UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

TÍTULO

ZONIFICACIÓN DE PERIODOS FUNDAMENTALES DEL SUELO, MEDIANTE VIBRACIONES AMBIENTALES, DE LA ZONA URBANA EN LA CUENCA DE LOJA, PROVINCIA DE LOJA-ECUADOR.

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL.

AUTORA:

Paulina Elizabeth Calderón Castillo

DIRECTOR:

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR

2018

II. CERTIFICACIÓN

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.
DOCENTE DE LA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **ZONIFICACIÓN DE PERIODOS FUNDAMENTALES DEL SUELO, MEDIANTE VIBRACIONES AMBIENTALES, DE LA ZONA URBANA EN LA CUENCA DE LOJA, PROVINCIA DE LOJA-ECUADOR.**, previo a la obtención del título de **INGENIERA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, realizado por la señorita **PAULINA ELIZABETH CALDERÓN CASTILLO**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación por lo que autorizo su presentación para la evaluación y posterior sustentación.

Loja, 30 de julio del 2018.

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

III. AUTORÍA

Yo, **PAULINA ELIZABETH CALDERÓN CASTILLO**, declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi tesis en Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma: _____

Cédula: 1104893118

Fecha: 20 de Agosto del 2018.

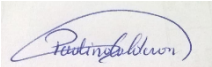
IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **PAULINA ELIZABETH CALDERÓN CASTILLO**, declaro ser autora de la tesis titulada: **ZONIFICACIÓN DE PERIODOS FUNDAMENTALES DEL SUELO, MEDIANTE VIBRACIONES AMBIENTALES, DE LA ZONA URBANA EN LA CUENCA DE LOJA, PROVINCIA DE LOJA-ECUADOR**., como requisito para optar el grado de **INGENIERA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización; en la ciudad de Loja a los veinte días del mes de agosto del año dos mil dieciocho.

Firma: 

Autora: Paulina Elizabeth Calderón Castillo.

Cédula: 1104893118

Dirección: Loja (Ciudadela "Ciudad Victoria" Calle Túpac Amaru, s/n, entre Oswaldo Guayasamín y Clotario Maldonado Paz)

Correo Electrónico: paoli_cc@yahoo.es / pcalderonc@unl.edu.ec

Teléfono: 072326294; Celular: 0994266524

DATOS COMPLEMETARIOS

Director de Tesis: Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

TRIBUNAL DE GRADO:

Ing. Hernán Luis Castillo García, Mg. Sc.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc.

Ing. Richard Stalin González Vásquez , Mg.Sc.

V. DEDICATORIA

A mi FAMILIA y AMIGOS.

VI. AGRADECIMIENTO

Estaría complacida que estas líneas esgrimieran para enunciar mi más profundo y sincero agradecimiento, a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización de esta tesis.

A la Universidad Nacional de Loja, institución que me formó profesionalmente.

Al Sr. Segundo Guanoliquin Paucar gerente propietario de GEOSOIL Cía. Ltda., con quien di los primeros pasos como técnico en ciencias de la Tierra, agradecer su gentileza y generosidad, pues es quien prestó el equipo para el desarrollo esta tesis.

Al Ing. Fermín Alexander González, por su apoyo e influencia para la terminación de esta tesis.

A los docentes de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, peldaño importante durante el transcurso de todos los años de formación universitaria, que con entrega, cariño y dedicación impartieron sus conocimientos.

No hay manera de expresar mi inmenso agradecimiento al Ing. Eduardo Uribe Cervantes, por su apoyo técnico y moral, durante todo el desarrollo de este escrito y lo más importante su cariño hacía mí.

En especial, a mi padre, hermana y Ale, de los cuales siempre recibí su apoyo.

Finalmente a todos mis compañeros de aula, en especial al grupo de los Moscos, que desde el primer día de clases y hasta el final estuvimos juntos y cómplices de viajes, estudios, ocio y protagonistas de recuerdos divertidos, Carlos, Jessy, Daniela y José.

A todos ellos muchas gracias.

Paulina Calderón.

VII. ÍNDICE DE CONTENIDO

I. PORTADA i

II. CERTIFICACIÓN ii

III. AUTORÍA iii

IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA. ... iv

V. DEDICATORIA v

VI. AGRADECIMIENTO vi

VII. ÍNDICE DE CONTENIDO vii

VII. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ix

VIII. ÍNDICE DE TABLAS xi

1. TÍTULO 1

2. RESUMEN 2

3. INTRODUCCIÓN 4

3.1. Objetivos 8

3.1.1. Objetivo general 8

3.1.2. Objetivos específicos 8

4. REVISIÓN DE LITERATURA 9

4.1. Conceptos 9

4.1.1. Cuenca sedimentaria 9

4.1.2. Sismo 9

4.1.3. Ondas sísmicas 9

4.1.4. Sismograma 12

4.1.5. Sismógrafo 13

4.1.6. Sismométro 13

4.1.7. Microtremores 13

4.1.8. Periodo Fundamental del suelo 14
4.1.9. Periodo fundamental de estructura civil 14
4.1.10. Ciclo oscilatorio 15
4.1.11. Amplitud 15
4.1.12. Cocientes espectrales H/V 16
4.1.13. Espectro 16
4.1.14. Resonancia 17
4.1.15. Efecto de Sitio 17
4.1.16. Zonificación Sísmica 17
4.2. Fundamentos teóricos. 18
4.2.1. Métodos para la medición de efecto de sitio. 18
4.2.2. Vibración ambiental 21
4.2.3. Transformada de Fourier 21
4.2.4. Funciones de transferencias 24
4.2.5. Cociente entre la componente horizontal y la componente vertical 25
4.2.6. Proyecto SESAME 26
4.2.7. GEOPSY 26
5. MATERIALES Y METODOLOGÍA 27
5.1. Método 27
5.2. Materiales 29
5.3. Metodología 30
5.3.1. Trabajos previos a la salida de campo: 31
5.3.2. Representación de la información 33
6. RESULTADOS 34
6.1. Reconocimiento General del Área de Estudio 34
6.1.1. Ubicación y acceso 34

6.1.2. Área de estudio 35
6.1.3. Hidrografía 37
6.1.4. Geomorfología 38
6.1.5. Geología local 41
6.2. Cociente espectral H/V 46
6.3. Periodo natural de suelo y su correlación geológica 48
6.4. Mapa de isoperiodos de la zona urbana de la Cuenca de Loja 63
7. DISCUSIÓN 64
8. CONCLUSIONES 66
9. RECOMENDACIONES 67
10. BIBLIOGRAFÍA 68
11. ANEXOS 72

VII. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Propagación de ondas sísmicas. 9
Ilustración 2 Propagación de las ondas Rayleigh. 11
Ilustración 3 Propagación de las Ondas Love. 12
Ilustración 4 Sismograma. 13
Ilustración 5 Principales fuentes que generan los microtremores, las fuentes naturales y fuentes artificiales (antrópicas). 14
Ilustración 6 Representación de un ciclo oscilatorio. 15
Ilustración 7 Amplitud, Periodo y Frecuencia en Física. 15
Ilustración 8 Espectro de Amplitud. 16
Ilustración 9 Espectro de Fase. 17
Ilustración 10 Acelerograma y Espectro de Fourier. 23
Ilustración 11 Sistema de una entrada – una salida (SISO). 24
Ilustración 12 Esquema conceptual del proceso de resolución de una ecuación diferencial mediante la transformada de Laplace. 25
Ilustración 13 Descripción del cálculo de la relación H/V. 28

Ilustración 14 Esquema de materiales utilizados. 29
Ilustración 15 Esquema de la metodología empleada. 30
Ilustración 16 Establecimiento de los puntos para medición. 31
Ilustración 17 Hoja de campo para medir el Ruido Ambiental. 32
Ilustración 18 Hoja de campo para registrar afloramientos geológicos. 32
Ilustración 19 Interpolación Distancia Inversa Ponderada basada en la distancia del punto de muestra ponderada (izquierda). Superficie IDW interpolada de puntos vectoriales de elevación (derecha). 33
Ilustración 20 Proceso de interpolación de datos FRECUENCIAS. 33
Ilustración 21 Mapa de ubicación. 34
Ilustración 22 Mapa de elevaciones de la cuenca de Loja Escala de trabajo 100000 35
Ilustración 23 Relieves del área de estudio. 36
Ilustración 24 Hidrografía del área de estudio, Escala de trabajo: 1:60 000. 37
Ilustración 25 Mapa Geomorfológico de la cuenca de Loja Escala de trabajo: 1: 200000. 39
Ilustración 26 Columna estratigráfica de la cuenca de Loja. 42
Ilustración 27 Mapa geológico de la Hoya de Loja Escala de trabajo: 1:200000 44
Ilustración 28 Corte Geológico A-A` de la Cuenca de Loja. 45
Ilustración 29 Corte Geológico B-B` de la Cuenca de Loja. 45
Ilustración 30 Resultados H/V, ESTACIÓN 2 46
Ilustración 31 Periodo Fundamental del Suelo. 46
Ilustración 32 Correlación Periodos y Frecuencias VS geología. 48
Ilustración 33 Zonificación de Periodos fundamentales. Escala de trabajo: 1: 200000. 63
Ilustración 34 Instalación del Equipo. 76
Ilustración 35 Conexión del equipo 77
Ilustración 36 SEISMOLOG-MT 1.3.9. 78
Ilustración 37 Captura de pantalla Procesamiento de datos 79
Ilustración 38 Captura de pantalla importación de datos 80
Ilustración 39 Captura de pantalla prsentación de datos 80
Ilustración 40 Captura de pantalla opción H/V 81
Ilustración 41 Captura de ventanas parámetros para el procesamiento de datos 81
Ilustración 42 Captura de ventana Preprosesing 82

Ilustración 43 Captura de ventana Pestaña Output 82
Ilustración 44 Captura de ventana modelo anti-trigger 83
Ilustración 45 Resultado final 83

VIII. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Catálogo de terremotos en el Ecuador 1541-2008: Intensidades, ... 4
Tabla 2 Paisajes y subpaisajes geomorfológicos del área urbana de la ciudad de Loja. 40
Tabla 3 Periodo fundamental del suelo y su distribución por barrios 47
Tabla 4 Periodo fundamental del suelo en Terrazas Aluviales. 49
Tabla 5 Periodo fundamental del suelo en la Fm. San Cayetano Medio. 51
Tabla 6 Periodo fundamental del suelo en la Fm. San Cayetano Inferior 53
Tabla 7 Periodo fundamental del suelo en la Fm. San Cayertano Superior 53
Tabla 8 Periodo fundamental del suelo en la Fm. Trigal 55
Tabla 9 Periodo fundamental del suelo en la Fm. Chiguinda. 56
Tabla 10 Periodo fundamental del suelo en la Fm. La Banda. 57
Tabla 11 Periodo fundamental del suelo en la Fm. Belén. 59
Tabla 12 Periodo fundamental del suelo en la Fm. Quillollaco. 60

1. TÍTULO

ZONIFICACIÓN DE PERIODOS FUNDAMENTALES DEL SUELO, MEDIANTE VIBRACIONES AMBIENTALES, DE LA ZONA URBANA EN LA CUENCA DE LOJA, PROVINCIA DE LOJA-ECUADOR.

2. RESUMEN

El presente trabajo de titulación estudia el comportamiento dinámico de los estratos del suelo y sub-suelo, como instrumento fundamental para realizar proyectos de zonificación sísmica, ya que a través de los datos captados podemos conocer la conducta del medio frente a eventos sísmicos; esta respuesta dinámica está relacionada con la frecuencia natural de vibración del sitio. Para lo cual se ha empleado la técnica del cociente espectral horizontal/vertical (H/V), expuesta por Nakamura en 1989, para la determinación del período fundamental del suelo.

Aplicando esta técnica se presenta la zonificación de periodos de respuesta del suelo, en la zona urbana de la Cuenca de Loja, localizada al Sur del Territorio Ecuatoriano, en donde fueron tomadas varias mediciones en diferentes sitios de la ciudad, empleando un acelerógrafo triaxial digital de alto rendimiento y alto rango dinámico, para la adquisición de datos (SARA electronic instruments).

En este documento se detalla el procedimiento empleado para la captación y el procesado de las mediciones. La técnica aplicada fue factible en cuanto a manejo, eficacia y en costo, comparado con otros métodos. Los resultados obtenidos han permitido zonificar el área urbana de la cuenca de Loja, en tres categorías: periodos largos, medios y cortos, correlacionándolos con la geología del lugar y la distribución de los barrios de la urbe sobre estas zonas.

La información generada en la presente investigación, es importante para estudios posteriores, se la podrá utilizar para la elaboración de Planes de Ordenamiento Territorial y creación de mapas de Riesgos Sísmicos en el que se incluya la evaluación de obras civiles.

SUMMARY

The present work of titulación studies the dynamic behavior of the strata of the soil and sub-soil, like fundamental instrument to carry out projects of seismic zoning, since through the captured data we can know the conduct of the means in front of seismic events; this dynamic response is related to the natural frequency of site vibration. For which the technique of horizontal / vertical spectral quotient (H / V), exposed by Nakamura in 1989, was used to determine the fundamental period of the soil.

Applying this technique, the zoning of soil response periods is presented in the urban area of the Loja Basin, located south of the Ecuadorian Territory, where several measurements were taken in different parts of the city, using a digital triaxial accelerometer from high performance and high dynamic range, for data acquisition (SARA electronic instruments).

This document details the procedure used to capture and process the measurements. The applied technique was feasible in terms of management, efficiency and cost, compared with other methods. The results obtained have allowed zoning the urban area of the Loja basin, in three categories: long, medium and short periods, correlating them with the geology of the place and the distribution of the neighborhoods of the city on these areas.

The information generated in the present investigation is important for subsequent studies, it can be used for the elaboration of Land Management Plans and creation of Seismic Risk maps in which the evaluation of civil works is included.

3. INTRODUCCIÓN

Diferentes zonas de la república del Ecuador se han visto afectadas por fuertes sismos que han provocado pérdidas humanas y cuantiosos daños materiales. Por tal motivo, en los últimos años se han realizado estudios importantes sobre la respuesta sísmica que se presentan en los suelos donde existen asentamientos humanos e infraestructura. Los daños a las estructuras ocasionados por sismos están influenciados por la respuesta sísmica del terreno al paso de las ondas sísmicas, las cuales sufren modificaciones por la presencia de diferentes tipos de materiales, principalmente en las zonas con suelos blandos, ocasionando que la intensidad sísmica aumente.

En cuanto a la sismicidad en la provincia de Loja se conoce que sólo ha ocurrido dos sismos destructores de intensidad VIII en la escala de Mercalli como muestra en la tabla 1, estos son en los años 1749 y 1970.

El evento ocurrido en el año 1749 destruyó Loja, pero no se tiene noticias de otras poblaciones de su jurisdicción, debido a que la zona se encontraba escasamente poblada. (Egred, 2009)

Tabla 1 Catálogo de terremotos en el Ecuador 1541-2008: Intensidades,
Fuente: Escuela Politécnica Nacional del Ecuador-Instituto Geofísico-José Egred 2009.

ORDEN CRONOLÓGICO DE TERREMOTOS		
FECHA	**LOCALIDAD**	**INTENSIDAD**
1749/01/20	Loja	VIII
1904/05/04	Loja	7
1913/02/23	Gonzanamá	8
1913/02/23	Loja	6
1913/02/23	San Pedro	8
1928/05/14	Loja	7
1928/07/18	Loja	6
1942/05/14	Loja	6

1946/03/29	Saraguro	6
1953/12/12	Alamor	8
1953/12/12	Célica	7
1953/12/12	Gonzanamá	8
1953/12/12	Lauro Guerrero	7
1953/12/12	Loja	6
1953/12/12	Malacatos	8
1953/12/12	Purunuma	8
1953/12/12	Quilanga	7
1953/12/12	San Pablo	8
1953/12/12	San Pedro de la Bendita	7
1953/12/12	Saraguro	7
1953/12/12	Vencentino	8
1956/03/22	Cariamanga	6
1956/03/22	Loja	6
1970/12/10	Alamor	8
1970/12/10	Amaluza	8
1970/12/10	Bellavista	7
1970/12/10	Cariamanga	8
1970/12/10	Catacocha	7
1970/12/10	Catamayo	8
1970/12/10	Celica	8
1970/12/10	Changaimina	8
1970/12/10	Chile	8
1970/12/10	Chuquiribamaba	8
1970/12/10	El Limón	8
1970/12/10	Gonzanama	8
1970/12/10	Guizmaguina	8
1970/12/10	Lauro Guerrero	8
1970/12/10	Loja	8
1970/12/10	Macara	8

1970/12/10	Malacatos	8
1970/12/10	Mercadillo	8
1970/12/10	Paquil	8
1970/12/10	Posango	8
1970/12/10	Progreso	8
1970/12/10	Purunuma	7
1970/12/10	Quilanga	8
1970/12/10	Sabanilla	8
1970/12/10	Santa Teresita	8
1970/12/10	Saraguro	8
1970/12/10	Sozoranga	8
1970/12/10	Tacamoros	8
1970/12/10	Taquil	7
1970/12/10	Vilcabamba	6
1970/12/10	Yangana	8
1970/12/10	Zapotillo	8
1971/07/27	Alamor	6
1971/07/27	Cariamanga	6
1971/07/27	Celica	6
1971/07/27	Loja	6
1971/07/27	Macara	6
1971/07/27	Sozoranga	6
1983/04/12	Catamayo	6
1983/04/12	Changaimina	6
1983/04/12	Gonzanama	6
1983/04/12	Malacatos	6
1983/04/12	Saraguro	6
1983/04/12	Vilcabamba	6
2007/11/16	Catarama	6

A raíz del terremoto ocurrido en la parte noroeste, que afecto a la región costera, el 16 de abril del 2016, el cual se sintió en todo el territorio ecuatoriano y tierras vecinas, nuestro país se ha visto en la obligación de modificar y mejorar la Norma Ecuatoriana de Construcción, la misma, que ahora se encuentra enfocada en conocer los parámetros dinámicos del suelo, para construir estructuras capaces de resistir estos fenómenos.

Uno de los parámetros dinámicos es el periodo fundamental de las vibraciones del suelo, dato que se está tomando interés en nuestro medio, y es transcendental al momento de planificar obras ingenieriles e incluso como un factor que debe ser utilizado al momento de establecer zonas, categorizar el uso del suelo y diseñar los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.

Los estudios de zonificación sísmica, tienen la finalidad de determinar el contenido de frecuencias naturales del suelo y tener una estimación preliminar de las amplificaciones relativas que pueden esperarse en el suelo durante un sismo.

La zonificación sísmica consiste en la identificación de la respuesta dinámica de los suelos frente a los sismos. En un estudio de zonificación se incluyen los efectos inducidos por fallas, licuación y otros, y se valora su peligrosidad (Tupak, 2009), esta respuesta de los suelos es conocida como efectos de sitio, y están definidos por las características geomorfológicas y litológicas de la región.

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo general

Realizar un mapa de periodos fundamentales del suelo, mediante vibraciones ambientales de la zona urbana en la cuenca de Loja, provincia de Loja-Ecuador.

3.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar los periodos fundamentales del suelo, con los cocientes espectrales de las componentes horizontal y vertical (H/V) del micro tremores aplicando el método de Nakamura (1989).
- Levantar la geología en los puntos donde se va a colocar cada estación de medida y correlacionar con los periodos obtenidos.
- Realizar una zonificación sísmica mediante un mapa de isoperiodos, de la zona urbana en la cuenca de Loja, escala 1:200000.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Conceptos

4.1.1. Cuenca sedimentaria

Las cuencas sedimentarias son geoformas de escala regional, es una zona deprimida de la corteza terrestre de origen tectónico conocidas también como hoyas, que permiten acumular, de cientos a miles de metros de sedimentos como consecuencia de los procesos de subsidencia que sufre la litósfera (Barredo & Stinco, 2010).

4.1.2. Sismo

Un sismo es un temblor o una sacudida de la tierra por causas internas. El término es sinónimo de terremoto o seísmo, aunque en algunas regiones geográficas los conceptos de sismo o seísmo se utilizan para hacer referencia a temblores de menor intensidad que un terremoto (CENAPRED, 2007).

Estos movimientos se producen por el choque de las placas tectónicas. La colisión libera energía mientras los materiales de la corteza terrestre se reorganizan para volver a alcanzar el equilibrio mecánico (Pérez & María, 2010).

4.1.3. Ondas sísmicas

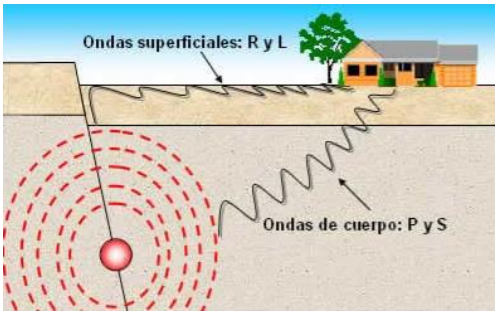


Ilustración 1 Propagación de ondas sísmicas.
Fuente: Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica.

Es la liberación de energía que se produce en un macizo rocoso es proporcional al movimiento sísmico que lo produjo. Esta energía se propaga a través del medio en forma de ondas sísmicas. En un sólido pueden transmitirse dos tipos generales de ondas: Internas

(o de cuerpo) y Superficiales, tal como se muestra en la ilustración 1 (Espindola & Jimenez, S.F.).

Las Ondas Internas se subdividen en dos tipos que son las Compresionales (P) y Transversales (S).

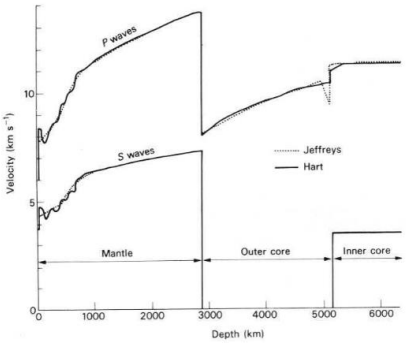


Ilustración 2 Velocidades de las ondas.
Fuente: Jeffreys (1939) y Hart (1977).

Ondas Comprensionales (P)

(Espindola & Jimenez, S.F.) Son las primeras en llegar a los sismógrafos por tanto las más veloces (Galves, Mediciones Sismicas e Investigaciones, 2012) conocidas también como ondas primarias, estas se pueden propagar por medios sólidos o fluidos, consisten en la transmisión de compresiones que se mueven en el mismo sentido que se mueve la onda (ver ilustración 3).

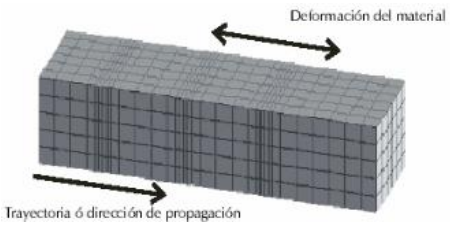


Ilustración 3 Propagación de las ondas P.
Fuente: Departamento Ing. Civil -Análisis Estructural II.

Ondas transversales (S)

Se desplazan en el suelo perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro por lo que se las denomina como ondas de

corte (Ilustración 2). Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte (Lehmann, 1936). Su velocidad es aproximadamente igual a la velocidad de la onda P, Vp, dividida entre 3 (esto es conocido como condición de Poisson). (Nieto, S.F). Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P y se siente más fuerte que ésta (Ver ilustración 4).

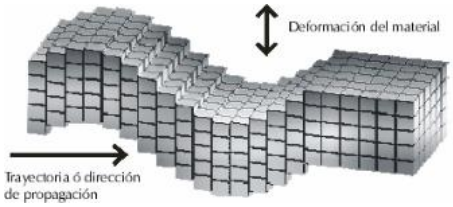


Ilustración 4 Propagación de las ondas S.

Fuente: Departamento Ing. Civil -Análisis Estructural II.

Ondas superficiales

Las ondas superficiales son las que se propagan por la corteza terrestre, generadas por interferencia de ondas S polarizadas horizontalmente (Love), o de ondas P y S polarizadas horizontalmente (Raleigh).Sus velocidades van de aproximadamente 2.5 a 4.5 km/seg., para la onda Love y de 1.0 a 4.0km/seg., para la onda Raleigh. Son ondas de períodos largos (Moncca, 2006).

> Ondas Rayleigh

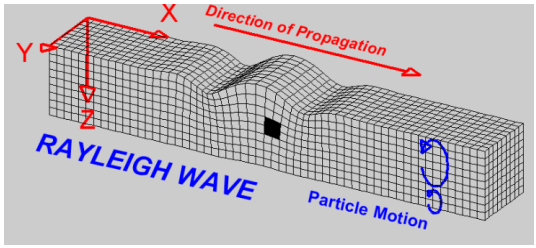


Ilustración 2 Propagación de las ondas Rayleigh.

Fuente: https://sismicidad.wikispaces.com

Cuando un sólido posee una superficie libre, como la superficie de la tierra, pueden generarse ondas que viajan a lo largo de la superficie. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad, y son conocidas como ondas de Rayleigh en honor al científico que predijo

su existencia. La trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda es elíptica retrógrada y ocurre en el plano de propagación de la onda (Sismoclub, 2012).

> **Ondas Love**

Love (1911) descubrió la onda superficial, que lleva su nombre estudiando el efecto de vibraciones elásticas a una capa superficial. Las ondas de Love requieren la existencia de una capa superficial de menor velocidad en comparación a las formaciones subyacentes, es decir un gradiente de velocidad positivo (velocidad se incrementa) con la profundidad. Son ondas de cizalla, que oscilan solo en el plano horizontal. Estas se generan sólo cuando un medio elástico se encuentra estratificado, situación que se cumple en nuestro planeta pues se encuentra formado por capas de diferentes características físicas y químicas. Las ondas de Love se propagan con un movimiento de las partículas, perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S, sólo que polarizadas en el plano de la superficie de la Tierra (Sismoclub, 2012).

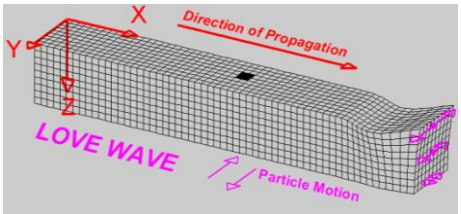


Ilustración 3 Propagación de las Ondas Love.
Fuente: https://sismicidad.wikispaces.com

4.1.4. Sismograma

El sismograma es el registro de los movimientos de la tierra realizados por un sismógrafo, los sismógrafos antiguos registraban los sismos en tambores de papel rotativo, podían ser de papel común o algunos utilizaban papel fotosensible, actualmente se utilizan sismógrafos que registran los sismos de manera digital (Moyano, 2006).

Para sintetizar el sismograma lo que hace es graficar el progreso del viaje de las ondas de un sismo desde el interior de la tierra hacia la superficie, cuando la propagación de las ondas se acerca a la tierra, la amplitud del registro del sismograma aumenta drásticamente.

