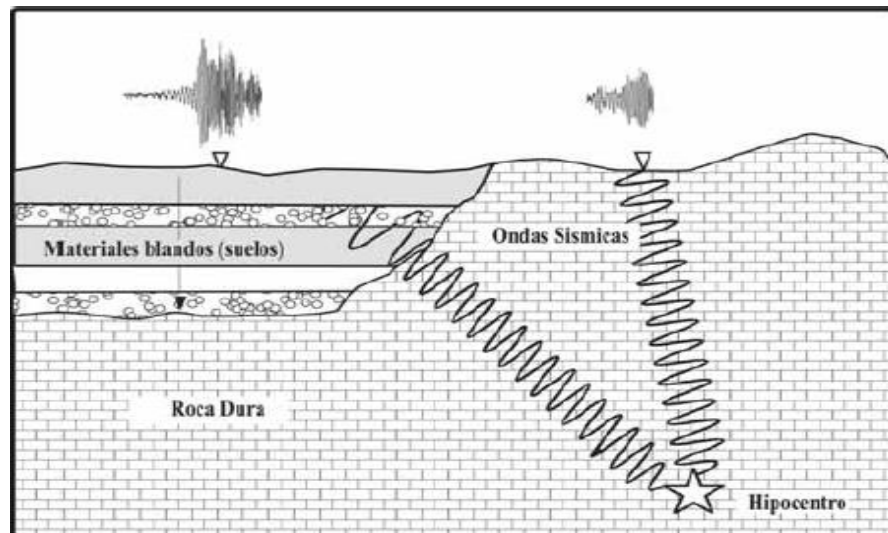


**Figura 3.6** Comparación entre amplitud en roca y amplitud en sedimentos

([www.lis.ucr.ac](http://www.lis.ucr.ac)).

En la figura 3.7 se muestra un ejemplo del paso de las ondas sísmicas en suelos de diferente competencia. Este fenómeno produce aumento de la amplitud de ondas y se modifica la frecuencia.





**Figura 3.7** Esquema de paso de ondas sísmicas en terrenos de distinta competencia (García *et al.* 2006).

### 3.4 Métodos de Ondas sísmicas superficiales

#### 3.4.1 Métodos Pasivos.

Los métodos geofísicos pasivos, responden a las propiedades de los materiales bajo la superficie, basándose en la medición de vibraciones ambientales o microtremores, los cuales no requieren de ninguna fuente. Uno de los principales objetivos de este método, es evaluar de manera indirecta y no destructiva las propiedades del suelo. Para ello, se utilizan arreglos bidimensionales de geófonos o un solo instrumento; donde se puede registrar solo la componente vertical (Z) o las tres componentes de movimiento (X, Y, Z) (Cuadra, 2007; Vásquez, 2008; Humire, 2013).

##### 3.4.1.1 Método de Nakamura o Relación Espectral H/V

En 1989, Nakamura propuso la hipótesis de que los microtremores, podían ser fácilmente determinados por la simple evaluación del radio espectral del componente horizontal versus el componente vertical observado en el mismo sitio, también que el movimiento es totalmente debido a fuentes locales y todas las fuentes profundas son despreciables y que las fuentes locales no afectan el movimiento de los microtremores en la base del estrato. Esta metodología es empleada para estimar los efectos de sitio, basado en la interpretación de los espectros de Fourier de las componentes horizontales y verticales de microtremores.

Nakamura supone que la componente vertical del movimiento no se amplifica por la capa sedimentaria, asumiendo que las fuentes locales no afectan el movimiento de microtemores en el basamento. Esta técnica, elimina el efecto de las ondas Rayleigh, para describir la función de transferencia en función de las ondas corpóreas, específicamente las ondas S, debido a que aparece más marcadamente en la componente vertical del movimiento.

Es posible estimar la forma espectral, de componente vertical en la superficie, y en la base de la capa sedimentaria, mediante la función de transferencia: efecto de sitio ( $S_E$ ) y efecto de la onda Rayleigh ( $A_S$ ), en el dominio de Fourier, como se observa a continuación:

$$S_E = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} \quad A_S = \frac{V_s}{V_B}$$

Ecuación 1

Dónde:

$V_b$  y  $H_b$ : son las componentes vertical y horizontal del movimiento en la base de la capa sedimentaria.

$V_s$  y  $H_s$ : son las componentes vertical y horizontal del movimiento en superficie.

Debido a que  $H_s$  se ve afectada por las ondas superficiales, y también las ondas de los microtemores se propagan principalmente como ondas Rayleigh,  $H_s$ , posiblemente se halla afectada por las mismas. Por esto, las ondas Rayleigh deben ser incluidas en la componente vertical de los microtemores en superficie.

Seguidamente, para compensar  $S_E$  por el espectro de la fuente, se calcula una relación modificada, nombrada  $S_m$  :

$$S_M(w) = \frac{S_E(w)}{A_S(w)} = \frac{\frac{H_S(w)}{V_S(w)}}{\frac{H_B(w)}{V_B(w)}}$$

Ecuación 2

Nakamura (1989) demostró que el espectro de componente vertical ( $V_b$ ) y la horizontal ( $H_b$ ) en la base de los sedimentos son equivalentes.

$$\frac{H_B(w)}{V_B(w)} = 1$$

Ecuación 3

Concluyendo que la relación entre las componentes horizontal y vertical del movimiento en la superficie de la capa sedimentaria, está dada por la siguiente ecuación:

$$S_M(w) = \frac{H_S(w)}{V_S(w)}$$

Ecuación 4

Años más tarde, en 1991, Ohmachi et al. Realizo mediciones de microtemores en San Francisco, de manera exitosa, de igual manera Lermo (1992) aplico este método en varias ciudades de Mexico, obteniendo buenos resultados (Cragno, A. 2001, Moreno, F. 2004, Gascon, R. 2009).

Una característica optimista de este método, es su viabilidad de empleo, permitiendo determinar la respuesta y caracterización del suelo, de manera rápida y eficaz, evaluando de manera indirecta y no destructiva, traduciéndose en bajos costos.

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGIA

Para el desarrollo de la presente investigación, se planteó el siguiente esquema y secuencia de trabajo, observado en la figura 4.1:



**Figura 4.1** Diagrama de secuencia de investigación.

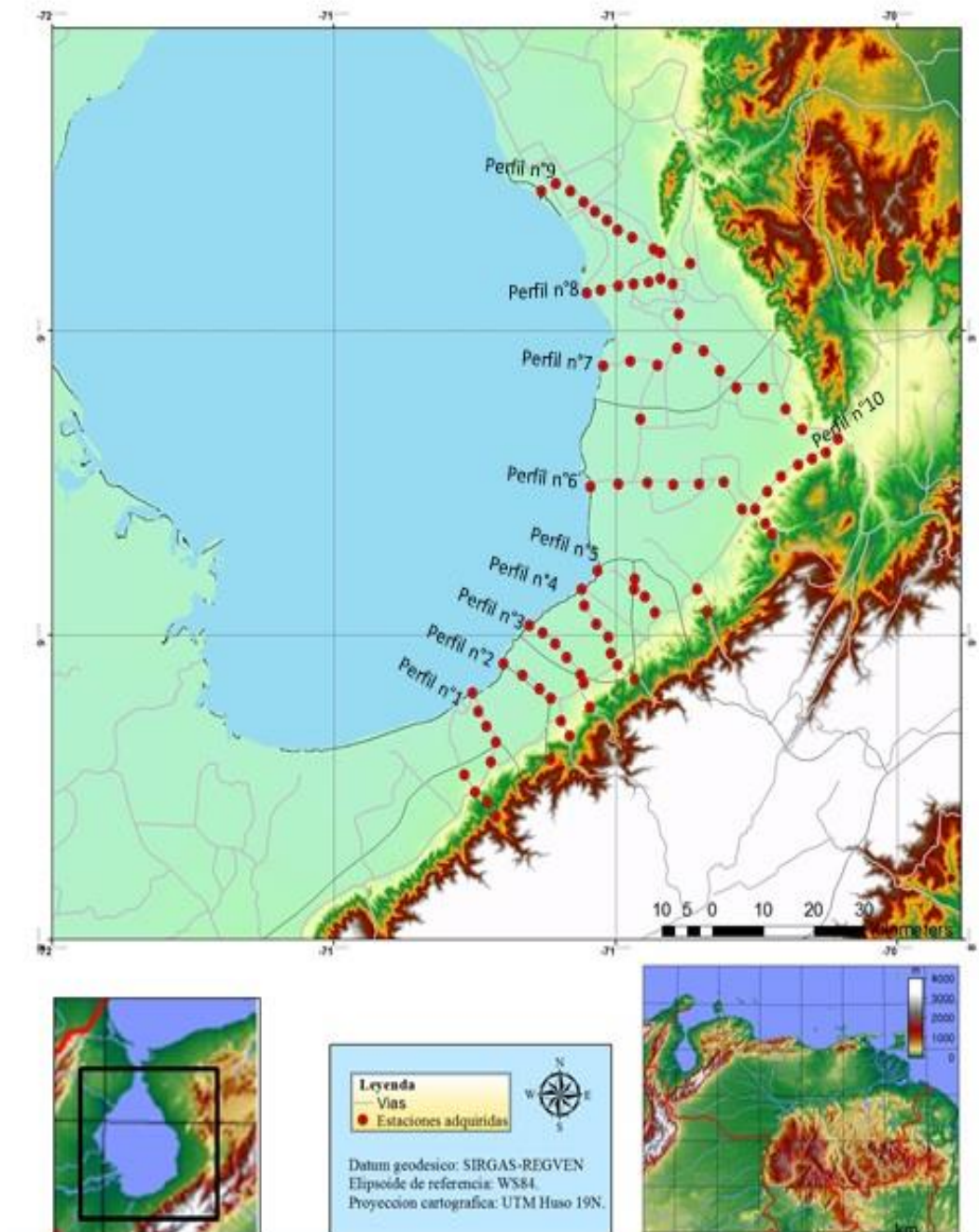
#### 4.1 Fase 1. Revisión y recopilación de material bibliográfico.

Esta etapa consistió en investigar y revisar información bibliográfica de los trabajos más influyentes e importantes de ruido sísmico ambiental y método de Nakamura, así como de la zona de estudio, y de los distintos métodos geofísicos previos realizados en la zona con objetivos similares a los de esta investigación, incluyendo la geología del área.

#### 4.2 Fase 2. Organización y planificación de campo.

El área de estudio se encuentra ubicada en el borde sureste del Lago de Maracaibo, desde la población de Pueblo Nuevo hasta la población de Bachaquero en el estado Zulia, con el uso del programa ArcGis 10, se estableció una poligonal de 2100 km<sup>2</sup>, tomando en cuenta el mapa vial del área; sobre el cual se realizó un preplot de 80 estaciones en total (figura 4.2), utilizando un espaciamiento de aproximadamente 3 km para las vías principales, y para las vías secundarias una separación aproximada 5 a 7 km, este factor varía debido a la dificultad de acceso a estas vías, por tratarse de vías no pavimentadas, además se estableció

que las estaciones debían estar distribuidas en perfiles perpendiculares a la cordillera de Los Andes, esto con el fin de poder observar y analizar la variación lateral, de sedimento a roca, para una mejor identificación, estos fueron enumerados de acuerdo a su ubicación de SO a NE, ubicándose el perfil N°1 al sur del área y el perfil N°9 al norte de la misma.



**Figura 4.2** Ubicación de las estaciones adquiridas.

### 4.3 Fase 3. Etapa de adquisición.

La adquisición de los datos consistió en un trabajo de campo durante el mes de octubre de 2013, con una duración de 15 días, desde el día 6 hasta el 21. La ubicación de los puntos de medición fue estudiada y planificada con FUNVISIS, realizando un levantamiento total de 80 estaciones.

La logística de trabajo consistió realizar un mínimo de ocho estaciones diarias, y siguiendo las recomendaciones de referencia dadas en la guía SESAME (2004).

#### 4.3.1 Equipo Utilizado

-Digitalizador *REFTEK 130B field case*. (figura 4.3)



**Figura 4.3** Equipo digitalizador *REFTEK 130B*.

El equipo digitalizado *REFTEK 130B* es un digitalizador de datos robusto, es portátil y versátil. El diseño modular de su hardware y software permite configurarlo para diferentes tipos de aplicaciones ([www.reftek.com](http://www.reftek.com)). La siguiente figura 4.4 muestra las especificaciones técnicas del equipo.



ESPECIFICACIONES MECANICAS	
Tamaño	5.3" (135mm) alto x 7.3" (185 mm) ancho x 13.5" (343mm) largo
Peso	4.5 lbs (2kg)
Integridad de estanquidad	IP 67
Choque	Sobrevive a una caída de 1 metro en cualquier eje
Temperatura operacional	-20° C a +60° C
Voltaje	10 a 16 VDC
Capacidad de grabación:	
Batería Bascked SRAM	8 a 16 MB especificaciones de usuario
Disco Duro	2.4.8.16 GB con dos CFII cartas



**Figura 4.4** Especificaciones técnicas del *REFTEK 130B* ([www.reftek.com](http://www.reftek.com)).

-Sensor *Observer* modelo 151-30

Es un sensor de retroalimentación de fuerza de balance disponible con ancho de banda de frecuencia de 0.033 Hz (30 seg) - 50 Hz, siendo capaz de medir amplias gamas de frecuencia de movimiento, desde ruido de fondo local hasta fuertes vibraciones. Contiene tres sensores independientes (uno vertical y dos horizontales) con una función de circuito de realimentación electrónica, control y circuitos de conversión de potencia, bajo ruido, amplio rango dinámico y de fácil instalación y uso (figura 4.5).



**Figura 4.5** Sensor *Observer 151-30* ([www.reftek.com](http://www.reftek.com)).

El sensor tiene incorporado un sistema de nivelación, bloqueo y desbloqueo de masa. El mecanismo de nivelación incluye dos niveles de burbuja, tornillos de nivelación ajustables y tres tuercas de seguridad que se encuentran en el exterior del sismómetro. (www.reftek.com).

-Libreta o reporte.

Esta se empleara para tomar nota de hora de inicio y final de cada estación, fecha y día juliano, ubicación geográfica tanto del GPS navegador, como del GPS del digitalizador REFTEK, nombre de la estación, y algún dato de importancia, como población cercana, transito vial y animal, cercanía al lago de Maracaibo, o alguna falla que presente el equipo.

- Brújula.
- GPS navegador marca Garmin.
- Batería 12V.
- Vehículo.
- Mapa de ubicación de las estaciones.

#### **4.3.2 Parámetros de Adquisición**

Se trabajó de acuerdo a las recomendaciones del Proyecto SESAME (2004), para la aplicación de la técnica de relación espectral H/V sobre vibraciones ambientales.

Tiempo de grabación: 40 minutos

Frecuencia de muestreo: 200 Hz.

Para el diseño del mallado se estableció:

Para vías principales espaciamiento de 3 km.

Para vías secundarias espaciamiento de 5 a 7 km.

#### **4.4 Metodología de Adquisición:**

-Con el uso del GPS, se ubica la estación a medir en el área de estudio. Se ubica el sensor preferiblemente sobre asfalto, o en caso de que no fuera posible, sobre suelos duros, de igual manera se protegió el sensor de temperaturas ambientales elevadas.

-Se coloca el sensor a una distancia aproximada de 5 m del digitalizador, para evitar ruido electrónico, usando la brújula se orienta el norte del sensor con el norte geográfico. Luego se verifica la horizontalidad del sensor, observando que las burbujas de los dos niveles se



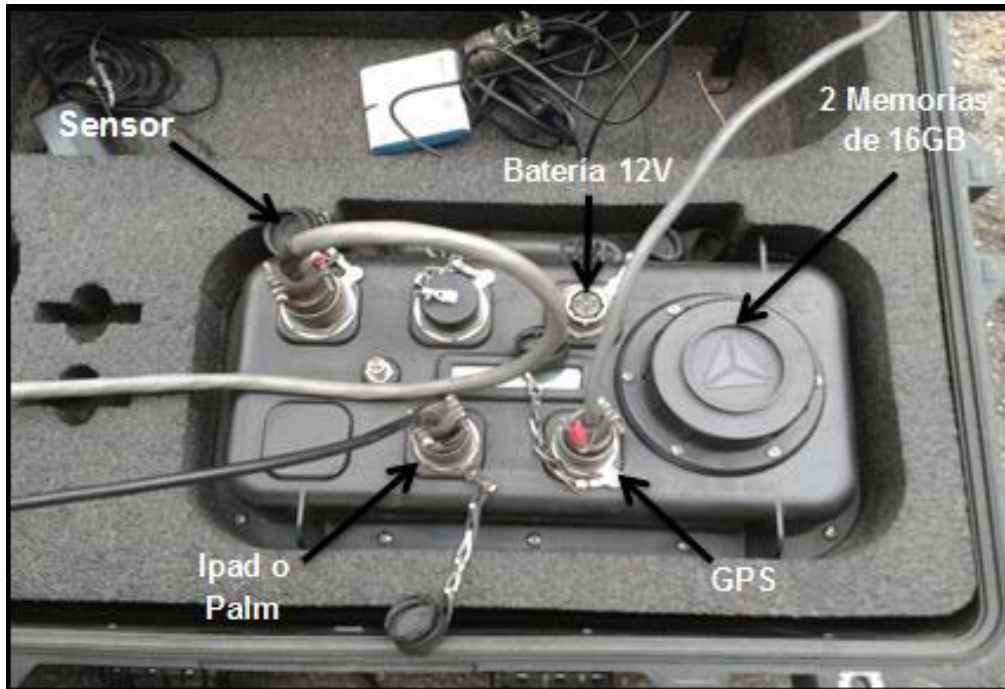
encuentren centrados, sino es así se ajustara, esto se realiza aflojando la tuerca de seguridad y con el destornillador enroscando los tornillos de nivelación hasta que se nivele la burbuja, luego se vuelve a apretar la tuerca de seguridad para bloquear las masas. Seguidamente se conecta el cable a la respectiva entrada del sensor y en el digitalizador en la entrada “*CHAN 1-3*”.

-Se coloca el GPS en un área estable y alta, conectando el cable a la entrada ***GPS***.

-Se enciende el equipo de control y se verifica que tenga instalado el programa REFTEK IFSC, se conecta al digitalizador en la entrada ***SERIAL*** (figura 4.6).

-Posteriormente se liberan las masas del sensor, esto se realiza usando la llave que se encuentra en la caja que transporta el mismo, girando de ***LOCK*** a ***UNLOCK***, después de esto el sensor no puede ser movido o tocado

-El cable conectado a la batería de 12V, se conecta a la entrada ***POWER***. Cuando la pantalla del digitalizador indique ***ON***, se procede a entrar al programa REFTEK IFSC, para observar los parámetros de grabación se eligen las opciones: ***control->status***; si se quiere observar en tiempo real la adquisición, se escoge las opciones: ***control-> real time monitor***; y para verificar que los tres canales del sensor estén funcionando correctamente, se pulsa: ***control -> monitor -> data monitor***.



**Figura 4.6** Ubicación de los cables en las entradas del digitalizador.

Para empezar la grabación, en la opción *control* -> *status*, se selecciona la opción *ON*, seguidamente se debe anotar en una planilla de reporte, la hora exacta en que empezó la grabación, fecha y día juliano, nombre del archivo, ubicación geográfica, número de estación y observaciones, tales como condición climática, tránsito o fuentes de ruido.

-Durante el proceso de grabación se debe evitar transitar muy cerca de los equipos, con el fin de garantizar el menor ruido local en los datos.

-Finalizado el proceso de grabación, se pulsara la opción *OFF*, seguidamente se reporta la hora y se desconecta la corriente, luego se bloquearan las masas del sensor, y se continúa con el desmontaje del equipo, para seguir a la próxima estación.

En la figura 4.7 se observan las distintas etapas de adquisición en campo.



**Figura 4.7** Adquisición de datos en campo.

#### **4.5 Metodología de procesamiento.**

A continuación se presentan los parámetros y algoritmos aplicados a los datos adquiridos en campo:

##### **4.5.1 Descarga y conversión de los datos:**

Posterior a la adquisición de datos de ruido sísmico en campo, se procede a retirar las memorias ubicadas en el digitalizador REFTEK, al final de cada día de medición, descargando los datos a un computador personal. Los datos se encuentran ordenados en carpetas enumeradas con su año y día juliano respectivamente como se observa en la figura 4.8. Cada uno de los datos se visualiza con el programa Reftek 130 data Viewer

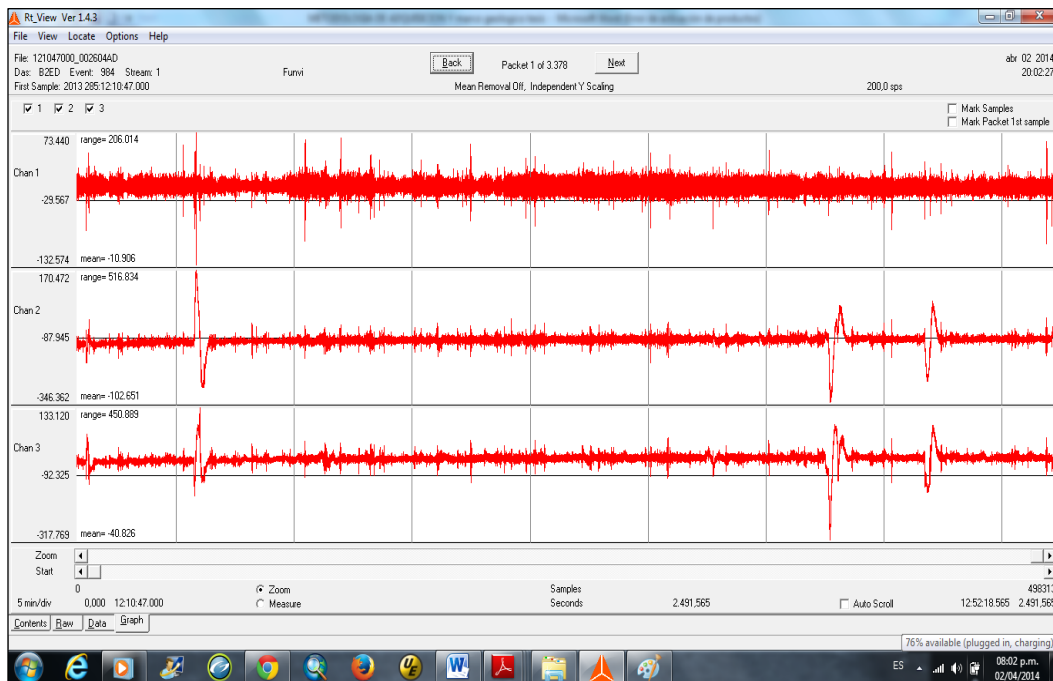
(RT\_View), para observar el comportamiento de la señal, y verificar que la grabación se haya realizado en los tres componentes (figura 4.9).

Documents library

Datos

Name	Date modified	Type	Size
2013279	13/02/2014 01:42 ...	File folder	
2013280	13/02/2014 01:42 ...	File folder	
2013281	13/02/2014 01:43 ...	File folder	
2013282	13/02/2014 01:43 ...	File folder	
2013283	13/02/2014 01:43 ...	File folder	
2013284	13/02/2014 01:43 ...	File folder	
2013285	13/02/2014 01:43 ...	File folder	
2013286	13/02/2014 01:44 ...	File folder	
2013287	13/02/2014 01:44 ...	File folder	
2013288	13/02/2014 01:44 ...	File folder	
2013289	13/02/2014 01:44 ...	File folder	
2013290	13/02/2014 01:45 ...	File folder	

**Figura 4.8** Carpetas con datos extraídos de las memorias del digitalizador REFTEK.



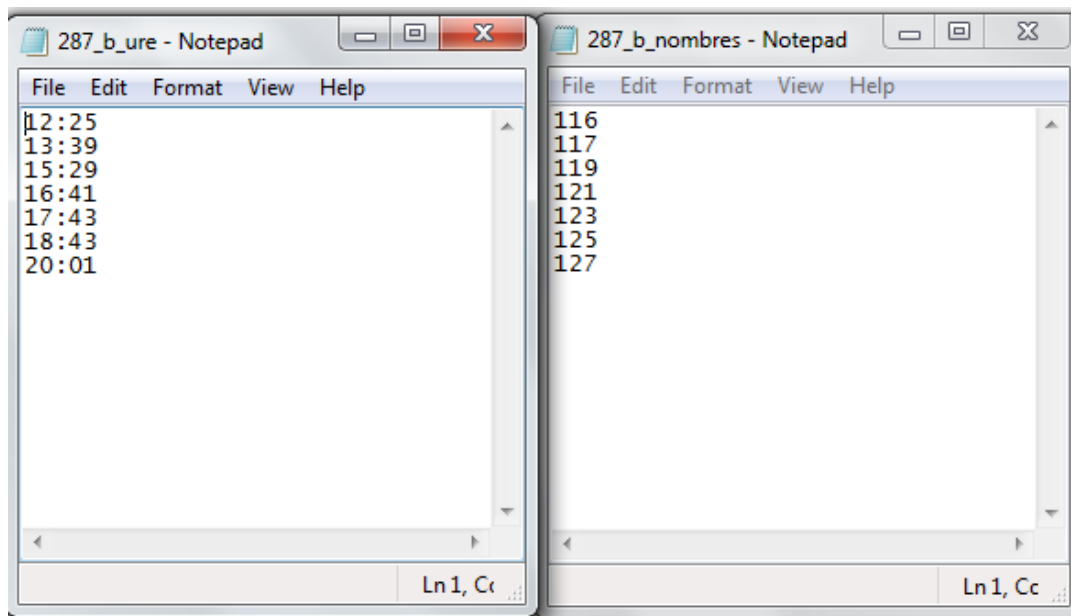
**Figura 4.9** Visualización de la señal con programa RT\_View.

Los archivos de los datos vienen dados en formato escrtax Object, este tipo de archivo no es compatible con Geopsy, por lo que debe ser transformado a un formato que pueda ser leído por este programa.