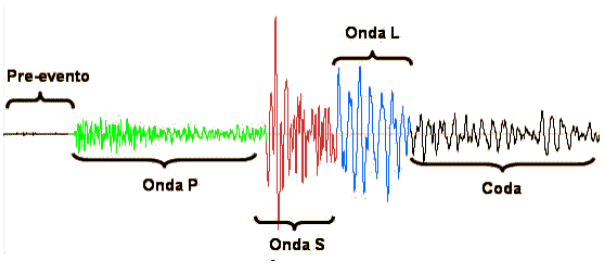


Ilustración 4 Sismograma.

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Sísmica Universidad de Costa Rica.

4.1.5. Sismógrafo

Es un aparato que registra el movimiento del suelo causado por el paso de una onda sísmica (Moyano, 2006).

4.1.6. Sismométro

Básicamente es un instrumento creado para medir terremotos, se trata de un sensor de vibraciones muy preciso. Es capaz de detectar pasos, palmadas o incluso la voz de personas cercanas. Es un instrumento para medir terremotos o pequeños temblores provocados por el levantamiento de placas en La Tierra. Fue inventado en 1842 por el físico escocés James David Forbes (lexicoon, S.F).

4.1.7. Microtremores

Son vibraciones del suelo producidas por fuentes naturales o artificiales (antropogénicas) (Omori, 1908). Según Nakamura (1989), los microtremores están conformados tanto por ondas de cuerpo como superficiales, basadas en la idea de que las fuentes artificiales de vibración poseen principalmente movimiento vertical.

Posteriormente, se encontró que los microtremores (Flores, 2004) o microtrepidaciones (Omori, 1908), están conformados básicamente por ondas superficiales Rayleigh y Love, que están afectadas por la estructura geológica del sitio donde se mide:

- Bajas Frecuencias (0.3- 0.5 Hz): causados por olas oceánicas a grandes distancias, la amplitud espectral es estable y esta correlacionada, a gran escala, con las condiciones meteorológicas del mar.
- Frecuencias Intermedias (0.5- 1 Hz): vinculadas al oleaje que rompe en las costas y al viento, su amplitud espectral es inestable.
- Altas Frecuencias (superiores a 1 Hz): relacionadas a la actividad humana, la amplitud espectral se adapta a la actividad generada (Moreno & Alfaro, 2000).

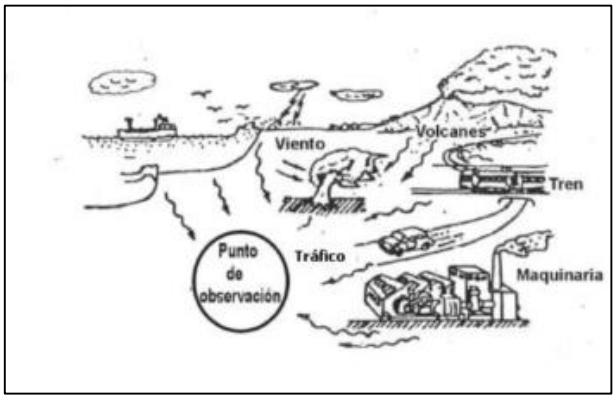


Ilustración 5 Principales fuentes que generan los microtremores, las fuentes naturales y fuentes artificiales (antrópicas).
Fuente: Subdirección de Riesgos Sísmicos. México febrero 2017.

4.1.8. Periodo Fundamental del suelo

Es uno de los indicadores más usados mundialmente para estimar los efectos locales de los suelos, al ser sometidos ante eventos sísmicos.

Es el tiempo que demoran las partículas del suelo en cumplir un ciclo de oscilación (Goméz, S.F).

4.1.9. Periodo fundamental de estructura civil

El período fundamental de una estructura es el tiempo que ésta toma en dar un ciclo completo (ir y volver), cuando experimenta vibración no forzada. Su determinación es primordial porque de él depende la magnitud de la fuerza sísmica que experimentara la estructura. El periodo está en función de la masa y rigidez de la edificación (NEC, 2014).

4.1.10. Ciclo oscilatorio

Es el mínimo lapso que separa dos instantes en los que el sistema se encuentra exactamente en el mismo estado: mismas posiciones, mismas velocidades, mismas amplitudes. Así, el periodo de oscilación de una onda es el tiempo empleado por la misma en completar una longitud de onda (Landau & Lifshitz, S.F).

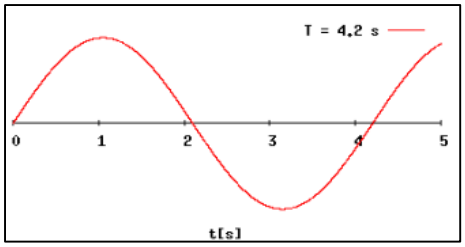


Ilustración 6 Representación de un ciclo oscilatorio.
Fuente: http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr.

(Goméz, S.F) Es el tiempo que dura un ciclo de la onda en volver a comenzar. Por ejemplo, en una onda, el periodo es el tiempo transcurrido entre dos crestas o valles sucesivos. El periodo (T) es inverso a la frecuencia (f):

$$T \frac{1}{frecuencia} = \frac{2\pi}{\omega} \tag{1}$$

4.1.11. Amplitud

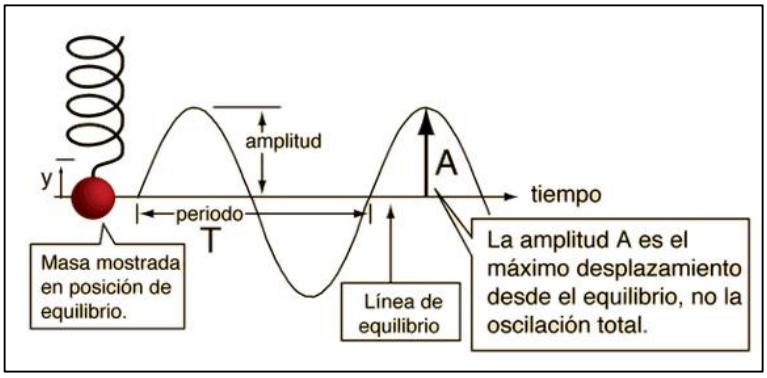


Ilustración 7 Amplitud, Periodo y Frecuencia en Física.
Fuente: Comunidad UTP, 2015.

Es el valor máximo de un movimiento o señal. Se trata de la distancia que hay desde el punto de equilibrio (cero), hasta uno de los extremos del movimiento, puede ser el punto positivo o el negativo. Típicamente este valor puede medirse en metros (m) o kilómetros (km). (UTP, 2015)

4.1.12. Cocientes espectrales H/V

El cociente espectral H/V está básicamente relacionada con la elipticidad (es la medida de compresión de un círculo o una esfera a lo largo de su diámetro para formar una elipse) de las ondas Rayleigh, debido a la predominancia de este tipo de ondas en la componente vertical.

Esta elipticidad depende de la frecuencia y presenta un pico agudo alrededor de la frecuencia fundamental de los sitios que exhiben un alto contraste de impedancia suficiente entre la superficie y los materiales profundos. Este pico se relaciona con una fuga de la componente vertical, correspondiente a una inversión del sentido de rotación de la fundamental onda Rayleigh (Jaramillo, Piña & Aguilar. 2012).

4.1.13. Espectro

Sabiendo que la frecuencia fundamental de una onda, únicamente se requieren los valores de amplitud y fase de cada uno de los parciales para reconstruirla onda. El conjunto de estos valores se llama espectro (Barriére, 2011).

Espectro de amplitud.- Representación frecuencia-amplitud.

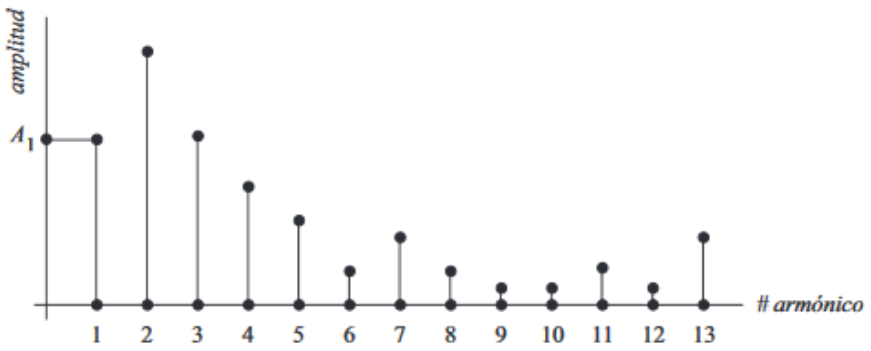


Ilustración 8 Espectro de Amplitud.
Fuente: Barriére, 2011.

Espectro de fase.- Representación frecuencia-fase.

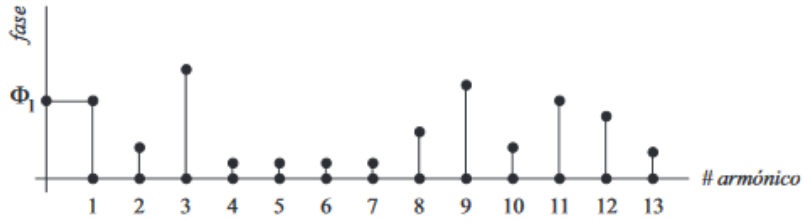


Ilustración 9 Espectro de Fase.
Fuente: Barriére, 2011.

4.1.14. Resonancia

Todo sistema, indiferente a su posición de equilibrio realiza oscilaciones, con una serie de modos y periodos de vibración (modos y periodos propios). Si se produce una perturbación o fuerza (sismos) que coincida con el periodo de la infraestructura o elemento civil, producirá la suma de las amplitudes de las diferentes vibraciones, lo que aumentará progresivamente la amplitud del movimiento y producirá finalmente la quiebra del elemento, produciendo un efecto destructivo (EADIC escuela técnica, S.F).

4.1.15. Efecto de Sitio

Los efectos de sitio son modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie. Entre más blando sea el tipo de suelo que exista bajo la estación, mayor será la amplificación. (Schmidt, 2011).

4.1.16. Zonificación Sísmica

Consiste en establecer zonas de suelos con comportamiento similar durante un sismo, de manera que puedan definirse, recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismo resistentes.

Con base en el mapa de microzonificación sísmica, una ciudad puede adelantar la planificación de su desarrollo, teniendo en cuenta las restricciones a los tipos de construcción y los parámetros de diseño definidos para las diferentes zonas de la ciudad (Anónimo, S.F).

4.2. Fundamentos teóricos.

4.2.1. Métodos para la medición de efecto de sitio.

Los principales métodos aplicados al estudio del efecto de sitio se pueden clasificar en dos grandes grupos.

4.2.1.1. *Métodos experimentales y empíricos o también denominados "in situ".*

En literatura se hace mención a estos métodos como la "aproximación instrumental" al estudio del efecto local. Tienen en común la utilización de datos reales registrados en el lugar donde se implantan las estaciones ocasionales (Álvares, S.F).

a) Observaciones macrosísmicas.

De sismos históricos registrados en códices, relatos, periódicos, libros y tradición oral, entre otros, y sismos recientes que han causado grietas, licuación y fallas de obras civiles.

b) Microtremores o microtemblores.

Instrumentos muy sensibles que miden velocidad causada por ruido ambiental provocado por tráfico, sismos lejanos o pequeños, vibraciones terrestres. Las mediciones tienen que realizarse durante varias horas y con distintas condiciones. En general sirve para obtener periodos dominantes del suelo en sitios con presencia de depósitos de arcilla; funciona mejor con periodos dominantes de terreno largos (Ts>1 segundo).

c) Movimientos débiles.

Causados por explosiones artificiales, nucleares, réplicas, sismos pequeños. No es muy eficiente cuando el suelo tiene comportamiento no lineal ya que los valores de amplitud son mayores, y los periodos medidos menores que los que se presentan durante sismos intensos.

d) Movimientos fuertes.

Es el movimiento sísmico durante terremotos intensos, Se necesita estar perfectamente listo para captar la ocurrencia de eventos muy esporádicos. Se obtienen registros de aceleración. Es la mejor alternativa para medir efectos de sitio aunque resulta costoso y de cuidadoso mantenimiento.

e) Observaciones de campo y estudios en sitio.

En numerosas ocasiones se pueden reconocer mediante vuelos, inspecciones y fotografías aéreas fallas y otras características que ayuden a conocer mejor los posibles efectos de sitio. De igual manera, los estudios geológicos, geofísicos y de mecánica de suelos (Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, 2012).

4.2.1.2. Métodos teóricos y numéricos.

Entre ellos tenemos los relacionados con la resolución analítica de las ecuaciones que describen el problema, y los métodos de simulación teórica y numérica. Constituyen la denominada “aproximación teórica” En la aplicación de estos métodos se parte de un modelo que se aproxime a la situación real (Álvares, S.F).

a) Modelado de topografías

Durante el arribo de las ondas sísmicas se produce en la superficie o campo libre una amplificación constante. El tamaño de esta amplificación dependerá del tipo de onda que se estudie. Por ejemplo, para ondas SH el valor es dos, uno por la onda que incide y otro por la onda que rebota. Para otro tipo de ondas el cálculo es más complejo pero esencialmente es el mismo.

Ante la presencia de una irregularidad en la superficie terrestre como lo es una montaña o un cañón, las ondas sísmicas incidentes sufrirán una alteración. La solución a este problema consiste en sumar la respuesta del campo libre más la debida a las ondas difractadas por la irregularidad. En estos casos es posible que ante ciertas combinaciones la respuesta en algunos sitios de la irregularidad sea menor que la de campo libre, lo que significa una de amplificación del movimiento.

Típicamente se han calculado amplificaciones en topografías de dos a tres veces la de campo libre, pero se han observado, a partir de registros obtenidos durante sismos, amplificaciones de hasta 10 veces para algunas frecuencias. En general, las amplificaciones son mayores en las crestas que en las bases, y son complejas y sin tendencias claras en las pendientes. Utilizando modelos 3D se aprecia que la dispersión provocada por topografías depende de su geometría, del tipo de onda incidente y del azimut; se observa también enfocamiento de ondas en algunos sitios y resonancia múltiple.

La relevancia de estudiar la influencia de estos efectos es que movimientos sísmicos intensos pueden incrementarse por efectos de sitio que provoquen deslaves y desprendimientos. Por ello, el estudio de topografías con métodos numéricos nos puede arrojar resultados importantes sobre fenómenos locales de amplificación.

b) Amplificación dinámica en valles aluviales: modelos 1D, 2D ó 3D

Cuando las ondas sísmicas chocan con estratos de menor velocidad tienen que ganar amplitud para conservar la energía. Por ello, entre mayor sea el contraste de propiedades entre la roca o suelo firme y los estratos blandos mayores serán los efectos de amplificación. Al contraste de propiedades se le conoce como contraste de impedancias, que es el cociente de la velocidad de las ondas de corte y la densidad de la roca entre las mismas propiedades pero del suelo. Pero la amplificación no solo dependerá del contraste mencionado sino de la forma del valle y de la incidencia de las ondas. Para conocer en forma teórica la amplificación dinámica en cualquier suelo blando es necesario recurrir a modelos de propagación de ondas.

El método más sencillo para cuantificar la amplificación dinámica en suelos es el modelo 1D. Este modelo considera que los estratos tienen una extensión horizontal infinita, lo que implica que el valle no tiene bordes ni cambios en la distribución horizontal de los sedimentos. Desafortunadamente, todos los valles presentan distribución irregular de estratos y dimensiones finitas, por lo que para conocer mejor su comportamiento sísmico se requiere de modelos en dos (2D) y tres (3D) dimensiones y así poder explicar los patrones de amplificación.

Estos modelos son en general más sofisticados que el 1D y requieren de mayores recursos matemáticos, numéricos y de cómputo. Si bien las simplificaciones del modelo 1D parecerían grandes y burdas, muchos de los valles aluviales más relevantes en ingeniería sísmica, como el de México, tienen un comportamiento fundamentalmente unidimensional. Los modelos 2D son sensiblemente más limitados pero también más prácticos que los 3D, tanto por los requerimientos de cómputo como por la obtención de las propiedades para alimentar al modelo.

En el caso 2D, la solución más sencilla es para ondas SH que produce movimiento en el sentido perpendicular al plano de estudio; el problema es entonces escalar y se resuelven las ecuaciones de la acústica. Si se requiere estudiar el movimiento en el plano provocado por ondas SV, P o de Rayleigh, se requiere modelar las ecuaciones de la elastodinámica y el problema es ahora vectorial.

Aunque estos modelos, por flexibles y versátiles, pueden arrojar información conceptual y cualitativa de mucha utilidad, la calidad de los resultados dependerá de la información de las características de los suelos con la que se cuente como la densidad, la velocidad de las ondas de corte, el módulo de Poisson y el amortiguamiento. (Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, 2012)

Cabe recalcar que los dos métodos están sosteniendo grandes avances por la importancia en los años que tiene en la ingeniera de la construcción, para la implantación de estructuras sismo resistente y zonificación riesgos símicos.

4.2.2. Vibración ambiental

Es la señal sísmica en ausencia de las señales producidas por los terremotos, y a las ondas que lo integran se las llama en inglés, “microtremors”; en castellano se usan con el mismo significado las palabras microtemblores, microvibraciones o ruido cultural. (Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, 2012)

4.2.3. Transformada de Fourier

La palabra “transformada” indica que estamos trabajando con una herramienta para transformar un tipo determinado de problema en otro. Es un elemento matemática

muy importante en el procesamiento de señales que sirve para transformar una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia (Jiménez, 2007), fundamento analítico aplicado en el método de Nakamura. (Ilustración 13).

La esencia de la Transformada de Fourier de una señal es descomponerla o separarla en una serie de senoides[1] de diferentes frecuencias, las cuales corresponden a la suma de la original.

Mediante la siguiente expresión se define la transformada de Fourier:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\, e^{-jaxt} dt \tag{2}$$

F(ω):Señal transformada al dominio de la frecuencia (ω)
f (t) :Señal en el dominio del tiempo
j2= -1

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \tag{3}$$

ω= Frecuencia en Hz
T= Periodo en s

Los registros captados solo cuentan con datos de aceleración de tipo discreto, por lo que se desarrolló la transformada discreta de Fourier (TDF), la cual puede ser estimada mediante un algoritmo conocido como transformada rápida de Fourier (TRF) (Brigham, 1998).

La ventaja de este algoritmo es que permite reducir el número de cálculos y funciona partiendo la señal completa en un cierto número de subseñales más cortas y

[1] Las gráficas de las funciones seno y coseno del ángulo se le considera ondas sinusoidales porque poseen propiedades matemáticas muy interesantes como amplitud, período y desfase entre otras.

calculando la TDF de cada una de éstas, posteriormente la TRF las combina para obtener la TDF de la señal original.

Espectros de Fourier.

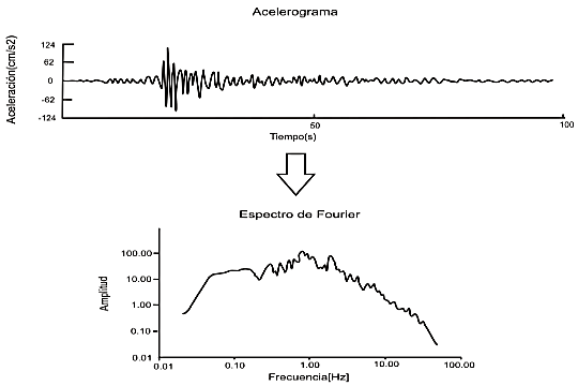


Ilustración 10 Acelerograma y Espectro de Fourier.
Fuente: Torres Luis, 2010

Al aplicar la transformada rápida de Fourier a una señal se determina la relación de esta en un dominio de frecuencias asociadas a valores de amplitud. Cuando se grafica el resultado de esta operación se obtiene el espectro de Fourier, se calcula como el valor absoluto de la raíz de la suma de los cuadrados de las partes real e imaginaria de la señal en el dominio de la frecuencia, mediante las siguientes expresiones.

$$|F(\omega)| = [R(\omega)^2 + jX(\omega)^2]^{1/2} \tag{4}$$

$$R(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f\,(t)\cos(\omega t)\,dt \tag{5}$$

$$X(\omega) = -\int_{-\infty}^{\infty} f\,(t)\,\mathrm{sen}(\omega t)\,dt \tag{6}$$

F(ω) = Señal transformada al dominio de la frecuencia.

R(ω)= Parte real

X(ω)= Parte imaginaria

Una vez que se tiene el registro de un acelerograma y se requiere obtener su espectro de Fourier es importante realizar dos operaciones denominadas corrección de línea base y filtrado, estas permiten realizar una afinación de los datos, debido a que el registro sísmico puede tener alteraciones producto de vibraciones ajenas al propio evento como podrían ser movimientos producidos por vehículos u otros factores. (Torres, 2010)

4.2.4. Funciones de transferencias

Una función de transferencia es un modelo matemático que a través de un cociente relaciona la respuesta de un sistema (modelada) con una señal de entrada o excitación (también modelada). En la teoría de control, a menudo se usan las funciones de transferencia para caracterizar las relaciones de entrada y salida de componentes o de sistemas (Ilustración 14) que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales e invariantes en el tiempo. (WIKIPEDIA, 2016)

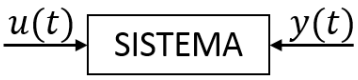


Ilustración 11 Sistema de una entrada – una salida (SISO).
Fuente: Barragán, 2011.

La función de transferencia de un sistema lineal e invariante en el tiempo se define como la relación entre la transformada de Laplace[2] de la variable de salida y la transformada de Laplace de la variable de entrada, suponiendo que todas las condiciones iniciales se hacen iguales a cero. Esta forma de representar sistemas se denomina representación externa, ya que atiende a las señales presentes en sus terminales de entrada y salida. (Barragán, 2011) Así, dado el sistema de la Ilustración 14, su función de transferencia será:

$$G(s) = \frac{L[y(t)]}{L[u(t)]} \text{ Cond. iniciales nulas } = \frac{Y(s)}{U(s)} \tag{7}$$

[2] La transformada de Laplace es un tipo de transformada integral frecuentemente usada para la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias. La transformada de Laplace de una función f(t)nota 1 definida para todos los números positivos t ≥ 0, es la función.

Ilustración 12 Esquema conceptual del proceso de resolución de una ecuación diferencial mediante la transformada de Laplace.
Fuente: Barragán, 2011.

El análisis se realiza a través del dominio de la frecuencia en dos etapas: primero se obtiene la función de transferencia del sistema, y después se evalúa el movimiento sísmico en la base de la estructura mediante la síntesis de Fourier para cualquier movimiento sísmico en la base rígida (Aviles, 1991).

4.2.5. Cociente entre la componente horizontal y la componente vertical

Nakamura propuso en el año 1989 que el cociente entre la componente horizontal y la componente vertical en el dominio frecuencial es un buen estimador del efecto de sitio.

Esta técnica se aplicó por primera vez a microtemblores de zonas urbanas de Japón. Este método ha sido ampliamente difundido en los últimos años y utilizado por la fiabilidad de sus resultados, acompañada de rapidez y economía en su ejecución. Nakamura supone que la razón (H/V) o razón espectral corresponde a la función de transferencia de los niveles superficiales sometidos a movimientos horizontales. Basa su trabajo en la hipótesis de que un microtemblor está compuesto por un cuerpo principal de ondas y por ondas superficiales RayLeigh, inducidas por fuentes artificiales (trenes, tráfico, etc).

Se considera que las componentes horizontal y vertical del registro son similares en la base rocosa. Dichos registros son amplificados por las capas de suelo blando que yacen sobre el sustrato rocoso. Se considera además que las componentes horizontales se amplifican debido a multi-reflexiones de la onda S, en tanto que los micro terremotos verticales lo hacen por multi-reflexiones de la onda P. La velocidad de propagación de la

onda P es generalmente mayor que 100 m/s, y los movimientos con frecuencias de aproximadamente 10 Hz o menos pueden no amplificarse, debido a la multi-reflexión en las capas superficiales de varias decenas de metros de espesor (Nakamura, 1989).

4.2.6. Proyecto SESAME

El objetivo del proyecto de investigación europeo SESAME (Evaluación de las Excitaciones Ambientales), emplea el uso de vibraciones ambientales en la comprensión de los efectos del sitio local lo cual se ha estudiado a detalle. Las presentes directrices sobre el H / V técnica de la relación espectral son el resultado de análisis exhaustivos y detallados de los participantes de SESAME durante tres años. A este respecto, las directrices el estado de la técnica del presente conocimiento de este método y sus aplicaciones, y es basado en el consenso alcanzado por un gran grupo de participantes. (SESAME, 2004)

El proyecto SESAME de la Unión Europea, tiene como fin entregar algunas de las principales directrices, para la adquisición de datos y estimación de espectros, y pretende controlar mejor los fundamentos teóricos y metodológicos de la utilización del ruido ambiental, para estimar de forma válida el efecto de sitio.

El estudio fija algunos parámetros como longitud de ventana, solape, eliminación de ruidos transitorios, criterios que son sugeridos en base a los diferentes estudios realizados en ciudades de todo el mundo.

4.2.7. GEOPSY

Software creado durante el desarrollo del Proyecto Europeo SESAME, desde el año 2005 ha proporcionado herramientas para el procesamiento de vibraciones ambientales con la caracterización del sitio. Progresivamente se incluyen técnicas más convencionales (como MASW o refracción) para ofrecer una plataforma de alta calidad, completa y gratuita para la interpretación de experimentos geofísicos. (Geopsy, 2005)

El equipo de Geopsy está desarrollando, distribuyendo y manteniendo software de código abierto para la investigación y aplicaciones geofísicas.

5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

5.1. Método

Para el desarrollo del proyecto se va a optar por utilizar la técnica propuesta originalmente por Nogoshi e Igarashi (1971) y ampliamente difundida por Nakamura (1989) consiste en estimar la relación entre los espectros de amplitud de Fourier de las componentes horizontal (H) a vertical (V) de las vibraciones de ruido ambiente registradas en una sola estación. (Geopsy, 2005)

Para procesar la información levantada en campo, se utilizó el programa GEOPSY versión 2.9., el cual permite determinar la frecuencia fundamental del sitio, en función. Para lo cual el principio aplicado por el programa es la transformada de Fourier.

El cálculo de la relación H / V establece los siguientes pasos (Geopsy, 2005) (ilustración 16):

1. Grabar una señal de ruido ambiental de 3 componentes.
2. Selección de las ventanas de tiempo más estacionarias[3] (por ejemplo, utilizando un algoritmo anti-disparo) con el fin de evitar el ruido transitorio o aleatorio[4].
3. Calcular y suavizar los espectros de amplitud de Fourier para cada ventana de tiempo.
4. Promediar los dos componentes horizontales.
5. Calcular la relación H / V para cada ventana.

[3] Las señales estacionarias son constantes en sus parámetros estadísticos sobre tiempo.
[4]Ruido aleatorio son las perturbaciones de los datos sísmicos que no son coherentes y no pueden correlacionarse con la fuente de energía sísmica. El ruido aleatorio puede reducirse o eliminarse de los datos mediante el apilamiento de las trazas, el filtrado durante el procesamiento o el uso de arreglos de geófonos durante la adquisición.