#### 4.5.2 Transformación de los Datos a Formato SAF (Sesame ASCII Format).

Para la transformación de estos archivos a .SAF (Sesame ASCII Format), se utilizó la rutina del tutorial “Guía de uso de programas conversión Reftek2SAF” de Victor Rocabado (2012), siendo este formato el necesario para el procesamiento de los datos en el programa Geopsy. Para esto se utilizó la aplicación *Labview*, el mismo presenta una interfaz gráfica en la cual se debe tener en cuenta el número de datos, y la duración de la grabación.

Se crea un archivo txt que incluya las horas de registro para cada una de las estaciones, correspondientes al día juliano de adquisición y otro con el nombre de las estaciones, como se muestra en la siguiente figura 4.10:

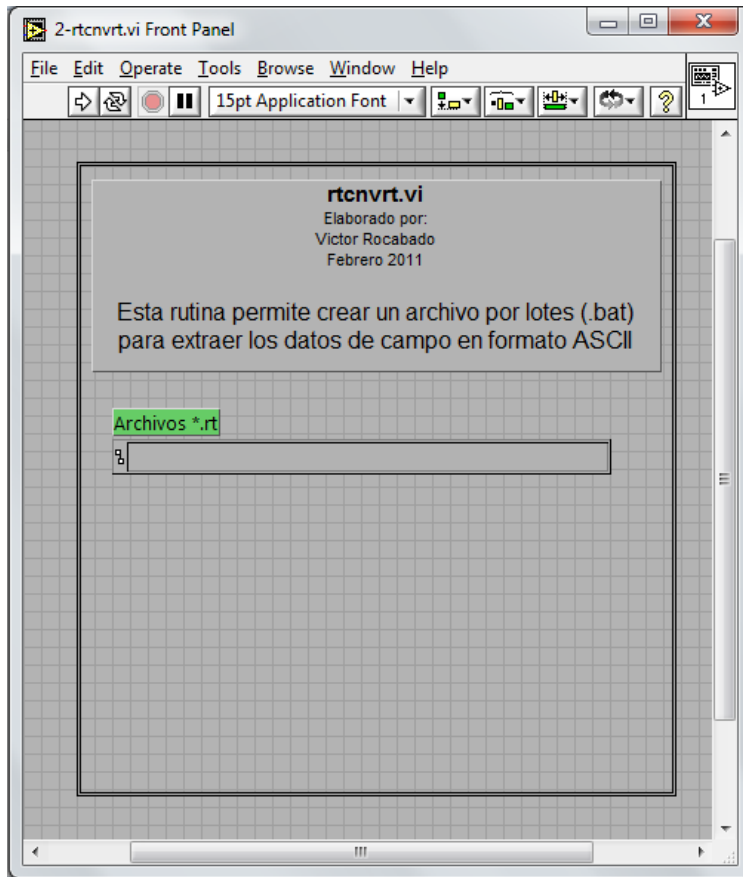


**Figura 4.10** Archivos txt con horas de registro y nombre de las estaciones.

Se completa la conversión ejecutando las rutinas: 1-arcfetch.vi, 2-rtcnavrt.vi, 3-movedata.vi y 4-Ref2Saf.vi.

Al ejecutar el programa “*1-arcfetch.vi*” en el directorio, se completa la información solicitada correspondiente al número de estaciones procesar, año, día juliano y la duración en minutos de la grabación.

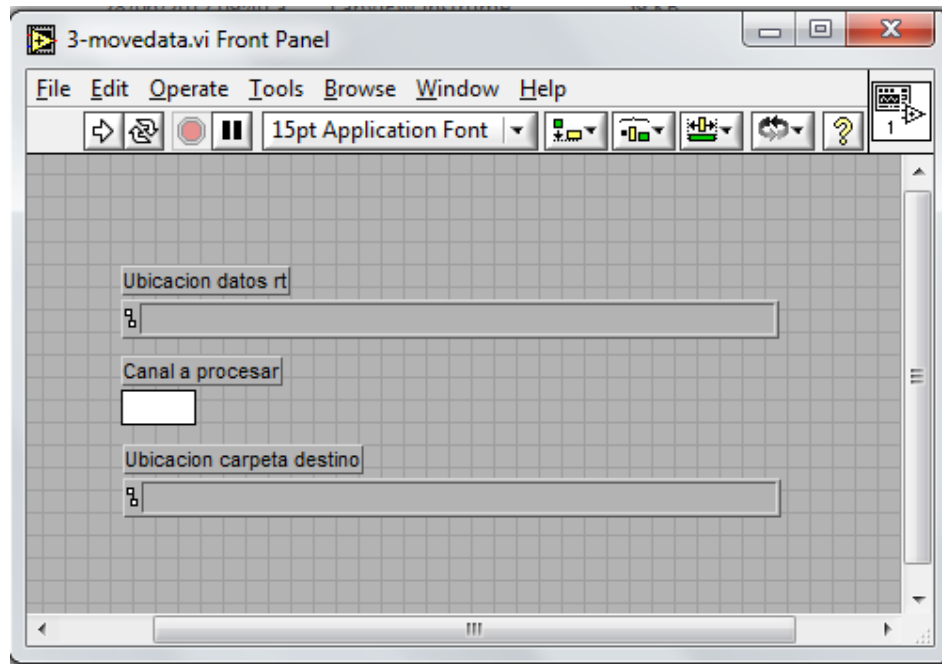
A continuación se abre la rutina “*2-rtcvrt.vi*” (figura 4.11) la cual permitirá exportar los datos actuales a formato ASCII.



**Figura 4.11** Rutina 2-rtcvrt.vi

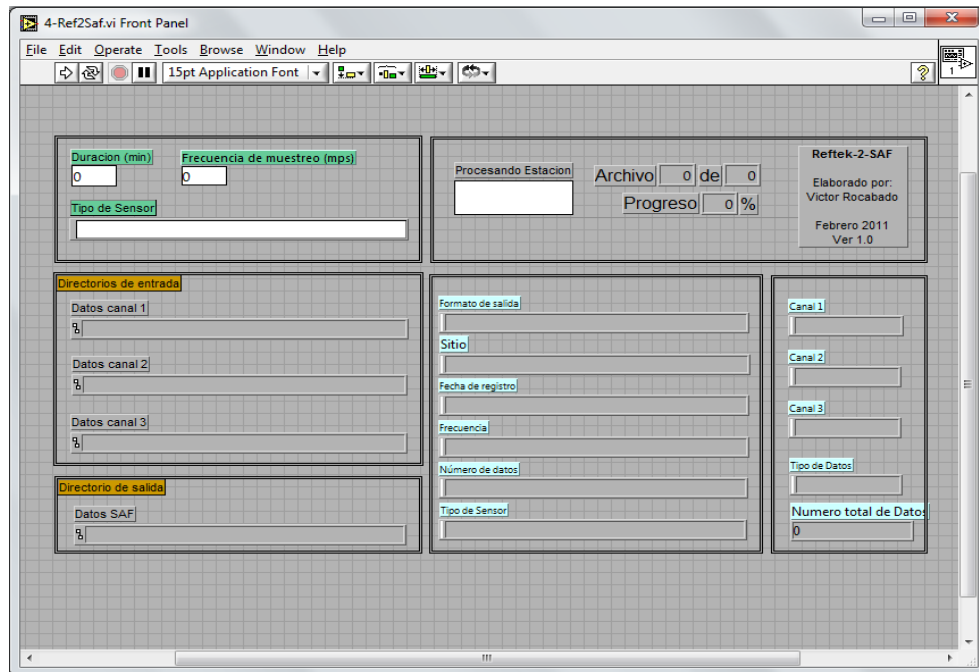
El programa preguntara por la ubicación del directorio que contiene los archivo .rt, se ubican en el directorio que contenga los datos y se selecciona *SelectCurDir*.

El siguiente comando a ejecutar es “*3-movedata.vi*” (figura 4.12), en el cual se debe indicar el número del canal a procesar (1, 2 o 3), ejecutándose la rutina para cada uno de los canales, luego se seleccionara *run*.



**Figura 4.12** Rutina *3-movedata.vi*

El último programa a ejecutar realiza la conversión de datos en formato ASCII a SAF, para ellos ubicamos el programa “*4-Ref2Saf.vi*” como se observa en la figura 4.13, esta ventana pide ingresar la duración en minutos de la estación, la frecuencia de muestreo y el tipo de sensor, así como la ubicación del archivo txt que contiene los nombres de las estaciones de determinado día de medición. En las próximas ventanas preguntara la ubicación de los datos ASCII correspondientes a los canales 1, 2 y 3.



**Figura 4.13** Rutina 4-Ref2Saf.vi

Una vez completado, el programa comenzara a generar los archivos .SAF.

#### **4.6 Procesamiento de las señales con el programa Geopsy:**

Geopsy es una interfaz gráfica de usuario para organizar, ver y procesar las señales geofísicas. A pesar de las ampliaciones de otros campos científicos o de ingeniería, este programa ha sido diseñado principalmente para la sismología y prospección sísmica (Geopsy manual, 2010).

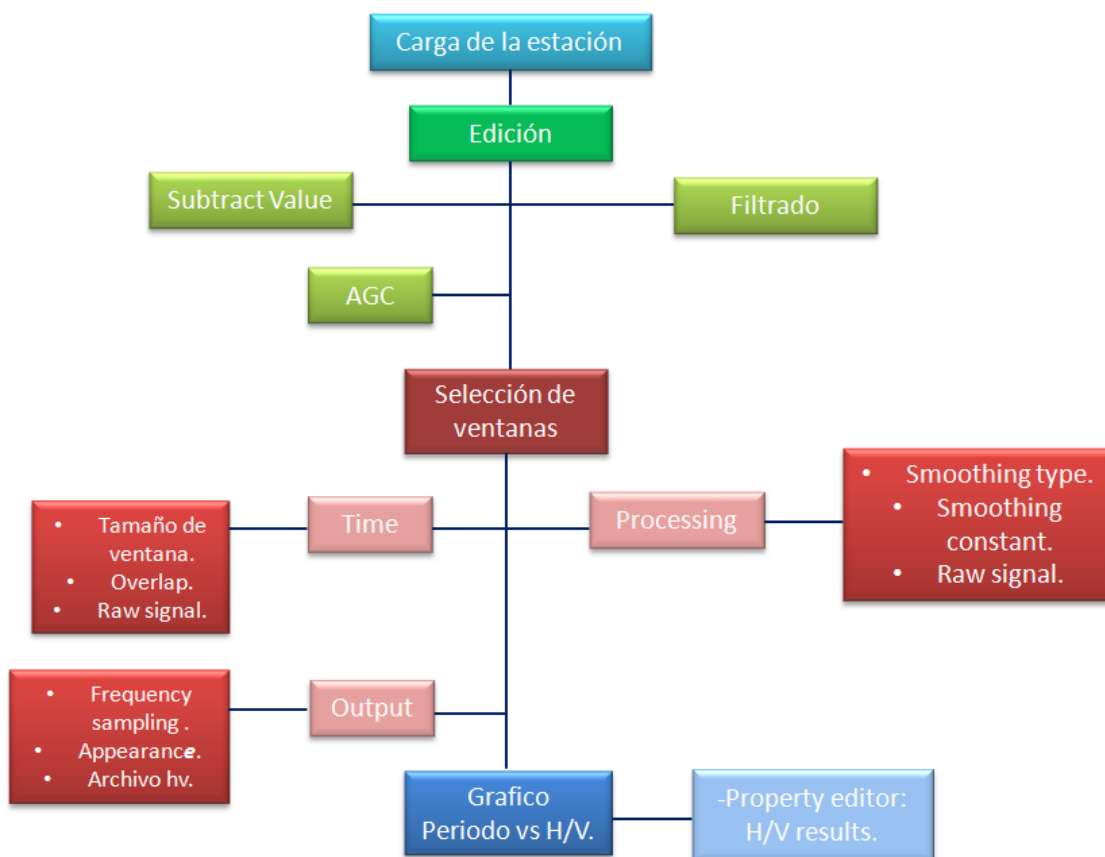
Con este programa se visualizan los datos obtenidos para cada una de las tres componentes, teniendo su principal ventaja en que hace una selección automática de ventanas y el cálculo de la relación H/V desde comandos externos, permitiendo obtener los valores de periodos predominantes del suelo de una manera muy fácil.

Una vez obtenida la transformación de los archivos a formato .SAF, se procede a cargar las estaciones de medición, utilizando como guía los perfiles previamente planteados y ploteados, con el fin de observar el comportamiento y cambio de los periodos, al trasladarnos a las cercanías del Lago de Maracaibo.



#### 4.6.1 Carga de las señales y aplicación de filtros.

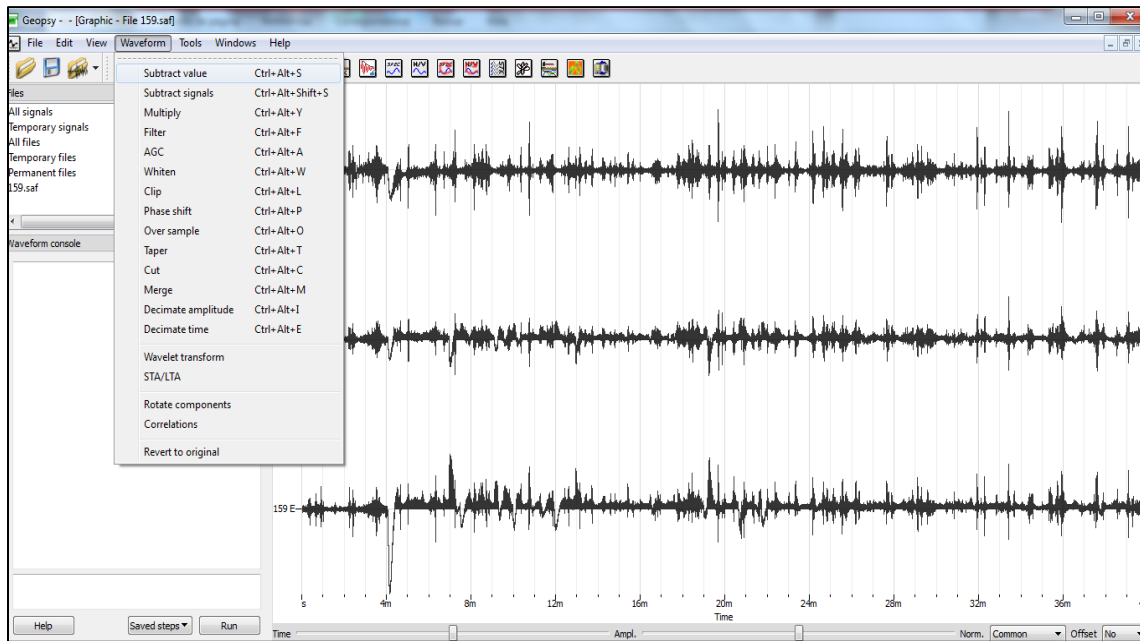
Se inicia el programa, utilizando la opción *Import signals*, a continuación se busca y selecciona en el directorio los archivos de la estaciones correspondientes al perfil a estudiar. En la pantalla aparece el registro dividido por canal (X, Y y Z), seguidamente se realiza una inspección visual del comportamiento de la señal, observando que cada canal haya grabado adecuadamente. Es importante destacar que cada estación fue procesada siguiendo estos parámetros, pero si la señal resulta poco certera o confusa, se probaran distintos rangos de valores hasta obtener una respuesta confiable. El esquema de procesamiento se observa en la figura 4.14.



**Figura 4.14** Esquema de secuencia de procesamiento de las señales de ruido sísmico.

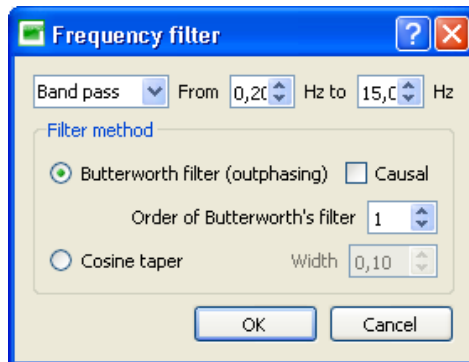
A continuación se elige la opción *Waveform* -> *Subtract Value* (figura 4.15), mostrando una ventana de dialogo, donde se escoge la opción *Mean value*, esta opción resta la media

aritmética de la señal de amplitud calculada durante toda la duración de la señal, de manera que elimina el valor de desplazamiento de las señales.



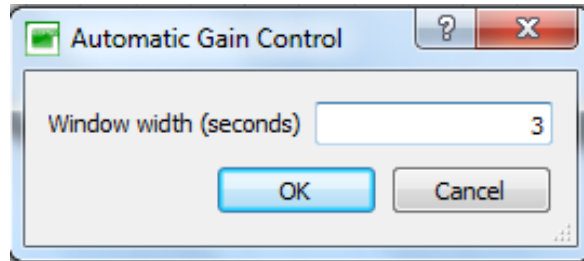
**Figura 4.15-** Ventana de trabajo Geopsy, con barra de herramientas “Waveform”.

Seguidamente en la misma opción *Waveform*, se selecciona la opción *Filter*, apareciendo en la pantalla una ventana de *Frequency filter*, donde se encuentran cuatro filtros disponibles: paso bajo, paso alto, pasa banda y rechazo de banda (figura 4.16), para este caso de estudio se utilizó pasa banda, debido a que nos interesa trabajar en determinado rango de frecuencias, se aplicó una ventana de 0,2 a 15 Hz, debido a que se trata de una cuenca profunda.



**Figura 4.16** Ventana de Frequency filter.

Posteriormente se procede a aplicar ganancia a la señal, con la opción *AGC* (control automático de ganancia) como se muestra en la figura 4.17, donde se aplicó un ancho de ventana de 3 segundos, esta opción modifica la amplitud de las señales, usando el ancho de ventana escogido como longitud de ventana en movimiento, en segundos, en la que se calcula el valor promedio alrededor del punto actual, la amplitud del punto actual se divide por este valor promedio.

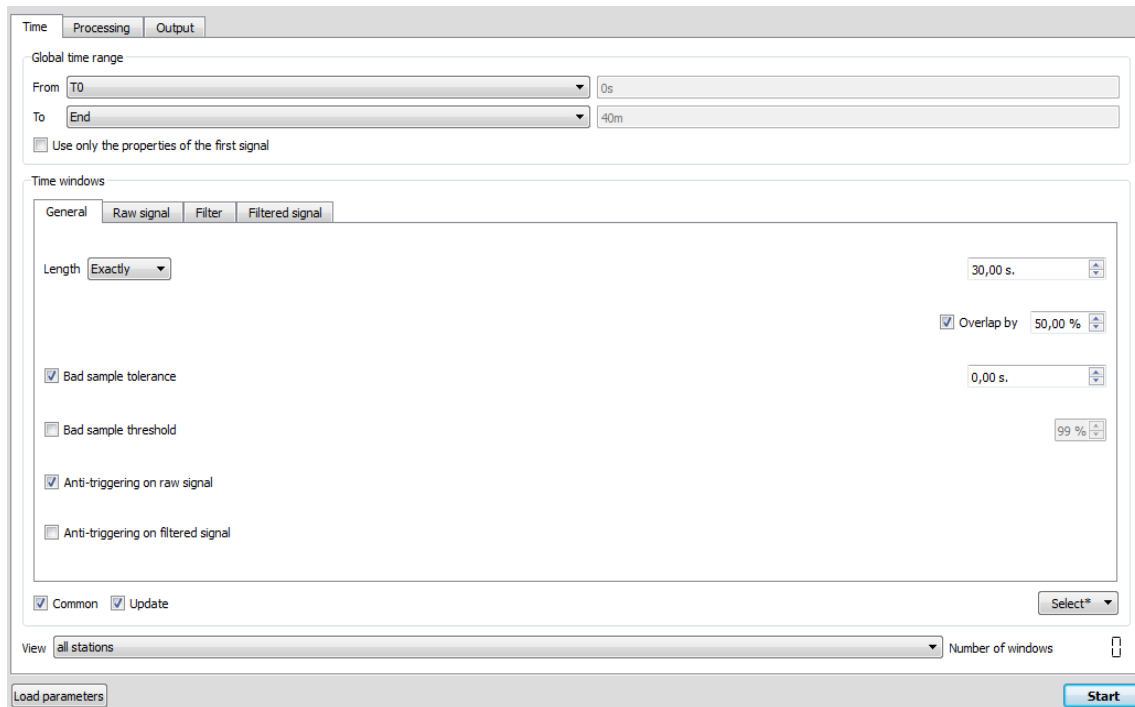


**Figura 4.17** Ventana de *Automatic Gain Control*.

#### **4.6.2 Selección de ventanas**

A continuación en el menú de herramientas, se hará elige el icono H/V, seguidamente aparecerá una pestaña para la selección de ventanas. En esta ventana se procederá a caracterizar los parámetros para cada estación, estos variaran para cada estación, dependiendo de factores como ubicación de la adquisición o visualización de la señal.

Esta ventana aparece dividida en 3 secciones: *Time*, *Processing* y *Output* (figura 4.18), inicialmente se introducirán los parámetros en la primera ventana. En la pestaña *Global time range*, se selecciona la parte de la señal que se procesara, en este caso, se selecciona completa, de 0 a 40 minutos.



**Figura 4.18** Parámetros a evaluar en la ventana de *Time, Processing* y *Output*.

La ventana de tiempos se divide en cuatro pestañas, la primera llamada **General** esta se utiliza para definir los criterios del proceso de selección de la ventana.

Para delimitar la longitud de la ventana, usamos la opción **Length**, esta puede venir dada por la duración exacta de tiempo o entre un rango de segundos, se utilizó la opción **Exactly**, donde todas las ventanas seleccionadas tendrán la misma duración de tiempo exacta. Como criterio se estableció que las estaciones cercanas al Lago, será de aproximadamente 120 segundos y para las cercanas a la cordillera, ventanas de 100 segundos.

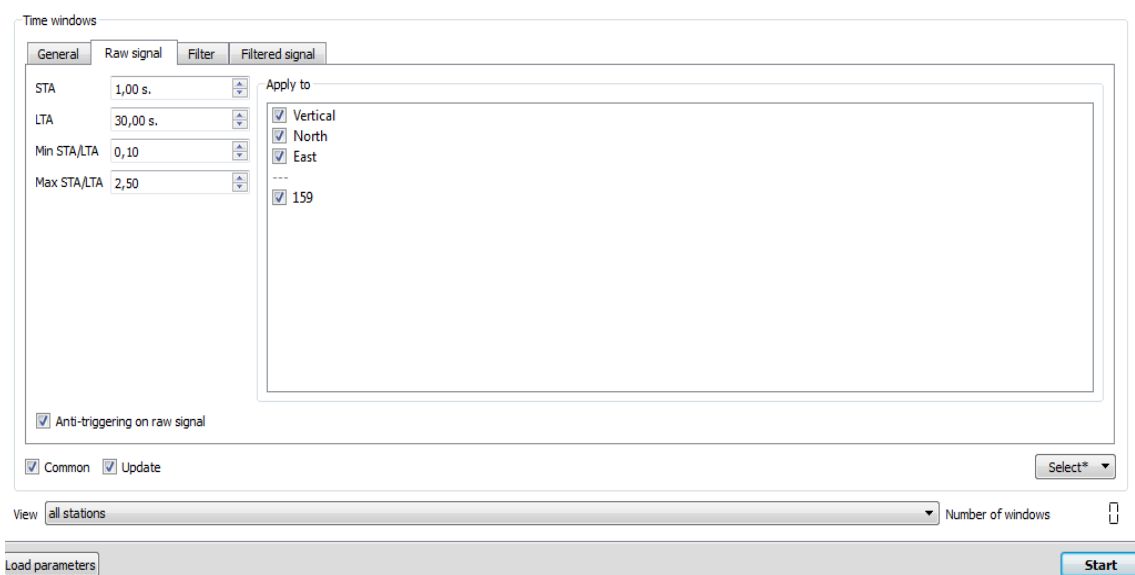
Se seleccionó la opción de **Overlap** usando un porcentaje de 50%, esta permite que ventanas sucesivas o contiguas se solapen, usando la superposición con el porcentaje escogido.

Posteriormente se marcaron las casillas de **Bad sample tolerance** y **Anti-triggering on filtered signal**, la primera correspondiente al número máximo de muestras malas que pueden ser aceptadas y la segunda conserva las partes más fijas de las vibraciones ambientales, aplicando en muestra por muestra a lo largo de la señal, los parámetros introducidos en la sub pestaña **Raw signal** (figura 4.19).

En la parte inferior de la sección de ventanas de tiempo, se encuentra el número de ventanas seleccionadas, y a la estación que corresponde, pudiéndose procesar todas las estaciones o una sola estación.

Luego en la segunda sub pestaña denominada **Raw signal**, se encuentra el algoritmo STA y LTA, esta herramienta se basa en la comparación de la amplitud de corto plazo promedio **STA** (*Short Term Average*), que es la amplitud de la señal en un periodo corto de tiempo (típicamente entre 0.5 y 2.0 segundos) y el promedio de largo plazo **LTA** (*Long Term Average*) que es la amplitud de la señal en un periodo de tiempo mayor (típicamente entre 20 y 60 segundos). Cuando la razón STA/LTA supera cierto valor del *Max STA/LTA*, se estima que se está en presencia de un ruido puntal. Mientras la razón STA/LTA no supere el *Max STA/LTA* se estaría en presencia de un ruido estacionario. Este algoritmo se utiliza para procesar las señales únicamente en ventanas de tiempo estacionarias.

Si la amplitud de la señal en el periodo de tiempo definido de ventana, se enmarca dentro de los límites mínimo y máximo, esa parte de la señal será considerada adecuada para el cálculo de razones espectrales.