6. Calcular la relación promedio H / V

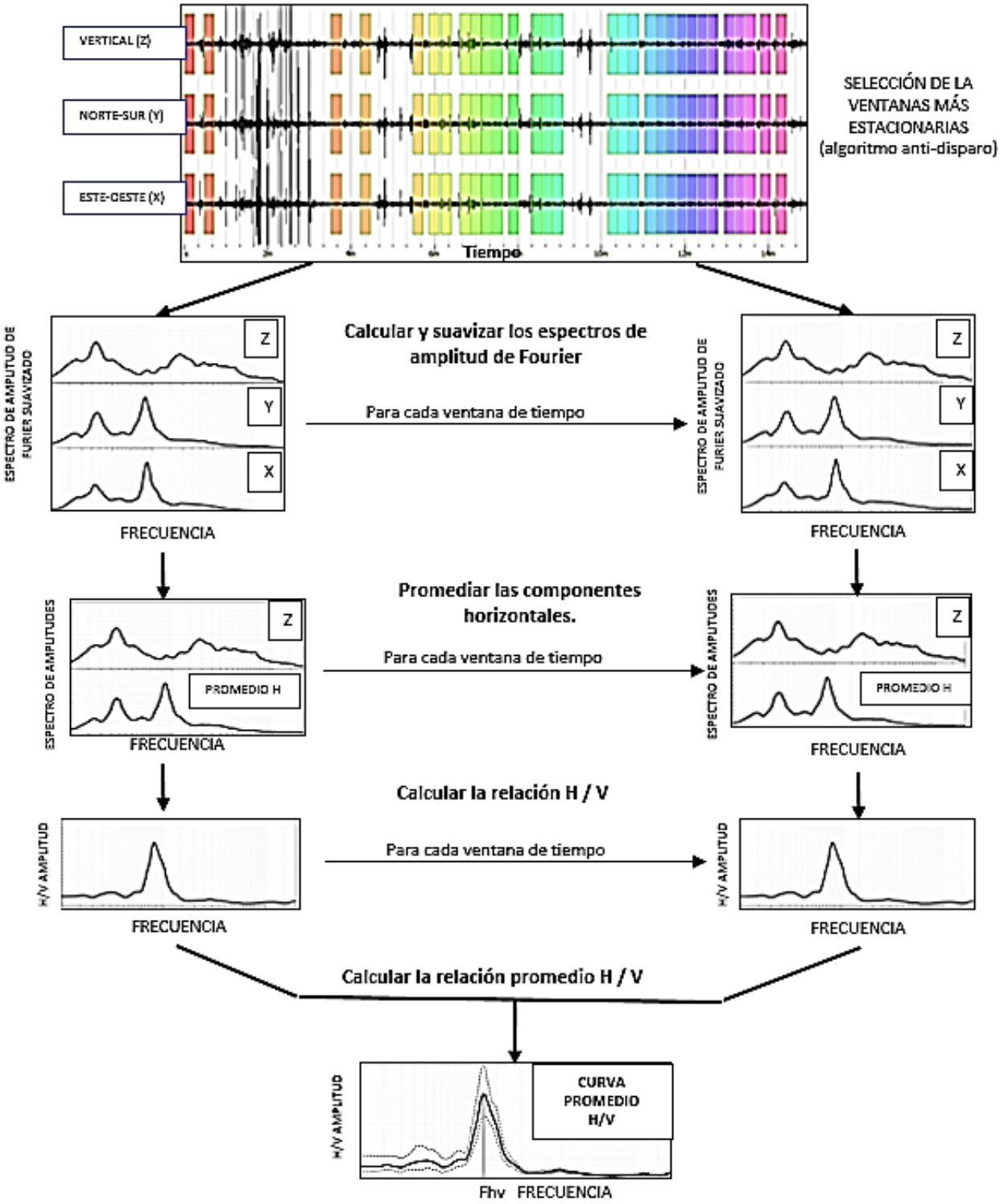


Ilustración 13 Descripción del cálculo de la relación H/V.

Fuente: Autora, 2018. Modificado de www.geopsy.org/documentation/geopsy/hv.html.

5.2. Materiales

A continuación, se indican las herramientas que se utilizaron en campo y en oficina, para cumplir con el propósito de la temática:

Equipo

- Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".
- **Caracteristicas del equipo:**
  - Convertidor A/D con 3 canales de 24 bits.
  - Rango dinámico: 124dB (144dB, 24 bit de ENOB, entre 0.1 y 10Hz).
  - Muestreo: simultaneo en los 3 canales (1 A/D por canal).
  - Frecuencia de muestreo: desde 10 a 600Hz.
  - Reloj de tiempo real: +/-10ppm (-20/+50°C)
  - Precisión de tiempo UTC: <50ms.
  - Velocidad de transmisión: 115200 baud

Instrumentos e insumos

- Brújula Brunton
- Hojas de campo
- Fotografía Aéreas del sector de estudio.
- Mapas del área de estudio
- Laptop
- GPS
- Cámara fotográfica
- Esferos, lápices,marcadores

Software

- ArcGIS 10.3
- Geopsy 2.9
- Global Maper 12.0
- Google Earth pro

Ilustración 14 Esquema de materiales utilizados.

Fuente Autora, 2018.

5.3. Metodología

Para cumplir con los objetivos propuestos en la presente investigación se procedió a seguir el siguiente orden:

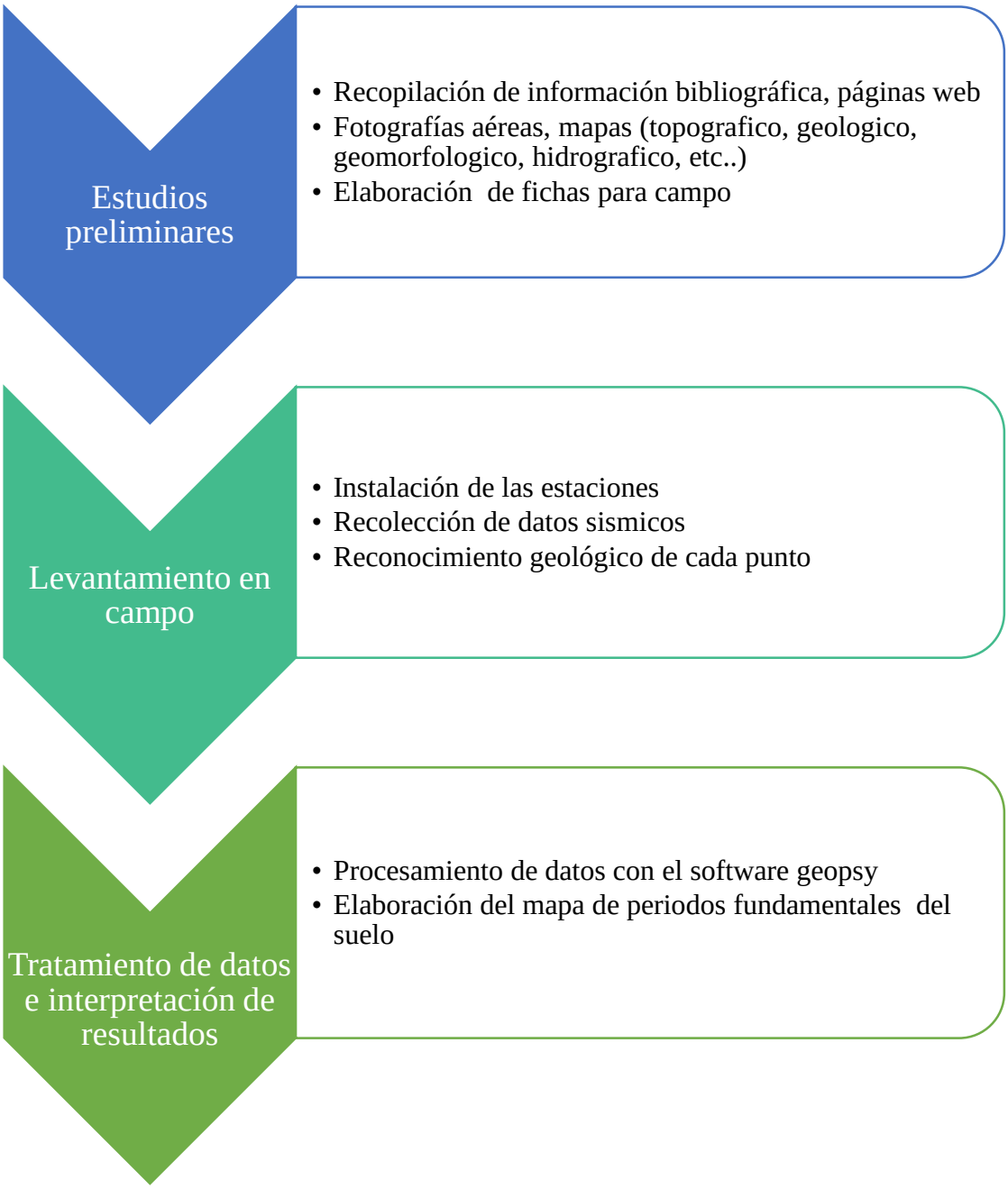


Ilustración 15 Esquema de la metodología empleada.

Fuente: Autora, 2018.

5.3.1. Trabajos previos a la salida de campo:

Para cumplir con el objetivo de la presente investigación, se planeó una etapa de adquisición que consintió en cubrir la totalidad del área predicha para el estudio, a partir del diseño de un mallado que separaba las estaciones de medición, aproximadamente 2000 metros entre sí, obteniendo 28 cuadros y 40 intersecciones, en las cuales se optaron por colocar 26 estaciones como se indica en la ilustración 19, referenciados en la cobertura de urbanización, de acuerdo a la recomendación del Proyecto SESAME (SESAME, 2004).

En el ANEXO 1 se adjunta el manual con el procedimiento en campo (instalación, preparación y grabación de las vibraciones ambientales); y, el procesamiento de datos en oficina (manejo del Software GEOPSY).

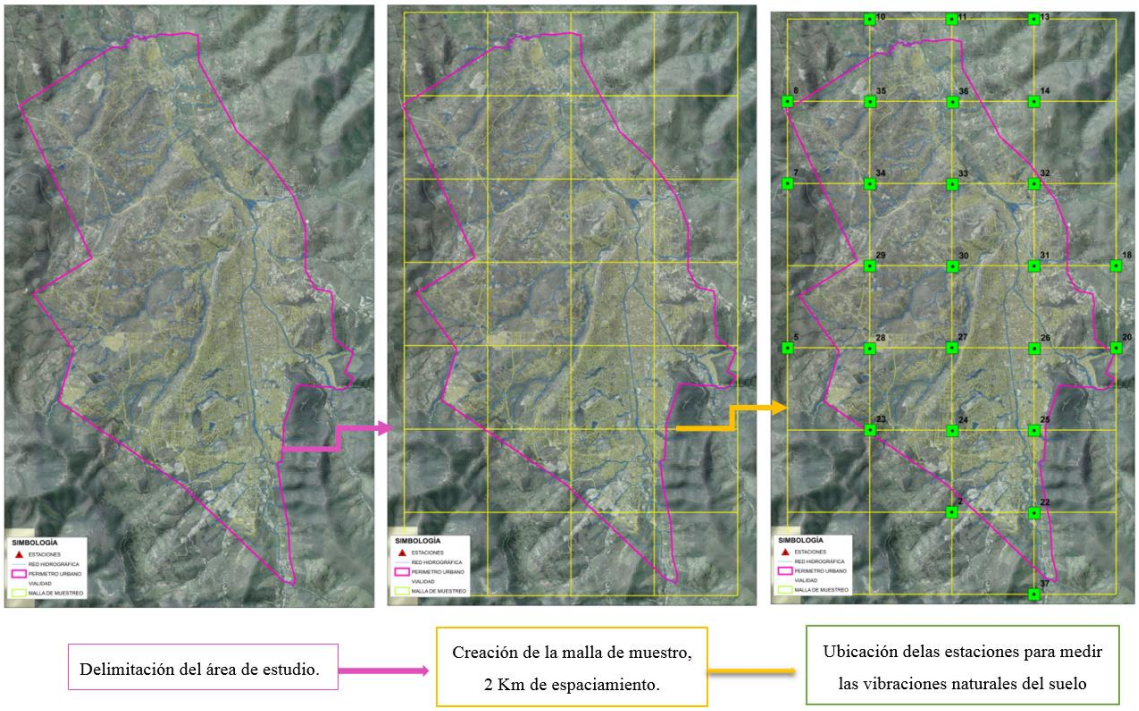


Ilustración 16 Establecimiento de los puntos para medición.
Fuente: Autora, 2018.

Previo al traslado a campo se prepararon las hojas de campo respectivas para medir el ruido ambiental y para la descripción de afloramientos geológicos. (Ver las lustraciones 20 y 21)

Hoja de Campo para Medición del Ruido Ambiental

FECHA		HORA		LUGAR		ESTACION Nº	
OPERADOR						DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X:		Y:		Z:	
EQUIPO:					SENSOR:		
NOMBRE DEL ARCHIVO:					UBICACIÓN :		
TIEMPO DE GRABACIÓN:							
CONDICIONES METEREOLOGICAS		VIENTO	nada	débil	medio	fuerte	
		LLUVIA	nada	débil	medio	fuerte	
		TEMPERATURA APROX:					
		OBSERVACIONES:					
TIPO DE SUELO	TIERRA	SUELTA ( )	GRAVA	ARENA	ROCA	CESPED	ALTO ( )
		COMPACTA ( )					BAJO ( )
	SUELO HUMEDO ( )	ASFALTO	CEMENTO	CONCRETO	PAVIMENTO	OTROS	
	SUELO SECO ( )						
TRANSITORIOS			NINGUNO	POCOS	MODERADO	MUCHOS	DISTANCIA
		VEHICULOS LIVIANOS					
		VEHICULOS PESADOS					
		PEATONES					
FUENTES DE RUIDO MONOCROMÁTICO (Actividad industrial, rios, explosiones)			NO	SI	TIPO		
ESTRUCTURAS CERCANAS (descripción, altura y distancia)			(árboles, taluds, edificios, casas, puentes, estructuras subterraneas)				
OBSERVACIONES							

Ilustración 17 Hoja de campo para medir el Ruido Ambiental.

Fuente: Autora, 2018.

Hoja de campo para el registro de afloramientos

FECHA		LUGAR		AFLORAMIENTONº	
ESTACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL PRÓXIMA			FOTOGRAFIA Nº:	DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X:	Y:	Z:	
TIPO DE AFLORAMIENTO:					
CONTEXTO GEOMORFOLOGICO:					
DIMENSIONES					
ALTO:			ANCHO:		
DATOS ESTRUCTURALES:					
DIRECCIÓN:		BUZAMIENTO:		DIRECCION DE BUZAMIENTO:	

DESCRIPCION LITOLOGICA:	CROQUIS:

Ilustración 18 Hoja de campo para registrar afloramientos geológicos.

Fuente: Autora, 2018.

5.3.2. Representación de la información

5.3.2.1. Creación del mapa de isoperiodos fundamentales del suelo

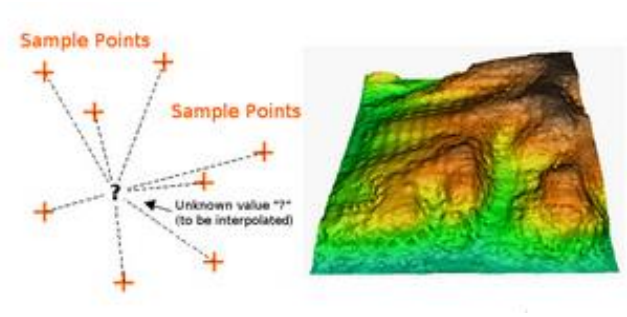


Ilustración 19 Interpolación Distancia Inversa Ponderada basada en la distancia del punto de muestra ponderada (izquierda). Superficie IDW interpolada de puntos vectoriales de elevación (derecha).

Fuente de la Imagen: Mitas, L., Mitasova, H. (1999).

Para el procesamiento de la información se utilizó el Software Arcgis10.3 para la interpolación de la información se escogió el método IDW.

El método de interpolación IDW, los puntos de muestreo se ponderan durante la interpolación de tal manera que la influencia de un punto en relación con otros disminuye con la distancia desde el punto desconocido que se desea crear. (ver lustración 22)

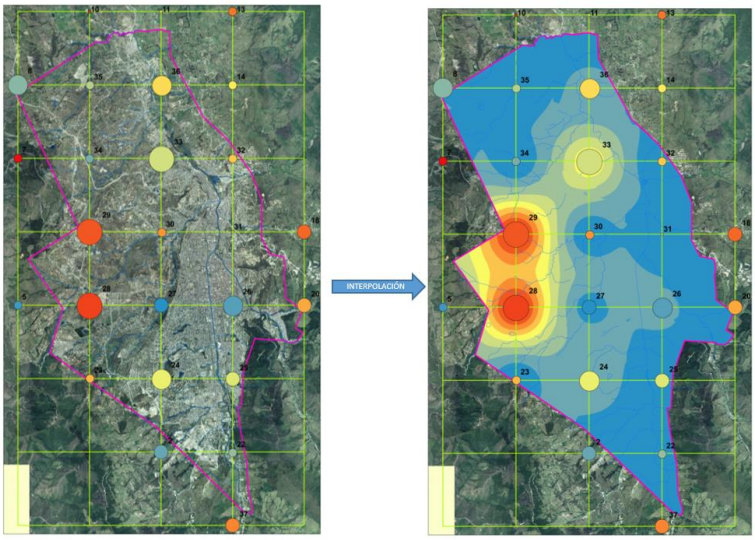


Ilustración 20 Proceso de interpolación de datos frecuencias.
Fuente: Autora 2018.

6. RESULTADOS

6.1. Reconocimiento General del Área de Estudio

6.1.1. Ubicación y acceso

La Cueca de Loja donde se asienta la urbe se ubica en la Provincia de Loja, está situada en el Sur del territorio Ecuatoriano, en la zona geográfica conocida como región interandina o sierra. Limita con las provincias de El Oro al Noroeste; con la provincia de Zamora Chinchipe al Este; con la provincia del Azuay al Norte; al Sur con el Departamento de Piura y al Oeste con el Departamento de Tumbes, estos últimos pertenecientes al país vecino de Perú, tal como se muestra en la ilustración 24.

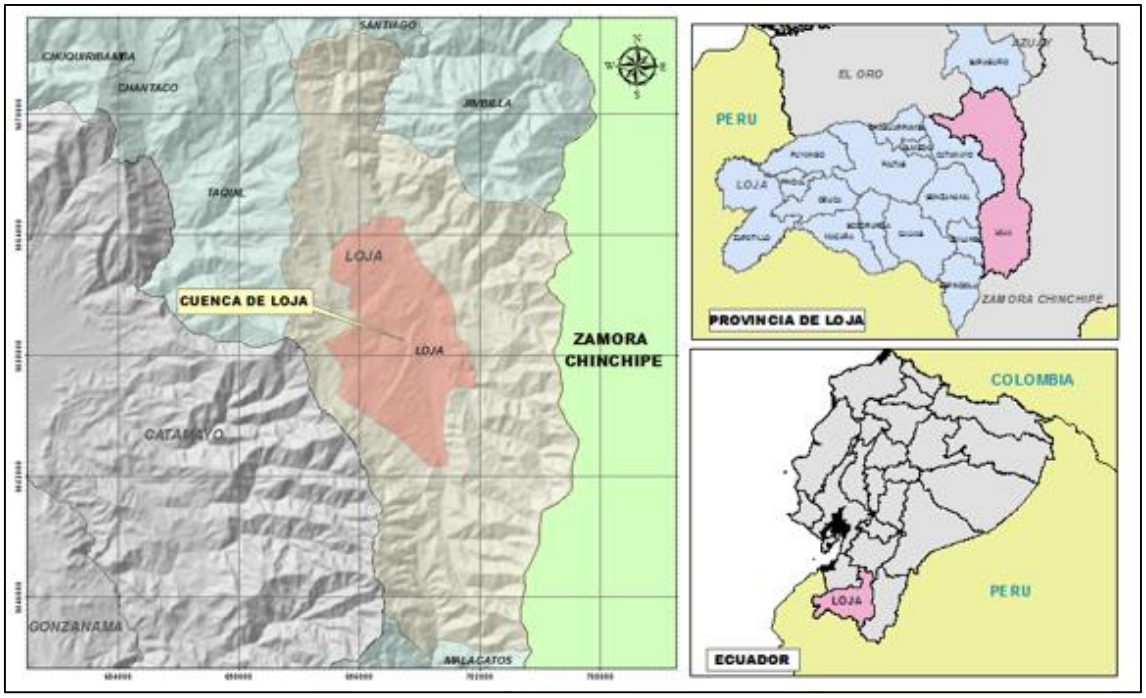


Ilustración 21 Mapa de ubicación
Fuente: Autora, 2018

El acceso al área de estudio se lo puede efectuar por vía terrestre a través de la vía Panamericana E45, que cruza todo el valle interandino desde la capital a una distancia aproximada de 800 km. Otra vía de acceso a la ciudad de Loja es desde la costa ecuatoriana, por la carretera que comunica las ciudades de Guayaquil-Machala-Loja, con una distancia aproximada de la primera con Loja de unos 550 km.

Por vía aérea se puede realizar el acceso desde la ciudad de Quito o Guayaquil, hasta el aeropuerto "Ciudad de Catamayo" del Cantón Catamayo, con un tiempo de vuelo estimado de cuarenta y cinco minutos, desde el aeropuerto a la terminal terrestre de Loja, el camino es por una vía de primer orden, la distancia es de 31 Km y la duración aproximada del viaje de 40 min.

6.1.2. Área de estudio

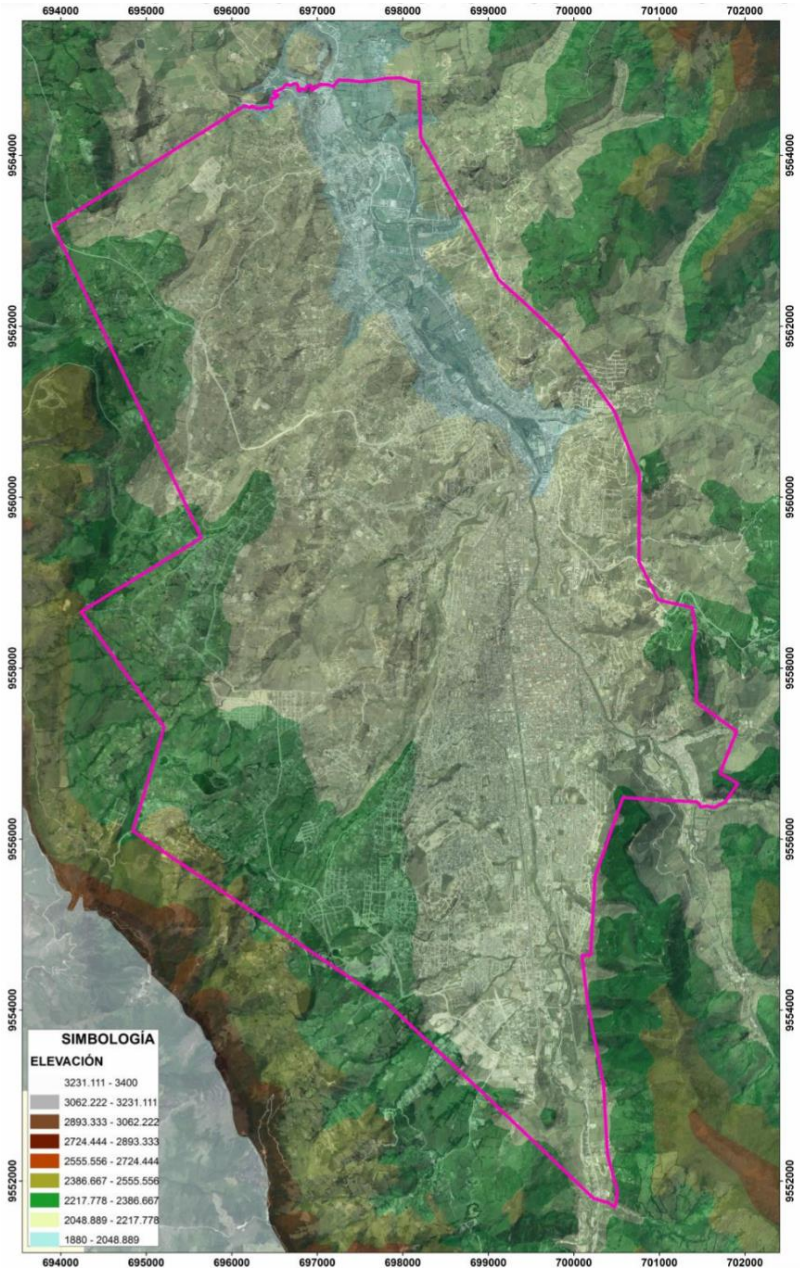


Ilustración 22 Mapa de elevaciones de la cuenca de Loja Escala de trabajo 100000
Fuente: Autora, 2018.

El área de estudio comprende una de las cuencas intramontañosas terciarias del Ecuador, como se indicó en el punto anterior se ubica en el sur del territorio Ecuatoriano, alcanza una extensión aproximada de 5533.71 Ha.

En el área urbana tiene cotas desde 2068 m.s.n.m. en los sectores más bajos hasta 3370 m.s.n.m. en la cordillera Oriental y occidental, que encierran a la ciudad en la denominada hoya de Loja con orientación N-S; y 700 metros por debajo de la cadena montañosa que rodea a la Cuenca.[5]

Muestra dos tipologías de formación, la primero de origen tectónico inducido por el levantamiento de la Cordillera de los Andes y el segundo de origen deposicional en un medio lacustre característico de edades miocénicas (Ver ilustración 26).

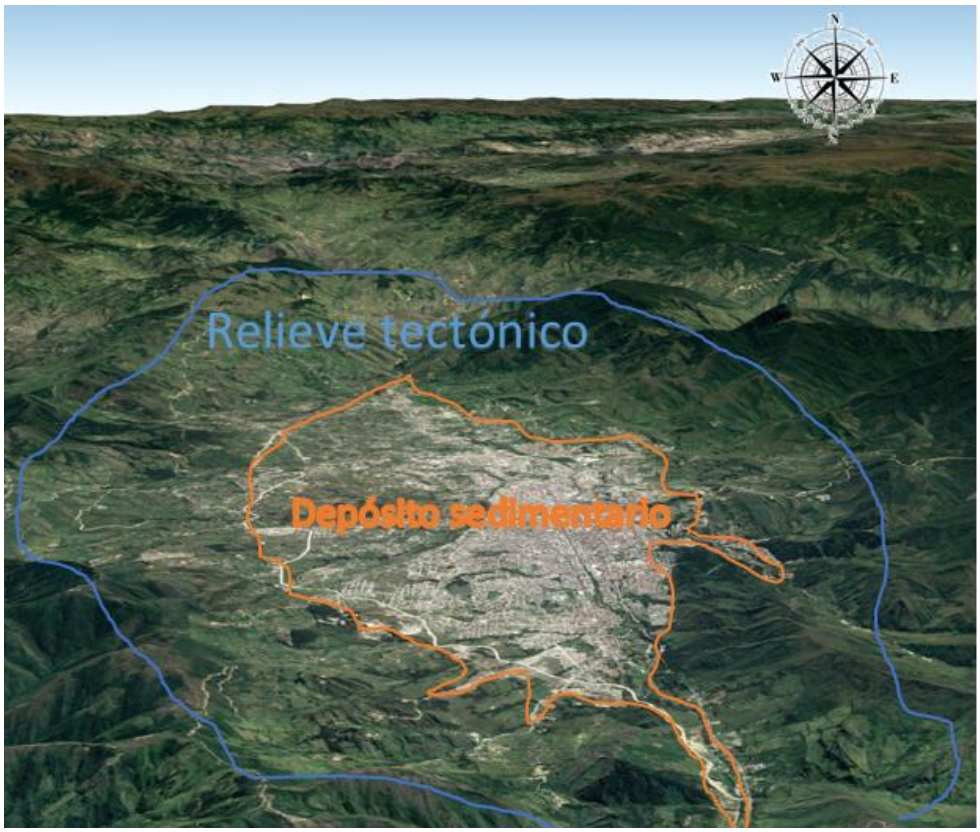


Ilustración 23 Relieves del área de estudio.