**Figura 4.19** Ventana *Raw signal*.

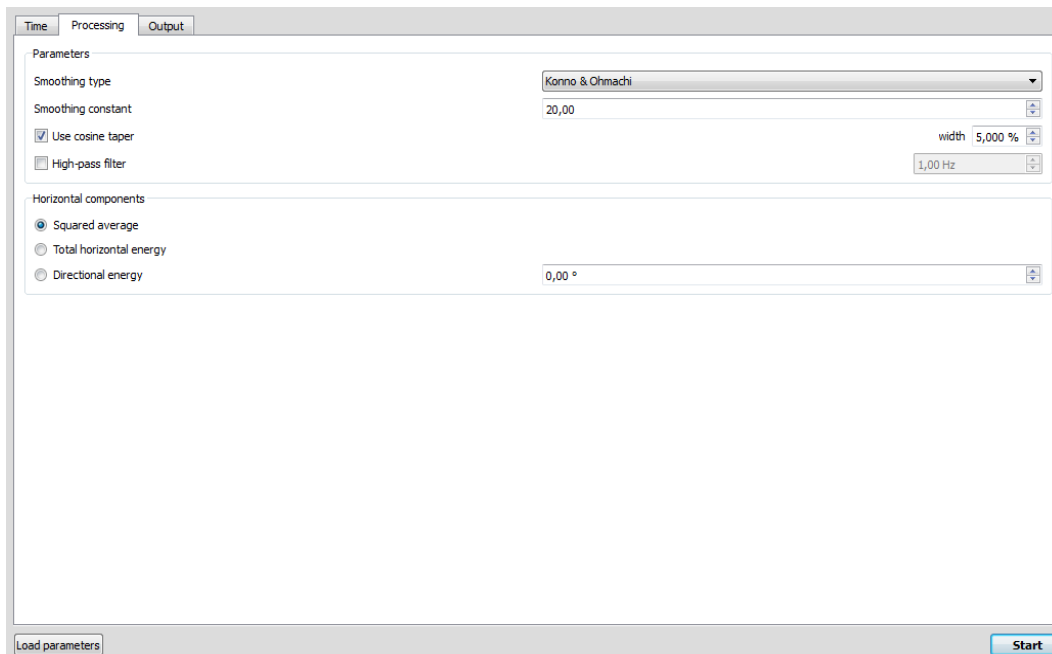
Las sub pestañas **Filter** y **Filtered Signal** no se encuentran activas debido a que no se escogieron en la ventana de tiempos.

En la segunda sección llamada **Processing** (figura 4.21), se establecen los parámetros de suavizado y los componente horizontales. Los espectros se suavizaron por medio de la función **Smoothing**, se utilizó el método **Konno & Ohmachi** usando **Cosine Taper** y una constante de 20% o 30%, dependiendo de la señal, este tipo de suavizado consiste en utilizar un ancho de banda constante en una escala logarítmica. Esto con el fin de obtener un espectro más suavizado, curvas más limpias y libres de picos transitorios.

Para los componentes horizontales se utilizó el recomendado por el programa: **Squared average**, el cual calcula el promedio al cuadrado (figura 4.20), obteniendo el espectro horizontal, mediante la combinación de los componentes NS y EO, usando la fórmula:

$$H(f) = \sqrt{\frac{N^2(f) + E^2(f)}{2}}$$

**Figura 4.20** Fórmula de promedio al cuadrado.



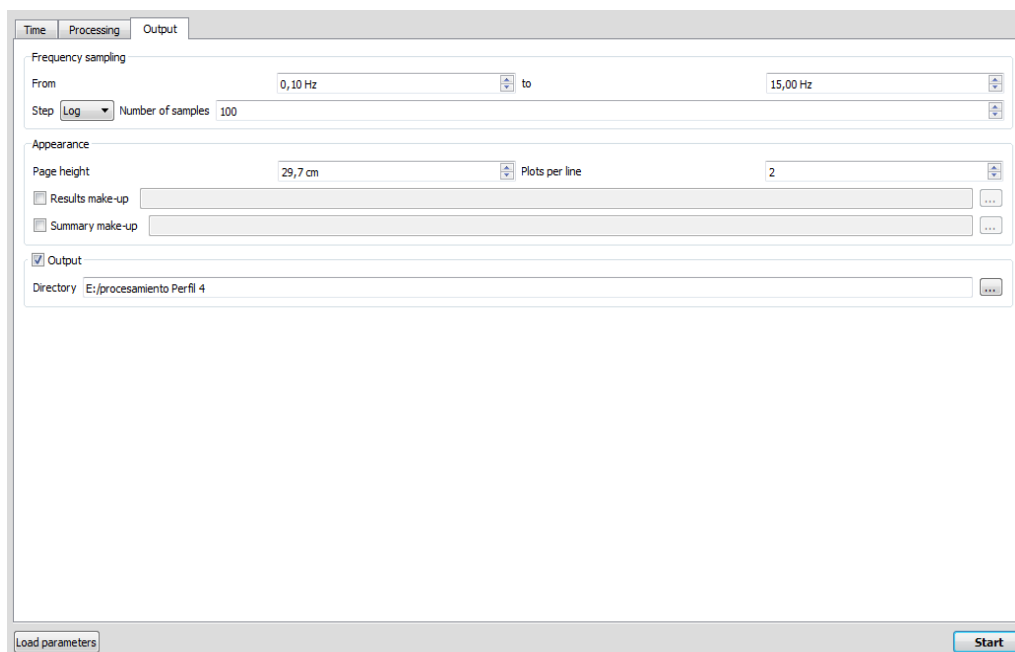
**Figura 4.21** Ventana *Processing*.

Luego en la ventana **Output** (figura 4.22), el usuario puede fijar los parámetros de salida y guardar los resultados.

En *Frequency sampling* el usuario puede fijar los parámetros sobre los límites de frecuencia, para este caso se estableció desde 0,06 hasta 15 Hz, debido a que estos valores determinaran los valores en el eje de periodo.

En la sección de *Appearance*, se pueden determinar los parámetros de la apariencia de los gráficos, donde se utilizaron los sugeridos por el programa.

Seguidamente en la sección de salida *Output*, se selecciona en el directorio la carpeta donde se desea que se guarde automáticamente el procesamiento, creándose dos archivos de salida: un archivo de parámetros (.log), y un archivo de resultado (.hv).



**Figura 4.22** Pestaña *Output*.

A continuación en la pestaña *Time Windows* -> *General*, en la sección de selección de ventanas (Figura 4.23) se escoge *Auto* y el programa automáticamente elegirá las ventanas que concuerden con los opciones antes escogidas (figura 4.24), si alguna de las ventanas no presenta visualmente las condiciones establecidas o incluso se desea incluir otras ventanas, el usuario puede pulsar la opción *Remove* o *Add* y hacerlo manualmente.

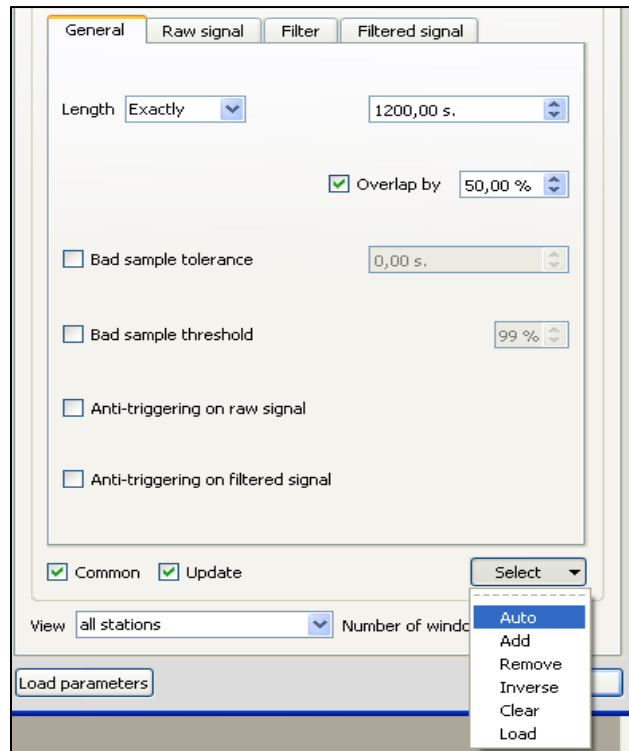


Figura 4.23 Pestaña *Time windows*. Selección de ventanas.

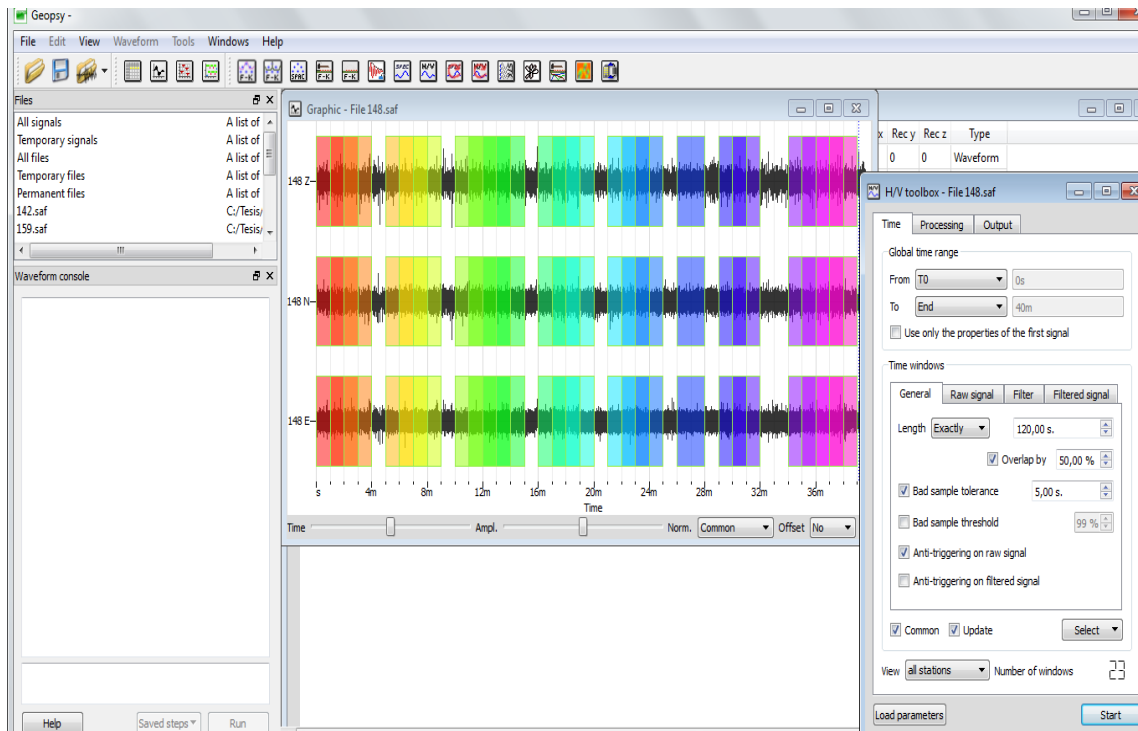
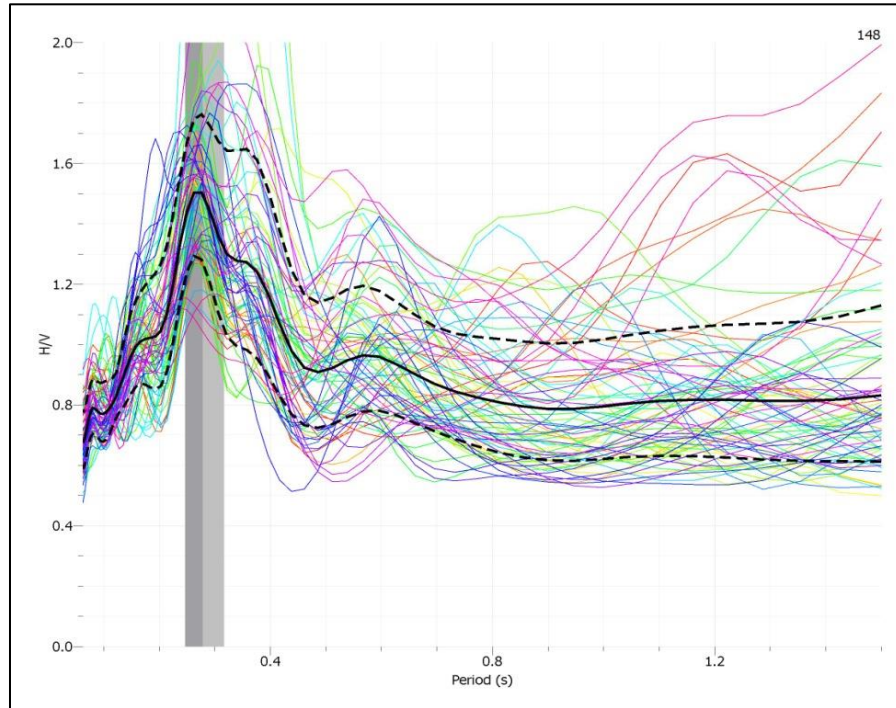


Figura 4.24 Ventanas seleccionadas para estación 148.



En seguida de verificar la información de las ventanas, se procede a pulsar nuevamente *Start* y aparecerá en pantalla el grafico correspondiente Periodo vs H/V, como se muestra en la siguiente figura 4.25:



**Figura 4.25-** Grafico H/V vs periodo para estación 148.

En este grafico se presenta el cociente espectral H/V de la estación 148, en el eje horizontal se muestra el rango de periodos (segundos), y en el eje vertical se muestra la relación adimensional H/V.

La curva continua en negro, representa el promedio de todas las curvas H/V individuales de colores. Las dos curvas discontinuas de color negro muestran la máxima y mínima desviación estándar.

El área gris constituye el periodo máximo promedio y su desviación estándar, el valor del periodo está en el límite entre la zona gris claro y oscuro.

Cuando se selecciona el grafico, aparecerá una ventana llamada **Property Editor: H/V Results** (figura 4.26), en donde se puede cambiar la apariencia del gráfico, modificando la

distancia del eje X y eje Y, así como las unidades, esto dependerá de los requerimientos del usuario.

Los valores de los picos representativos en la gráfica, son copiados en una hoja de cálculo en Excel, para luego correlacionan con información geológica, tomar la correcta elección de los picos.

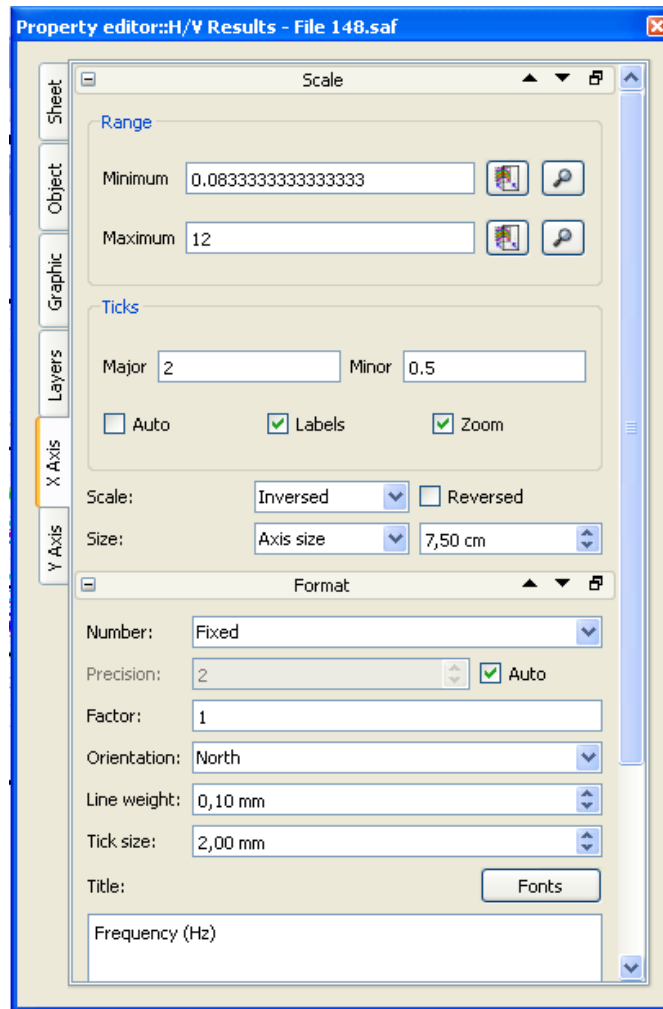


Figura 4.26- Ventana de *Property Editor: H/V Results*.

#### 4.7 Análisis Estadístico.

La aplicación de un análisis estadístico, se basó en analizar la relación H/V arrojada para cada estación, estudiando las medidas de dispersión central: desviación estándar, varianza y rango, medidas de tendencia central: la media, moda y mediana, y seguidamente obtener el análisis de histograma de frecuencias, a través del programa Excel, con el propósito de

observar el comportamiento de los datos, verificar y cuantificar la calidad de los datos obtenidos en la presente investigación.

#### 4.8 Cálculo de Vs para estimación de espesores.

Según los estudios de investigación realizados por Abeki *et al.* (1995), y Rocabado *et al.* (2002), los periodos predominantes están relacionados con la profundidad de la estructura sedimentaria.

Para el cálculo de la profundidad de los espesores, se utilizó la relación densidad – velocidad de onda S (figura 4.28), a través del gráfico de relación empírica entre la densidad y la velocidad de onda S y onda P, extraído del Lowrie W. (2007), el cual es una curva de densidad idealizada a partir de relaciones empíricas.

Se trabajó con la información de registros de pozos extraída del trabajo de Carrero, R. (2008), donde el registro de densidad arroja un valor de 2,25 gr/cm<sup>3</sup>, esto se observa en la figura 4.27.

Asimismo, con el objeto de verificar este cálculo, se utilizó la ecuación 5 propuesta por Brocher, T. (2005a), de la guía de velocidad de onda S versus profundidad, de la investigación realizada en la bahía de San Francisco, donde usando la relación de Vs en función de la Vp, propuso nuevas relaciones empíricas basadas en la compilación de varios tipos de roca.

$$V_s \text{ (km/s)} = 0.7858 - 1.2344V_p + 0.7949V_p^2 - 0.1238V_p^3 + 0.0064V_p^4.$$

Ecuación 5.

De acuerdo con estas propuestas, se calcularon las Vs por ambos métodos, donde de acuerdo a la bibliografía consultada, los resultados obtenidos mostraron un mejor ajuste al modelo planteado por Brocher (2005). En la tabla 4.1 se observan los valores calculados.

**Tabla 4.1** Valores calculados para picos observados.

1º pico	Vs (m/s)	1700
2º pico	Vs(m/s)	1900

A continuación se procedió a realizar el cálculo de la profundidad correspondiente a cada pico, esto se realizó usando la ecuación 6 propuesta por Kramer, S. (1996) la cual relaciona el periodo predominante con las condiciones del suelo.

$$T_0 = \frac{4H}{V_s}$$

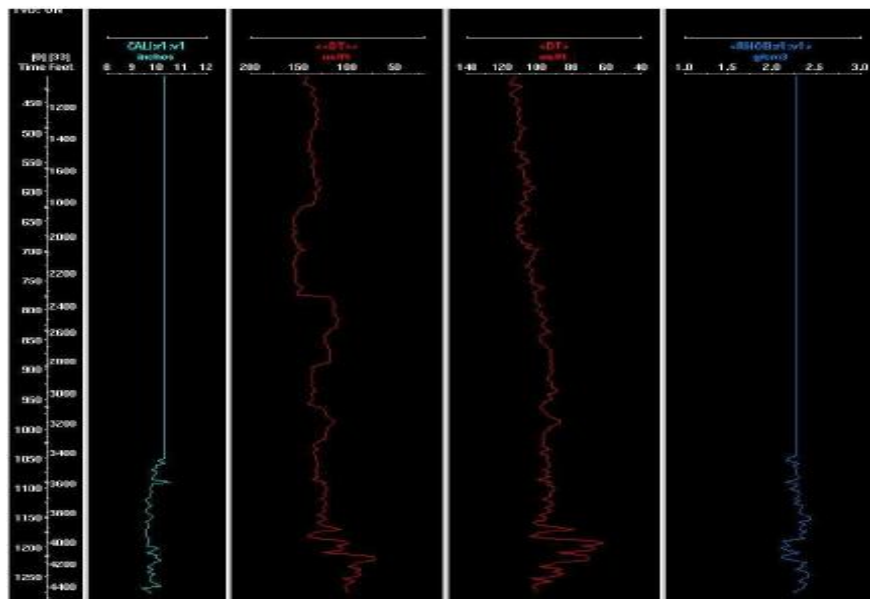
Ecuación 6.

Donde  $T_0$  es el periodo dominante

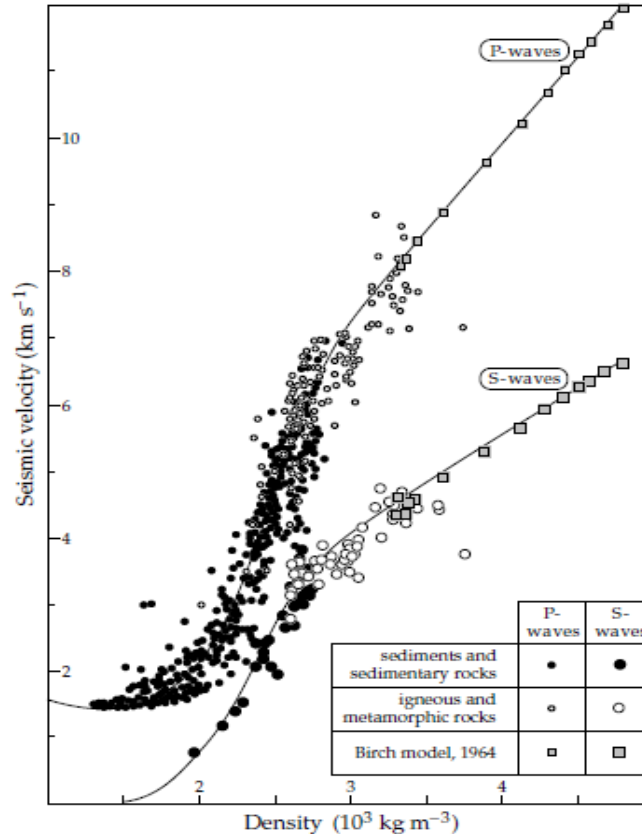
$H$  es el espesor del estrato compresible

$V_s$  es la velocidad de onda de corte

A partir de este cálculo, se realizaron mapas de espesores, con el uso del programa ArcGis 10, esto con la finalidad de observar la relación entre los valores de periodos y espesor, así como las variaciones laterales sobre cada perfil, y su geometría.



**Figura 4.27** Sismograma sintético extraído del trabajo de Carrero, R. (2008).



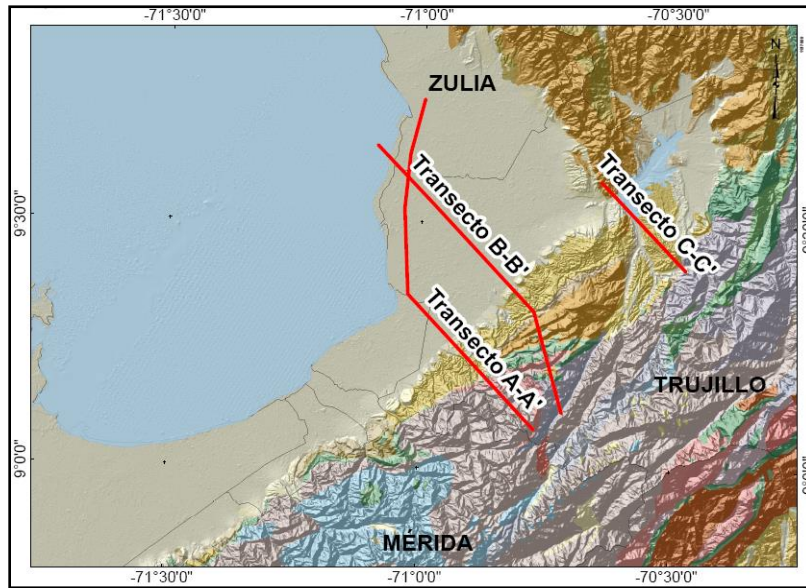
**4.28** Grafico de relación empírica entre la densidad y la velocidad de onda S y onda P. (Lowrie, 2005)

#### 4.9 Datos de apoyo en líneas sísmicas 2D y pozos.

Se contó con información de pozos y transectos sísmicos, realizados por PDVSA (figura 4.29. Con el objeto de compilar información que permita correlacionar y comparar los resultados.

Este trabajo realizado por PDVSA, se denomina “Cinemática del flanco Noroccidental de los Andes de Mérida, Venezuela: Interacción entre estructuras de piel fina y piel gruesa”, realizado por Requena y Turienzo (2014).

La información de pozos y sísmica realizada, nos proporcionó información con respecto a profundidad y espesor de las principales unidades estratigráficas de la cuenca, que podrían estar relacionada con los picos en el espectro de los microtremores.



**Figura 4.29** Mapa de ubicación de los transectos sísmicos- estructurales (PDVSA, 2014).

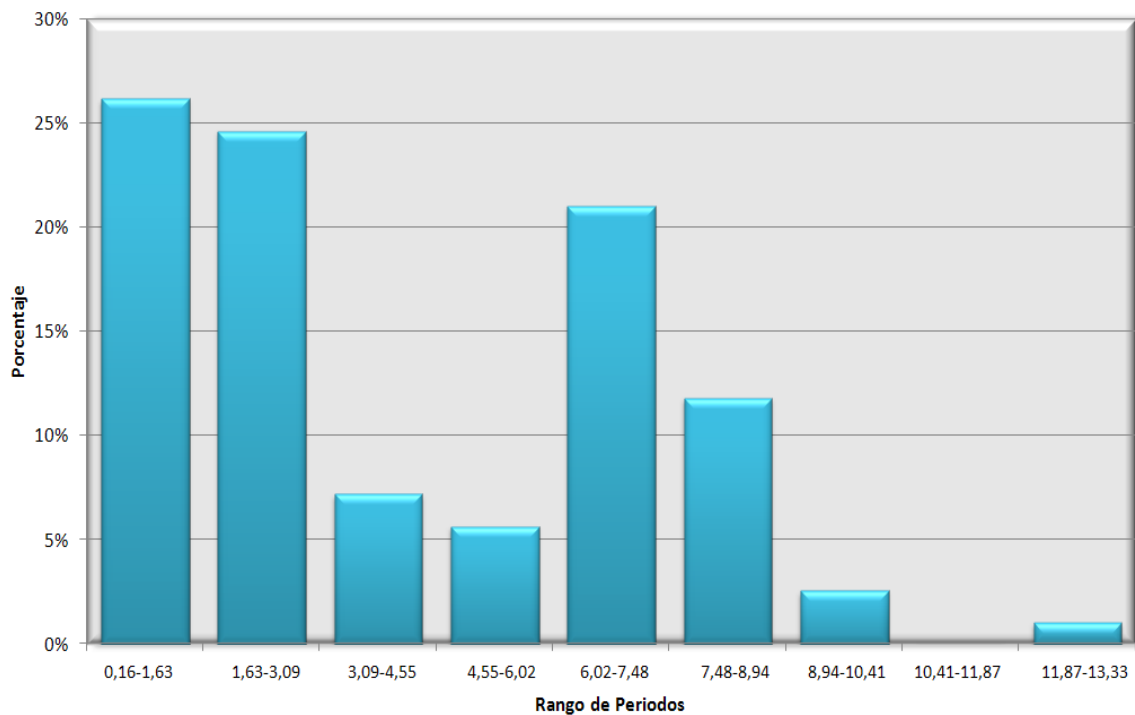
## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y ANALISIS

#### 5.1 Análisis estadístico

Al finalizar la etapa de adquisición y procesamiento de los datos adquiridos, mediante la aplicación del método de Nakamura, y con la obtención de los valores de periodos, se procedió a efectuar un análisis estadístico, de manera de determinar el comportamiento de distribución de los datos y la tendencia central, utilizando histogramas (figura 5.1), así como el cálculo de la media, mediana, moda, varianza, asimetría y desviación estándar, esto se observa en la tabla 5.1.

Al realizar el histograma de la representación gráfica de la distribución de periodos, se observaron 9 clases de conjunto de datos, donde de manera gráfica se observa un comportamiento asimétrico y multimodal.



**Figura 5.1** Histograma de frecuencia de distribución de los periodos.

**Tabla 5.1** Medidas de dispersión y tendencia central.

Moda	0,77
Media	2,82
Mediana	3,20
Desviación estándar	2,94
Varianza	8,66
Nº de datos	195
Ancho de clase	1,46
Máximo	13,33
Mínimo	0,16
Rango de datos	13,1
Asimetría	0,47

En el histograma de frecuencias de distribución de los períodos, generado con un total de 195 datos, que muestra en el eje horizontal los valores de períodos, los cuales oscilan de 0,16 a 13,33 s, y separados cada 1,47 s, con un patrón de tendencia multimodal con comportamiento asimétrico, de tres subpoblaciones, por lo que gráficamente se puede comprobar que no estamos en presencia de una distribución normal.

Al analizar el histograma, se puede apreciar que en el intervalo de períodos de 0,16 a 1,63s, se concentra la mayor población, con un porcentaje de 26%, seguidamente con un 25%, se encuentra el rango de 6,02 a 7,48 s y una tercera subpoblación con un 21% oscilando de 6,02 a 7,48 s, siendo estas 3 subpoblaciones las más significativas. Al identificar estos elementos, se puede afirmar que se trata de un factor indicador de tres contrastes de litología distinta, esto se correlaciona con los tres picos que fueron observados para cada estación.

Los rangos correspondientes a 3,09 s y 4,55 s, presentaron un comportamiento similar, con un porcentaje de frecuencia de 5% a 7%, y los valores de 10,41 s y 11,87 s, fueron los que menos se repitieron, siendo estos asociados a los valores del tercer pico, el cual no fue visualizado en todos los espectros.

De acuerdo con el análisis de la tabla 5.1 correspondiente a las medidas de variabilidad y tendencia central, se observa un valor máximo de 13,33 s, el cual representa el 100% del porcentaje acumulado, y un mínimo de 0,164 s, que refleja el menor valor de la población. Entorno a esto, se observó que los valores de la mediana y la media son semejantes,

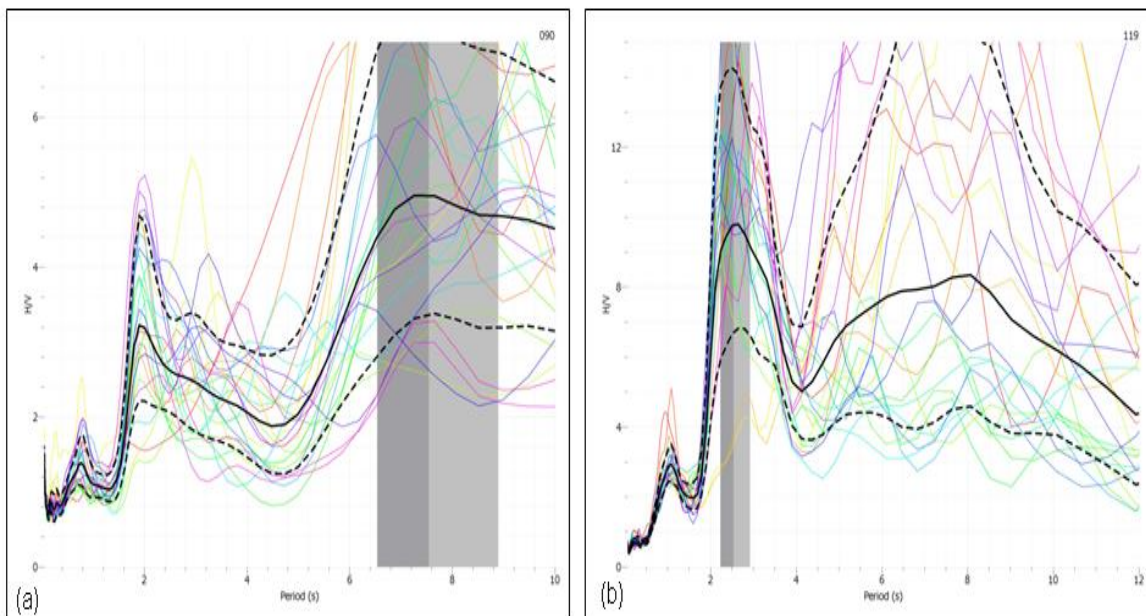


indicando una distribución normal, pero el valor de la moda difiere significativamente de ambos, mostrando la asimetría de la gráfica (figura 5.1). Al analizar los valores de medidas de dispersión se observa una desviación estándar de 2.9474 esto nos indica la dispersión que tienen los datos con respecto a la media, y al tener un valor mayor que la media y la moda, nos muestra el comportamiento heterogéneo que tienen los datos, alejándose de un comportamiento de distribución normal. El valor de la varianza es de 8,662, representando la dispersión en los datos, esto debido al comportamiento multimodal del histograma. El histograma observado en la figura 5.1, confirma el análisis realizado de tendencia central y dispersión de los datos.

El valor de asimetría fue de 0,47258, lo cual permitió identificar la distribución de los datos alrededor de la media, donde se observa que la mayoría de los datos se encontraron por encima del valor de la media, correspondiendo a una asimetría positiva.

## 5.2 Cocientes espectrales H/V

A partir del procesamiento de los datos de ruido sísmico ambiental, se obtuvieron los cocientes espectrales, donde se determinaron los valores de períodos para cada medición a través del gráfico de relación H/V. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 5.2, donde se observa la estación 090 y 119 respectivamente:



**Figura 5.2** Relación H/V para dos estaciones. (a) Estación 090, ubicada en el perfil N° 1. (b) Estación 119, ubicada en el perfil N° 6.

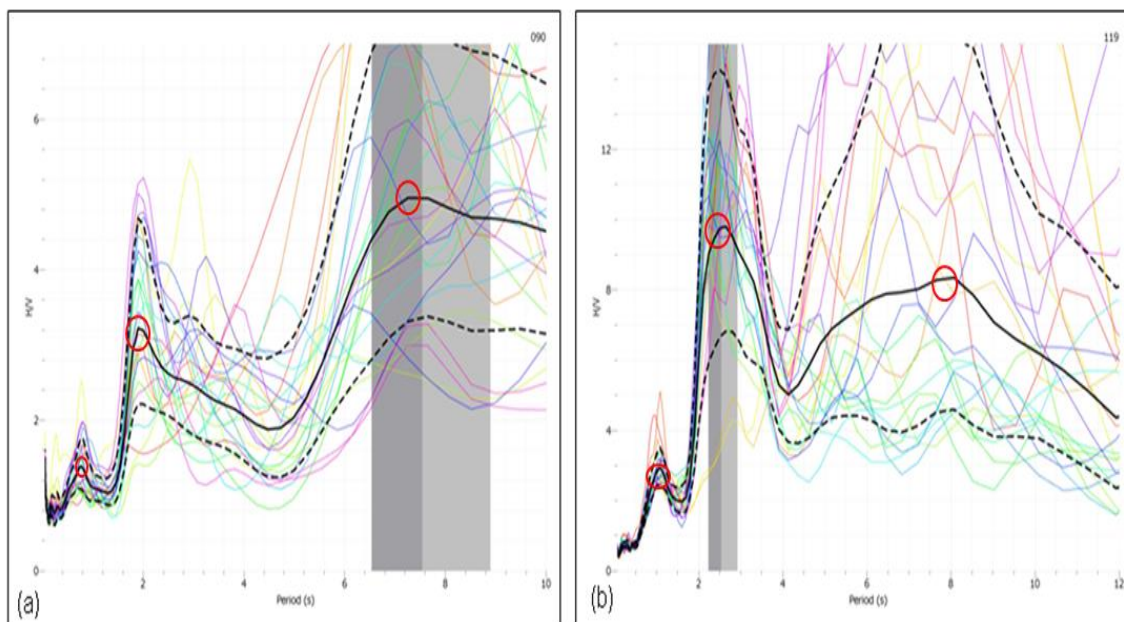
Se realizó la selección de las amplitudes más representativas de periodos de la señal, donde los picos claros representan la presencia de un fuerte contraste de impedancia, mientras que los picos poco claros o planos, representan un bajo contraste. La información suministrada por estos gráficos, fueron registrados en una hoja de Excel, como se muestra en la tabla 5.2 donde se especificara el perfil al que pertenece la estación, nombre de la estación, coordenadas de ubicación, valor de periodo, frecuencia, amplitud, y una casilla llamada “Observaciones”, para registrar algo importante o referente a la misma.

**Tabla 5.2** Procesamiento de datos.

Perfil Nº	ubicación:		1° pico			2° pico			3° pico			Observaciones
	coordenadas		periodo	amplitud	frecuencia	periodo	amplitud	frecuencia	periodo	amplitud	frecuencia	
Estacion	Norte	Este										

En la figura 5.3, se observa el resultado del procesamiento de las estaciones de ruido es decir la relación H/V obtenida, así como la manera en que fue analizada cada estación, para este caso se muestran de ejemplo las estaciones 090 y 119. Para el caso (a), se observa la presencia de tres picos, un primer pico de periodo 0.7767 s y amplitud 1.41, seguidamente uno bien marcado de 2.2561 s y amplitud H/V de 2.48 y por ultimo uno de 7.9565 s y amplitud 3.39, estos fueron señalados en un círculo rojo. Para la estación 119, se distingue igualmente la presencia de 3 picos, uno de bajo valor de 1.0428 s y amplitud H/V de 2.95, siendo asociado a los aluviones en la zona, consecutivamente se observa un pico evidente de periodo 2.5968 s y amplitud 9.8, posiblemente corresponde a una interfaz con alto contraste de impedancia, y por ultimo un tercer pico menos acentuado de 7.9757 s con amplitud H/V de 8.34, asociado a rocas del terciario-cretácico.

Al determinar los picos predominantes para cada uno de los perfiles establecidos, se obtuvo que en la mayoría de las estaciones se presentaron tres picos definidos y similitud entre estos valores con respecto a la ubicación geográfica de cada perfil, donde el tercer pico no se observa en todos los espectros, esto puede ser apreciado en Anexos 1, también se observó que las estaciones cercanas a la cordillera de los Andes, mostraron picos que se comportaban con notoria amplitud y bajo periodo, indicando la evidencia de roca hacia el piedemonte, asociados a la Formación Betijoque, la cual está compuesta de conglomerados macizos, y arcillas macizas.

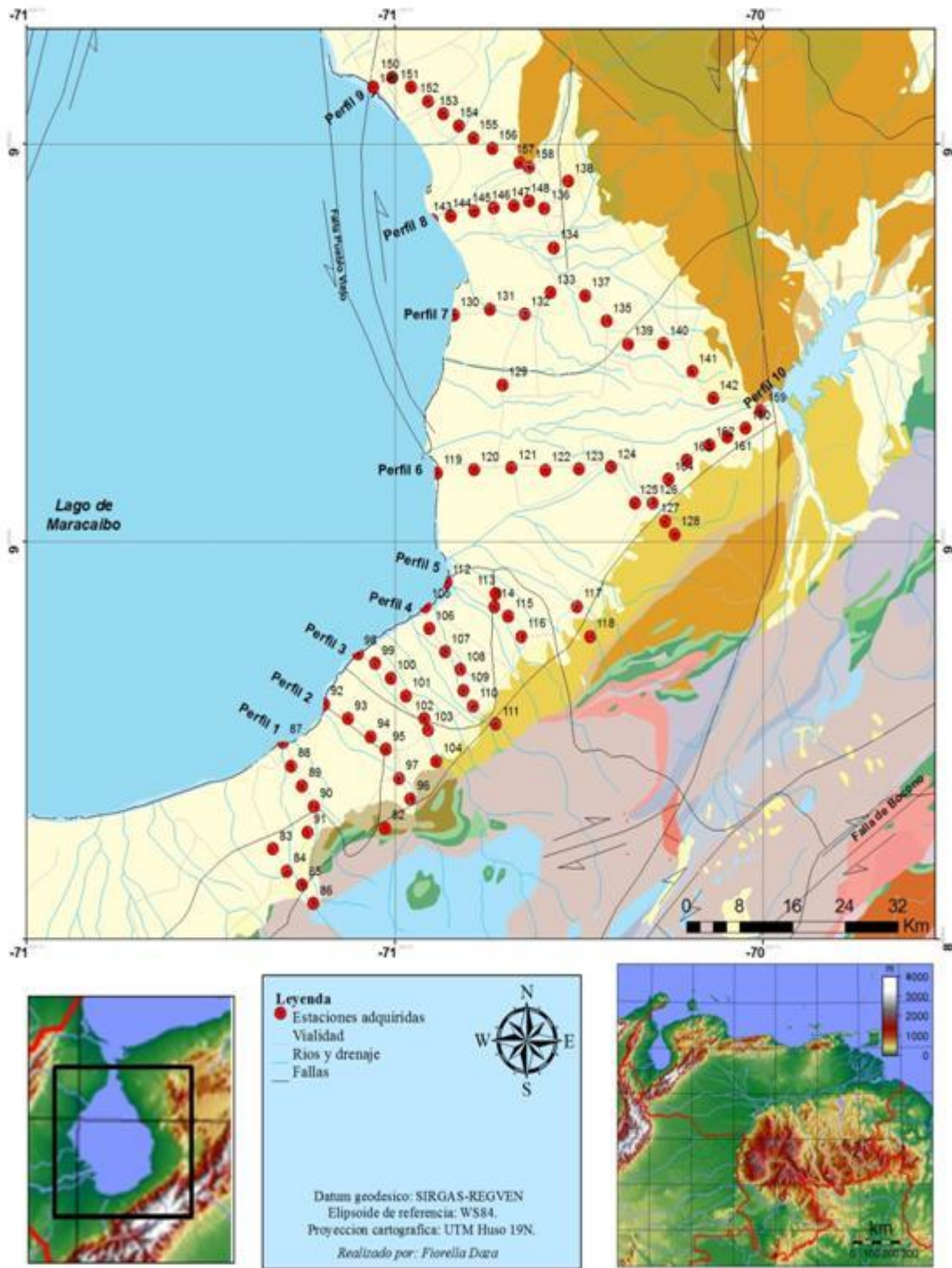


**Figura 5.3** Relación H/V para dos estaciones, con picos señalados en círculo rojo. (a) Estación 090, ubicada en el perfil n° 1. (b) Estación 119, ubicada en el perfil n° 6.

El primer pico observado se podría asociar a rocas del Pleistoceno a Mioceno pertenecientes a las formaciones Lagunillas y Mirador, con características de ambiente marino somero a deltaico y fluvial, resultado del aporte de sedimentos transportados y sedimentados, proveniente de los Andes, a través de numerosas quebradas conformados por areniscas poco consolidadas, arcillas, lutitas y algunos lignitos; el segundo pico se estima que se produce por el contraste con el Eoceno, vinculándose a la Formación La Rosa, esta se compone por limolitas duras y macizas, y arcillas macizas, variando su espesor a lo largo de la cuenca. Con respecto al tercer pico, este no fue visible en todos los espectros, se infiere que podría tratarse de rocas del Eoceno a Cretácico producto del contacto de impedancia con la Formación Misoa, que contiene lutitas, y areniscas, con capas de calizas.

Es de suma importancia destacar el hecho de que en algunas oportunidades se dificultó establecer el pico representativo, debido a que no se podía distinguir la curva, o la presencia de varios picos, esto resultado del bajo contraste entre las capas del subsuelo.

A continuación se realizó un análisis de los espectros de frecuencia obtenidos de la relación H/V, para las estaciones que integran cada perfil, en la figura 5.4 se observan los perfiles y estaciones enumeradas:



**Figura 5.4** Mapa de ubicación geográfica de estaciones adquiridas con perfiles enumerados.

**Perfil N°1:** geográficamente se ubica al oeste de la zona de estudio, desde una población llamada Mesa Julia, cercana a la cordillera, hasta la orilla del lago, en un pueblo llamado San Antonio. En este perfil integrado por 9 estaciones, la relación H/V mostró la presencia de 3 picos, con tendencia a aumentar el valor del período en las estaciones cercanas al lago y a la cordillera, disminuyendo hacia el tramo central. Este comportamiento se puede atribuir a la geometría que presenta la cuenca, las estaciones 089, 090, 083 y 085, mostraron mayor definición en el pico, representando mayor impedancia entre las capas allí presentes. Se observó un valor máximo de primer pico de 2,9 s, un segundo pico de 7,17 s y un tercer pico de valor máximo de 8,96 s.

**Perfil N°2:** este perfil compuesto por 7 estaciones, se encuentra situado desde orillas del Lago en una población llamada Palmarito, atravesando San Benito, hasta llegar a una población sobre la cordillera llamada La Pueblita. Para este caso, cinco de estas estaciones mostraron 3 picos claramente definidos, la estación 092 adyacente al Lago, mostro altos valores de periodos, asociado a la presencia de gran espesor, esto se vincula al aporte sedimentario, como a la presencia de rocas terciarias, en la estación 097 se observó solo 2 picos, y la estación 096 presentó problemas en la adquisición, realizando la grabación solo durante 20 minutos, por lo que esta estación fue descartada para este análisis. Los valores del primer pico oscilaron entre 0,5 a 2,4 s, el segundo pico se halló entre 1,6 a 3,42 s y el tercer pico entre 6,34 a 8,09 s.

**Perfil N°3:** se encuentra desde un poblado llamado Tabacal, a 4 km de la carretera Panamericana, hasta la orilla del Lago, en una localidad llamada Bobures. Los períodos mostraron una tendencia de disminución en el tramo central del perfil, observándose la presencia de 3 picos en las estaciones 099, 100, 102 y 104, donde la estación 102 mostró un primer pico bien marcado, representando una mayor impedancia para esta zona y las estaciones 098, 101 y 104 solo mostraron dos picos.

La estación cercana al Lago, correspondiente a la 098, mostró un alto valor de primer pico, observándose un periodo de 3.91 s, y un segundo pico de 6.97 s, esto se asocia a la proximidad que existe entre la costa del lago y la cordillera, por lo que hay mayor acumulación de aporte sedimentario para este flanco del área de estudio. Las estaciones

mostraron valores para el segundo pico dentro de un rango de 2.6 a 4 s, y valores entre 5,4 a 7 s para el tercer pico, el cual fue visible solo para cuatro estaciones.

**Perfil N°4:** integrado por 7 estaciones, desde la cordillera, en la localidad de Pueblo Nuevo, atravesando El Brillante hasta un pueblo cercano al Lago de Maracaibo, llamado Boscan. Estas estaciones continuaron con el mismo patrón de comportamiento de tres picos, donde el primer pico de período osciló entre 0,50 s a 2,25 s, el segundo varió de 2,49 s a 6,5 s, y los valores del tercer pico fueron de 6,8 hasta 9,5 s, este alto valor correspondió a la estación 109, la cual se encontraba cercana a la carretera Panamericana, este tercer pico solo se observó para cinco de las estaciones presentes. Las estaciones 105, 107, 109, 111 y 118, mostraron mayor definición de los picos, indicando un claro contraste entre las capas.

**Perfil N°5:** debido a las pocas vías de acceso en la ubicación de este perfil, se dificultó mantener la linealidad perpendicular a la cordillera, este perfil se compone por 6 estaciones, la estación 115 presentó problemas durante la adquisición y no se archivó la misma. Para el primer pico se observó un comportamiento de período alto para la estación cercana al Lago de Maracaibo, indicado un buen contraste litológico, con período de 2,27 s correspondiente a la estación 112, y luego este valor fue decreciendo de norte a sur hasta llegar a 0,22 s sobre Los Andes, donde las estaciones 116 y 118 mostraron picos bien definidos; de igual manera el segundo pico presentó su máximo valor en la estación 112, con 5,94 s, y las restantes mostraron valores entre 2,11 s a 2,44 s, y los valores del tercer pico variaron entre 6,14 s hasta 8,92 s, siendo visible solo para cinco de estas estaciones.

**Perfil N°6:** compuesto por 10 estaciones ubicadas desde la locación El Pueblito, atravesando Sabana de Mendoza, en el estado Trujillo hasta aproximarse a la vía hacia Betijoque. Las estaciones 119, 120, 122, 123 y 124 muestran picos definidos, siendo causa de un contraste de impedancia significativo, los mayores períodos se observaron hacia el centro del perfil, lo cual indica la presencia de grandes espesores y/o sedimentos blandos, asociado a la distribución de las capas en el subsuelo de la cuenca. Los valores de período del primer pico se mantuvieron dentro de un rango de 0,54 s a 2,53 s, para el segundo pico aumentó el rango de 2,5 hasta 5,35 s, y los valores del tercer pico se apreciaron en siete de las estaciones, con rangos de 6,47 s a 8,56 s.



**Perfil N°7:** este perfil fue el de mayor longitud, por lo que la distancia entre sus estaciones es de 5 km, no se encuentran perfectamente alineadas entre sí, debido a las vías, conformado por 11 estaciones, desde la parroquia de San Isidro junto al Lago, hasta llegar a la vía de Trujillo-Zulia. Las estaciones 130, 131, 135 y 142, tienen mayor definición en los picos, mientras que las estaciones 132, 133, 137, 139 y 140 se aprecian picos múltiples, resultado de los diversos contrastes entre las litologías presentes. Para el primer pico los valores se mantuvieron entre 0,70 s a 2,05 s, donde los valores máximos se encontraron en las estaciones 140 y 141, con 2,058 y 1.010 s respectivamente, y en la estación más próxima a la cordillera, siendo esta la 159 se halló el mínimo período de 0,40 s, indicativo de poco espesor sedimentario. Los valores del segundo pico, se movieron dentro de un rango de 2,1 hasta 7,23 s, hallándose el valor máximo en la estación 139, con un valor de 7,23 s. Los valores correspondientes al tercer pico solo fueron visibles para los espectros de las estaciones 130, 131, 133 140, 141 y 142, entre rangos de 4,8 a 9,98 s, con su máximo valor en la estación 140.

**Perfil N°8:** ubicado desde la población San Timoteo de Agua, a orillas del lago de Maracaibo, al oeste de la población de Mene grande, atravesando la misma, hasta llegar al sector La Raya. Las estaciones 136, 138, 143, 145, y 147, mostraron una buena definición de los picos. El rango de períodos para el primer pico oscilo entre 0,5 a 2,99 s, asociado a la presencia de la Formación Mene Grande, la cual aflora en esta zona. El máximo valor se aprecia en la estación 136, con 2,99 s, que al observar su ubicación, se podría decir que existe relación entre este alto valor con el ubicado en el perfil contiguo, específicamente en las estaciones 139, 140 y 141. El segundo pico se encontró entre 2,55 s hasta 8,27 s, donde el máximo valor correspondió de nuevo a la estación 136, y para el tercer pico hubo valores desde 6,96 s hasta 8,79 s, este solo se observó para 7 de las estaciones.

**Perfil N°9:** este perfil es paralelo a la Cordillera de los Andes, con una dirección NO-SE, por lo que los resultados de estos espectros muestran un cambio lateral en esta área, se encuentra al norte de Mene Grande, en la localidad de Bachaquero, cubriendo desde la orilla del Lago atravesando la localidad, hasta la vía hacia Mene Grande. En general este perfil generó altos valores de periodos, donde los valores de periodos resultantes al primer pico oscilaron en un rango entre 0,64 s a 5,92 s, hallándose el valor máximo en la estación

152, y el valor mínimo se encontró en la estación 158, asociado a un poco espesor sedimentario, los valores del segundo pico se observaron en todas las estaciones, variando con valores desde 5,26 s hasta 9,85 s, donde los máximos valores se hallaron en la estación 152 y 153, pudiendo guardar relación en la geometría del espesor asociados a los valores altos de periodos asignado a la primera capa en el perfil N° 7 y N°8, con respecto al tercer pico, este solo fue visible en la estación 150 y 153, con valores de 10,23 s y 12,09 s respectivamente.