Fuente: Autora.2018.

[5] CUEVA, Edwin y GONZÁLEZ, Hernán, Caracterización y Evaluación de las Arcillas en el sector Oriental de la cuenca de loja, Director Ing. José Sánchez Paladines. Tesis de Grado. Universidad Técnica Particular de Loja, 2003. Loja – Ecuador. Pp.4

La cuenca de Loja limitada al norte por un sector de Guagrahuma-Acapana. Al sur por el nudo de Cajanuma, al este por el eje principal de la Cordillera Real de Los Andes y al oeste por las estribaciones del Villonaco (prolongación del nudo Cajanuma).[6]

6.1.3. Hidrografía

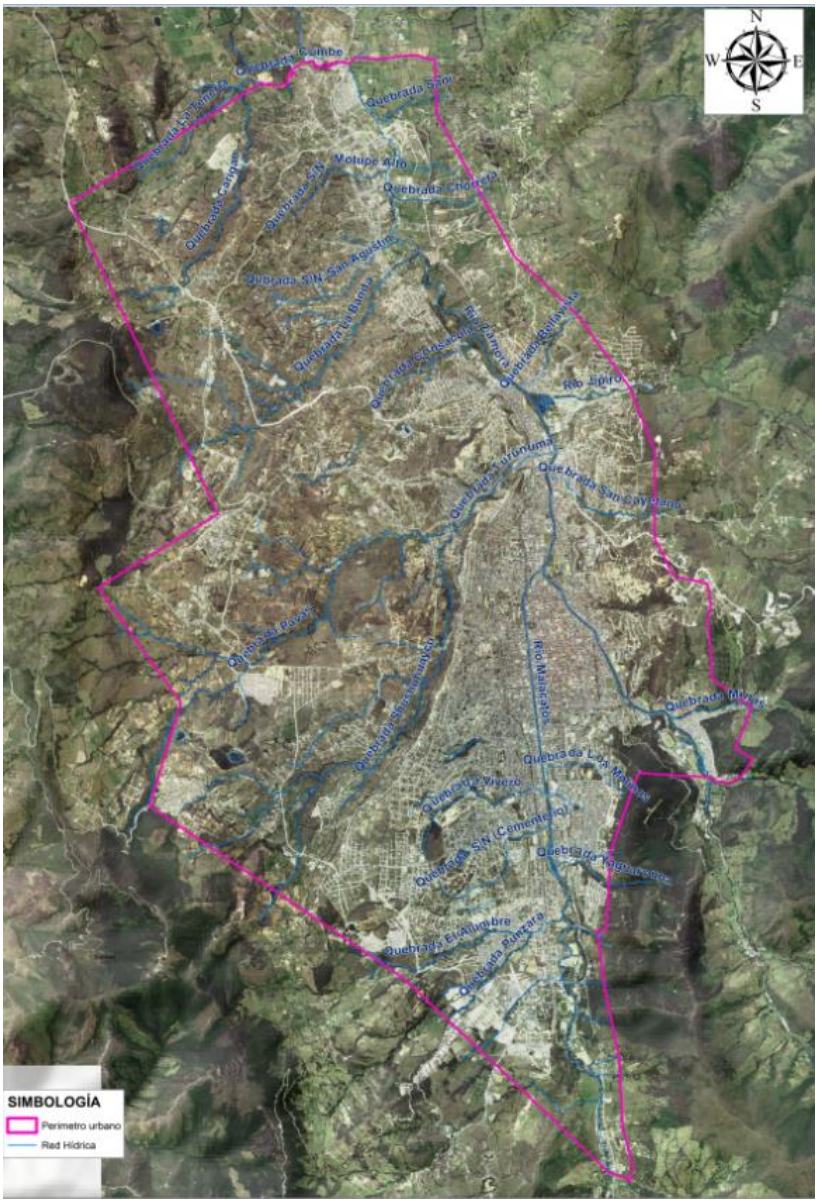


Ilustración 24 Hidrografía del área de estudio, Escala de trabajo: 1:60 000.
Fuente: autora, 2018.

[6] Gómez, Gabriel; Campiña Lojana, Edipcentro, pp. 43.

La hidrografía de la hoya de Loja se caracteriza porque en su parte central esta drenada por los ríos Zamora y Malacatos, estos dos ríos se unen en la ciudad, continuando hasta el recinto Las Juntas, en donde cambian radicalmente de dirección hacia el Este pasando por Jimbilla y tomando el nombre único de Zamora. El río Zamora es un afluente del río Amazonas que desemboca en el océano Atlántico.

Como unidades hidrográficas secundarias o subsecuentes, que circulan en direcciones más o menos perpendiculares a los drenajes principales antes mencionados, se pueden citar los ríos Zamora Huayco y Jipiro, así como las quebradas Mónica, Quillollaco, Potrerillos, Violeta, Alumbre, Las Pavas, San Cayetano, La Banda, El Salado, etc, que conforman una red dendrítica. Los caudales de estos drenajes son en la mayoría de casos poco considerables. Hay una mayor densidad de drenaje en la parte oriental de la cuenca (estribaciones de la Cordillera Real), básicamente debido a la baja conductividad hidráulica de las rocas metamórficas que limita la infiltración; y también a la mayor cantidad de lluvias (Precipitación media mensual promedio=160 mm, Estación Zamora).

En contraste, la parte central y occidental de la zona de estudio presenta un drenaje espaciado-subparalelo debido a la presencia mayoritaria de rocas sedimentaria s, más erosionables y meteorizadas. El afluente más importante del río Zamora, aguas abajo de la unión con el Malacatos septentrional, es el río Jipiro, que se une al caudal principal desde la margen derecha, ver en la ilustración 27 (Guamán, 2008).

6.1.4. Geomorfología

El relieve del área de estudio, es muy variado, dando origen a varias geoformas. Se localiza en las estribaciones occidentales de la Cordillera Real que comprende un cinturón metamórfico de edad variada entre Paleozoico y Jurásico formada por divisiones litotectónicas separadas por fallas o suturas regionales con rumbos NNE.

Las unidades morfológicas definidas en el mapa tienen en cuenta una estructura jerárquica, dada su importancia como factor de definición de las características

externas modelada por la geomorfología y el clima son factores que influyen en la formación de los suelos y en las características de la vegetación (Guamán, 2008).

En la ilustración 28 se representa la geomorfología del área de estudio, y en la tabla 2, las divisiones jerárquicas de la geomorfología de la Urbe.

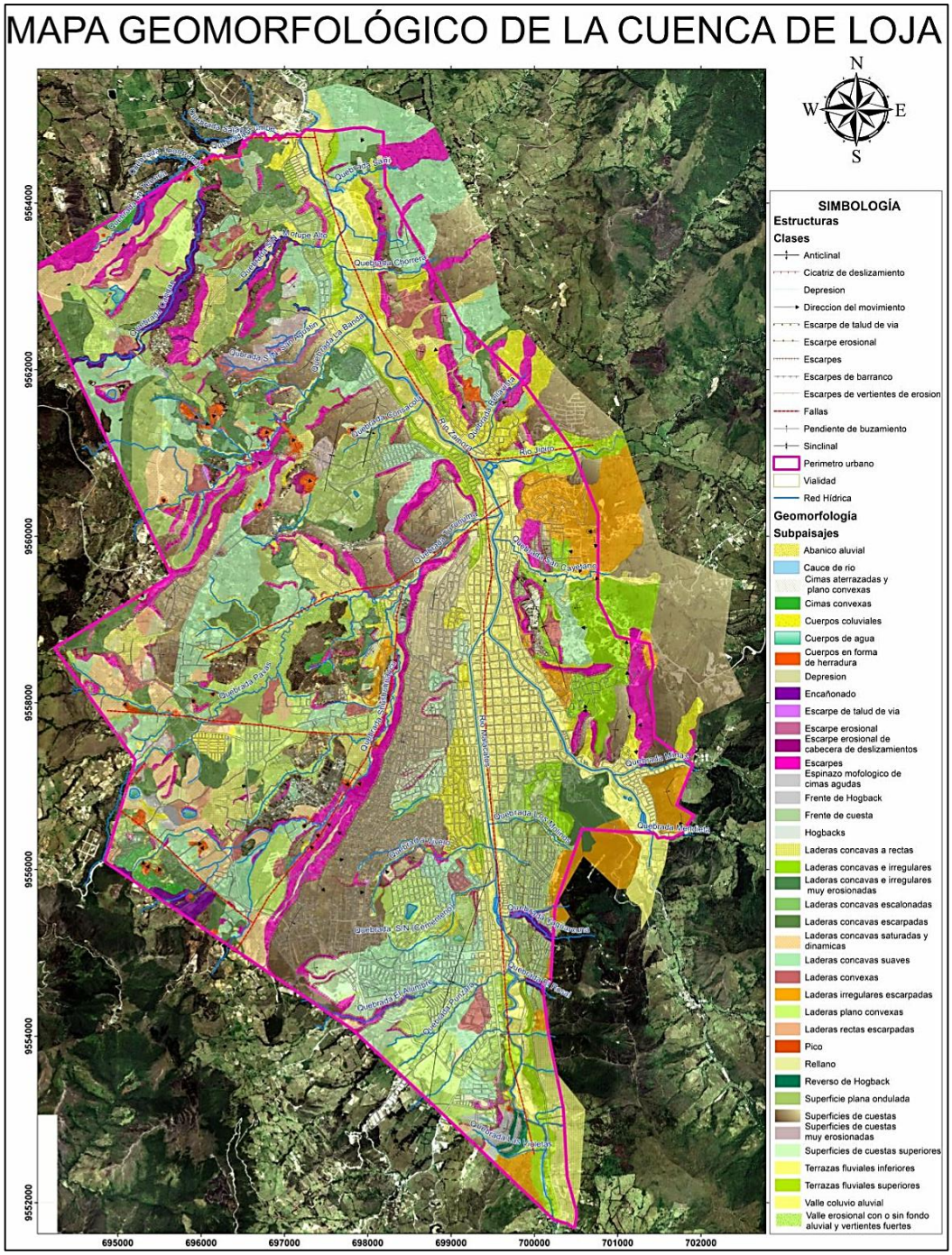


Ilustración 25 Mapa Geomorfológico de la cuenca de Loja Escala de trabajo: 1: 200000.
Fuente: Riegos Urbanos de Loja, 2008

Tabla 2 Paisajes (Origen) y subpaisajes geomorfológicos del área urbana de la ciudad de Loja.

Fuente: Riesgo Urbano de la ciudad de Loja, 2008

GRAN PAISAJE	PAISAJE	SUBPAISAJE
Formas Estructurales	Estructuras monoclinales	Superficie plana ondulada
		Rellano
		Laderas convexas
		Laderas irregulares escarpadas
		Laderas concavas escarpadas
		Laderas concavas suaves
		Laderas concavas saturadas y dinamicas
		Laderas concavas escalonadas
		Laderas concavas e irregulares muy erosionadas
		Laderas plano convexas
		Superficies de cuestas
		Superficies de cuestas superiores
		Superficies de cuestas muy erosionadas
		Laderas rectas escarpadas
		Laderas concavas escarpadas
		Frente de cuesta
		Espinazo mofologico de cimas agudas
		Superficies de cuestas superiores
		Hogbacks
		Frente de Hogback
		Reverso de Hogback
		Pico
	Formas montañosas y colinadas	Pico
	Mesetas controladas estructuralmente	Cimas aterrazadas y plano convexas
		Superficie plana ondulada
		Laderas concavas e irregulares
		Cimas convexas
Formas de Origen Ëstructural_Fluvio Erosional	Estructuras monoclinales	Escarpe de talud de via
		Escarpe erosional de cabecera de deslizamientos
		Escarpe erosional
		Escarpes
	Formas montañosas y colinadas	Escarpes
	Valles estrechos	Valle erosional con o sin fondo aluvial y vertientes fuertes
		Encañonado
Formas de Orígen Fluvial	Cuerpos	Depresion
	Lagunas	Cuerpos de agua
	Llanura de inundacion y terrazas	Terrazas fluviales inferiores
		Cauce de rio
	Pie de ladera	Valle coluvio aluvial
	Valles aluviales	Terrazas fluviales superiores
	Valles estrechos	Valle erosional con o sin fondo aluvial y vertientes fuertes
Formas Denudacionales	Abanicos	Abanico aluvial
	Pie de ladera	Cuerpos coluviales
	Cuerpos agradacionales	Cuerpos en forma de herradura
		Depresion

6.1.4.1. Formas Estructurales y Estructurales Fluvio Erosionales

Se caracteriza porque incluyen geoformas montañosas y colinadas cuya altura y formas se deben a plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en grado variable por los procesos de denudación. Las Formas Estructurales concretamente se hacen referencia a las geoformas de plegamiento en rocas sedimentarias consolidadas y en metamórficas de origen sedimentario.

6.1.4.2. Formas de Origen Fluvial

Estas formas son ocasionadas por transporte del agua, siendo estas un medio de acarreo. El proceso de sedimentación aluvial o fluvial, tiene como fuerza o agente el agua de escorrentía, corrientes fluviales, cuyo trabajo incluye tres actividades: erosión, transporte, sedimentación.

6.1.4.3. Formas Denudacionales

Forma un relieve suave. La vegetación es herbácea con cultivos y zonas urbanas predominan en esta unidad. Los procesos son acumulación de sedimentos, erosión en cárcavas moderada. Compuesto de Material aluvial no consolidado, con cantos rodados y sorteados.

6.1.5. Geología local

Basada en el documento del año 2010, elaborado por el ingeniero José Tamay, describe la cuenca de Loja, como una secuencia sedimentaria muy variada, donde el esquema estratigráfico de depositación, se desarrollaron en dos áreas diferentes con edades similares Cenozoico (Oligoceno – Mioceno). Además, la serie sedimentaria en el área de Loja es de tipo tectónico donde la secuencia deposicional está dividida tanto al Oriente como Occidente por una falla inversa, y anteponiendo los sedimentos en sucesiones diferentes. La serie sedimentaria se encuentra sobrepuesta discordantemente sobre el basamento de rocas metamórficas (Unidades Chiguinda).

En la Ilustración 29 de Hungerbuhler, 1997, se realiza una descripción resumida de la geología de la Cuenca de Loja, comenzando por el basamento y luego por la secuencia sedimentaria.

6.1.5.1. Estratigrafía

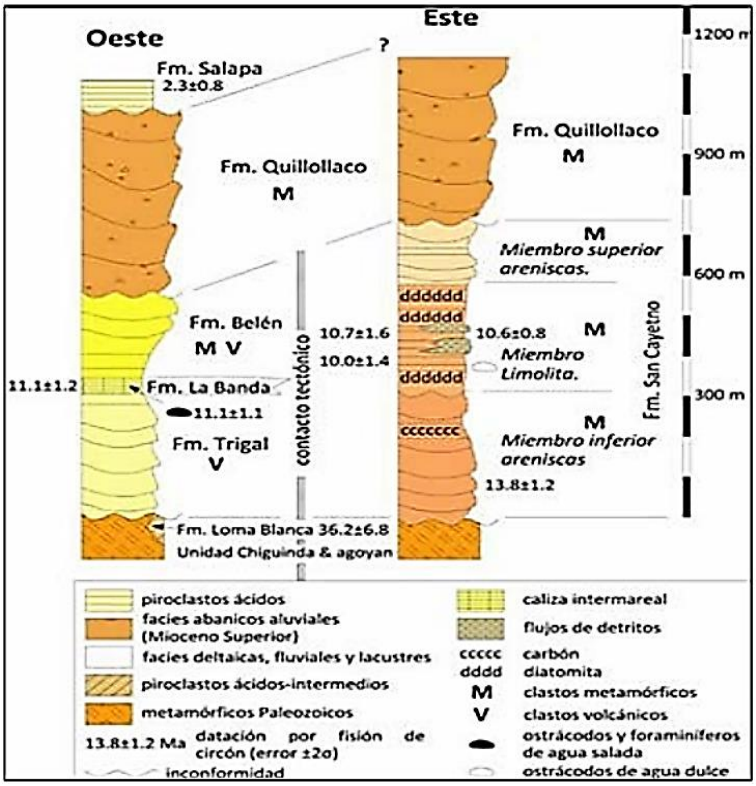


Ilustración 26 Columna estratigráfica de la cuenca de Loja.
Fuente: Hungerbuhler, 1997.

6.1.5.1.Formación Chiguinda.-

Constituyen el basamento de la cuenca de Loja, formado por rocas metamórficas de edad Paleozoica, que contienen filitas, esquistos, cuarcitas, pizarras, metacuarcitas.

6.1.5.2.Formación Trigal.-

De edad Miocena o Media, está formado por areniscas de grano grueso con láminas finas de conglomerados (compuestos por abundantes clastos de rocas metamórficas y pequeños clastos volcánicos (> 1cm) y capas menores de limonitas. Las areniscas muestran estratificación cruzada. La potencia varía cerca

de 50 m en el oeste a 150 m en el este hacia el contacto con la Formación La Banda.

6.1.5.3.Formación La Banda.-

Formado por un estrato de 10 a 20 m de potencia con secuencia intercalada desde Caliza masivas, lutitas carbonatadas, capas de chert y areniscas de grano fino.

6.1.5.4.Formación Belén.-

Caracterizada por gruesas capas de areniscas marrón de grano granulado, muestran estratificación cruzada en escalas métricas, además contiene lentes de conglomerado horizontalmente estratificados. Su máximo espesor 300 m, está en contacto concordante con la Formación La Banda. La edad se asume al Mioceno Inferior.

6.1.5.5.Formación San Cayetano.-

Está expuesta al este de la falla de cobijadura a lo largo del Río Zamora. La formación puede ser dividida en tres miembros con límites transicionales. El miembro inferior de areniscas, contienen capas de areniscas y algunas pequeñas capas de conglomerados y varias capas de carbón. Una capa inter media del miembro limonitas que contiene lutitas laminadas de color gris y blancos, con abundantes capas de diatomita y algunos piroclastos horizontales, con una rica micro-flora y gasterópodos (en parte silicificado con dos intercalaciones distintas de 3-5-m espesor capas de brecha). El miembro superior de areniscas tiene una litología similar a la intermedia, pero generalmente muestran una tendencia de depositación estrato creciente. Tiene una edad del Mioceno Tardío a último.

6.1.5.6.Formación Quillollaco.-

Está presente al este y oeste de la cuenca de Loja, sobrepuesto al resto de formaciones por una discordancia angular. La formación alcanza espesores hasta un máximo de 600 m, al este de la ciudad de Loja. La formación está dominado por conglomerados muy granulados con pocas intercalaciones de areniscas.

6.1.5.7.Formación Salapa.-

La formación Salapa descansa discordantemente en rocas metamórficas Paleozoicas contiene clastos líticos y tobas ricos en vidrio (transformados a caolinita), formación más joven de edad Pliocenico.

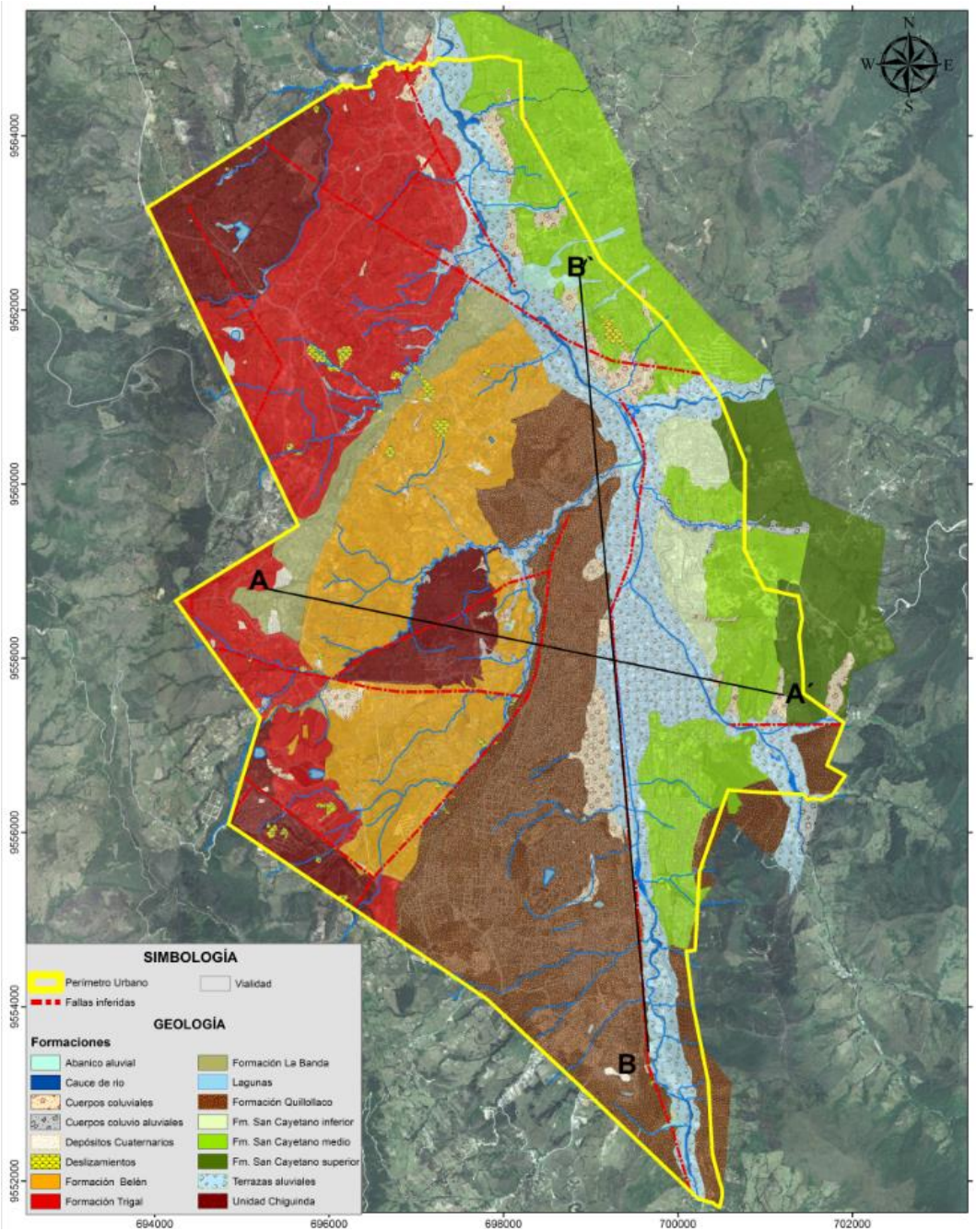


Ilustración 27 Mapa geológico de la Hoya de Loja Escala de trabajo: 1:200000

Fuente: Autora, 2018

6.1.5.2. Cortes geológicos

Los cortes que se presentan en las ilustraciones 31 y 32, describen la geología del área de estudio, los cuales se han editado en base a la información aportada por los siguientes geólogos: Kennerley (1973), Baldock (1982-1985), (Hungerbühler D., 2002), (Guartán, 2010) y observaciones realizadas en los sitios donde se plantaron las estaciones.

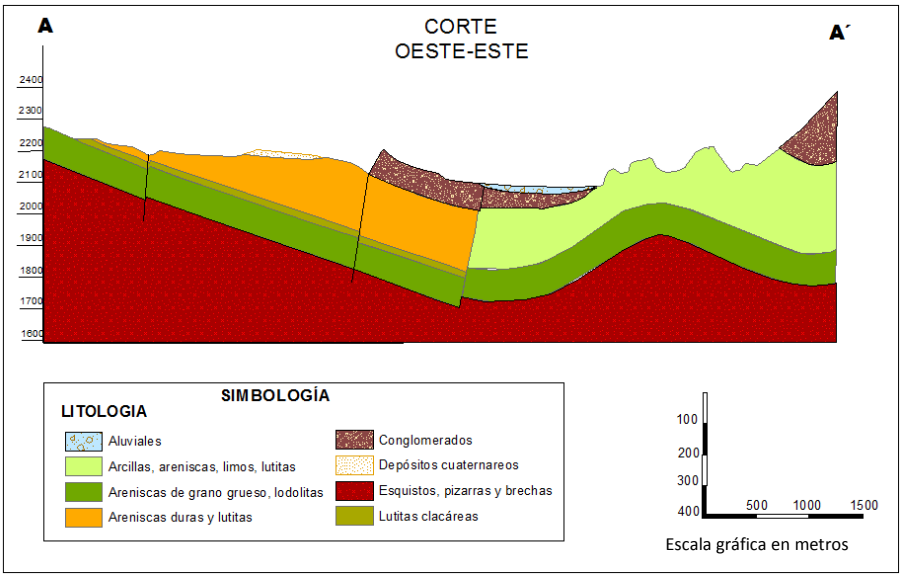


Ilustración 28 Corte Geológico A-A` de la Cuenca de Loja.
Fuente: Guartán, 2010.