**Perfil N°10:** ubicado paralelo a la cordillera andina, con orientación NE-SO, para unir los perfiles N°6, desde Sabana de Mendoza hasta el perfil N°7, hasta la vía hacia Agua Viva. Integrado por 6 estaciones, donde las estaciones 160, 161 y 164 mostraron clara definición de los picos, y las estaciones 162 y 163 generaron múltiples picos difusos, resultados de distintos contrastes de impedancia entre las litologías o estructuras. Los valores máximos se observaron en la estación 160, 162 y 163, con valores de 1,42 s, 1,15 s y 1,11 s, observándose el valor mínimo en la estación 164 con 0,25 s. Con respecto al tercer pico, este fue visible en tres estaciones, con rangos de 5,76 s a 6,89 s.

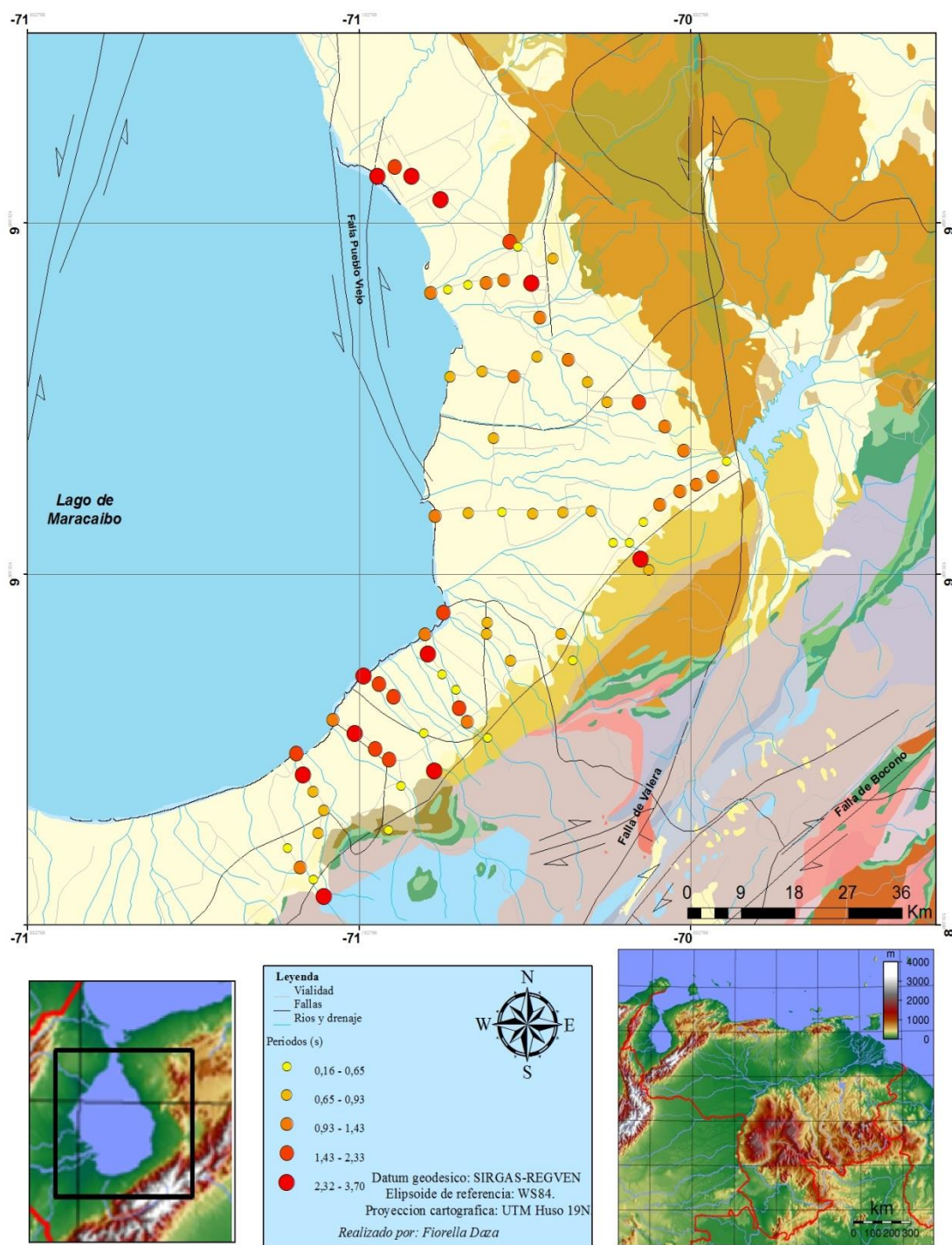
### **5.3 Mapa de periodos y espesores sedimentarios**

Con la selección de los picos representativos de las gráficas H/V, se desarrolló una representación por distribución de rangos de los periodos fundamentales, estableciendo que el primer pico corresponderá a la primera capa o espesor, y el segundo pico referente a una segunda capa o espesor, los valores del tercer pico, asignados a una tercera capa, no fueron visibles en todos los espectros por lo que no se contó con información suficiente que garantizara un mapa confiable de períodos, con esta información se elaboraron los mapas de períodos y de isoperíodos con el fin de evaluar la respuesta del sitio, así como su geometría, a través del programa ArcGis 10, utilizando como método de interpolación el método *Natural Neighbor* (Vecino Natural), debido a que correlaciono mejor con los resultados del estudio, este método encuentra el subconjunto de muestras de entrada más cercano a un punto de consulta y les aplica pesos basados en áreas proporcionales (García, K. 2010).

En la figura 5.5, se presenta el mapa de períodos por rangos de la primera capa, donde cada rango viene representado en un círculo, donde su tamaño dependerá del valor del mismo, los periodos estimados en el área se distribuyeron en cinco rangos, los cuales por tratarse de



una primera capa fueron limitados hasta un máximo de 3,70 s. Las zonas que presentan los mayores valores de períodos, se ubican en la región norte, correspondiente a la población de Bachaquero, con 3,60 s, esto podría vincularse a la presencia de las formaciones Isnotú y Betijoque, la cual se caracteriza por un gran espesor y difiere en la litología con respecto al resto del área, asimismo al suroeste, donde se ubica el perfil N°4 y N°5, se hallan valores con máximos de 2,4 s. En cuanto a los valores mínimos, se observa que el perfil N°6 presenta valores entre 0,2 y 1,4 s, siendo este el de menor periodo, al mismo tiempo la mayoría de las estaciones que se encuentran adyacentes a la cordillera de los Andes, mostraron bajos valores de períodos, entre 0,22 s hasta 0,98 s, esto se le atribuye a la proximidad de la cadena montañosa, este comportamiento también puede observarse en el mapa de isoperíodos (figura 5.6), el cual es una interpolación de los valores de periodo, donde se observa la variación de los contornos. Al realizar un análisis general de los valores de periodos, se observa que el mayor porcentaje se encuentra entre un rango de 0,65 a 0,93 s, esta tendencia se observa desde el perfil N°5 al perfil N°8.



**Figura 5.5** Mapa de períodos por rangos, de la primera capa.

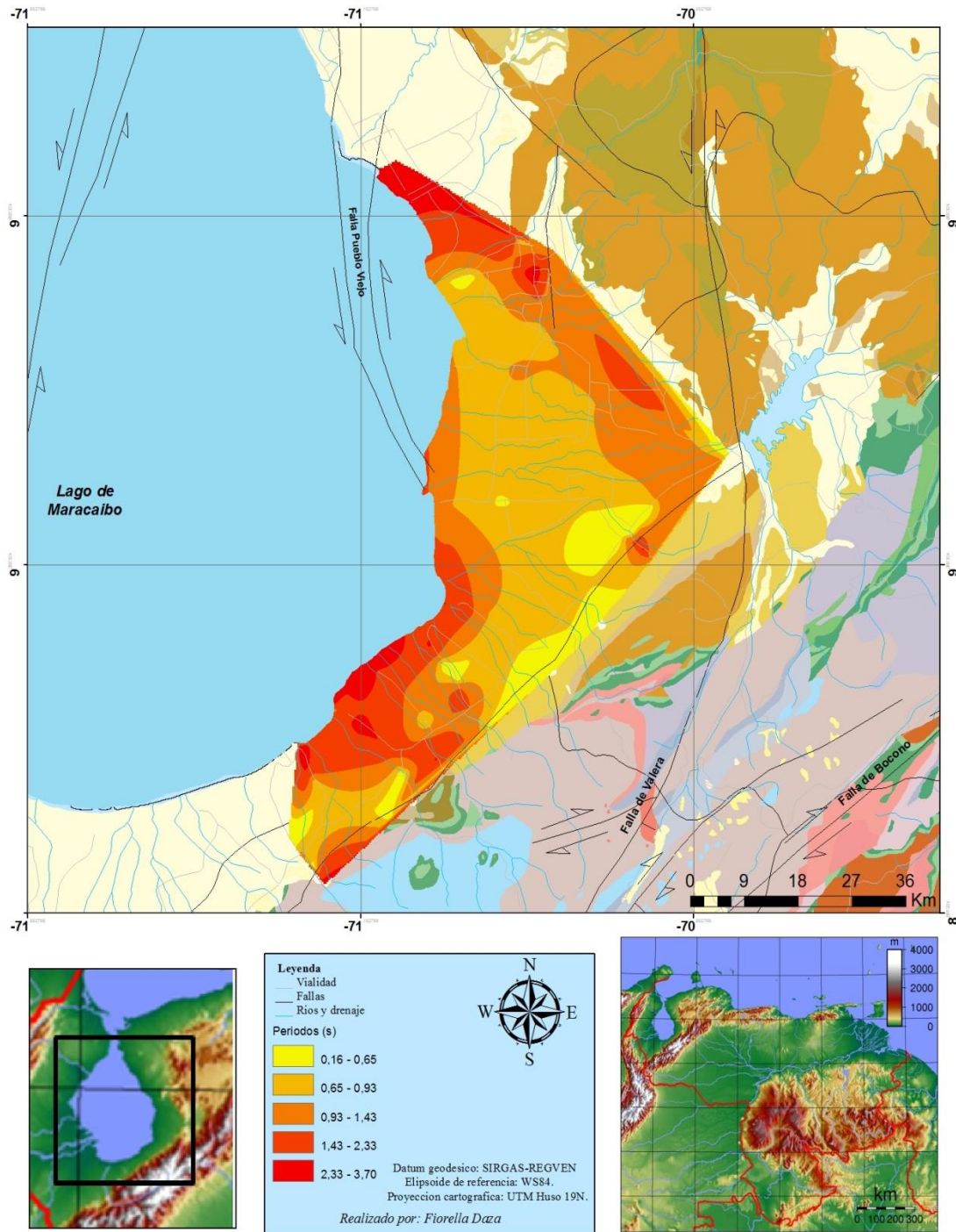
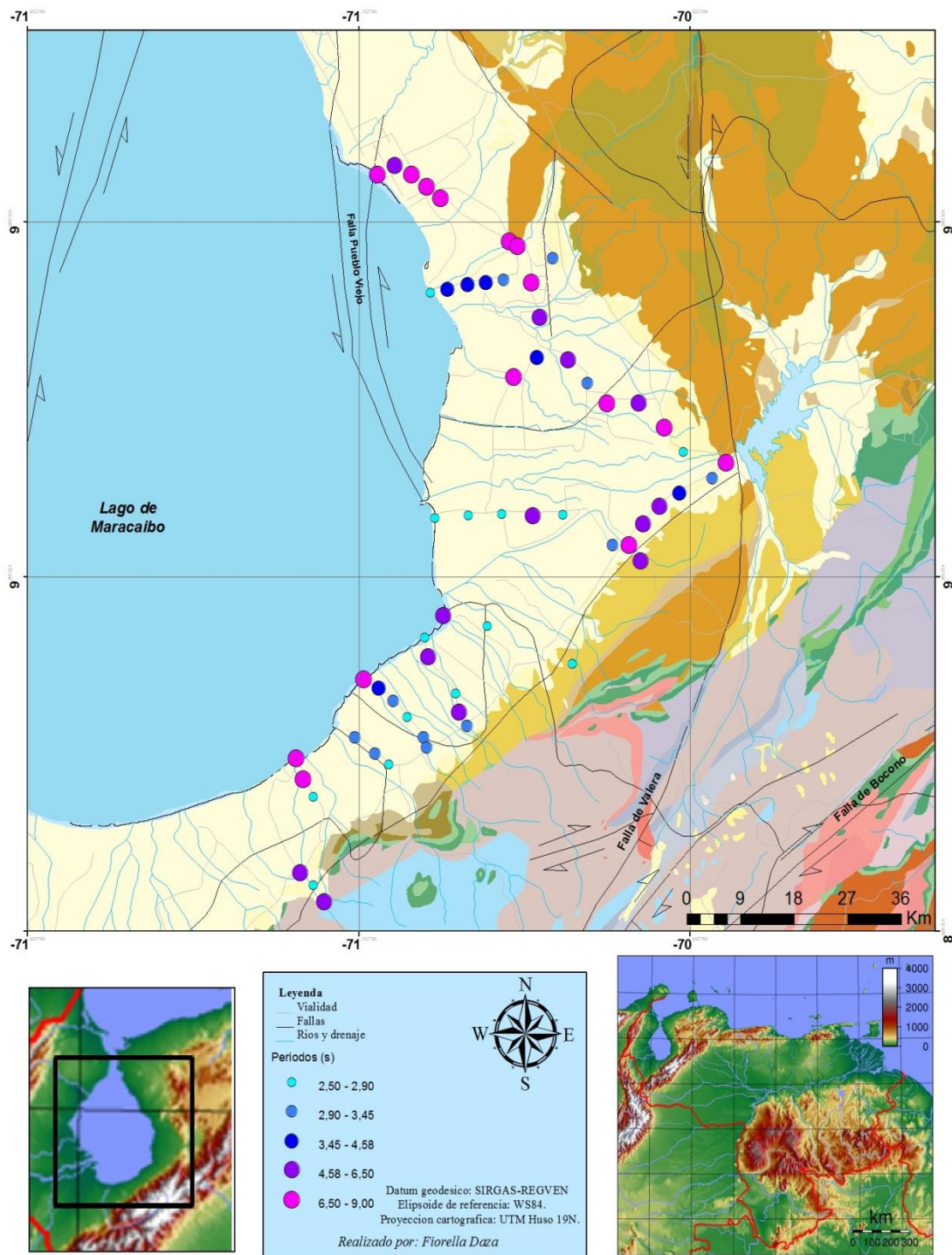


Figura 5.6 Mapa de Isoperíodos, de la primera capa.

El mapa de periodos (figura 5.7) y el mapa de isoperíodos (figura 5.8), donde se observa la interpolación de las clases, se aprecia en la figura 5.8 por rango de la segunda capa, donde se aprecia un patrón de comportamiento similar al de la primera capa, que varía de un rango de 2,50 s a 9 s evidenciando distintos comportamientos dinámicos en el suelo, dentro de la zona de estudio, pudiendo ser ocasionado por la diferencia en profundidad de los estratos presentes. Hacia el noreste ocurre un incremento de valores, donde el valor máximo se encuentra en 7,23 s, en la estación 139, también hacia el área norte en Bachaquero, se encuentran periodos entre 6,50 y 9 s y de igual manera hacia el área sur, del área de estudio, hacia la orilla del Lago de Maracaibo, se hallan valores altos de periodos, asociados a zonas de mayor espesor sedimentario, por lo tanto mayor amplificación, correspondiente a los sedimentos de ambiente marino somero y deltaico de la Formación Lagunillas, con valores que oscilan de 4,65 s a 6,60 s.

En la transición hacia la cadena montañosa se observan valores variables de periodos, en un rango que oscila de 2,90 s a 7 s, asimismo hacia el tramo central del área de estudio, entre los perfiles N°5 y N°7 se halla una zona con valores bajos que varían desde 2,50 s hasta 2,90 s





**Figura 5.7** Mapa de períodos por rangos, de la segunda capa.

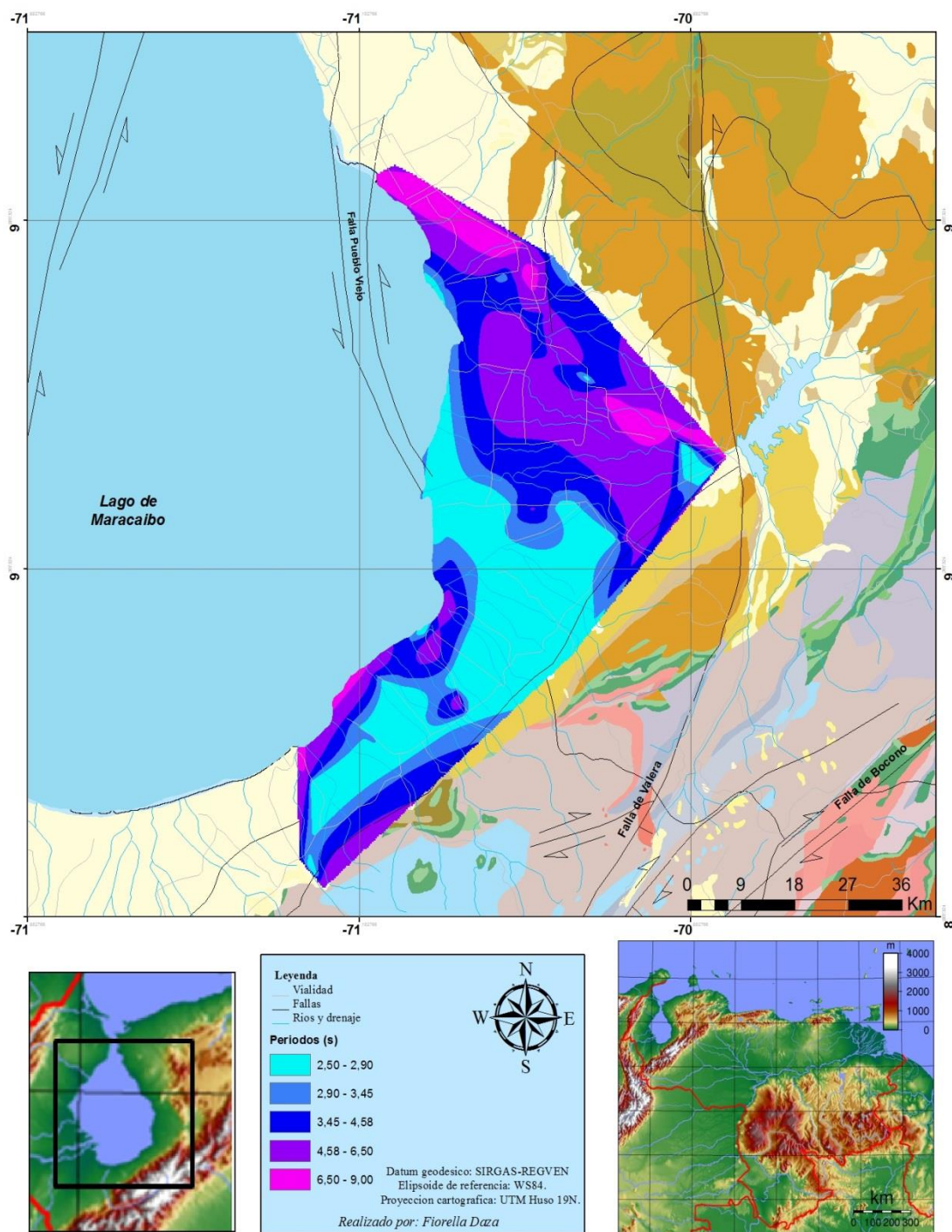


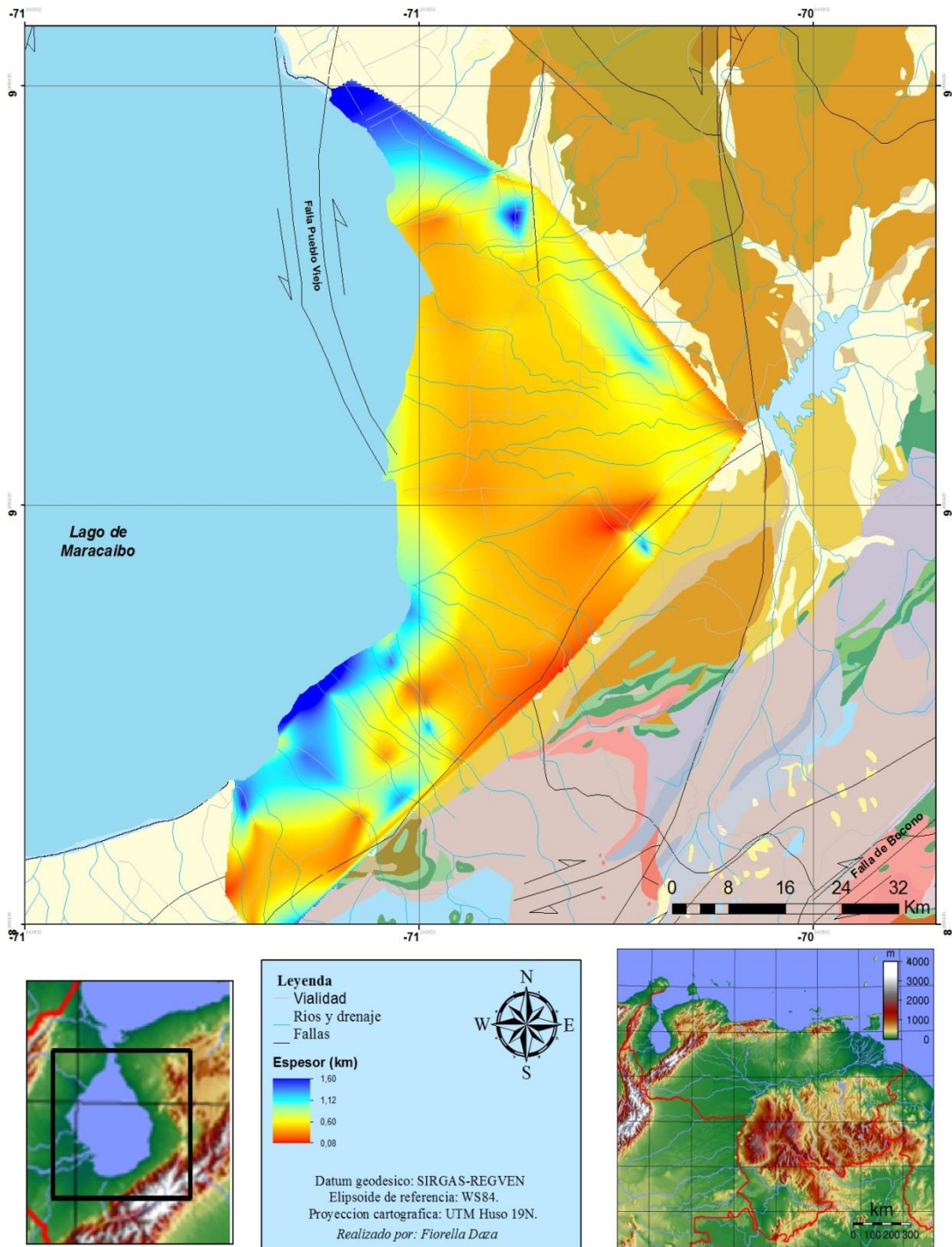
Figura 5.8 Mapa de Isoperíodos, de la segunda capa.

Con respecto a la relación que existe entre los valores de periodo y de espesor de sedimentos, la cual propone que a mayores valores de periodos, el espesor de sedimentos debería ser mayor (Nakamura, 1989). Se obtuvo que de manera general, el periodo demostró tener relación directa con el espesor, pudiendo establecer los cambios laterales y la geometría de estas capas.

Al observar el mapa de espesores para la primera capa (figura 5.9), donde se estimó una velocidad de onda S de 1700 m/s, se aprecian los valores máximos hacia las localidades de Bobures y Boscán, sobre los perfiles N°3 y N°4, en el cual se observa un marcando un incremento en la profundidad de la capa, en la dirección de la cordillera hacia el Lago, con un espesor que varía entre 1,12 a 1,60 km, posiblemente esto refleje un alto volumen de sedimentos que son transportados por el sistema de ríos que desembocan en el Lago, y ha rellenando esta zona, de igual manera hacia el norte, de la población de Mene Grande hacia Bachaquero, ocurre un incremento de la profundidad, hasta alcanzar los 1,60 km, pudiendo deberse al cambio litológico que aquí ocurre, donde se asocia la presencia de las formaciones Isnotú y Betijoque, así como a la presencia del sistema de fallas presente, lo que controla la geometría de las capas, análogamente se observa un cambio lateral en dirección sureste-noroeste, que va desde el perfil N°7 al perfil N°9, con una profundidad de 0,90 a 1,20 km. Por otra parte, entre los perfiles N°5, N°7 y las estaciones cercanas al Lago de Maracaibo del perfil N°8, se observó un espesor variable que oscilo en un rango entre 0,080 y 0,60 km.

Con relación a los espesores adyacentes a la cordillera de los Andes, entre los perfiles N°1 y N°6, se aprecia una disminución de la profundidad, dentro un rango de 0,080 a 0,300 km, representando la transición hacia el inicio de la elevación montañosa de los Andes.



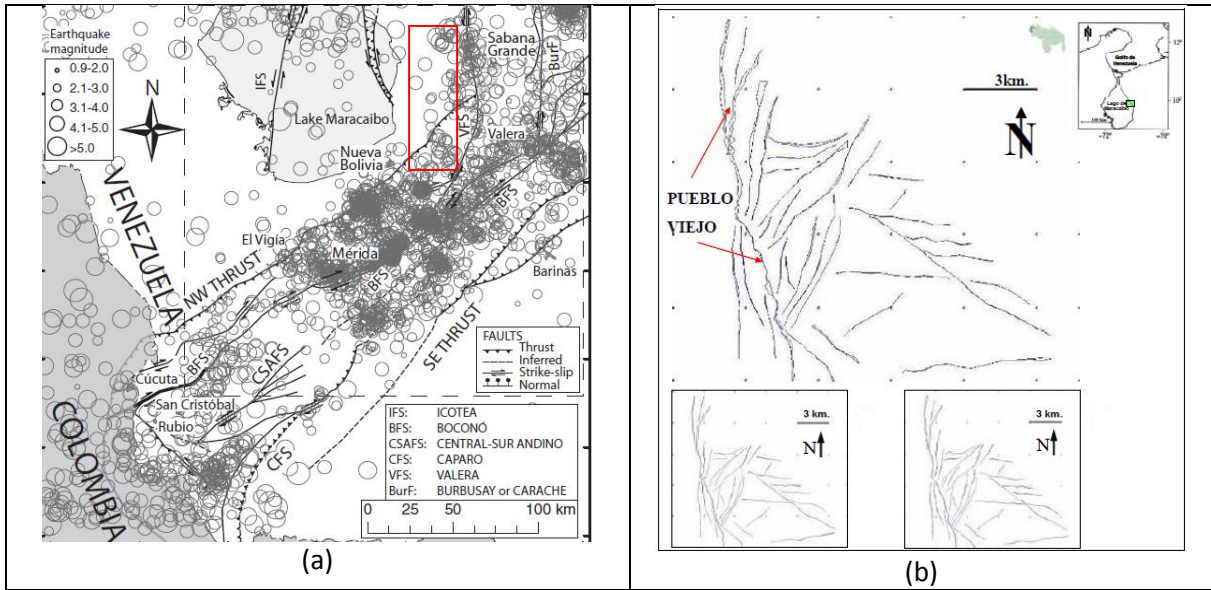


**Figura 5.9** Mapa de espesor de la primera capa, obtenida con la relación de sedimentos con densidad.

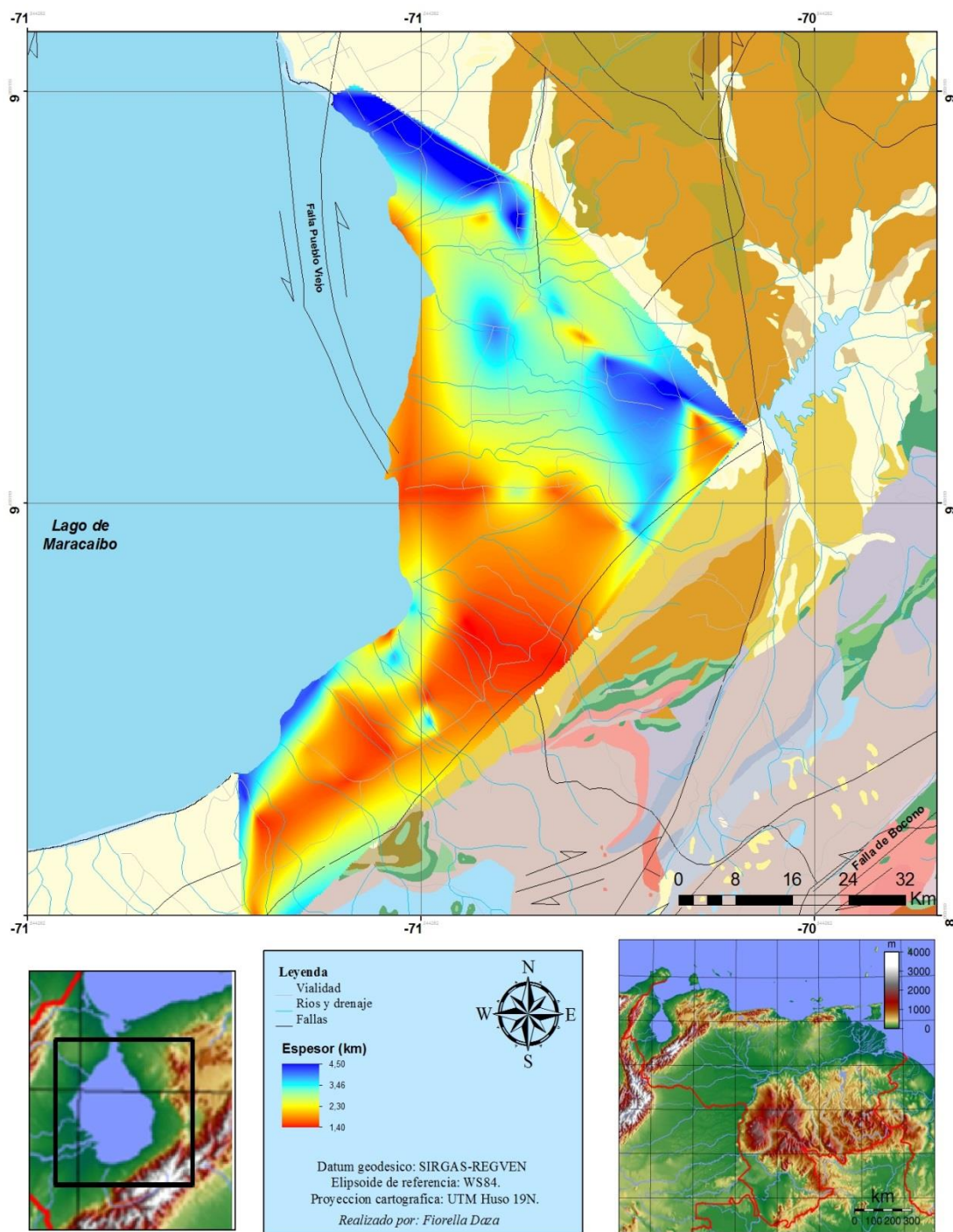


Luego al realizar el análisis de la segunda capa correspondiente a la figura 5.11, para la cual se calculó una velocidad de onda S se 1900 m/s, se observó un comportamiento equivalente a la primera capa, donde se aprecia un notable incremento del espesor hacia el flanco noreste de la zona de estudio, entre un rango de 3,30 a 4,40 km, pudiéndose relacionar con diferentes ramales del sistema de fallas de Pueblo Viejo, entre esta última falla y la Falla de Valera se encuentra una falla activa de acuerdo a la sismicidad presente en esta área (Bermúdez et al., 2013; ver Figura 5.10) que podría explicar la creación de un depocentro en la zona central, así es posible inferir que los cambios de espesores están estrechamente relacionados con las fallas, que producen un cambio en la geometría de las capas, pudiendo generarse un engrosamiento en esta zona y depocentros de menor tamaño, con orientaciones similares ya que siguen un patrón de fracturas de edad Mioceno (Carrero, 2008). Hacia el noreste ocurre un el incremento del espesor, donde podría tratarse de la influencia del embalse de Agua Viva, ubicado al noreste del área de estudio, en el estado Trujillo, debido a que este origina acumulación y transporte de sedimentos a través de las corrientes de agua que desembocan en el lago de Maracaibo.

El espesor visto en la primera capa para las poblaciones de Bobures y Boscán, aumentaron lateralmente de noreste a sureste, en el sur del Lago, este cambio en profundidad, se encuentra desde el perfil N°1 hasta el perfil N°5, con una profundidad de 3,00 a 4,00 km., ocasionado por el sistema de drenajes y ríos provenientes de la cordillera de los Andes, lo que se vincula a una importante acumulación de sedimentos, siendo un control de sedimentación distinto al patrón observado al noreste del área de estudio, para las estaciones aledañas a la cordillera, se observaron espesores de 1,30 a 2,40 km, lo que podría inferir que se trata de la presencia de la Formación Betijoque.



**Figura 5.10** (a) Mapa de sismicidad entre 1911 a 2011. (b) Mapa de fallas y orientación de fracturas (Tomado de Bermúdez et al., 2013; Carrero, 2008).



**Figura 5.11** Mapa de espesor de la segunda capa, obtenida con la relación de sedimentos con densidad.

#### 5.4 Datos de apoyo con pozos y sísmica 2D.

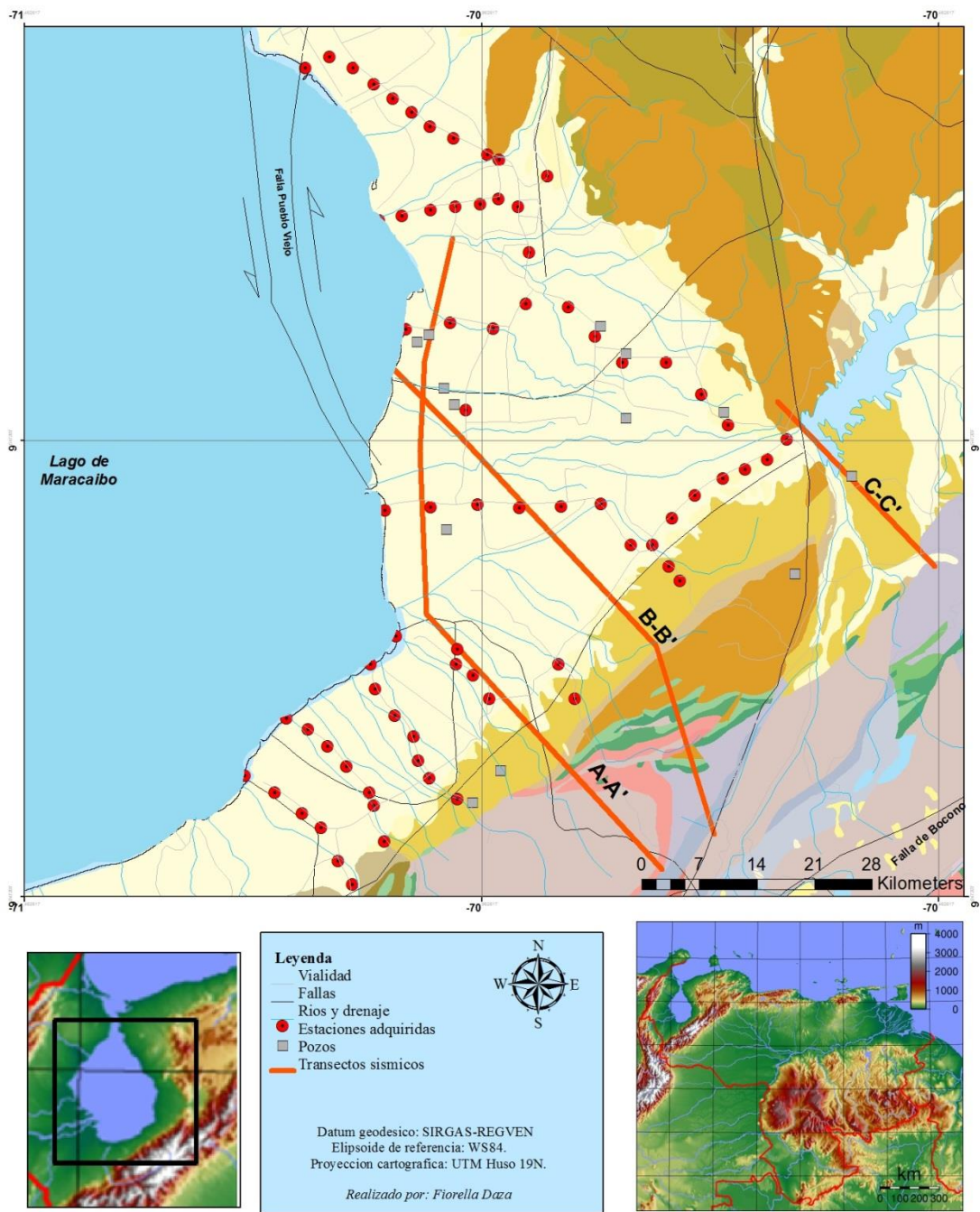
Con la información disponible de pozos y sísmica 2D del área, se generó un mapa donde se observan las estaciones adquiridas para esta campaña de investigación, los pozos del área y los tres transectos sísmicos suministrados, como se observa en la figura 5.12. de manera de realizar un estudio comparativo entre los picos espectrales y el modelo estructural realizado por Requena y Turienzo (2014), con el objetivo de integrar esta información, validar el presente modelo obtenido y usarlo como dato de integración.

En la tabla 5.3, se observan los pozos y estaciones que coincidían geográficamente sobre el transecto AA'.

**Tabla 5.3** Correlación entre pozos y estaciones sobre el transecto AA'.

Estación	Coordenadas		Pozo
	Norte	Este	
130	1069369,34	275595,91	ROM
129	1059594,92	282760,06	TRA
120	1047859,37	278458,2	SEI
111	1012472,29	281481,17	FEN
118	1024555,27	295642,43	POK

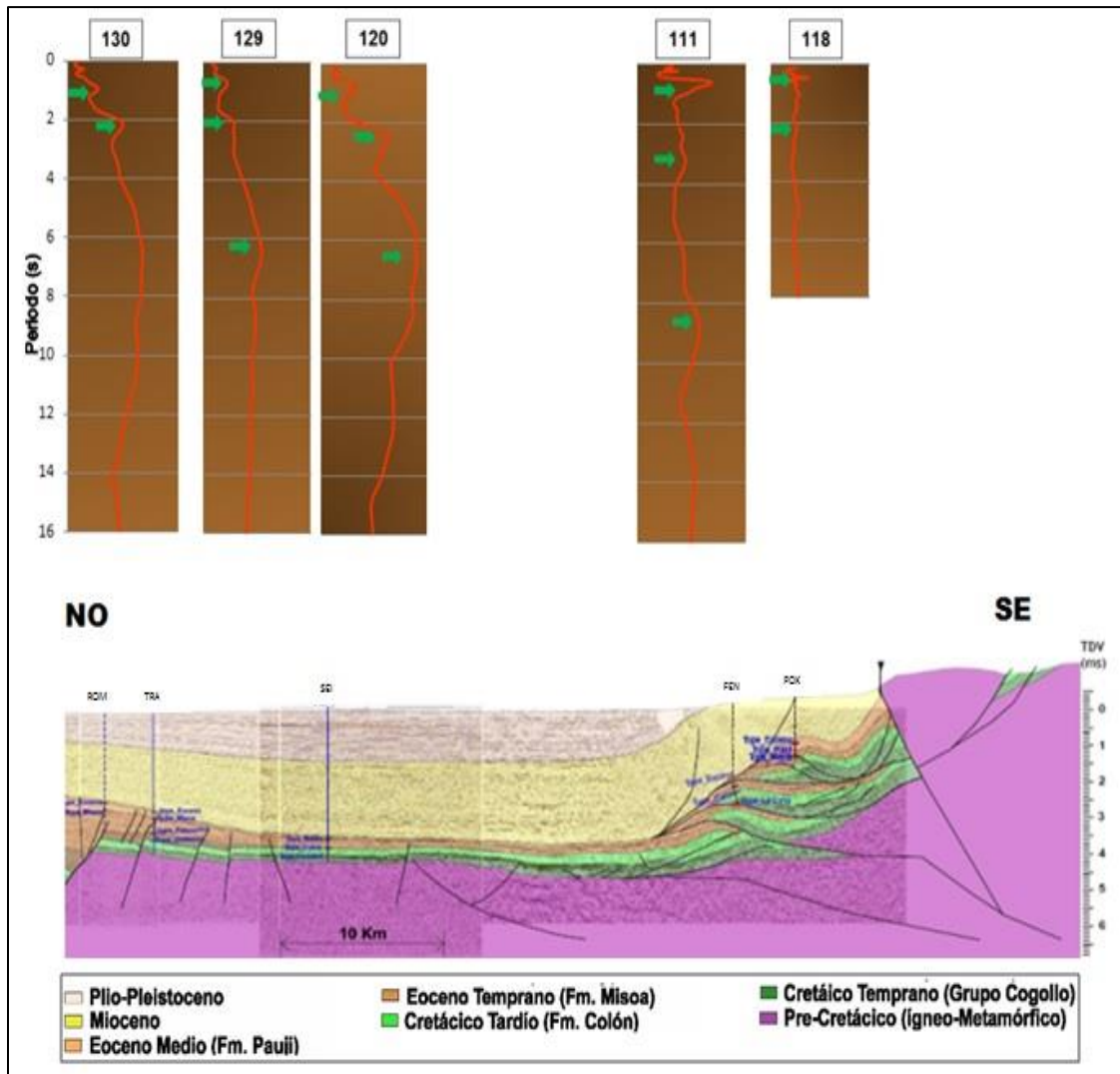
Posteriormente se procedió a seleccionar el archivo .hv perteneciente a estas estaciones, los cuales fueron generados automáticamente en el programa Geopsy al procesar la estación, cada uno de estos archivos fue descargado en el programa Ultra Editor, para luego ser llevado a una hoja de cálculo en Excel, donde se generaron los gráficos del cociente espectral H/V, para apreciar claramente el comportamiento de la señal en cada una de estas estaciones.



**Figura 5.12** Mapa de ubicación de estaciones adquiridas, pozos y transectos sísmicos (modificado de PDVSA, 2014).



A continuación se observa la figura 5.13 correspondiente al modelo estructural del transecto A-A' con los gráficos H/V de las estaciones allí relacionadas:



**Figura 5.13** Resultados de gráficos H/V comparados con transecto A-A'.

Al determinar la relación espectral H/V comparado con el modelo generado por Requena y Turienzo (2014), se observó un comportamiento similar entre la presencia de los picos, vinculado a la secuencia de la geometría de estratificación, donde el primer pico se podría asociar a sedimentos del cuaternario y el segundo pico a las rocas del plioceno a mioceno. En la dirección noroeste, sobre las estaciones 130, 129 y 120, se aprecia como el espesor va en aumento hacia el sureste, esto debido a la estructura de cuenca ante país, y a la presencia del levantamiento de la cordillera andina, luego en la estación 111, el espesor así como el

periodo vuelve a disminuir, pero aumenta su amplitud, marcando el inicio del levantamiento andino, por lo tanto un menor espesor sedimentario.

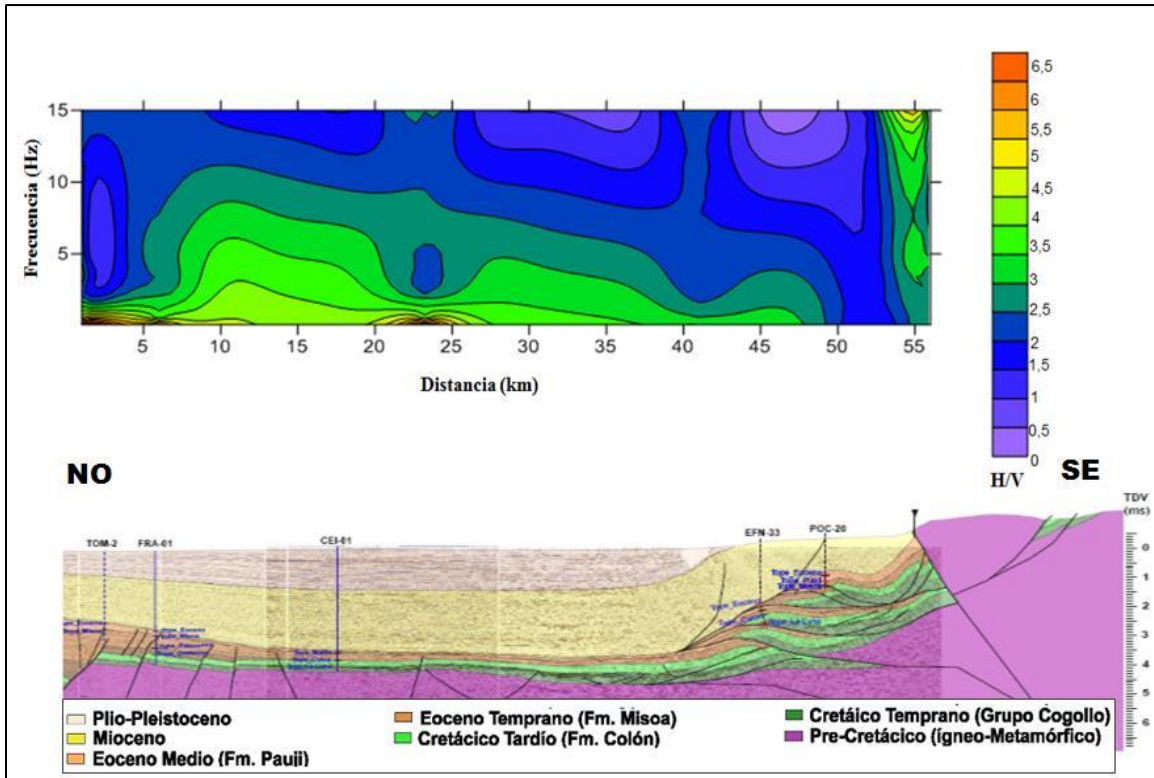
El procedimiento anterior se repitió para las estaciones que se encontraban sobre el transecto B-B', para ello no se contó con la información de validación de pozos, por lo que en este caso, se usaron las estaciones cercanas geográficamente a este transecto, dadas en la siguiente tabla:

**Tabla 5.4** Estaciones cercanas a transecto B-B'.

Coordenadas		Estación
Norte	Este	
1069369,34	275595,91	130
1059594,92	282760,06	129
1048079,12	284088,44	121
1047712,9	289135,55	122
1038729,06	308331,23	128

Igualmente con el uso de este archivo de formato .hv, se procedió a generar una tomografía (figura 5.14) o también llamado espectrograma, que contiene los datos de frecuencia y amplitud H/V de las estaciones sobre este transecto, con el objetivo de contribuir a la validación de la respuesta y observar la variación de la relación H/V a lo largo de este perfil con respecto a este modelo, esto se realizó con el programa Surfer 11.

En este se puede apreciar como varia y se distribuye la relación H/V de noroeste a sureste, manteniendo la misma tendencia que el modelo propuesto, donde hubo mayor contraste entre las capas, existió mayor relación H/V, marcando un cambio litológico y un alto contraste, con valores de H/V de 1,6 hasta 3,4. Hacia el sureste expresado en color morado se asocia la presencia de un incremento del espesor, expresado con una baja relación H/V debido a la transición hacia la roca, generando esta geometría de cuenca ti po antepaís, y luego en color verde con valores entre 3,5 a 4,5 se observa el contraste con presencia de roca perteneciente a la cordillera, y la baja relación H/V hacia el extremo noroeste se relaciona con la presencia del lago. También se observa que a medida que se profundiza la relación H/V aumento, evidenciando mayor impedancia entre las capas.



**Figura 5.14** Tomografía de la relación H/V a lo largo del perfil sobre el transecto A-A'.

La figura 5.15 correspondiente a la correlación de las estaciones con el transecto B-B', se encuentra ubicada al norte del transecto A-A' y se ubica sobre estaciones pertenecientes al perfil N°6 y N°7, en este se observa la variación de espesor de noroeste a sureste, donde los picos se orientan con la misma dirección de las capas que en el modelo de Requena y Turienzo (2014), en la estación 130 se hallan dos picos bien diferenciados y luego hacia las estaciones 129 y 121 se ve como el periodo aumenta, evidenciando mayor espesor sedimentario, luego en la estación 122 y 128, este periodo va decreciendo, marcado por la presencia del levantamiento andino.