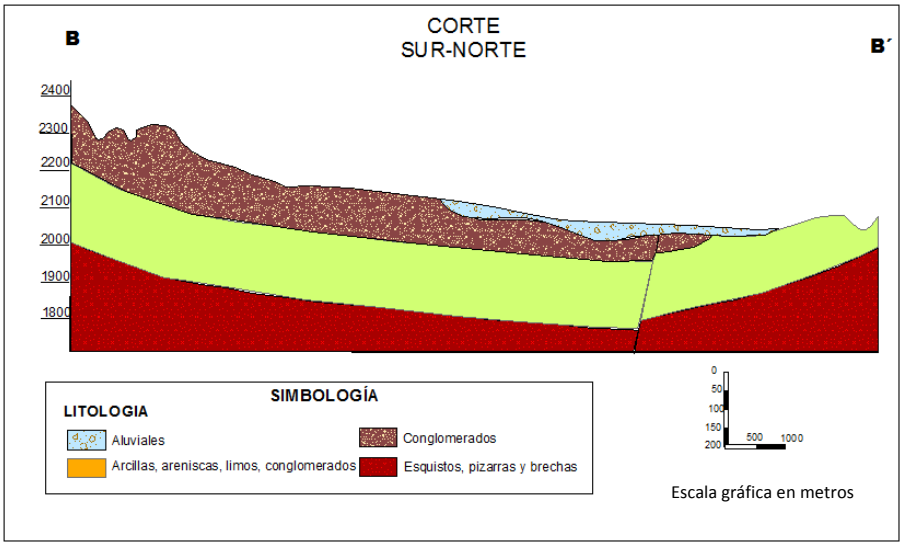
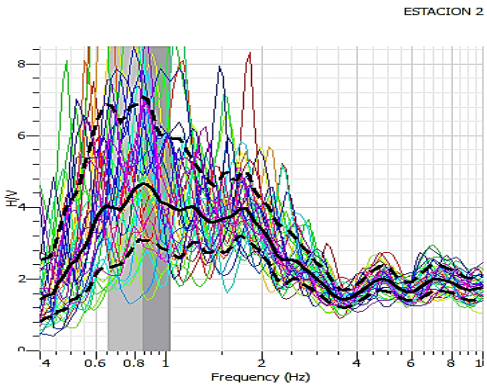


Ilustración 29 Corte Geológico B-B` de la Cuenca de Loja.
Fuente: Guartán, 2010.

6.2. Cociente espectral H/V

A partir de los datos de ruido sísmico ambiental conseguidos, se procedió a comprobar los valores de períodos de cada sitio de medición a través del gráfico de la relación H/V. tal como se muestra en ilustración 33, los referentes se adjuntan en el ANEXO 2.



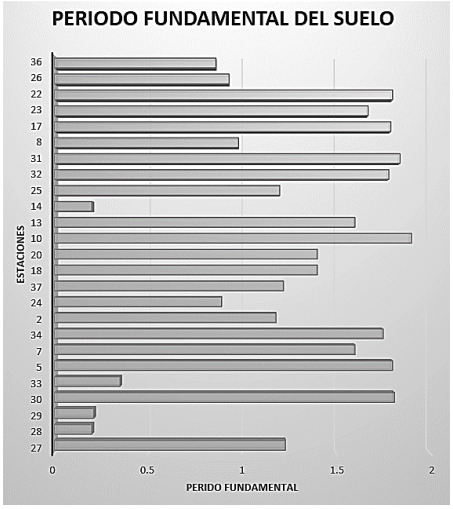


Ilustración 31 Periodo Fundamental del Suelo.
Fuente: Autora, 2018.

Ilustración 30 Resultados H/V, ESTACIÓN 2

Los resultados proyectaron información importante sobre el comportamiento dinámico de los suelos, en la zona urbana de la cuenca de Loja, obteniendo una media de 1.36 segundos, siendo 0.2 segundos el valor más bajo y 1.9 segundos el más alto.

Teniendo 12 de 26 estaciones con periodos altos entre 1.3 a 1.9 segundos; 4 estaciones entre 0.2 y 0.8 segundos; 10 estaciones se captaron valores entre 0.81 a 1.31 segundos, caracterizada como periodos de vibración medio, en el mapa de isoperiodos fundamentales del suelo de la zona Urbana de la Cuenca de Loja se señala las distribución de los puntos, el valor captado y los barrios.

Tabla 3 Periodo fundamental del suelo y su distribución por barrios

Fuente: Autora, 2018.

CATEGORIAS	BARRIOS	
CORTOS 0.21-0.81	Bolonia	Plateado
	Menfis	Los Eucaliptos
	Ciudad Victoria	La Paz
	Obrapía	La Estancia
MEDIO 0.81-1.30	Chonta Cruz	San Pedro
	Colinas Lojanas	Pucara
	Sol de los Andes	Perpetuo Socorro
	San Isidro	Mira Flores
	El Rosal	Ramón Pinto
	Héroes de Cenepa	24 de Mayo
	Santa Teresita	18 de Noviembre
	Juan José Castillo	Barro Central
	Daniel Alvares	Borja
	Pradera	Jipiro
	Tebaida	La Imaculada
	Daniel Alvares	La Banda
	Los Geranios	Amable María
	Isidro Ayora	Sauces Norte
	Capuli Loma	
LARGOS 1.30-1.84	Salapa	San Juan del valle
	Motupe	Gran Colombia
	Las Pitas	Santiago Fernández
	Turunuma	Las Palmas
	Clodoveo	Orillas del Zamora
	San Vicente	Zamora Huaico
	San José	Ciudad Alegría
	Alborada	Capulí
	El Pedestal	La Argelia
	Celi Roman	Tierras Coloradas
	San Cayetano	

6.3. Periodo natural de suelo y su correlación geológica

Con respeto a la geología y los puntos de muestreo del periodo fundamental de suelo, se procedió hacer una relación, en la ilustración 35 se presentan la mencionada correspondencia.

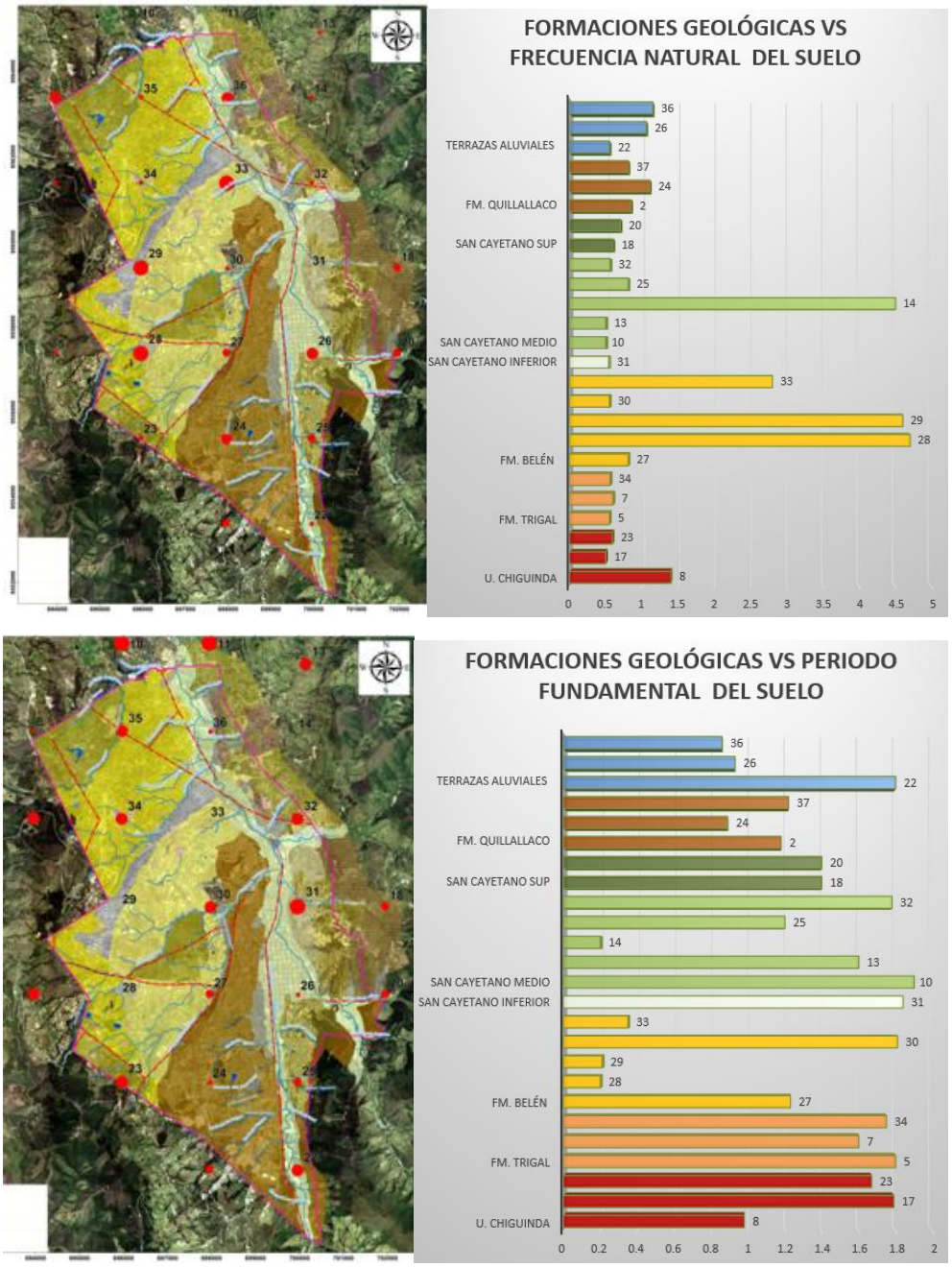
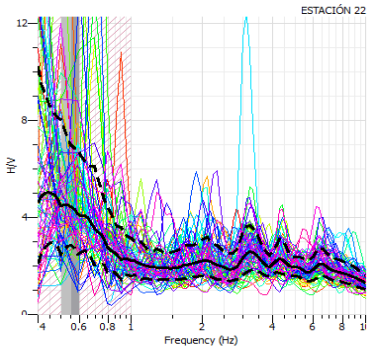


Ilustración 32 Correlación Periodos y Frecuencias VS geología.

Fuente: Autora, 2018.

En las tablas de la 4 a la 12, se describe la frecuencia, periodo y geología local, asimismo se presenta el espectro H/V, lo que permite observar la variación en función de la litología y la disposición de los estratos en los puntos de medición.

Tabla 4 Periodo fundamental del suelo en Terrazas Aluviales.
Fuente: Autora, 2018

TERRAZAS FLUVIALES	
Estación: 22 Frecuencia: 0.55 Hz. Periodo: 1.8 s. Coordenadas: X: 699958 / Y: 9553377 / Z: 2153	
La estación 22 se la ubicó en el jardín botánico universitario "Reinaldo Espinosa" al sur de la Ciudad, geomorfológicamente se sitúa sobre terrazas Fluviales inferiores. En el sector predominan sedimentos aluviales bien sorteados compuestos por: boleos, gravas, arenas y limos, los materiales existentes en la zona son producto del arrastre del cauce del río Malacatos, cuyo trayecto es de Sur a Norte.	
Estación: 26 Frecuencia: 1.06 Hz. Periodo: 0.93 s. Coordenadas:	

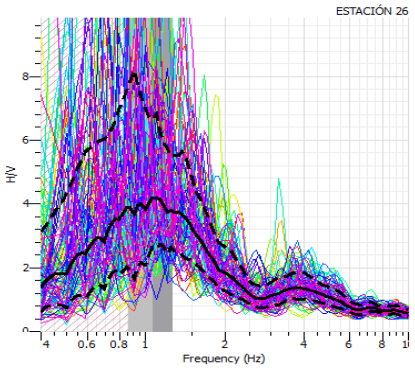
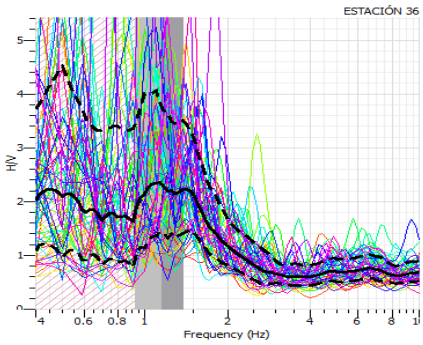
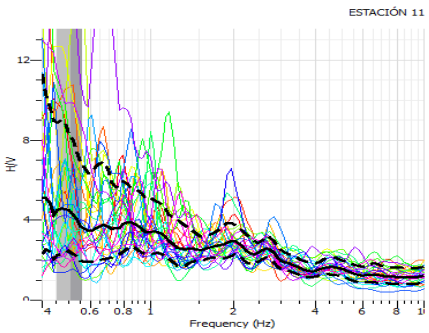
X: 699968/ Y: 9557378/ Z: 2085	
La estación 26 se ubicó en una parte céntrica de la urbe, entre las calles Lourdes y Juan José Peña, básicamente se localiza entre los ríos Malacatos y Zamora, por lo que la litología correspondiente del área son sedimentos bien graduados de boleos, gravas, arenas, limos y arcillas.	
Estación: 36 Frecuencia: 1.15 Hz. Periodo: 0.86 s. Coordenadas: X: 697979/ Y: 9563379/ Z: 2013	
Las estación 36 se localiza al norte de la ciudad específicamente frente al colegio militar “Lauro Guerrero”, al igual que en las estaciones anteriores se localiza sobre sedimentos bien sorteados cuyos materiales corresponde a Boleos, Gravas, Arenas, limos y arcillas, producto del arrastre del de materiales pro el cauce de Rio Zamora, que al igual que el Malacatos trayectan la ciudad de sur a norte.	

Tabla 5 Periodo fundamental del suelo en la Fm. San Cayetano Medio.

Fuente: Autor 2018

FM. SAN CAYETANO MEDIO	
Estación: 11 Frecuencia: 0.50 Hz. Periodo: 1.96 s. Coordenadas: X: 697953/ Y: 9565399/ Z: 2072	
La estación 11 se ubicó en la vía antigua a Cuenca, sobre una ladera cóncava suave, se caracteriza litológicamente por estar compuesta por: lutitas de color marrón y la presencia de piroclastos, estos materiales se encuentra dispuestos horizontalmente.	
Estación: 25 Frecuencia: 0.81 Hz. Periodo: 1.22 s. Coordenadas: X: 699958/ Y: 9555388/ Z: 2145	
Se ha ubicado la estación 25 en el sector denominado los Rosales, al Sureste de la ciudad, el sector presenta, erosión severa en cárcavas, caídas de rocas por gravedad, denudación y movimientos en masas, la	

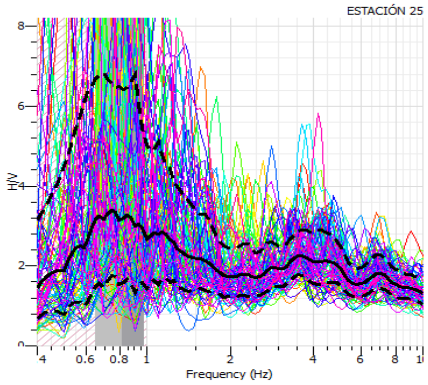
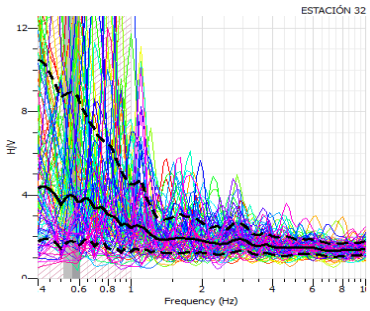
litología del sector corresponde a lutitas de color marrón, gris y blanco, algunas capas de diatomita y la presencia piroclastos horizontales, dirección predomínate es de Norte a Sur. Las potencias mayores a 15 metros.	
Estación: 32 Frecuencia: 0.56 Hz. Periodo: 1.78 s. Coordenadas: X: 699958/ Y: 9561389/ Z: 2111	
La estación 32 se la ubicó en la vía a Chinguilanchi, sobre superficies de forma recta con pendientes moderadamente escarpadas, en el sector se observa limolitas con capas de areniscas, de color gris de alta compacidad, en el sector se presenta de forma masiva, es decir no presenta una tendencia, área capturar datos estructurales.	

Tabla 6 Periodo fundamental del suelo en la Fm. San Cayetano Inferior

Fuente: Autora, 2018

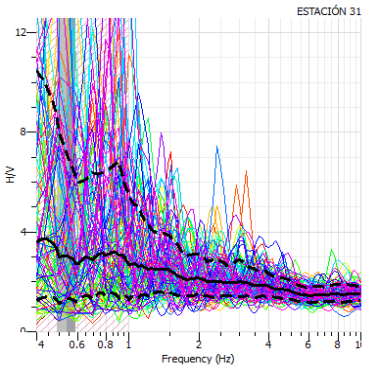
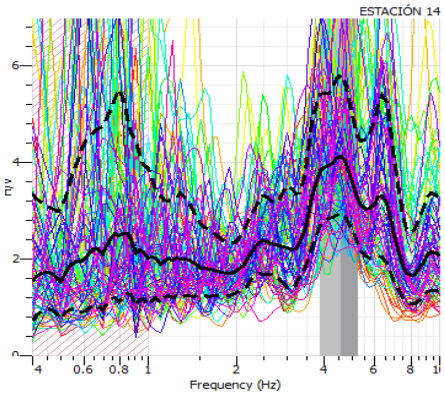
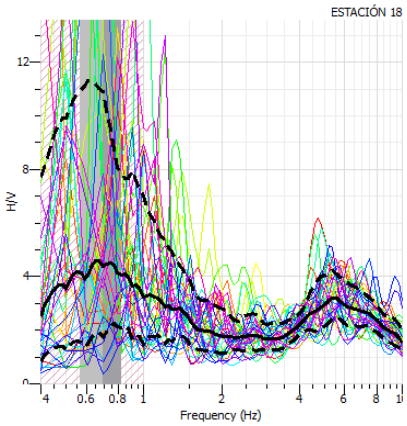
FM. SAN CAYETANO INFERIOR	
Estación: 31 Frecuencia: 0.54 Hz. Periodo: 1.84 s. Coordenadas: X: 699958/ Y: 9559389/ Z: 2107	
La estación 31 se ubica sobre las canchas de UTPL, se conoce que la universidad está asentada sobre la formación San Cayetano inferior, su litología se caracteriza estar conformada por conglomerados con intercalación de areniscas (microconglomerados).	

Tabla 7 Periodo fundamental del suelo en la Fm. San Cayertano Superior

Fuente: Autora, 2018.

FM. SAN CAYETANO SUPERIOR	
Estación: 14 Frecuencia: 4.59 Hz. Periodo: 0.21 s. Coordenadas:	

X: 699956/ Y: 9563392/ Z: 22132	
Como referencia a la estación 14, está ubicada en la vía Chiguilanchi a la altura de una Sub estación eléctrica, la litología correspondiente del sitio de muestreo, responde a los materiales de la formación San Cayetano Superior conglomerados con presencia de arcillolitas la posición de los estratos se presenta de forma horizontal.	
Estación: 18 Frecuencia: 0.69 Hz. Periodo: 1.4 s. Coordenadas: X: 699958/ Y: 9561389/ Z: 2111	
La estación 18 se la ubicó en la vía a Yanacocha, a la altura del cementerio del sector, al este de la ciudad, geomorfológicamente se localiza sobre una superficie con pendiente suave, este sector, litológicamente caracterizada por tener conglomerados puros y conglomerados con capas de arcillolitas.	

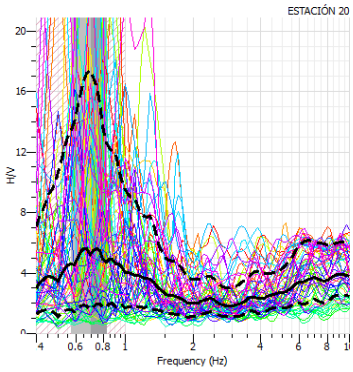
Estación: 20 Frecuencia: 0.77 Hz. Periodo: 1.42 s. Coordenadas: X: 701955/ Y: 9557395/ Z: 2152	
En el barrio Zamora Huaico se instaló la estación 22, el sector se localiza por tener formas sub-verticales erosionadas de cima aguda con drenaje paralelo, al igual que en la estación 18 se encontraron conglomerados puros y conglomerados con capas de arcillolitas (sedimentos fluviales)	

Tabla 8 Periodo fundamental del suelo en la Fm. Trigal

Fuente: Autora 2018

FM. TRIGAL	
Estación: 34 Frecuencia: 0.56 Hz. Periodo: 1.75 s. Coordenadas: X: 695957/ Y: 9561389/ Z: 2173	

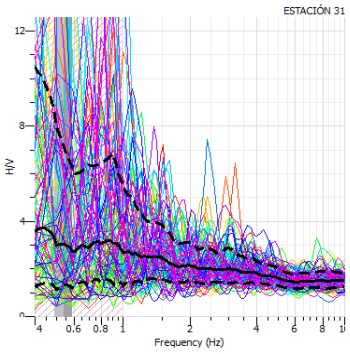
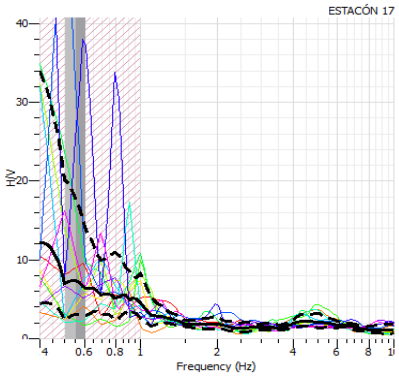
En la vía nueva a Cuenca se estableció el punto para la estación 34, el sector se caracteriza por presentar erosión en surcos moderada, movimientos en masa y denudación local, la litología de lugar identificada consiste en areniscas gruesas, conglomerados y limolitas, en el sitio no presenta tendencia depositación, para la toma de datos estructurales.	

Tabla 9 Periodo fundamental del suelo en la Fm. Chiguinda.

Fuente: Autora, 2018

FM. CHIGUINDA	
Estación: 17 Frecuencia: 0.55 Hz. Periodo: 1.79 s. Coordenadas: X: 703951/ Y: 9559399/ Z: 2213	
La estación 17 se la ubicó en la vía a Zamora, en el sector se encontraron cuarcitas, filitas y esquistos, materiales correspondientes a la formación Chiguinda. La zona geomorfológicamente se la describe como superficies de cuesta y escarpes.	

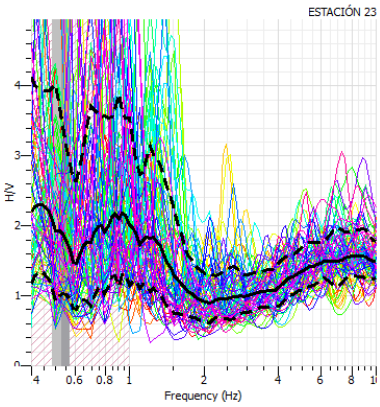
Estación: 23 Frecuencia: 0.59 Hz. Periodo: 1.67 s. Coordenadas: X: 695968/ Y: 9555399/ Z: 2410	
La estación 23 se localiza tras la planta Hormigonera de Hormic Loja, el sector geomorfológicamente entra en la descripción de plano convexo, la estación se encuentra sobre un estrato de rocas sedimentarias, seguido de rocas metamórficas como: cuarcitas, filitas y esquistos, pertenecientes a la Formación Chiguinda.	

Tabla 10 Periodo fundamental del suelo en la Fm. La Banda.

Fuente: Autora, 2018.

FM. LA BANDA	
Estación: 28 Frecuencia: 4.72 Hz. Periodo: 0.211s. Coordenadas: X: 695957/ Y: 9557378/ Z: 2236	

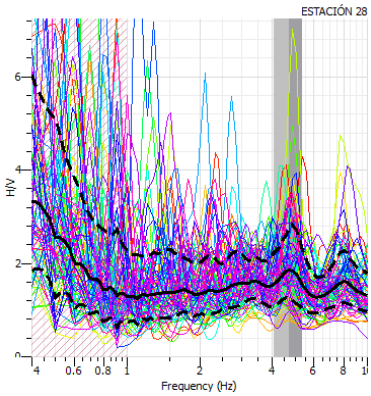
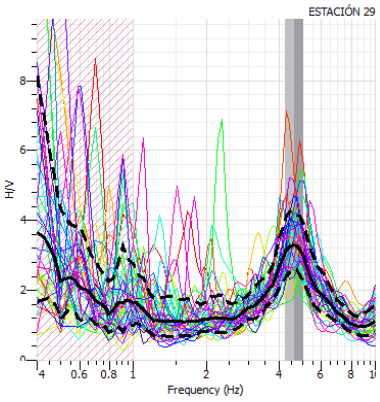
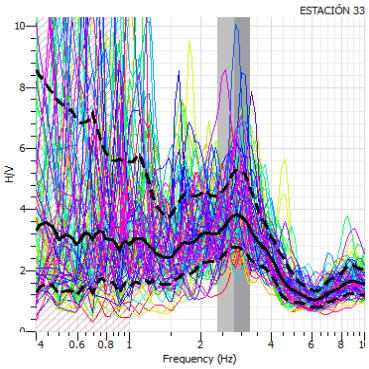
La estación 28 se la ubica en el barrio "Ciudad Victoria", el sector se caracteriza por pertenecer a un valle erosional con fondo aluvial, la vertiente del sector se denomina Las Pavas, la litología del sector presenta clastos metamórficos sub-angulares suspendidos en una matriz limo-arenosa. Se ubican con dirección N-W.	
Estación: 29 Frecuencia: 4.65Hz. Periodo: 0.21 s. Coordenadas: X: 695957/ Y: 9559389/ Z: 2229	
El punto 29 se lo localiza frente al denominado "Puerto Seco", el sector se caracteriza por presentar superficies de forma recta con pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas, la litología predomínate en el punto de exploración son areniscas de grano medio, en una matriz limo-arcillosa, de consistencia media. Presentan grietas de desecación lo que sugiere una naturaleza expansiva.	

Tabla 11 Periodo fundamental del suelo en la Fm. Belén.

Fuente: Autora, 2018.

FM. BELÉN	
Estación: 33 Frecuencia: 4.72 Hz. Periodo: 0.35s. Coordenadas: X: 695957/ Y: 9561389/ Z: 2086	
El sector se localiza a pocos metros del redondel de Caringa, el área de estudio se caracteriza por presentar superficies de forma recta con pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas, en el área se identifican areniscas gruesas y depósitos conglomeráticos, potencias mayores a 6.0 metros se observaron en campo.	
Estación: 27 Frecuencia: 4.65Hz. Periodo: 1.23 s. Coordenadas: X: 697957/ Y: 9557399/ Z: 2157	

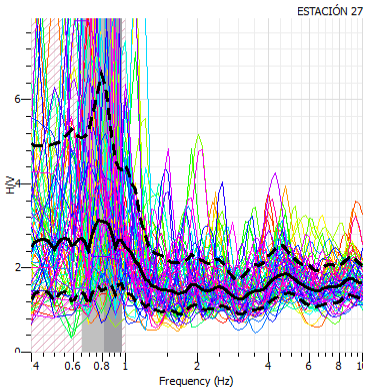
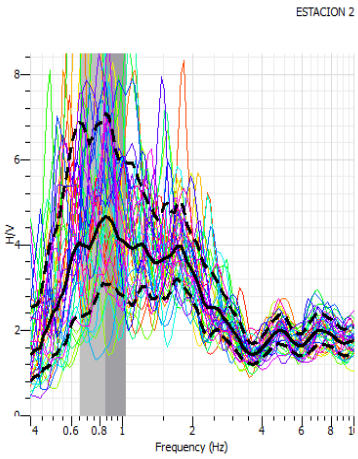
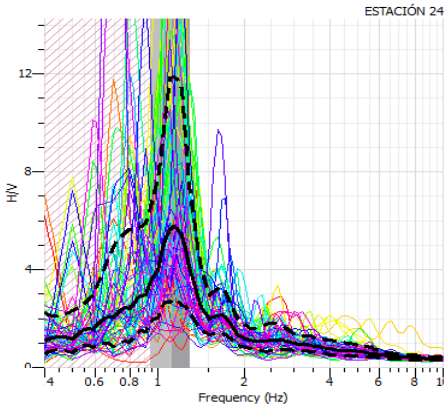
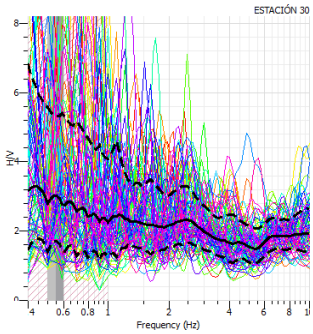
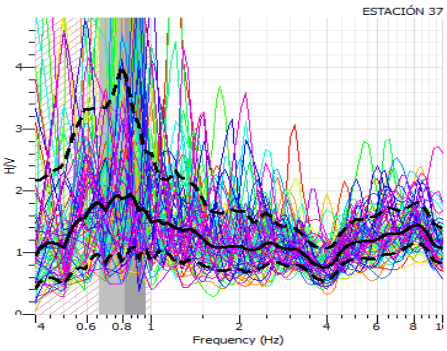
En el barrio Menfis Central se ubicó la estación 27, sector se describe como laderas cóncavas a rectas, con pendientes inclinadas no mayores 25%, litológicamente presenta areniscas gruesas y depósitos conglomeráticos, cerca del lugar no se encontraron afloramientos para la medición de potencia cerca del punto de muestreo.	