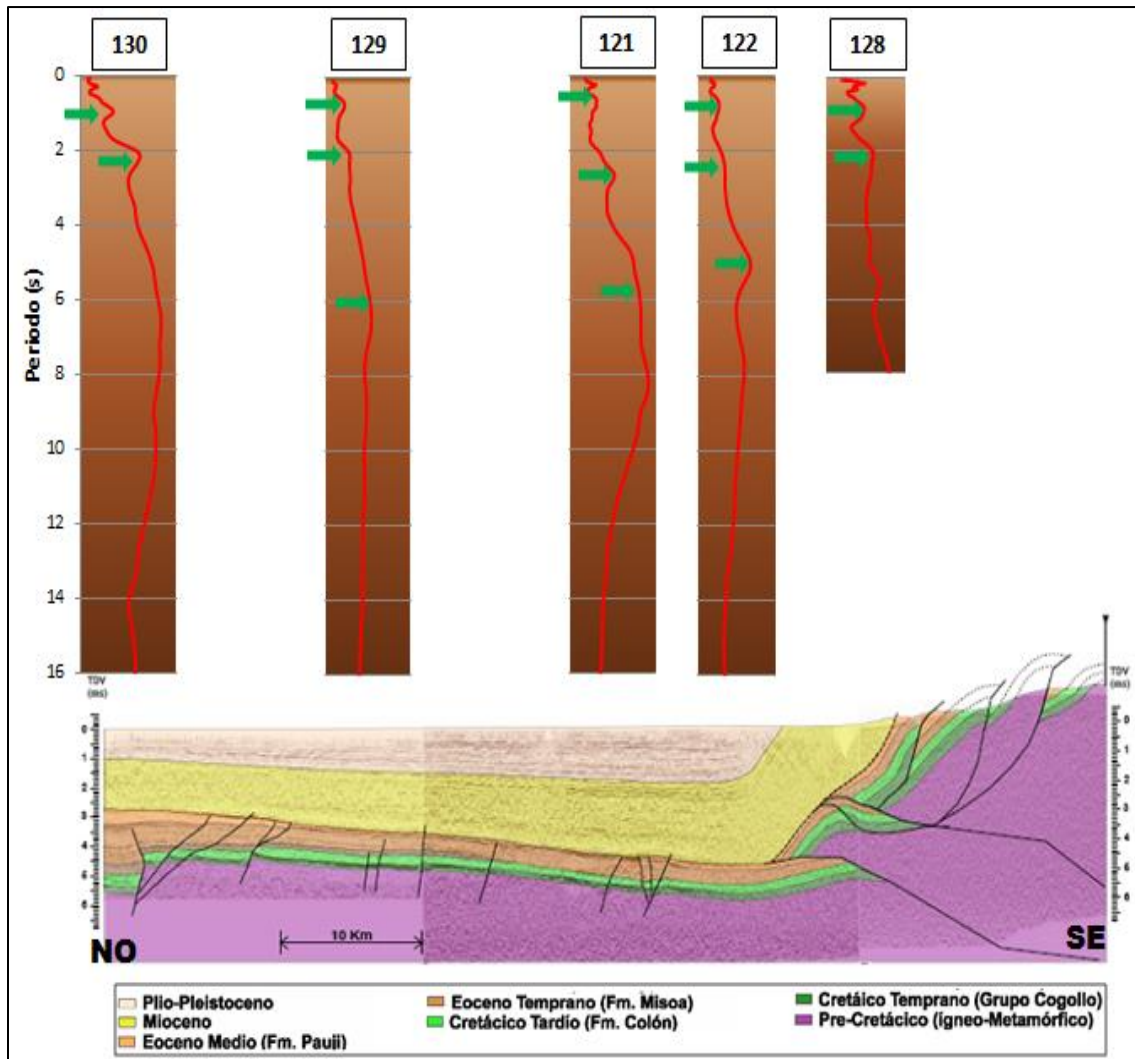


Figura 5.15 Resultados de gráficos H/V comparados con transecto BB'.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, después de haber analizado los espectros de relación H/V, así como los mapas resultantes, se puede concluir lo siguiente:

- El presente trabajo de investigación, permitió estudiar y analizar información sobre la estructura y geometría del borde sureste de la cuenca de Maracaibo, utilizando para ello equipos de bajo costo y fácil implementación, la cual puede ser usada para complementarse con otras técnicas, pero de mayor costo como la sísmica de refracción y reflexión.
- Mediante la adquisición, procesamiento y análisis de resultados, producto del estudio de ruido sísmico ambiental en el borde sureste del Lago de Maracaibo, con la aplicación del método de Nakamura, se obtuvieron los periodos del suelo, de vibración fundamental para dos niveles de contrastes o interfaces.
- A través de los análisis de espectros H/V, de las estaciones adquiridas, a lo largo de los diez perfiles establecidos, se determinó que eran visibles tres picos, donde el tercer pico no fue visible en todos los espectros, por lo que se estimaron 2 espesores correspondientes a dos cambios litológicos o de importante impedancia.
- Se generaron mapas de períodos e isoperíodos, referente a un primer espesor y a un segundo espesor, el tercer pico no fue observado en todos los espectros, por lo que esto no constituyó información confiable y suficiente para establecer un mapa de tercer espesor.
- En el mapa períodos del primer espesor, se observa que el mayor porcentaje se encuentra entre un rango de 0,65 a 0,93 s, esta tendencia se observa desde el perfil N°5 al perfil N°8. Los valores máximos se ubican en la región norte, con 3,60 s, asimismo al suroeste, donde se ubica el perfil N°4 y N°5, se hallan valores con máximos de 2,4 s. En cuanto a los valores mínimos, se observa que el perfil N°6 presenta valores entre 0,2 y 1,4 s, siendo este el de menor periodo, al mismo tiempo la mayoría de las estaciones

que se encuentran adyacentes a la cordillera de los Andes, mostraron valores bajos de periodos, entre 0,22 s hasta 0,98 s

- Los valores de períodos del mapa de la segunda capa, mostraron una tendencia similar al de la primera capa, hallándose los valores máximos hacia el noreste área norte en Bachaquero, se encuentran periodos entre 6,50 y 9 s, y hacia el suroeste a orillas del Lago de Maracaibo, asociados a zonas de mayor espesor sedimentario, correspondiente a los sedimentos de ambiente marino somero y deltaico de la Formación Lagunillas, con valores que oscilan de 4,65 s a 6,60 s. Los valores mínimos se ubicaron hacia el tramo central del área entre los perfiles N°5 y N°7, de 2,50 s hasta 2,90 s. En la transición hacia la cadena montañosa se observan valores variables, de 2,90 s a 7s.
- A través del análisis estadístico, se estudió la dispersión y tendencia central del conjunto de datos, determinando 3 subpoblaciones, las cuales describieron los picos observados en los espectros, referidos a las capas. Los datos presentaron una alta dispersión con respecto a la media, indicando la heterogeneidad de los datos, así como un comportamiento multimodal.
- A partir de la relación empírica entre la densidad y velocidad de onda S, se estimó una velocidad de onda S de 1700 m/s para el primer espesor y de 1900 m/s para la segunda capa, y a partir de esto se calcularon las profundidades, para obtener los mapas de espesores correspondiente a la primera y segunda capa, en los cuales se observó que donde hubo los mayores valores de periodos, el espesor de sedimentos aumento en relación directa.
- El mapa de espesores de la primera capa muestra una tendencia general entre 0,10 km a 0,60 km, donde los valores máximos se observaron hacia el área noreste, correspondiente a la localidad de Bachaquero, de 1,20 hasta 1,50 km, y de igual manera hacia el suroeste, sobre las poblaciones de Bobures y Boscán, se ve un incremento del espesor entre 1,3 a 1,6 km, estos altos espesores se asocian con el aporte sedimentario proveniente de las corrientes fluviales de la cordillera andina. Hacia el flanco noreste del área de estudio, se observa un patrón de profundidad, orientado de noroeste a sureste, en los perfiles N°7 y N°8.
- La figura 5.10 correspondiente al mapa de segundo espesor, varió entre 1,3 km a 4,4 km, donde se muestra una tendencia de aumento en espesor hacia el noreste del área de

estudio, pudiendo vincularse al sistema de fallas presentes, provocando un aumento en espesor de las capas. De igual forma hacia las áreas de Bobures y Boscán, se mantiene la misma tendencia que en el mapa de primer espesor.

- De acuerdo con estos resultados se puede afirmar que la geometría y sedimentación del área sureste de la cuenca de Maracaibo, se encuentra controlada por el sistema de fallas presentes.

En consecuencia con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se recomienda:

- Se sugiere volver a medir aquellas estaciones donde se dificultó distinguir el pico predominante debido a la cantidad de picos poco claros.
- De igual manera si se estima realizar investigaciones donde se desee llegar a mayores profundidades del subsuelo, se recomienda realizar tiempos de grabación de 60 minutos o más.
- Se sugiere realizar una integración de estos resultados, con el trabajo que se está llevando a cabo de ruido sísmico ambiental en el área suroeste del Lago de Maracaibo, realizado por el tesista Ricardo Macero del Departamento de Geofísica de la UCV.
- Realizar la integración con los estudios que forman parte del proyecto GIAME, a través de los distintos métodos geofísicos y geológicos, de manera de realizar una mejor y más detallada caracterización de la cuenca de Maracaibo.
- La información obtenida al evaluar los periodos de la primera y segunda capa, permitirá aportar información para la microzonificación en términos del comportamiento dinámico de los suelos, con el objetivo de establecer las posibles zonas de riesgo, y minimizar daños al momento que produzca un evento sísmico.
- Se aconseja que en un futuro cercano se continúe con el estudio de la caracterización de la cuenca de Maracaibo, aplicando el método de Nakamura, realizando el levantamiento de estaciones de ruido ambiental hasta la costa.

## BIBLIOGRAFIA

- Alva Valdivia, L. (1996). *Propiedades geofísicas de la tierra*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geofísica. Pp. 10-12.
- Audemard M., F. (1991) *Tectonics of western Venezuela*. Houston, Rice University.
- Bard P. (2004) *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation*. SESAME European research project. Universidad Joseph Fourir, Grenoble, Francia. p 62.
- Bermúdez, M.A., van der Beek, P.A., and Bernet, M., 2013, Strong tectonic and weak climatic control on exhumation rates in the Venezuelan Andes: *Lithosphere*, v. 5, p. 3-16.
- Bonnefoy-Claudet, S., F. Cotton, P.-Y. Bard (2006). *The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies*. A literature review, *Earth-Science Reviews* 79, 205-227.
- Brocher, Thomas (2005a) *Compressional and shear wave velocity versus depth in the San Francisco Bay area, California: Rules for USGS Bay area velocity. Model 05.0.0*. USGS.U.S. Geological survey.
- Brocher, Thomas (2005b). *Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust*, *Bull. Seism. Soc. Am.* 95, 2081—2092.
- Carrero García, Roxana (2008). *Reinterpretación estructural del área Bachaquero noreste para el Mioceno*. Trabajo especial de grado. Universidad Simón Bolívar.
- Cuadra Monreal, Pilar Elena. (2007) *Aplicación de técnicas de vibraciones ambientales: Análisis de microtemores y vibraciones naturales, para la caracterización de sitio*. Trabajo especial de grado. Universidad Simón Bolívar.
- Cutipá Vargas, Graciano Elard (2006). *Análisis de los niveles de ruido sísmico en estaciones sísmicas de banda ancha de la red sísmica nacional del Perú*. Trabajo especial de grado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

- Cragno M., Analia. (2001) *Evaluación geofísica integral de los conos aluviales en Macuto, Caraballeda y Tanaguareñas*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela.
- Einsele, Gerhard (2000). *Sedimentary Basins: Evolution, facies and sediment budget*. Springer-Verlag.
- Espíndola, J.M., Jiménez, Z. (1994). *Terremotos y ondas sísmicas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geofísica. pp. 13-15.
- García Flores, I., Tsige, M. (2006). *Propuesta de clasificación geotécnica del “Efecto Sitio” (Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la Región de Murcia*”. Geogaceta, 40, pp. 39-42. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- García, Karla (2010). *Representación geográfica 3D de la contaminación del aire en algunos sectores de la capital Guatemalteca*. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gascón Padrón, Rosángela. (2009). *Caracterización geofísica mediante estudio de ruido sísmico ambiental, área Metropolitana del estado Anzoátegui*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela.
- Havskov, Jens, Alguacil, Gerardo (2010) *Instrumentation in Earthquake Seismology*. Springer. pp 77- 85.
- Humire Guarachi, F. (2013) *Aplicación de métodos geofísicos basados en ondas superficiales para la caracterización sísmica de suelos. Aplicación a la microzonificación sísmica del norte y poniente de Santiago de Chile*. Trabajo especial de postgrado. Pontificia Universidad católica de Chile.
- Lowrie William. (2007). *Fundamentals of Geophysics. Second edition*. Cambridge University Press.CSIC.
- Kramer,S. (1996) *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.

- Mann, P., Escalona, A., Castillo, M. (2006b) *Regional geologic and tectonic setting of the Maracaibo supergiant basin, western Venezuela*. The America Association of Petroleum Geologists Bulletin, 90, 445-478
- Mazuera, F., González, L., Rocabado, V., Klarica, S. (2009) *Determinación de periodos fundamentales del suelo de la ciudad de Mérida, Venezuela, a partir de mediciones de ruido sísmico ambiental*. Artículo de investigación. Revista ciencia e Ingeniería. Vol. 30, N°1, pp. 57-68.
- McNamara, D., Buland, R. (2003) *Ambient noise levels in the continental United States, USGS, Golden, CO* Manuscript in review: Bull. Soc. Seism. Am. September 2003.
- Monroe, J., Wicander, R., Pozo, M. (2008) *Geología. Dinámica y evolución de la Tierra*. Cengage Learning Paraninfo. 4ta. Edición. Cap. 8. Pp. 213-216.
- Moreno L., Alfaro A. (2000) *De los microsismos a los microtemblores. Investigaciones en el Instituto Geofísico*. VII Congreso Colombiano de Geotecnia 2000. Sociedad Colombiana de Geotecnia.
- Moreno Figuera, Francisco. (2004) *Relación entre el periodo fundamental de vibración del suelo y el espesor de sedimentos en la parte oeste de la ciudad de Caracas, municipio Libertador, 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.
- Panou A.A., Theodulidis N., Hatzidimitriou P.M. , Papazachos C.B. , Stylianidis K. (2004) *Ambient noise horizontal-to-vertical spectral ratio for assessing site effects in urban environments: the case of Thessaloniki city (northern Greece)*. Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI.
- Requena, J., Turienzo, M. (2014) *Cinemática del flanco noroccidental de los Andes de Mérida, Venezuela: interacción entre estructuras de piel fina y piel gruesa*. PDVSA Exploración.

Rocabado, V., Sanchez, J., Schmitz, M., Bechtold M., Andrade, L. (2005) *Caracterización de suelos de Barquisimeto, estado Lara, Venezuela, aplicando métodos geofísicos y geotécnicos*. Boletín técnico IMME v.43 n.2.

Rocabado, V., Schmitz, M., Hernandez, J., Morales, C. (2011) *Relación entre período del suelo y profundidad de los sedimentos para la ciudad de Caracas, Venezuela*. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 25, N°2, pp 5-6, 2011.

Rodríguez, L. (2008). *Evaluación de geoamenazas con fines de microzonificación sísmica en las ciudades de Barquisimeto y Cabudare, Edo. Lara*. Trabajo especial de grado, Universidad Simón Bolívar.

Shearer, Peter. (2013). *Introduction to Seismology. Second edition*. Cambridge.

Ugalde, Arantza. (2009) *Terremotos. Cuando la Tierra tiembla*. Colección Divulgación.

Vásquez Paredes, T. (2008). *Aplicación de métodos sísmicos: vibraciones naturales y refracción de microtemores para caracterización de sitio en estudios de ingeniería civil*. Informe final de cursos en cooperación. Universidad Simón Bolívar.

Páginas web:

“Lis.ucr.ac.cr” (2011, 31 de mayo). *Tipos de onda*. De: <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=7>

“Earthquakecountry.org” (2007). *Echando raíces en tierra de terremotos*. De: <http://www.earthquakecountry.org/roots-es/shaking.html>

www.reftek.com



## **CAPITULO VII**

### **ANEXOS**

**Tabla 7.1** Procesamiento de datos. Perfil N°1.

Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3 pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)
87	1010143,16	249741,46	2,1386	3,51	0,4675956	0,908905	7,0992	5,33	0,14086094	3,37212				
88	1006816,53	250896,57	2,7282	2,47	0,366542	1,159485	7,17	3,87	0,13947001	3,40575				
89	1004061,98	252495,4	0,6979	1,81	1,43287	0,2966075	2,4731	2,87	0,40435081	1,1747225	8,96	4,03	0,1116071	4,704
90	1001174,53	254234,2	0,7767	1,41	1,2874984	0,3300975	1,9208	3,28	0,52061641	0,91238	7,1038	4,88	0,1407697	3,729495
91	997593,78	253271,19	0,7965	2,08	1,2554928	0,3385125	2,2561	2,48	0,44324276	1,0716475	7,9565	3,39	0,1256834	4,1771625
83	995277,57	248123,57	0,1954	2,66	5,1177073	0,083045	1,0732	2,03	0,93179277	0,50977	7,13	6,78	0,1402525	3,74325
84	992194,3	250191,47	1,0339	1,82	0,9672115	0,4394075	4,64	2,76	0,21551724	2,204	8,33	3,68	0,120048	4,37325
85	990274,82	252459,36	0,5203	1,48	1,9219681	0,2211275	2,4731	1,49	0,40435081	1,1747225	6,1615	2,04	0,1622981	3,2347875
86	987649,09	254145,58	2,8757	3,99	0,3477414	1,2221725	6,362	6,57	0,15718328	3,02195				0

**Tabla 7.2** Procesamiento de datos. Perfil N°2.

Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3 pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)
92	1015418,81	255873,71	1,222	2,74	0,8183306	0,51935	2,2581	3,65	0,4428502	1,0725975	6,8402	7,12	0,1461946	3,591105
93	1013322,19	259476,79	2,410	2,86	0,4149378	1,02425	3,374	3,32	0,2964105	1,6025075	6,3421	5,15	0,1576765	3,3296025
94	1010788,25	262790,48	2,2664	1,96	0,4412284	0,96322	3,420	1,59	0,2924148	1,624405	7,6409	2,39	0,1308746	4,0114725
95	1009050,5	265086,08	1,8024	1,68	0,5548158	0,76602	2,532	1,97	0,3949135	1,202795	8,09	2,95	0,1236094	4,24725
97	1005000,86	267038,47	0,408	1,46	2,4509804	0,1734	1,668	2,21	0,5995204	0,7923				0
82	998064,59	264954,21	0,5992	1,9	1,6688919	0,25466	2,158	2,11	0,4634994	1,0248125	6,9308	3,02	0,1442835	3,63867

**Tabla 7.3** Procesamiento de datos. Perfil N°3.

Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3 pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)
98	1022370,18	260964,1	3,9116	7,34	0,25565	1,66243	6,979	9,86	0,143283	3,31512				
99	1021008,48	263535,92	1,664	1,76	0,600962	0,7072	3,45	2,39	0,289855	1,63875	6,1221	2,91	0,163343	3,214103
100	1018941,24	265926,59	1,64	1,83	0,609756	0,697	2,8358	2,7	0,352634	1,347005				
101	1016460,4	268134,9					2,5968	2,54	0,385089	1,23348	5,4656	4,87	0,182963	2,86944
102	1013285,29	270861,68	0,613	3,24	1,631321	0,260525	3,0056	2,48	0,332712	1,178	6,8716	3,68	0,145527	3,60759
103	1011720,97	271411,49					2,97	3,02	0,3367	1,4345	6,89	6,82	0,145138	3,61725
104	1007340,88	272647,67	2,322	1,99	0,430663	0,98685	3,64	2,17	0,274725	1,03075				

**Tabla 7.4** Procesamiento de datos. Perfil N°4.

Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3° pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)
105	1028853,77	271166,29	1,3018	3,69	0,768167	0,553265	2,49	4,43	0,401606	1,18275	7,6769	7,57	0,130261	4,030373
106	1025797,19	271700,92	2,4354	2,52	0,41061	1,035045	6,2824	4,62	0,159175	2,98414				0
107	1022548,06	273965,66	0,5203	1,18	1,921968	0,221128	2,3156	1,66	0,431854	1,09991	6,8125	2,88	0,146789	3,576563
108	1020070,24	276274,89	0,507	1,39	1,972387	0,215475	2,4396	1,41	0,409903	1,15881	8,0404	2,73	0,124372	4,22121
109	1017157,36	276756,02	2,2561	1,56	0,443243	0,958843	6,4574	2,2	0,154861	3,067265	9,5147	3,08	0,105101	4,995218
110	1015004,63	278133,22	1,1515	1,25	0,868432	0,489388	3,1831	1,8	0,314159	1,511973	8,134	3,12	0,122941	4,27035
111	1012472,29	281481,17	0,5922	0,339	1,688619	0,251685								

**Tabla 7.5** Procesamiento de datos. Perfil N°5.

Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3° pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)	periodo	amplitud	frecuencia	H(km)
112	1032195,92	274241,36	2,278	7,34	0,438982	0,96815	5,9437	9,61	0,168245	2,823258				
113	1030602,05	281582,2	0,8876	1,14	1,126634	0,37723	2,3981	2,04	0,416997	1,139098	6,1416	3,4	0,162824	3,22434
114	1028817,67	281404,29	0,8072	1,16	1,23885	0,34306	2,1154	1,81	0,472724	1,004815	7,8419	2,03	0,12752	4,116998
115														
116	1024597,97	285382,79	0,707	3,51	1,414427	0,300475	2,3325	3,16	0,428725	1,107938	8,1537	3,03	0,122644	4,280693
117	1028725,7	293750,53	0,7639	1,52	1,309072	0,324658	2,2382	2,37	0,446788	1,063145	7,2386	3,29	0,138148	3,800265
118	1024555,27	295642,43	0,2296	1,92	4,355401	0,09758	2,4474	1,42	0,408597	1,162515	8,923	1,86	0,11207	4,684575

**Tabla 7.6** Procesamiento de datos. Perfil N°6.

Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3° pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)
119	1047452,17	272963,9	1,0428	2,95	0,958957	0,44319	2,5968	9,8	0,385089	1,23348	7,9757	8,34	0,125381	4,187243
120	1047859,37	278458,2	0,7241	2,29	1,381025	0,307743	2,5171	4,48	0,397283	1,195623				
121	1048079,12	284088,44	0,6249	1,42	1,600256	0,265583	2,6444	2,33	0,378158	1,25609	6,47	3,76	0,15456	3,39675
122	1047712,9	289135,55	0,7767	1,39	1,287498	0,330098	5,0767	3,4	0,196978	2,411433				
123	1047826,96	294139,45	0,8055	2,7	1,241465	0,342338	2,7593	2,83	0,362411	1,310668	7,6685	3,9	0,130404	4,025963
124	1048090,29	298927,37	0,8383	2,39	1,19289	0,356278	2,2011	2,70	0,454318	1,045523	6,9635	3,33	0,143606	3,655838
125	1043100,31	302464,73	0,1642	1,81	6,090134	0,069785	3,1027	2,66	0,3223	1,473783	6,5002	5,1	0,153841	3,412605
126	1043096,05	305100,73	0,5401	1,59	1,851509	0,229543	6,5363	3,39	0,152992	3,104743				
127	1040511,63	307003,72	2,5322	1,46	0,394914	1,076185	5,3528	2,06	0,186818	2,54258	8,5679	2,01	0,116715	4,498148
128	1038729,06	308331,23	0,8332	1,31	1,200192	0,35411	2,0336	1,48	0,491739	0,96596	7,99	1,85	0,125156	4,19475

**Tabla 7.7** Procesamiento de datos. Perfil N°7.

Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3° pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)
130	1069369,34	275595,91	0,932	2,75	1,0729614	0,3961	2,217	4,72	0,45106	1,053075	6,418	6,75	0,1558118	3,36945
131	1070158,16	280942,84	0,701	1,81	1,4265335	0,297925	2,195	1,86	0,4555809	1,042625	4,89	2,71	0,204499	2,56725
132	1069396,78	286128,08	0,961	2,34	1,0405827	0,408425	6,654	6,1	0,1502855	3,16065				0
133	1072426,18	290005	0,820	3,200	1,2195122	0,3485	4,2286	6,51	0,2364849	2,008585	6,6741	7,92	0,1498329	3,5039025
137	1071973,52	295152,15	0,9428	1,52	1,0606703	0,40069	6,1083	6,69	0,1637117	2,9014425				
135	1068391,75	298346,21	0,9124	3	1,0960105	0,38777	2,9024	2,6	0,3445424	1,37864				
139	1065206,5	301588,72	0,9233	3,55	1,0830716	0,3924025	7,2386	13,53	0,1381483	3,438335				
140	1065216,14	306812	2,0588	1,72	0,4857198	0,87499	5,0175	2,48	0,1993024	2,3833125	9,9881	3,37	0,1001191	4,7443475
141	1061326,05	311091,7	1,0109	2,52	0,9892175	0,4296325	6,3806	2,41	0,1567251	3,030785	9,3321	2,55	0,107157	4,4327475
142	1057592,72	314238,58	0,991	2,09	1,0090817	0,421175	2,620	1,830	0,3816794	1,2445	8,149	2,350	0,1227144	3,870775
159	1055798,2	321308,19	0,4022	2,22	2,4863252	0,170935	7,121	2,69	0,1404297	3,382475				

**Tabla 7.8** Procesamiento de datos. Perfil N°8.

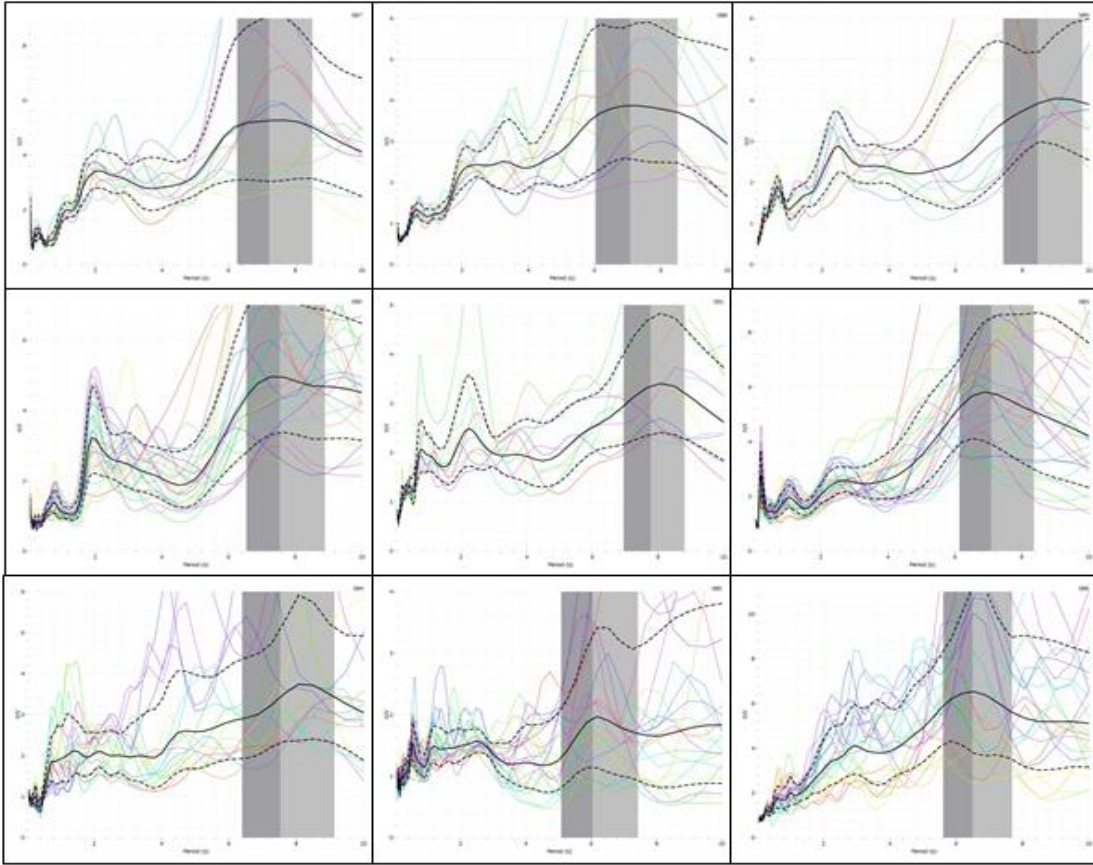
Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3° pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)
143	1082645,94	272469,25	0.95	2.56	1.0526316	0.40375	2.55	4.29	0.3921569	1.21125	7.725	7.42	0.1294498	4.055625
144	1083148,46	275221,84	0.6462	1.50	1.5475085	0.274635	4.141	3.05	0.2414876	1.966975	8.1909	3.32	0.1220867	4.3002225
145	1083837,61	278655,15	0.5251	1.57	1.9043992	0.2231675	4.4617	3.01	0.2241298	2.1193075	7.0182	2.56	0.1424867	3.684555
146	1084210,13	281635,3	1.002	1.66	0.998004	0.42585	4.3033	4.73	0.2323798	2.0440675	7.448	3.91	0.1342642	3.9102
147	1084552,27	284596,88	1.0376	1.38	0.9637625	0.44098	3.3091	2.17	0.302197	1.5718225	8.5928	2.56	0.1163765	4.08158
148	1085138,44	286843,51					6.5188	3.6	0.1534025	2.77049				
136	1084156,99	289187,76	2.9919	3.83	0.3342358	1.2715575	8.277	3.83	0.1208167	3.931575				
138	1087861,29	292719,72	0.8895	1.53	1.1242271	0.3780375	3.4079	1.62	0.2934358	1.6187525	6.9632	3.04	0.1436121	3.30752
134	1078621,51	290479,18	0.9388	1.96	1.0651896	0.39899	4.7905	3.38	0.2087465	2.2754875	8.7903	3.43	0.1137618	4.1753925