Tabla 12 Periodo fundamental del suelo en la Fm. Quillollaco.

Fuente: Autora, 2018.

FM. QUILLOLLACO	
Estación: 2 Frecuencia: 0.84 Hz. Periodo: 1.18 s. Coordenadas: X: 697953/ Y: 9553399/ Z: 2276	
La estación 2 se la ubicó cerca de urbanización APUL, en la parte más alta, en el sector se encontraron conglomerados con clastos de cuarcitas en un matriz limo arcillosa de color marrón, estos materiales son propios de la formación Quillollaco. Geomorfológicamente al sector se lo ha catalogado como superficies plano convexas.	

Estación: 24 Frecuencia: 0.69 Hz. Periodo: 0.89 s. Coordenadas: X: 695968/ Y: 9555399/ Z: 2233	
La estación 24 se lo ubica cerca de la unidad educativa Mater Dei, al igual que en la estación 2 la litología encontrada responde al Fm. Quillollaco, el sector presenta superficies de forma recta con pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas.	
Estación: 30 Frecuencia: 0.55 Hz. Periodo: 1.81 s. Coordenadas: X: 697979/ Y: 9559378/ Z: 2113	
La estación 30 se la ubica en el sector de Belén, el área presenta erosión severa en cárcavas, caídos de rocas por gravedad, la litología correspondiente del sector son, conglomerados con clastos de cuarcitas en una matriz limo-arcillosa de color marrón perteneciente a la formación Quillollaco.	

Estación: 37 Frecuencia: 0.81 Hz. Periodo: 1.2 s. Coordenadas: X: 699954/ Y: 9551400/ Z: 2197	
Como referencia se tiene el puente ubicado en el vía de integración barrial al sur de la ciudad cerca del sector Capuli, los materiales encontrados en esta zona son propios de la formación Quillollaco, además de la precia de clastos sub-ángulos de 5.0 cm de diámetro aproximadamente, se estima potencias superior a 20 metros en dicho sector, estimado por diferencia de cotas.	

Debido a las características propias de la cuenca de Loja, la presencia de depósitos sedimentarios no afianzados en la superficie, puede causar un incremento en la frecuencia, debido a la amplificación provocadas por el contraste de velocidad entre los materiales de baja consolidación y el basamento rígido, como ejemplo tenemos las estaciones 14, 28, 29 y 33, que presentan frecuencias de 4.5 a 2.8 Hz.

Duran el desarrollo de este proyecto, cabe mencionar que, en las zonas de interacción de las líneas de falla inferidas, la frecuencia de respuesta del suelo, es mayor en las estaciones 33, 28 y 26, por lo que se podría dar una pequeña relación, pues no es una constante que se puede comprobar con este método, en la ilustración 35 se puede observar esta analogía.

6.4. Mapa de isoperiodos de la zona urbana de la Cuenca de Loja

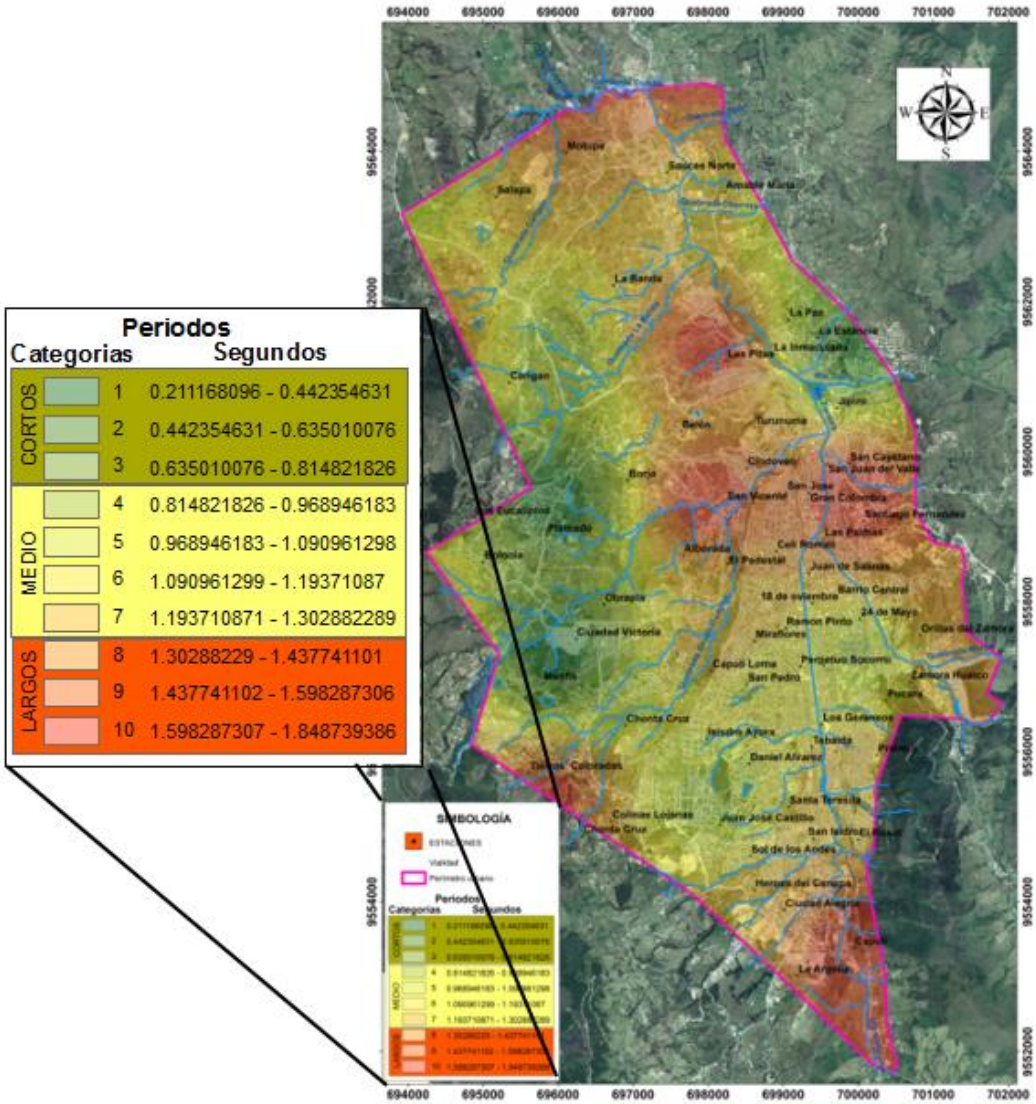


Ilustración 33 Zonificación de Periodos fundamentales. Escala de trabajo: 1: 200000

Fuente: Autora, 2018.

Para la elaboración del mapa de isoperiodos de la zona urbana de la cuenca de Loja (Anexo3) se han realizado tres clasificaciones; periodos largos, medios y cortos, dentro de estas se han ejecutado diez sub-clasificaciones, para ello se ha optado por utilizar una escala de color que va del verde al rojo, cabe mencionar que el rango de color no especifica peligro sísmico, ya que el estudio no aborda más allá que el conocimiento de los periodos de la vibración natural del suelo.

7. DISCUSIÓN

Los estudios previos y el reconocimiento geológico en cada estación, del área de estudio, muestran que el centro habitado se levanta sobre varios tipos de litologías en su mayoría sedimentarias, identificadas en diferentes formaciones: Salapa, Quillollaco, San Cayetano, La Banda, Trigal, hasta un basamento metamórfico denominado como la Unidad Chiguinda. Geomorfológicamente responde a un relieve irregular, valiendo mencionar las más representativas como: estructuras monoclinales, formas de montaña colinadas, valles estrechos, lagunas, formas denudaciones, formas de origen fluvial, entre otros. Algunos documentos infieren, que, la parte céntrica de la hoya de Loja (de sur a norte) atraviesa una falla geológica y a partir de ésta se derivan otras denominadas transversales (oriente-occidente), ubicadas a la altura de ambos extremos de la hoya y que involucran a las pequeñas colinas que bordean la ciudad de Loja, el mapa geológico de la hoya de Loja elaborado por el ingeniero José Tamay en el año 2010, se representa gráficamente la distribución de estas fallas.

Los períodos predominantes del suelo, muestran una distribución muy irregular de la zona de estudio, debido a la diversidad litológica que presenta la Cuenca de Loja. Una vez reconocida la geología y geomorfología del área de estudio, se enfatiza los resultados correspondientes al periodo fundamental del suelo para la zona urbana de la cuenca de Loja, los resultados obtenidos en las 26 estaciones medidas, han determinado un rango comprendido entre 0,2 y 1.9 segundos, el 52 % de los puntos evaluados corresponden a periodos largos, abarcando de 1,4 a 1, 9 segundos; el 32 % pertenecen a la categoría de periodos medios, de 0,86 a 1,23 segundos; y finalmente los periodos cortos le corresponde el 16%, de 0.20 a 0.35 segundos. Los periodos de tiempo largos se ubican principalmente en el centro de la cuenca, especialmente en las terrazas a aluviales, la formación Chiguinda y parte de la formación Belén; Los periodos de tiempo medios se localizan en gran extensión de la zona urbana de la cuenca, abarcando el centro y sur del área explorada, abarcando las formaciones: Trigal, Quillollaco y San Cayetano; y, los periodos cortos de duración se ubican mayormente en las zonas laterales Oeste y Noreste, cabe mencionar que estas zonas hay grandes

depósitos de sedimentos de granulometría fina y zonas de saturación, los cuales se pueden observar en el trayecto de la vía de integración barrial Ángel Felicísimo Rojas.

En el estudio se observa una relación en las zonas de interacción entre las líneas de falla y el periodo de respuesta del suelo, el tiempo captado es menor, aunque este aspecto no es una constante comprobada con este método, es una inquietud para resolver en estudios posteriores.

8. CONCLUSIONES

- Se logró estimar los períodos fundamentales de vibración de los suelos en la zona urbana de la cuenca sedimentaria de Loja, los cuales varían en un rango de 0.21 y 1.9 segundos, mientras que los picos de frecuencia oscilaron entre 0.50 y 4.7 Hz.

- Se comprobó que el cociente espectral de estas mediciones brinda un valor considerado de la frecuencia fundamental con respecto a los depósitos sedimentarios sueltos, y en cierta forma hay relación en el factor de amplificación.

- El proyecto aporta información importante al momento de realizar construcciones civiles, ya que se lograrán diseñar obras que no se sincronicen con el periodo fundamental de las estructuras y el periodo fundamental del suelo, así evitando que estas entren resonancia, produciendo daños durante eventos sísmicos.

- El mapa de períodos fundamentales, constituye un parámetro importante al momento de realizar una Zonificación de Amenaza Sísmica, en la zona Urbana de la cuenca de Loja, que lógicamente debe ser complementada con estudios geotécnicos, estudios geofísicos y modelos dinámicos del comportamiento de los suelos.

- Los sismos no afectan de la misma manera cuando hay un sismo lejano, los componentes que afectan son de baja frecuencia por ende las áreas de periodos largos se verán más afectados; y, cuando los sismos son cercanos la señal que se recibe son de alta frecuencia que afectan a estructuras de periodos cortos, que, por lo general son edificaciones de uno o dos niveles.

9. RECOMENDACIONES

- Validar los resultados obtenidos en esta investigación con la elaboración de perfiles de potencias de sedimentos en los principales ríos y quebradas del área.

- Al momento de edificar tomar en cuenta el periodo fundamental del suelo, con el objetivo que este no sea el mismo, para evitar que entren en resonancia y las estructuras colapsen durante un evento sísmico.

- Profundizar la investigación con realización de sondeos mixtos que permitan la recopilación de datos geotécnicos, empleados para verificar los valores de densidades, composición y profundidad de los estratos que conforman el subsuelo, y con ello calibrar los diferentes modelos geológicos, geotécnicos y geofísicos.

- Para estudios futuros, relacionados con la respuesta sísmica del suelo, se analice la influencia de las variaciones del nivel freático (hidrogeología), con dicha respuesta, ya que las aguas subterráneas posiblemente introducen variaciones en las tensiones del suelo.

- Sería importante realizar un estudio experimental, con el método de Nakamura enfocado en las zonas de fallas, para asumir o descartar esta relación.

10. BIBLIOGRAFÍA

Almira, J. (2005). *Matemáticas para recuperación de señales.* S.C: Grupo Editorial Universitario.

Álvares, S. (S.F). *El Efecto Local sobre el Movimiento Sísmico del Suelo: Fenomenología y Resultados Recientes.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Anónimo. (S.F de S.F de S.F). *col.ops*. Obtenido de col.ops: http://www.col.ops-oms.org/desastres/docs/pereira/05estudio.htm

Aviles, J. (1991). RESPUESTA SISMICA DE UN SISTEMA SUELO-ESTRUCTURA. *Revista Internacionai de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. Vol. 7*, 29-43.

Barragán, J. (30 de Mayo de 2011). *Tutoría Virtual de A. Barragán Javier Piña*. Obtenido de Función de transferencia de la ecuación de estado: http://uhu.es/antonio.barragan/content/23-funcion-transferencia-ecuacion-estado

Barredo, S., & Stinco, L. (2010). Geodinámica de las cuencas sedimentarias: su importancia en la localización de sistemas petroleros en la Argentina. *Revista Petrotecnia - Instituto Argentino del Petroleo y del Gas*, 48.

Barriére, L. (2011). *Serie de Fourier.* S.C: S.E.

Bonett, R. (2003). *Vulnerabilida y Riesgo Sísmico de Edificios, Aplicados a Entornos Urbanos en Zonas de Amenaza Alta y Moderada.* Cantuña: Universidad Politecnica de Cantuña.

Brigham, O. (1998). *The Fast Fourier Trasnform and its Applications.* EUA: Hall.

Caicedo, C., Barbat, A., Canas, J., & Roberto, A. (1994). *Vulnerabilidad Sismica de Edificios.* S.C: CIMNE.

CENAPRED. (2007). *SISMOS.* Ciudad de México: Secretaria de gobernación.

Comisión Nacional de Seguros y Fianzas. (2012). Capítulo 1: Amenaza sísmica. *BASES TECNICAS PARA LA DETERMINACION DE LA PRIMA DE RIESGO Y LA PERDIDA MAXIMA PROBABLE DE LOS SEGUROS DE TERREMOTO.*, 18-19.

David R. Rojas Caballero, J. P. (2008). *Compendio de Geología.* Rimac-Lima: Editorial Universitaria-Universidad Nacional de Ingeniería.

EADIC escuela técnica. (S.F). Cuaderos de Formacion. En Anónimo, *Analisi Dinamico* (pág. 3). S.C: EADIC.

Edward J.Tarbuck, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra-Introduccion a la geología.* Madrid, España: Pearson Educación S. A.

Espindola, J., & Jimenez, Z. (S.F.). TERREMOTOS Y ONDAS SISMICAS. En J. Espindola, & Z. Jimenez, *TERREMOTOS Y ONDAS SISMICAS* (págs. 13-16). Ciudad de México : Universidad Autonoma Nacional de México .

Galves, P. (3 de Mayo de 2012). *Mediciones Sismicas e Investigaciones*. Obtenido de Ondas (P y S) (R y L): http://ondassismicasprofepaul.blogspot.cl/

Galves, P. (s.f.). *Mediciones sismica e Investigación*. Obtenido de Mediciones sismica e Investigació.

Geopsy. (S.D de S.M de 2005). *GEOPSY*. Obtenido de GEOPSY: http://www.geopsy.org/index.html

Gómez, J. (PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACION DE ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS). *PRESENTACION DE UN NUEVO MODELO MATEMATICO PARA CALCULO DEL.* Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.

Goméz, J. (S.F). *PRESENTACION DE UN NUEVO MODELO MATEMATICO PARA CALCULO DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACION DE ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS* . Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.

Guamán, G. (2008). *Riesgo Urbano Loja.* Loja: Gobierno Provincial de Loja.

Guartán, J. (2010). *Zonificación sísmica de la Cuenca de Loja (Ecuador), a partir de datos litológicos y medidas de ruido ambiental.* Granada: Universidad de Granada.

Hungerbühler D., S. M. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. En S. M. Hungerbühler D., *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador.* (págs. 55-125). SC: Earth Science Reviews.

Jiménez, C. (2007). PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES SÍSMICAS CON MATLAB. *Revista de Investigación de Física*, 45-50.

Landau, & Lifshitz. (S.F). *Mecánica.* Barcelona: Reverté.

lexicoon. (S.F de S.F de S.F). *lexicoon*. Obtenido de Diccionario: http://lexicoon.org/es/sismometro

Moncca, G. (2006). *ONDAS SUPERFICIALES.* Arequipa: Instituto Geofísico del Perú.

Moreno, L., & Alfaro, A. (2000). *DE LOS MICROSISMOS A LOS MICROTEMBLORES INVESTIGACIONES EN EL INSTITUTO GEOFÍSICO* . Bogotá: Sociedad Colombiana de Geotecnica .

Moyano, M. (2006). *Sismógrafo.* Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Técnologia - Instituto.

Muñoz, D. (1989). Conceptos Básicos en Riesgo Simico. En D. Muñoz, *Fisica de La Tierra* (págs. 199-215). Madrid: Universidad Computense .

Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of RTRI*, Vol.30 N°.1.

NEC. (s.f.). Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente.

Nieto, M. A. (S.F). ONDAS SISMICAS. En D. I. Civil, *ONDAS SISMICAS* (pág. 10). CORDÓVA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL.

Pérez, J., & María, M. (S.D de S.M de 2010). *Definicion.de*. Obtenido de Definición de sismo: https://definicion.de/sismo/

Schmidt, V. (21 de Junio de 2011). FACTORES DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO EN FUNCIÓN DEL PERIODO OBTENIDOS A PARTIR DE REGRESIONES PARA COSTA RICA . *Revista Geológica de América Central*, 29. Obtenido de www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=239

SESAME. (2004). *GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION.* Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME: European Commission-Research General Directorate.

Páginas Web

Sismoclub. (S.D de Enero de 2012). *Sismicidad*. Obtenido de wikispaces: https://sismicidad.wikispaces.com

Torres, G. (2010). *EFECTOS DE SITIO OBSERVADOS EN ESTACIONES ACELEROGRÁFICAS DE LA CIUDAD DE PUEBLA.* CDMX: UNAM.

UTP, E. C. (18 de Mayo de 2015). *Comunidad UTP*. Obtenido de Comunidad UTP: http://blog.utp.edu.co/comunidadutp/conceptos-de-amplitud-periodo-y-frecuencia-en-fisica/

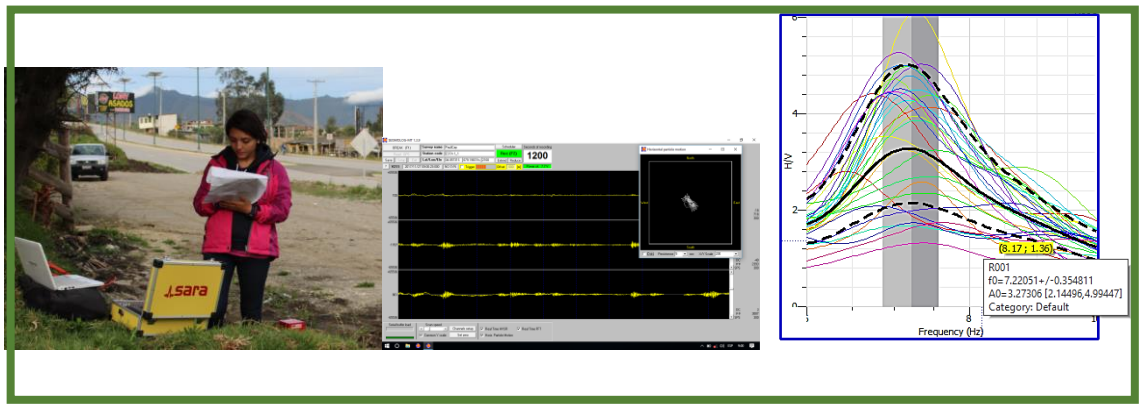
WIKIPEDIA. (29 de Septiembre de 2016). *Wikipedia enciclopedia libre*. Obtenido de Wikipedia enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Funci%C3%B3n_de_transferencia

11. ANEXOS

ANEXO 1

MANUAL DE TOMA DE DATOS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL EN CAMPO Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EN OFICINA 2018

MANUAL DE TOMA DE DATOS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL EN CAMPO Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EN OFICINA 2018



Contenido

1. Adquisición de datos para ruido ambiental 76

1.1. Encendido..... 76

1.2. Procedimiento de conexión..... 77

1.3. Lectura de GPS 77

1.4. Configuración de ajustes para medición..... 77

1.5. Para Grabar..... 78

1.6. Descarga de archivos..... 79

2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LAS ZONAS DONDE SE COLOCARON LAS ESTACIONES. 79

2.1. Procesamiento de datos..... 79

1. TOMA DE DATOS PARA RUIDO AMBIENTAL

Una vez establecidos los sitios de medición, se procedió a trasladarse en vehículo a cada uno de ellos, tomando en cuenta las facilidades de acceso.

Al ubicar las estaciones, con la ayuda de un sistema de posicionamiento global (G.P.S.), se procedió a seguir las recomendaciones del Proyecto SESAME (Site Effects Sassessment using AMbient Excitations), para la implementación de la técnica de relación espectral H/V sobre vibraciones ambientales (SESAME, 2004), se estableció un tiempo mínimo de grabación de 15 a 20 minutos.

Para los procedimientos en campo se realizaron los siguientes pasos para operar el equipo y adquirir los datos en campo:

1.1. Encendido

Se debe realizar una nivelación con las perillas colocadas en la parte inferior del sensor, se enciende mediante la conexión del cable RS232, el nivel encenderá con una luz color naranja intermitente.

Ilustración 34 Instalación del Equipo.
Fuente: Autora, 2018.

1.2. Procedimiento de conexión

Se conecta a la PC y se realiza el test en el programa de adquisición SEISMOWIN en el módulo SEISMOLOG-MT, para corroborar la conectividad del equipo.

Confirmada la conexión se procede a realizar la lectura de las coordenadas GPS, esta se realiza al intercambiar el cable de conexión de datos, por lo tanto se tiene que interrumpir momentáneamente la transmisión de datos con el botón BREAK.

Ilustración 35 Conexión del equipo
Fuente: Autora, 2018

1.3. Lectura de GPS

Se coloca el cable RS232 en la conexión de abajo y el GPS.

Se recomienda dejar conectado durante 2 minutos, para precisar mejor la posición de GPS y se selecciona SAVE, posteriormente se oprime el botón BREAK y se realiza el cambio de puerto, al primero.

1.4. Configuración de ajustes para medición

a. Configuración de transmisión de datos.

b. Numero de muestras por segundo, por convención y el tamaño de los archivos se realiza 100 muestras por segundo.

c. Se activa la opción para suprimir el ruido de baja frecuencia que generalmente modifica el espectro en las bajas frecuencias.

d. El formato se registra en *.SAF.

e. En la pantalla principal en:

SURVERY NAMES se nombra la carpeta.

STATION CODE el nombre o número, de punto o estación.

1.5. Para Grabar

Presionamos la tecla RUN (F1) y se comienza a grabar con el botón de REC, se tiene 30 segundo para despejare el área donde se va tomar los datos.

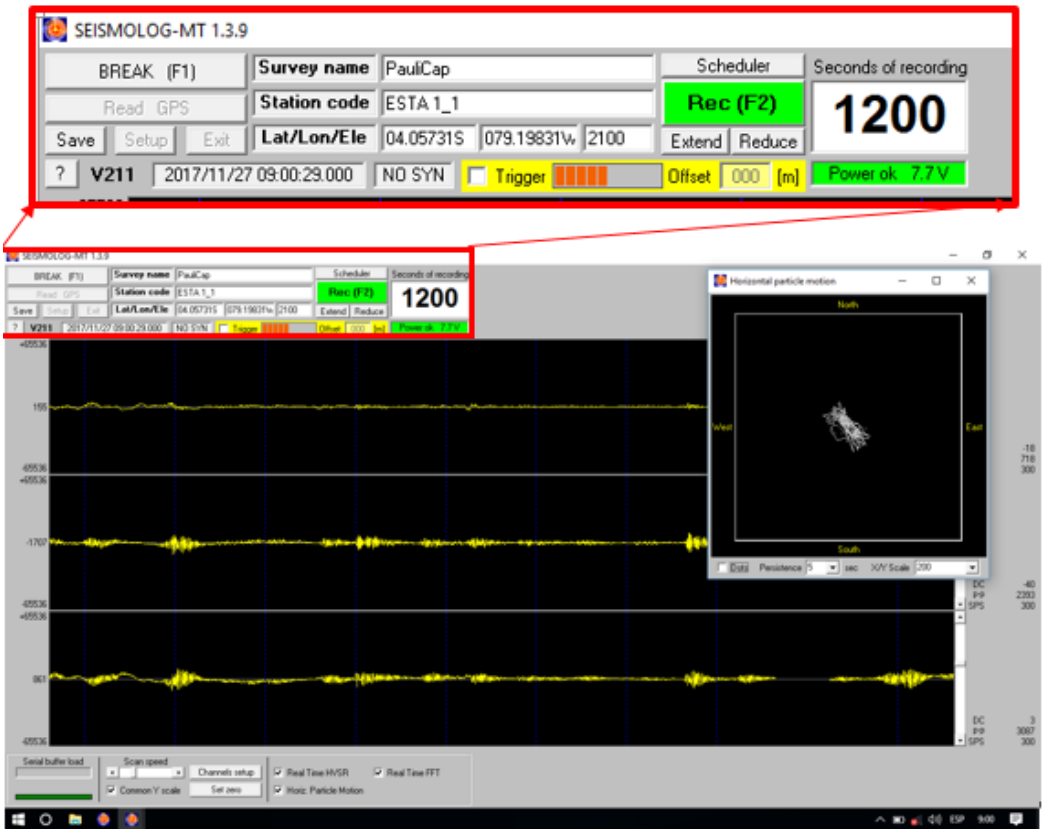


Ilustración 36 SEISMOLOG-MT 1.3.9.

Fuente: Autora 2018

1.6. Descarga de archivos

Los archivos se alojan en la siguiente ruta:

C: SEISMOWIN\SEISMOLOG-MT

Files nombre de la carpeta donde guardamos los datos.

2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LAS ZONAS DONDE SE COLOCARON LAS ESTACIONES.

2.1. Procesamiento de datos

La visualización de los dato se obtiene mediante el programa Geopsy.

1) Se abre el programa Geopsy

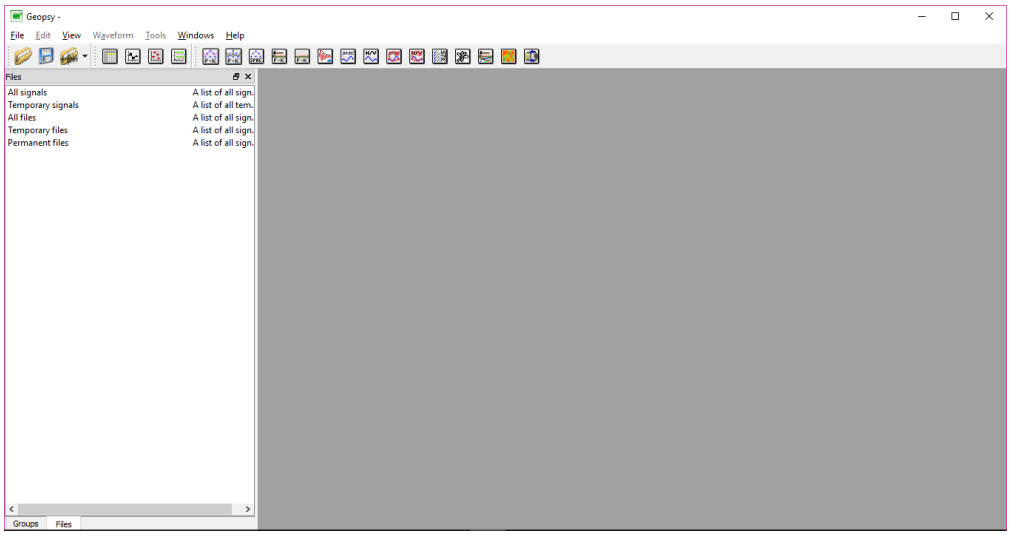


Ilustración 37 Captura de pantalla Procesamiento de datos
Fuente: Autora, 2018

2) Se importa el dato que se quiere procesar

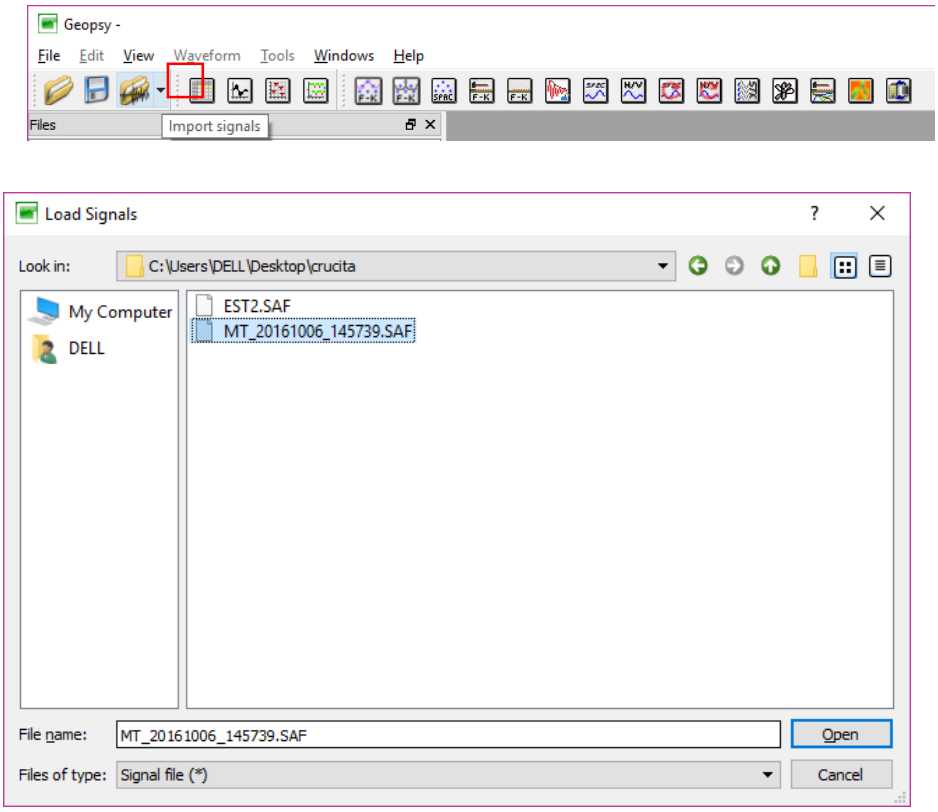


Ilustración 38 Captura de pantalla importación de datos

Fuente: Autora, 2018

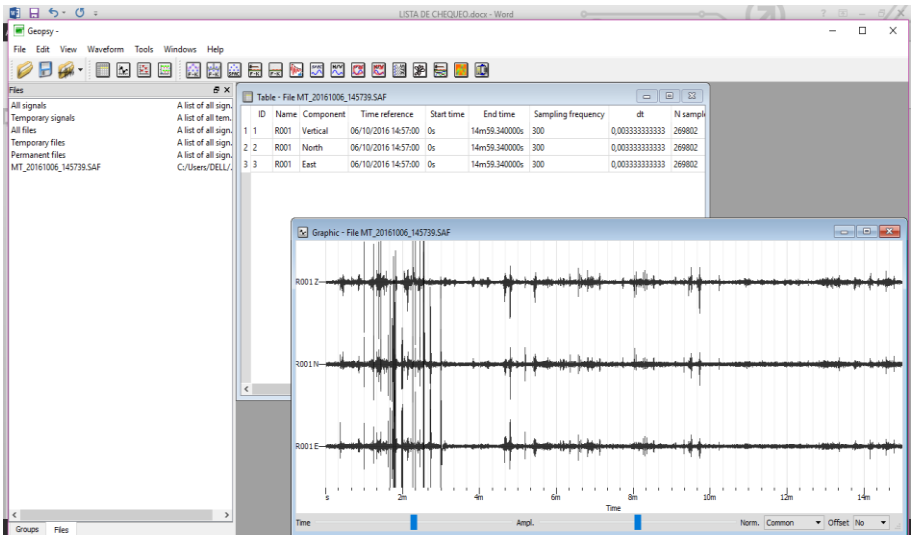


Ilustración 39 Captura de pantalla prsentación de datos

Fuente: Autora, 2018

3) Presionando clic izquierdo sobre la señal, se la arrastra al icono H/V.

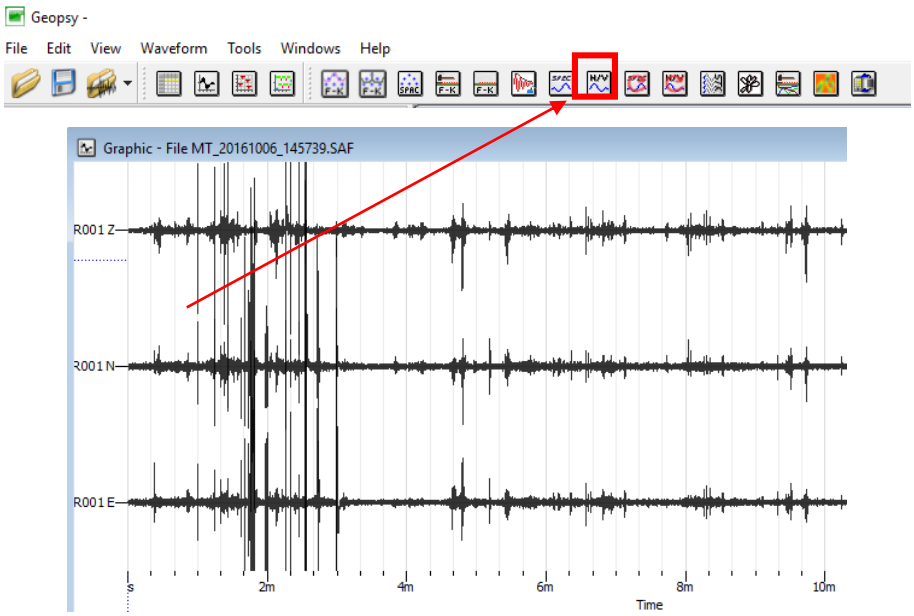


Ilustración 40 Captura de pantalla opción H/V

Fuente: Autora, 2018

4) Inmediatamente se abre la ventana H/V toolbox

   La pestaña de TIME

   Pestañas TIME Windows

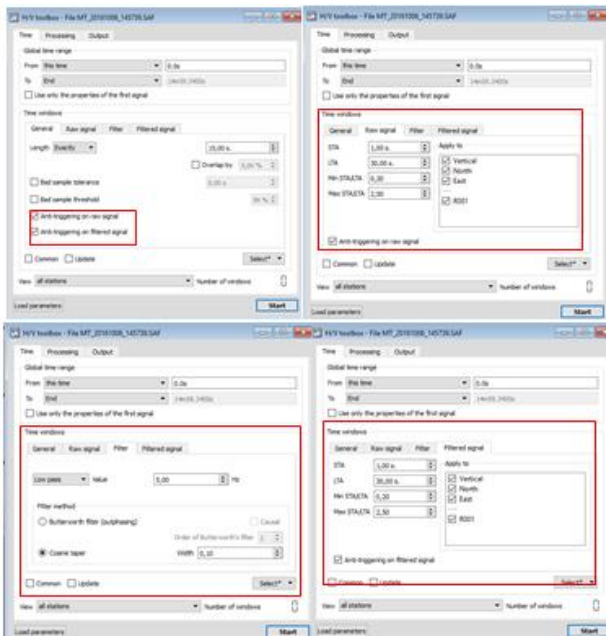


Ilustración 41 Captura de ventanas parámetros para el procesamiento de datos

Fuente: Autora, 2018

Pestaña Preprosesing

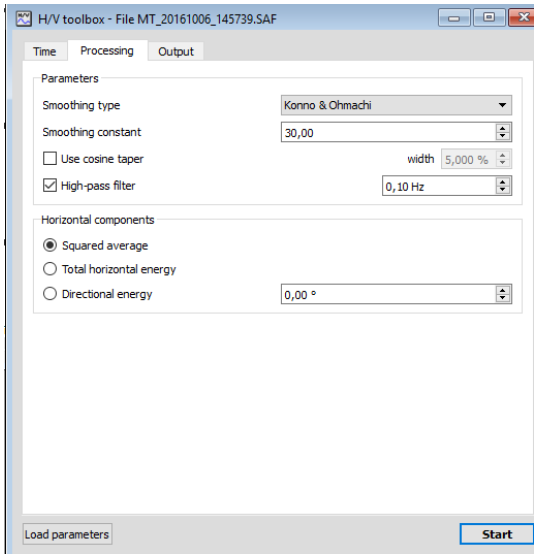


Ilustración 42 Captura de ventana Preprosesing

Fuente: Autora, 2018

Pestaña OUTPUT

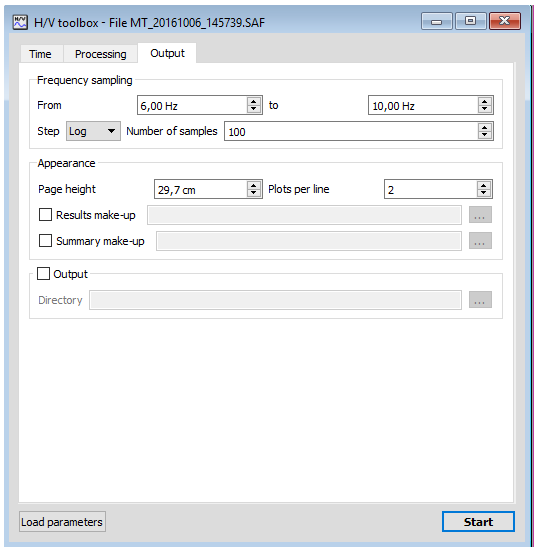
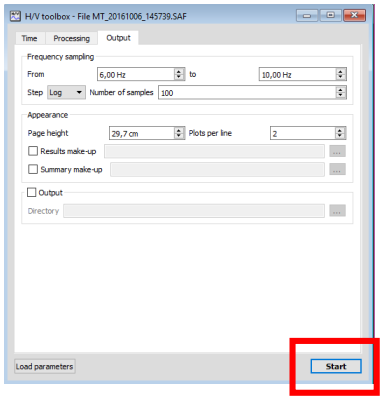


Ilustración 43 Captura de ventana Pestaña Output

Fuente: Autora, 2018

5) Para generar el modelo presionamos START



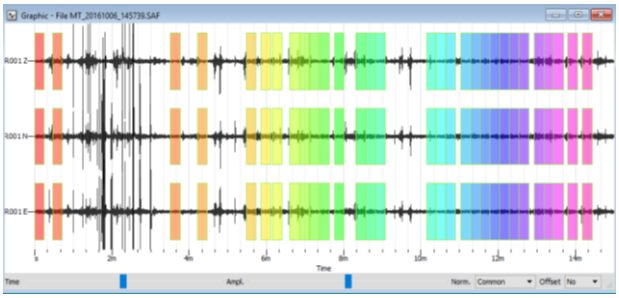


Ilustración 44 Captura de ventana modelo anti-trigger

Fuente: Autora, 2018

El resultado gráfico del análisis

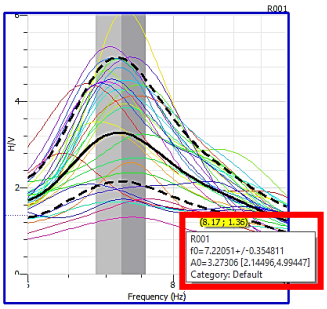


Ilustración 45 Resultado final

Fuente: Autora, 2018

Para ver la frecuencia se deja el cursor sobre los resultados de H/V.

Tener en cuenta que el periodo es el inverso de la frecuencia.

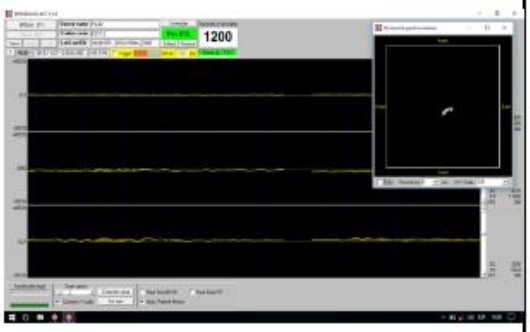
T= 1/f.

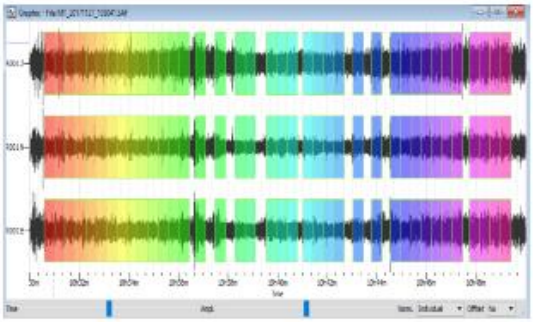
ANEXO 2

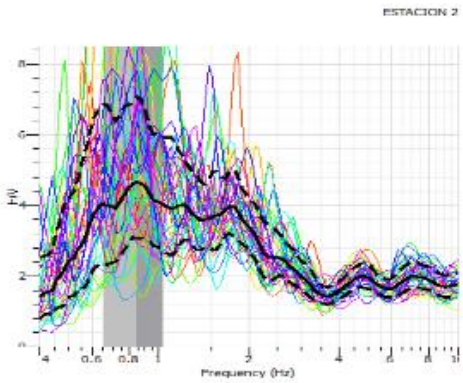
CÁLCULO DEL COCIENTE ESPECTRAL H/V

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	27/11/2017	HORA	10:30	LUGAR	Quebrada Pan de Azúcar	ESTACION Nº	2
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 697953		Y: 9553399		Z: 2276	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.84538				PERIODO: 1.1828958			



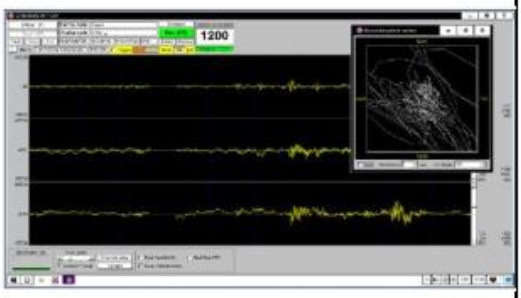


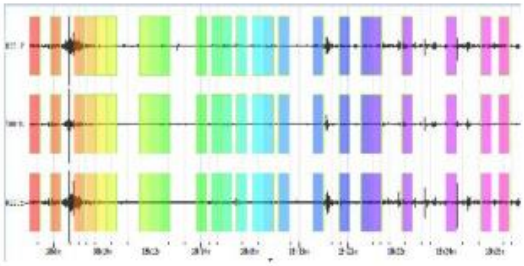


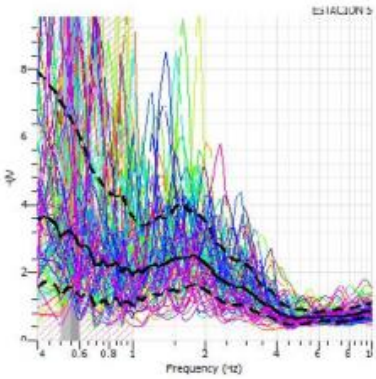
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	27/11/2017	HORA	18:26	LUGAR	Subestación eléctrica Villonaco	ESTACION Nº	5
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 693957		Y: 9557394		Z: 2392	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.55277				PERIODO: 1.809077226			



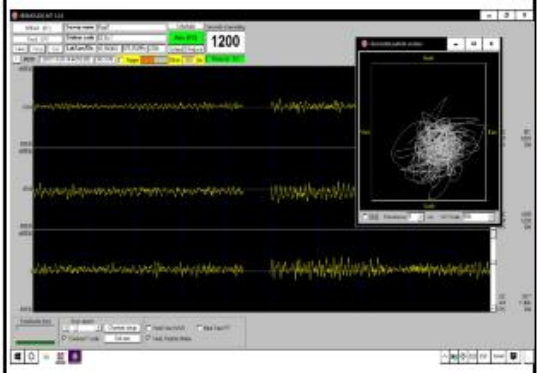


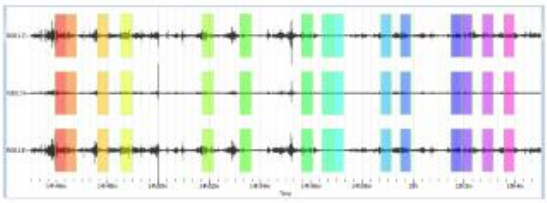


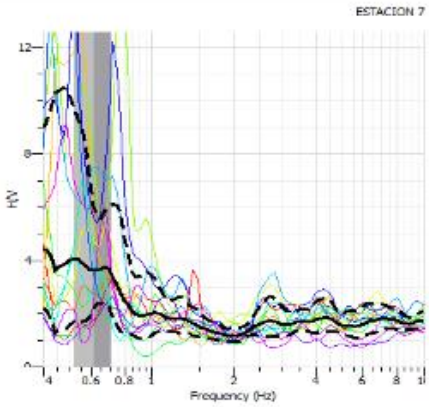
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	27/11/2017	HORA	13:04	LUGAR	Vía a Catamayo	ESTACION Nº	7
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 693955		Y: 9561400		Z: 2412	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.61588				PERIODO: 1.623700836			



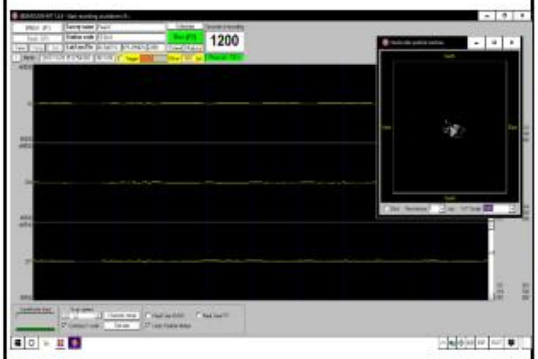


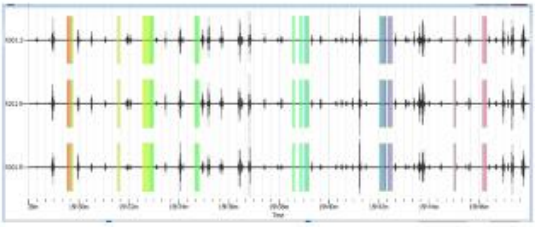


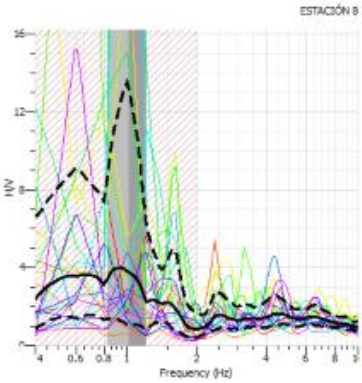
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	13:04	LUGAR	Vía a Cuenca	ESTACION Nº	8
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 693955		Y: 9561400		Z: 2412	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 1.01443				PERIODO: 0.985775263			



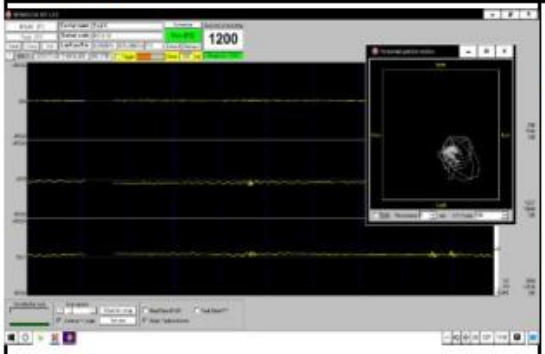


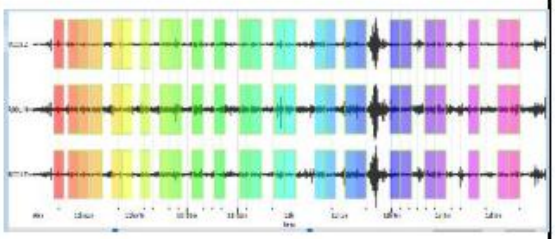


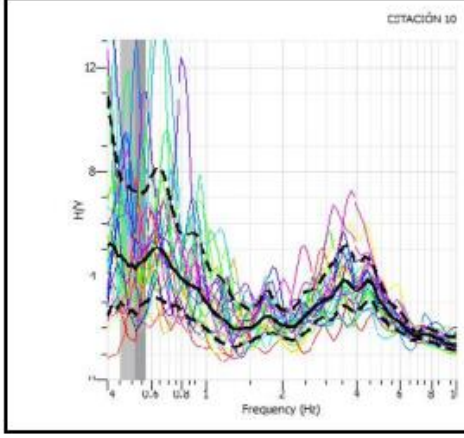
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	12:09	LUGAR	Vía a Cuenca	ESTACION Nº	10
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 695955		Y: 9565397		Z: 2106	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.51491				PERIODO: 1.942075652			



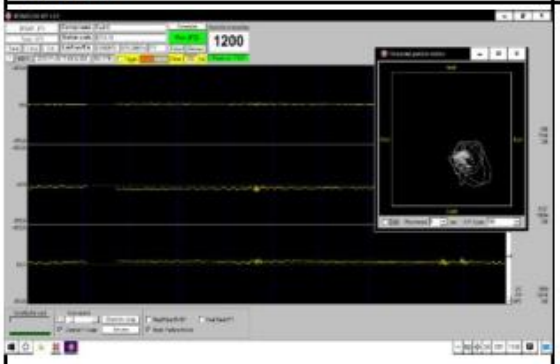


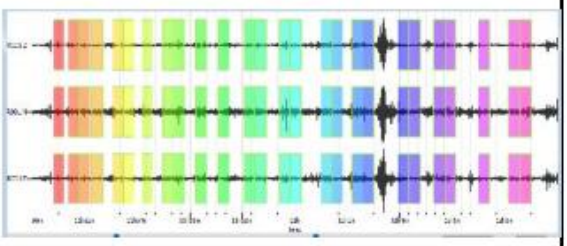


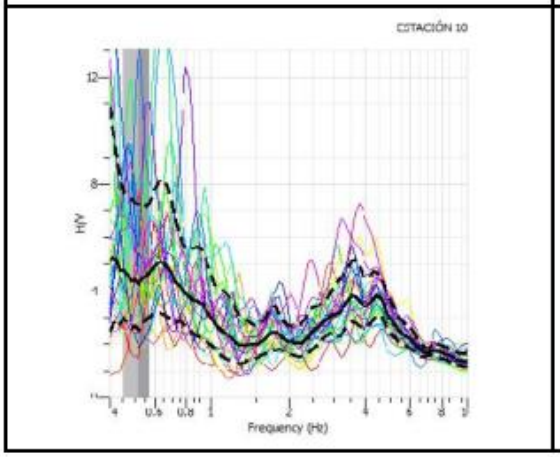
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	12:09	LUGAR	Vía a Cuenca	ESTACION Nº	10
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 695955		Y: 9565397		Z: 2106	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.51491				PERIODO: 1.942075652			



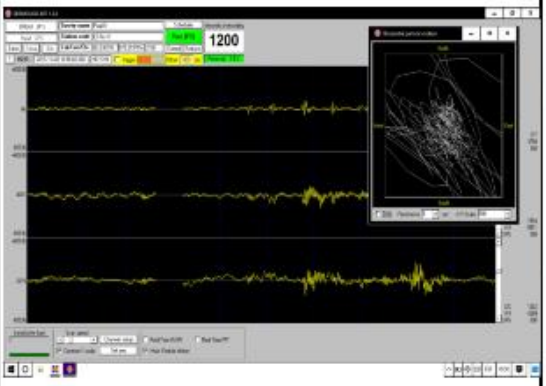


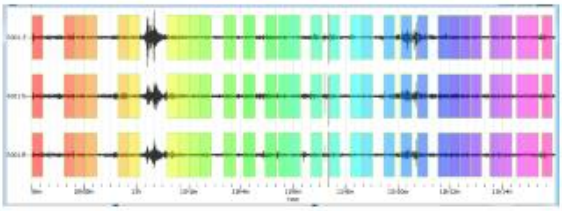


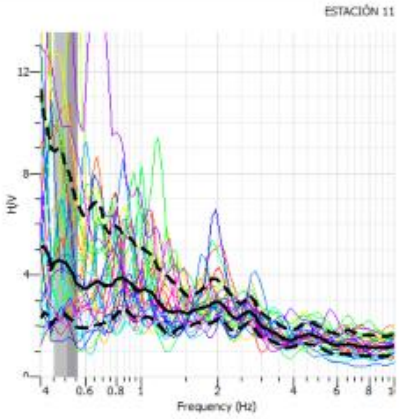
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	11:15	LUGAR	Vía antigua a Cuenca	ESTACION Nº	11
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 697953		Y: 9565399		Z: 2072	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.50772				PERIODO: 1.969597296			