**Tabla 7.9** Procesamiento de datos. Perfil N°9.

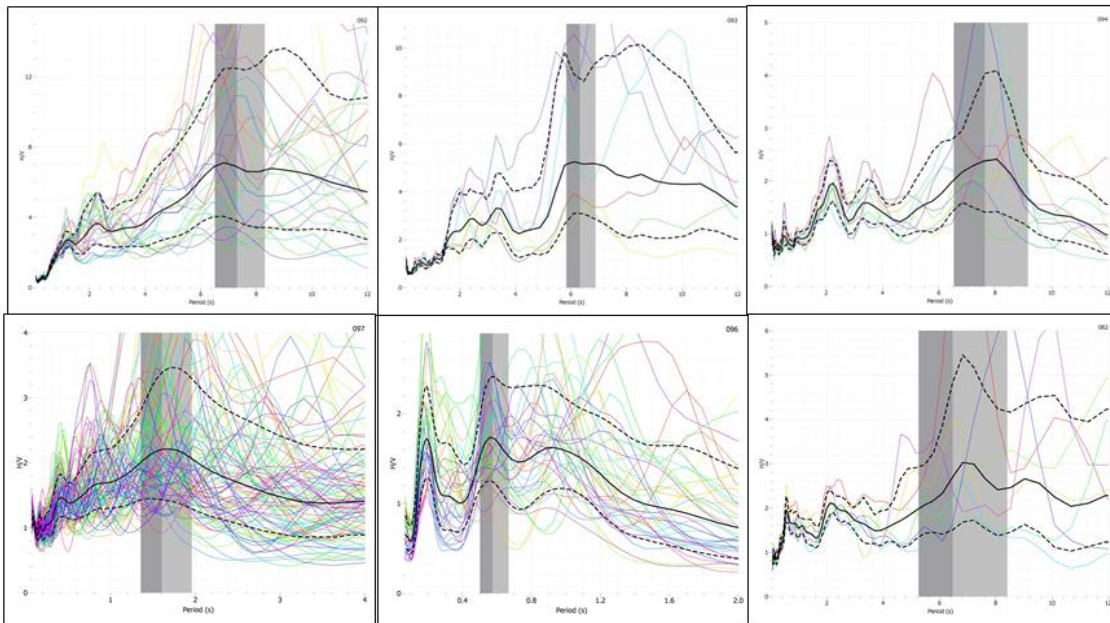
Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3° pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)
149	1101162,24	263775,85	3.2250	4.38	0.3100775	1.370625	7.275	5.21	0.137457	3.455625				
150	1102492,96	266633,24	2.3096	2.37	0.4329754	0.98158	5.2644	3.27	0.1899552	2.50059	10.23	4.94	0.0977517	4.34775
151	1101101,39	269418,24	2.7412	2.68	0.3648037	1.16501	6.6176	3.46	0.1511122	3.14336				0
152	1099137,13	271925,61	5.9262	3.96	0.1687422	2.518635	9.8520	2.9100	0.1015022	4.6797				0
153	1097340,49	274199,65	2.5521	2.13	0.3918342	1.0846425	7.807	5.14	0.1280984	3.7080875	12.09	5.39	0.082713	5.13825
154	1095666,89	276486,85					6.1485	4.42	0.1626413	2.6131125				
155	1093957,47	278630,8					6.1978	2.51	0.1613476	2.634065				
156	1092536,07	281459,26					6.3	5.39	0.1587302	2.6775				
157	1090517,57	285539,94	2.2715	2.78	0.4402377	0.9653875								
158	1089836,51	286925,59	0.6417	1.18	1.5583606	0.2727225	6.744	1.17	0.14828	3.2034				

**Tabla 7.10** Procesamiento de datos. Perfil N°10.

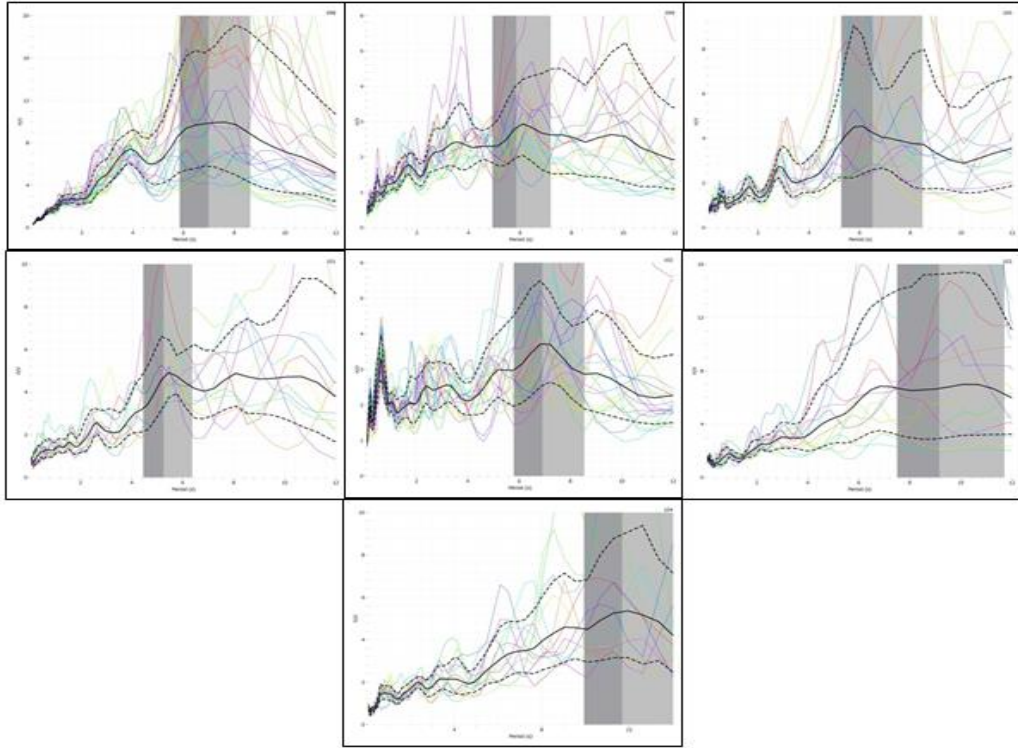
Estacion	coordenadas		1° pico				2° pico				3° pico			
	Norte	Este	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)	periodo	amplitud	frecuencia	H (km)
160	1053388,35	318945,38	1.4201	1.43	0.7041758	0.6035425	2.9312	0.92	0.3411572	1.39232				
161	1052215,44	316228,33	0.9937	1.26	1.0063399	0.4223225	2.3942	1.43	0.4176761	1.137245	6.89	1.53	0.1451379	3.61725
162	1051100,78	313569,32	1.1503	1.61	0.8693384	0.4888775	3.58	2.08	0.2793296	1.7005	5.764	2.69	0.1734906	3.0261
163	1049058,67	310231,4	1.1121	1.79	0.8991997	0.4726425	6.3982	3.51	0.156294	3.039145				
164	1046341,16	307438,78	0.2542	1.68	3.9339103	0.108035	6.1024	2.81	0.16387	2.89864				
129	1059594,92	282760,06	0.7241	2.21	1.3810247	0.3077425	2.0788	2.86	0.4810468	0.98743	6.362	5.38	0.1571833	3.34005



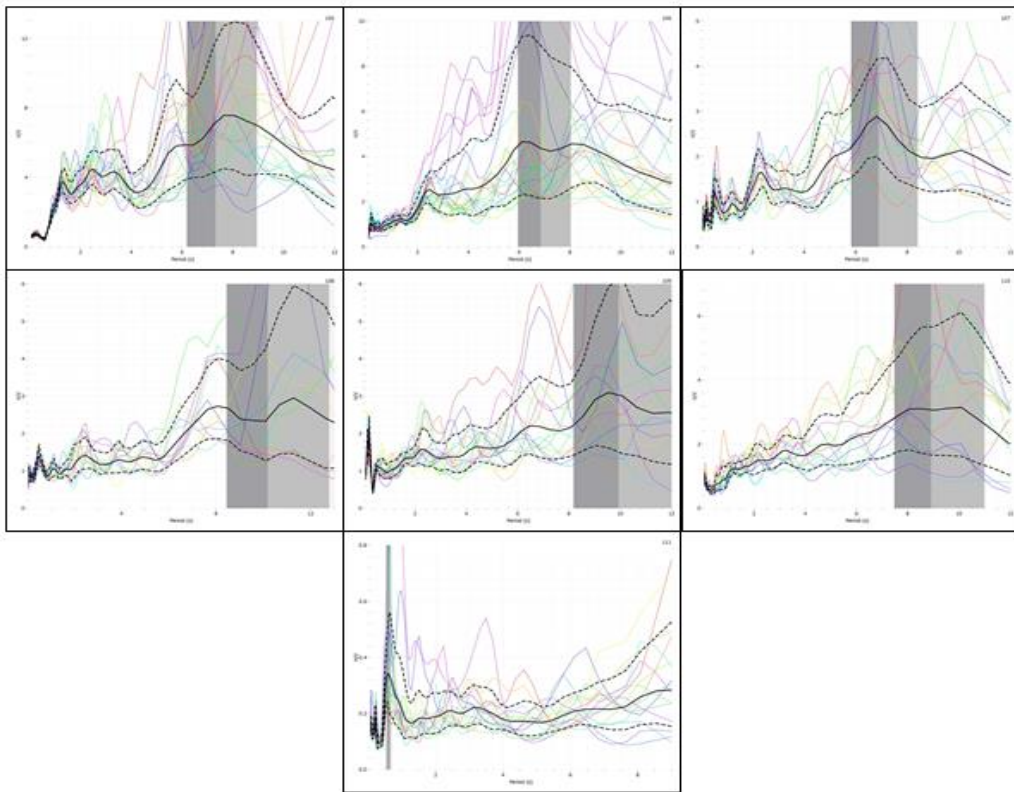
**Figura 7.1** Cocientes espectrales del perfil N°1.



**Figura 7.2** Cocientes espectrales del perfil N°2.

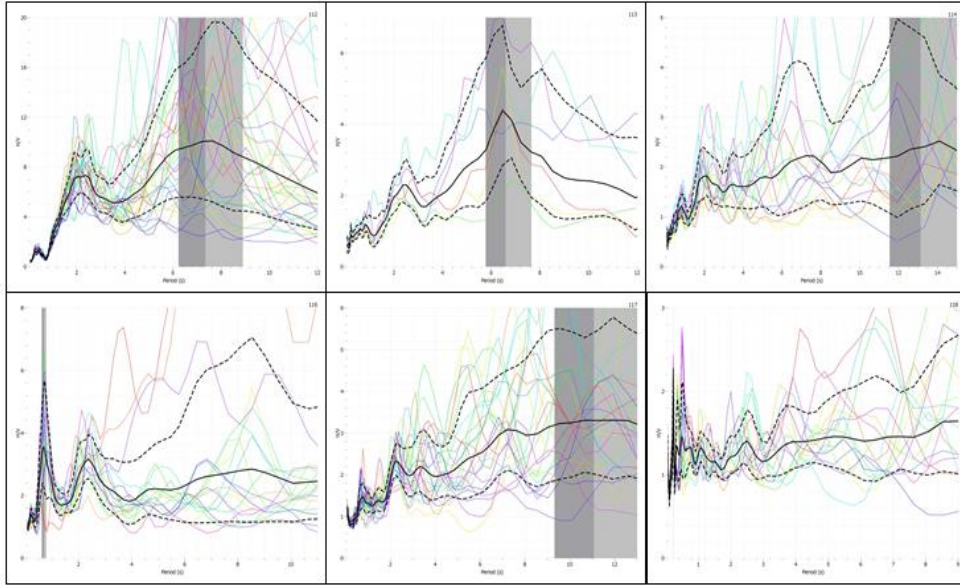


**Figura 7.3** Cocientes espectrales del perfil N°3.

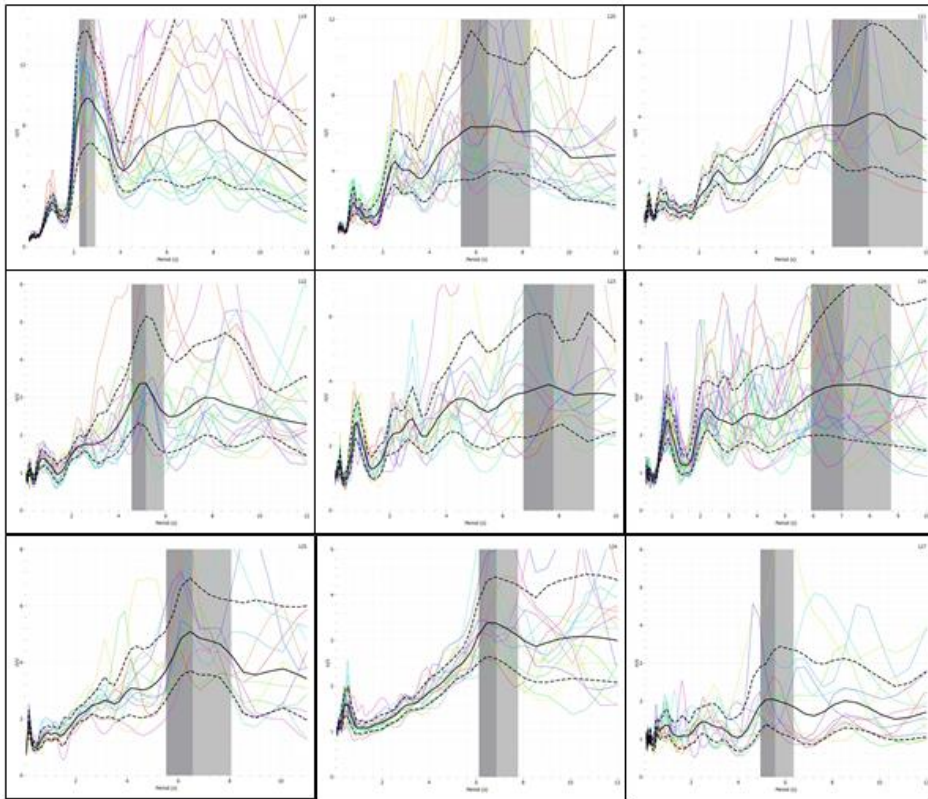


**Figura 7.4** Cocientes espectrales del perfil N°4.



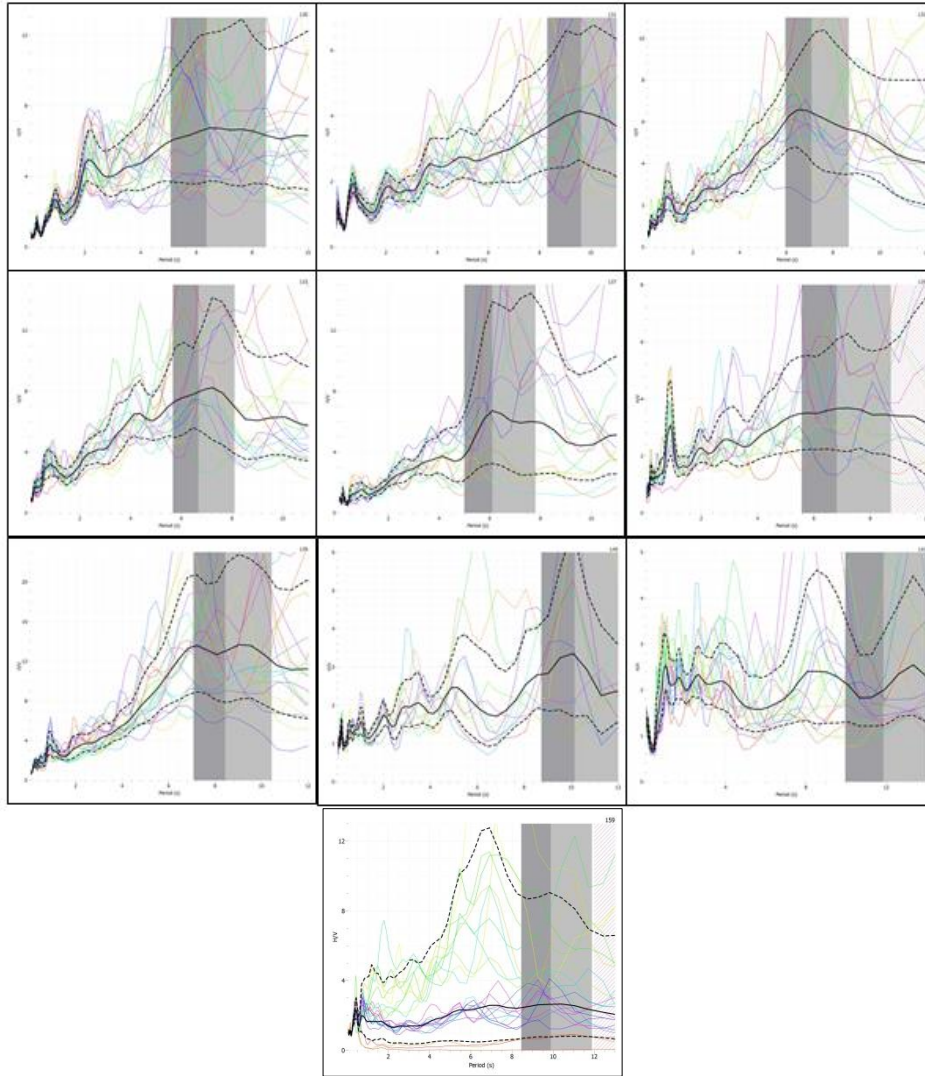


**Figura 7.5** Cocientes espectrales del perfil N°5.

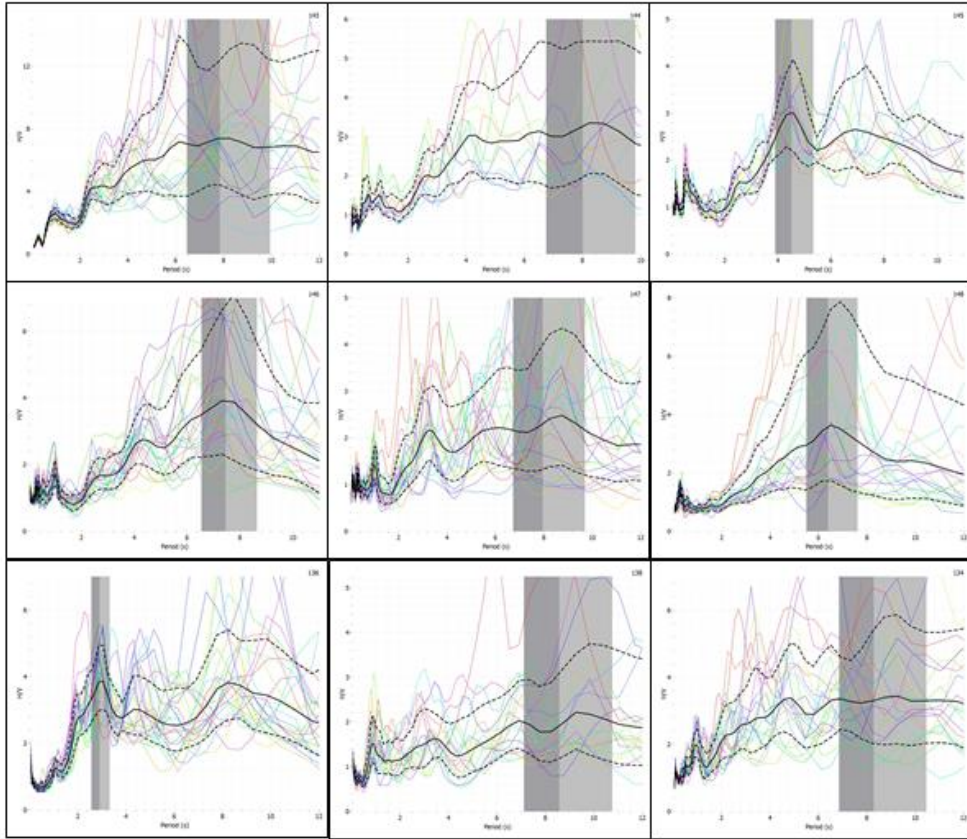


**Figura 7.6** Cocientes espectrales del perfil N°6.

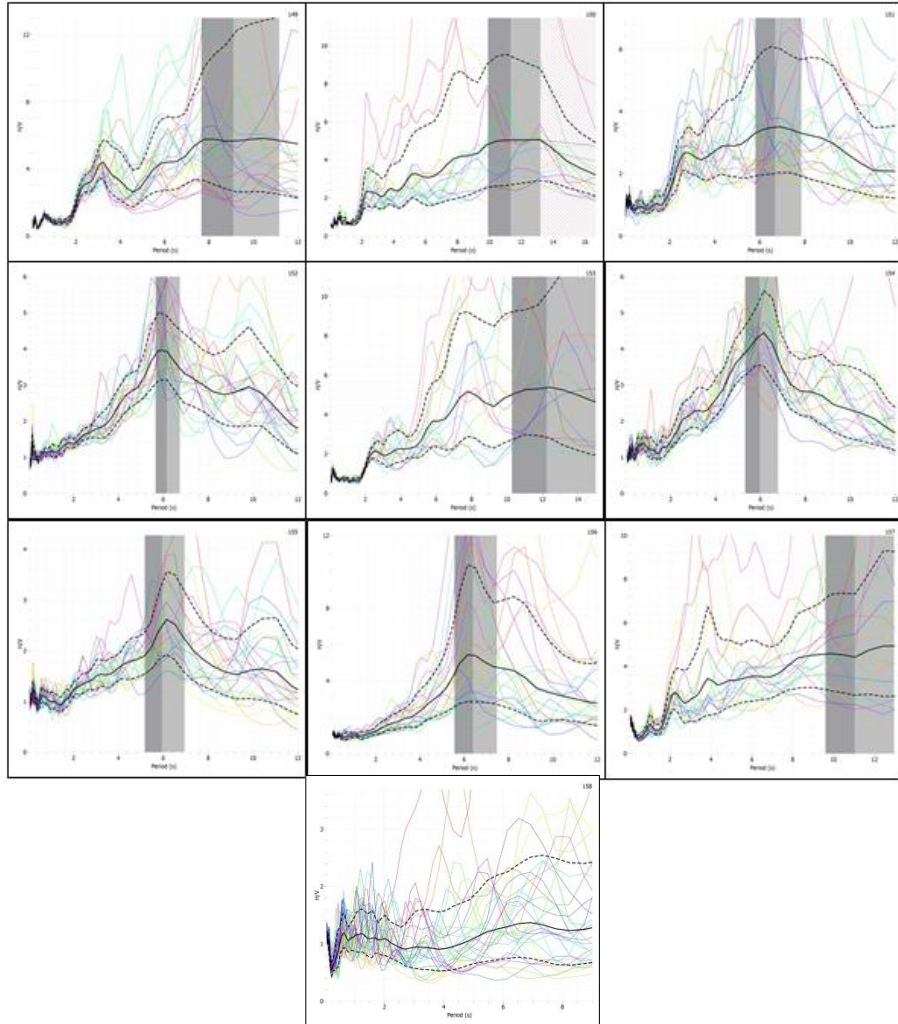




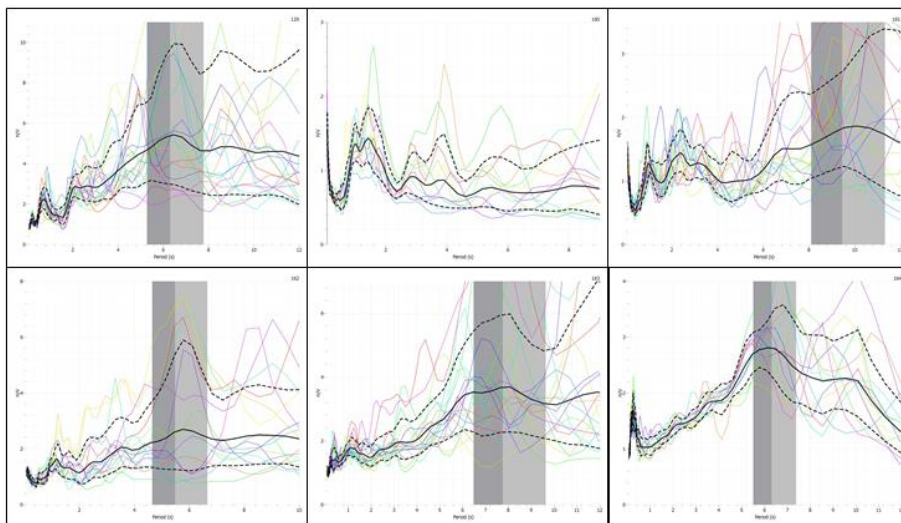
**Figura 7.7** Cocientes espectrales del perfil N°7.



**Figura 7.8** Cocientes espectrales del perfil N°8.



**Figura 7.9** Cocientes espectrales del perfil N°9.



**Figura 7.10** Cocientes espectrales del perfil N°10.