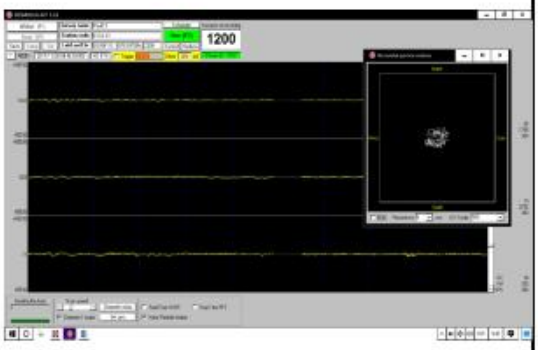


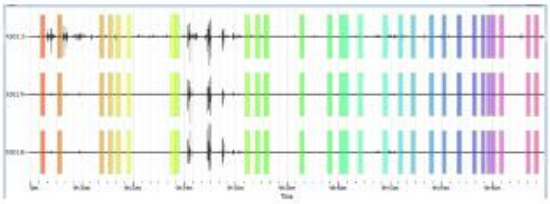


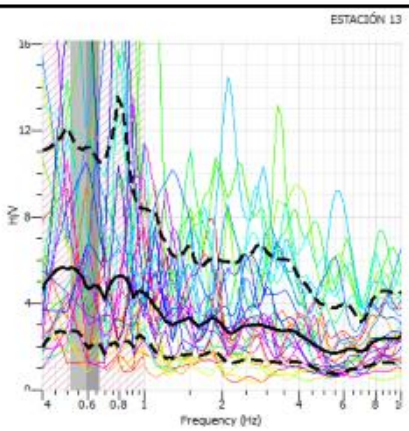
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	11:15	LUGAR	Huacapamba	ESTACION Nº	13
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 697953		Y: 9565399		Z: 2072	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.59343				PERIODO: 1.685127236			



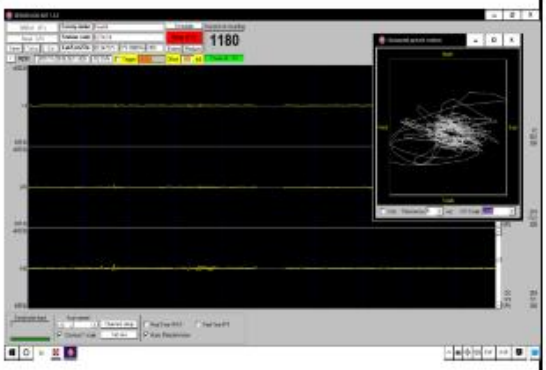


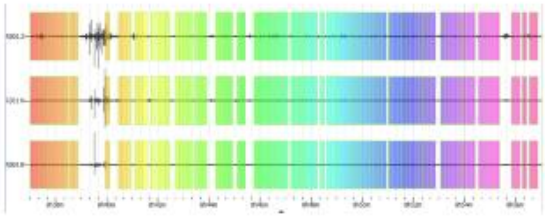


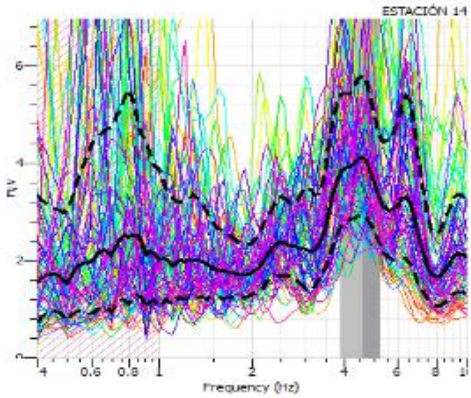
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	8:56	LUGAR	Vía Chinguinlanchi Subestación eléctrica	ESTACION Nº	14
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 699956		Y: 9563392		Z: 2213	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 4.59337				PERIODO: 0.217705084			



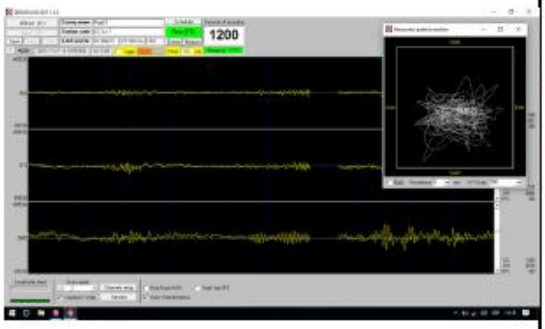


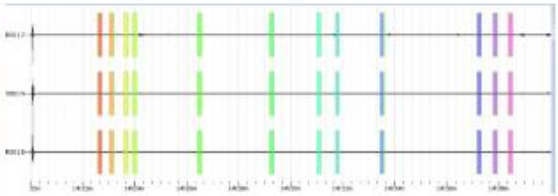


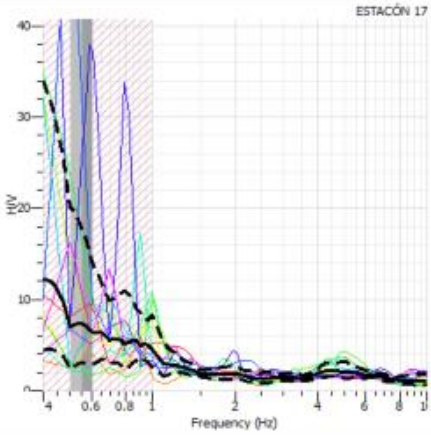
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	14:39	LUGAR	Vía a Zamora	ESTACION Nº	17
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 703951		Y: 9559399		Z: 2213	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.55568				PERIODO: 1.799583936			



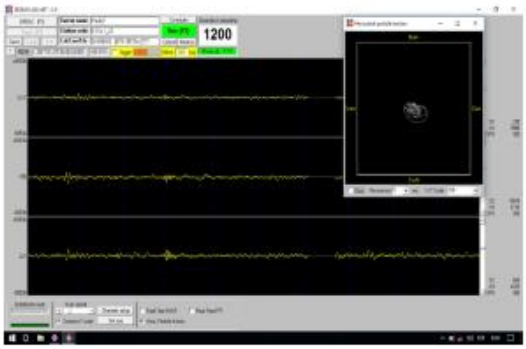


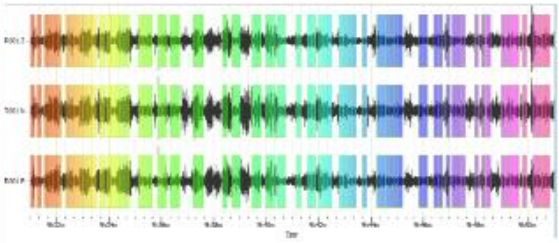


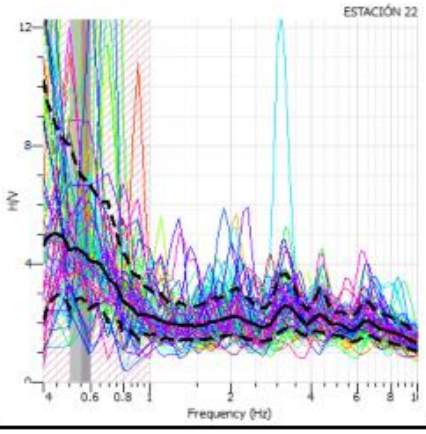
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	9:31	LUGAR	Jardín Botánico de la Universidad Nacional de	ESTACION Nº	22
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 699958		Y: 9553377		Z: 2153	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.55543				PERIODO: 1.800410133			



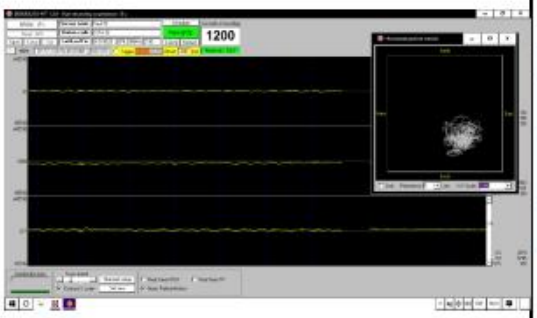


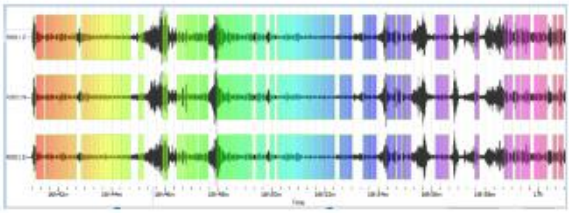


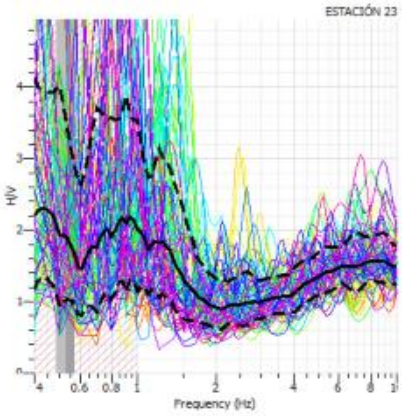
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	16:41	LUGAR	Redondel de Tierras Coloradas	ESTACION Nº	23
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 695968		Y: 9555399		Z: 2410	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.595429				PERIODO: 1.679461363			



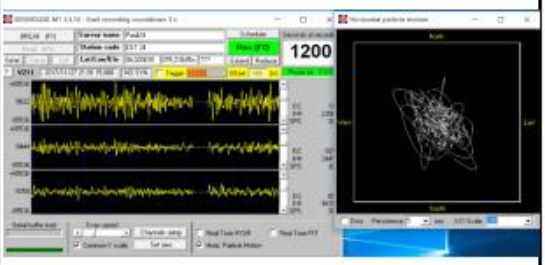


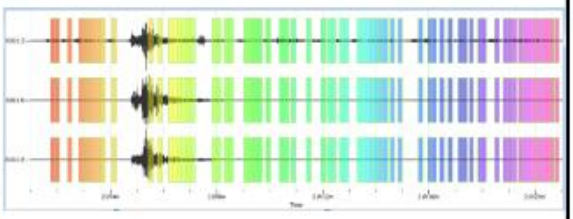


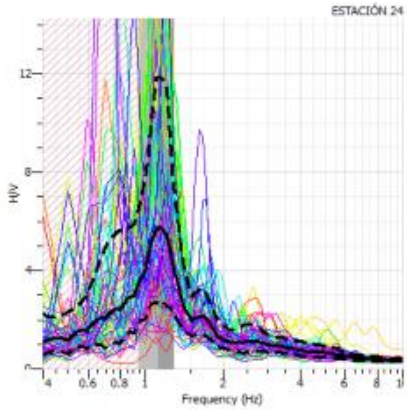
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	21:01	LUGAR	Redondel de Mater Dei	ESTACION Nº	24
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 695968		Y: 9555399		Z: 2233	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 1.11885				PERIODO: 0.893774858			



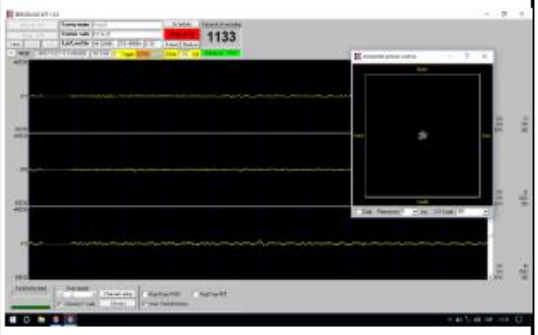


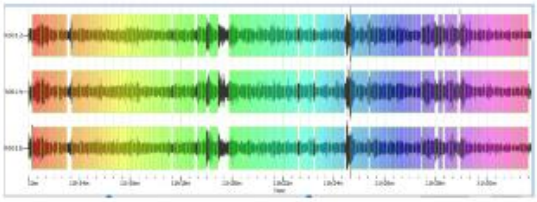


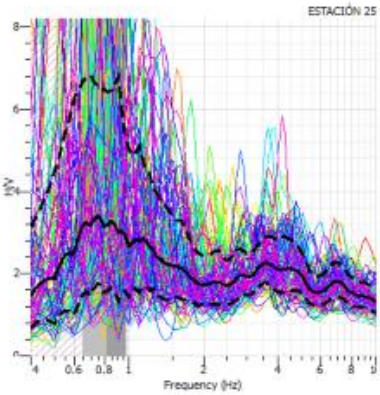
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	11:12	LUGAR	Los Rosales	ESTACION Nº	25
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 699958		Y: 9555388		Z: 2145	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.81566				PERIODO: 1.226008545			



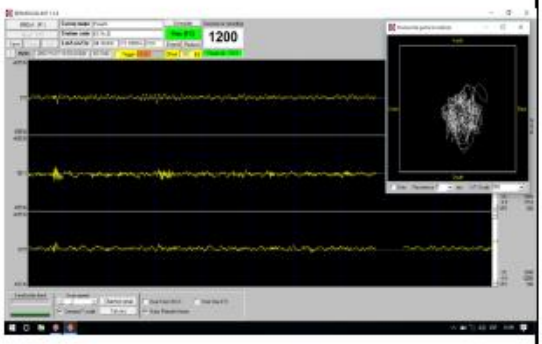


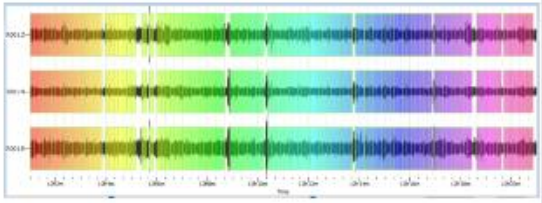


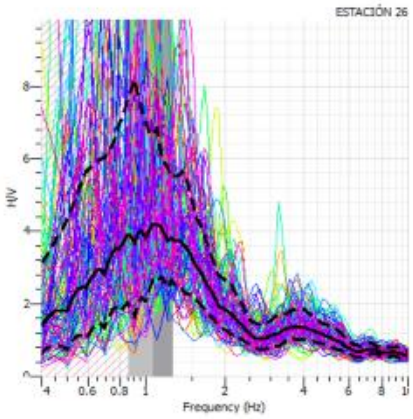
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	12:10	LUGAR	Calle Lourdes y Juan José Peña	ESTACION Nº	26
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 699968		Y: 9557378		Z: 2085	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 1.06817				PERIODO: 0.936180571			



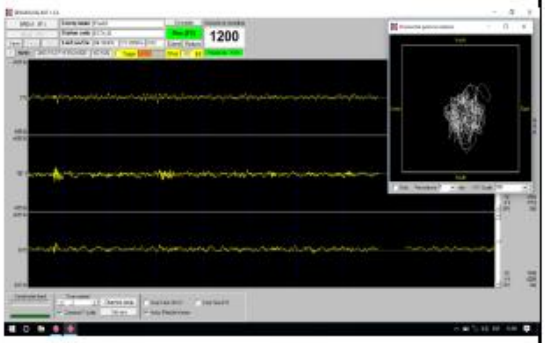


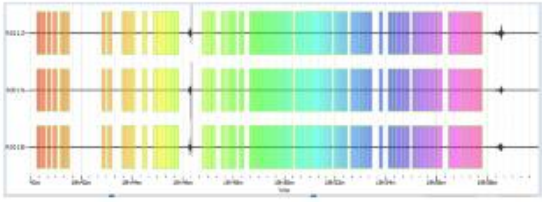


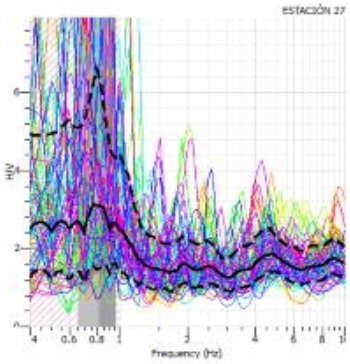
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	19:40	LUGAR	Menfis	ESTACION Nº	27
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 697957		Y: 9557399		Z: 2157	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.81059				PERIODO: 1.23367539			



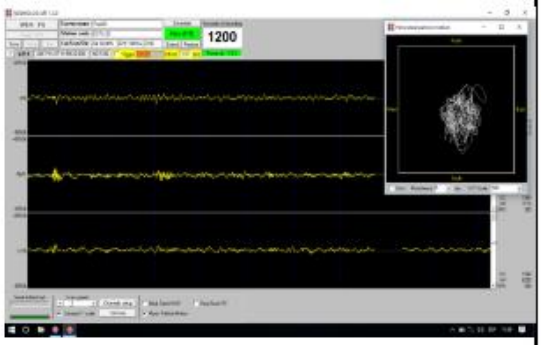


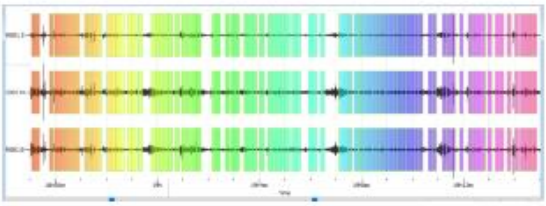


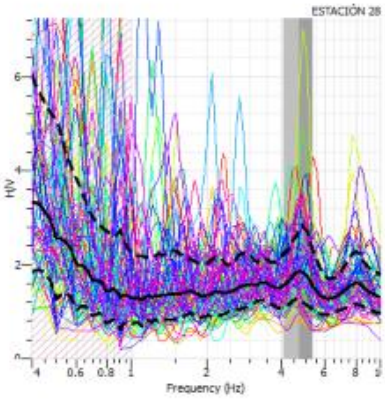
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	18:55	LUGAR	Ciudad Victoria	ESTACION Nº	28
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 695957		Y: 9557378		Z: 2236	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 4.72892				PERIODO: 0.211464774			



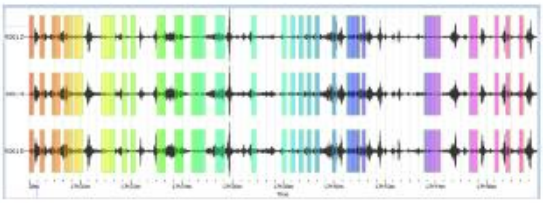


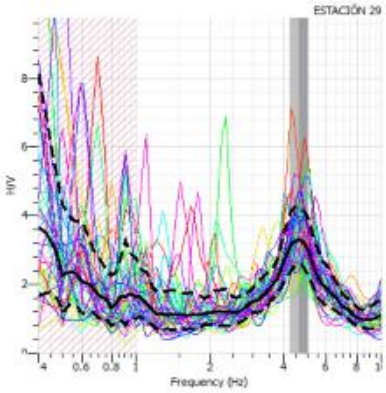


Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	17:10	LUGAR	PUERTO SECO	ESTACION Nº	29
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 695957		Y: 9559389		Z: 2229	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 4.65218				PERIODO: 0.21495299			

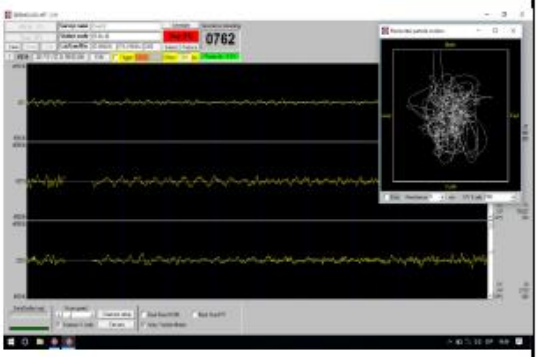


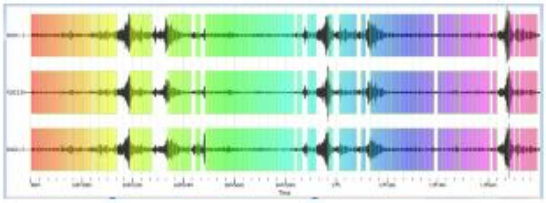


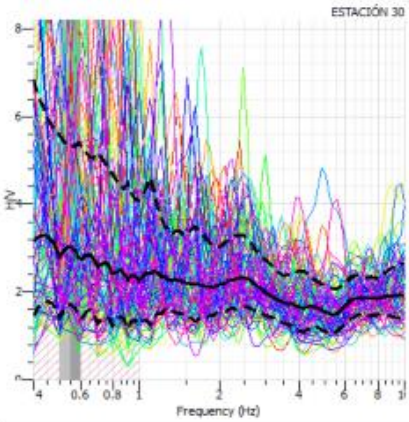
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	16:48	LUGAR	BELÉN	ESTACION Nº	30
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 697979		Y: 9559378		Z: 2113	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.55118				PERIODO: 1.81430251			



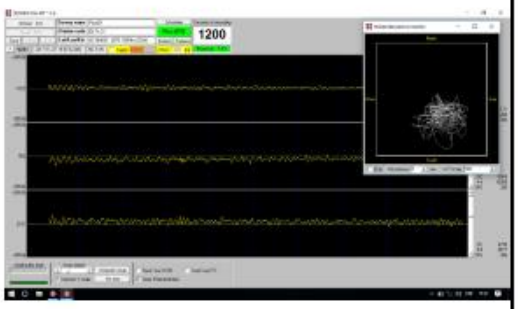


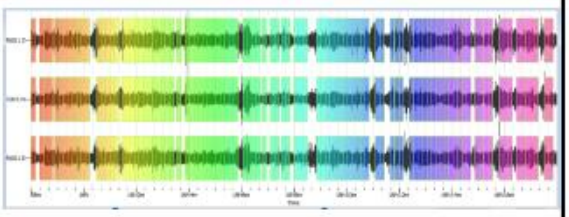


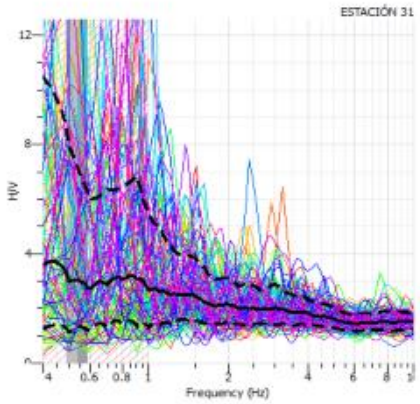
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	15:58	LUGAR	CANCHAS SINTETICAS DE LA UTL	ESTACION Nº	31
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 699958		Y: 9559389		Z: 2107	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.54084				PERIODO: 1.848979086			



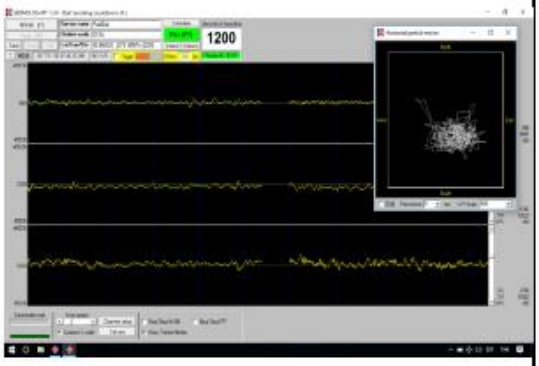


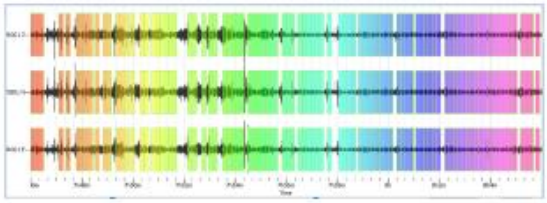


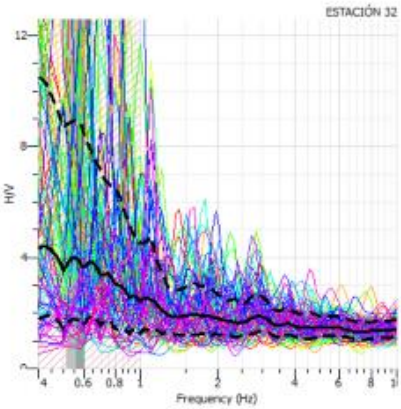
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	7:46	LUGAR	Via Chinguilanchi	ESTACION Nº	32
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X:699958		Y: 9561389		Z: 2111	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.56054				PERIODO: 1.783984458			



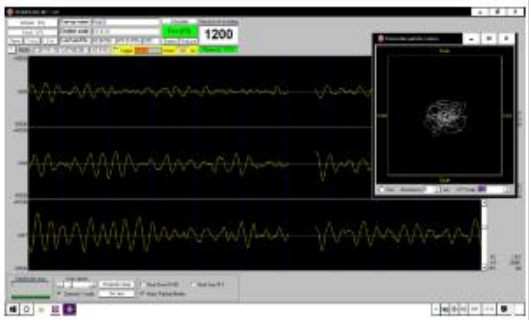


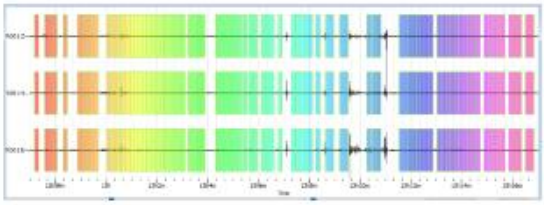


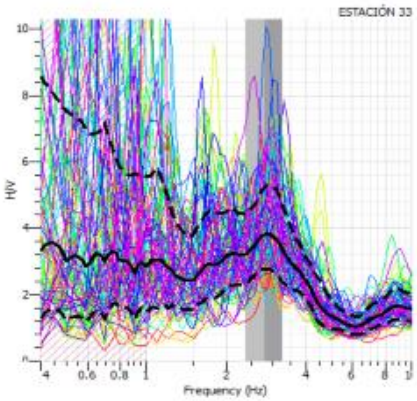
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	12:57	LUGAR	REDONDEL CARIGAN	ESTACION Nº	33
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X: 695957		Y: 9561389		Z: 2086	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 2.809				PERIODO: 0.355998576			



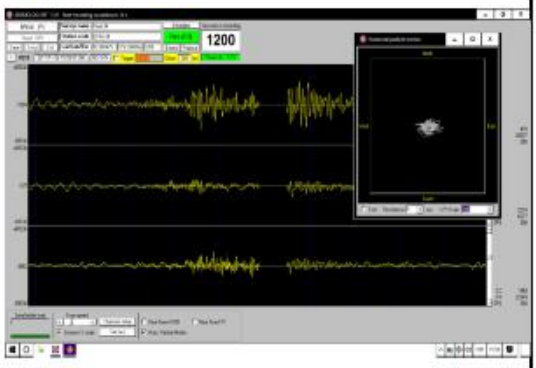


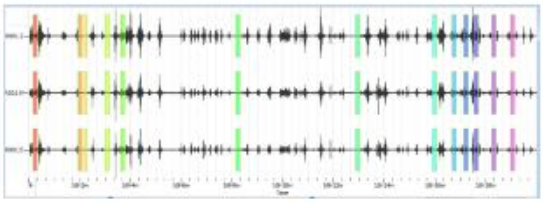


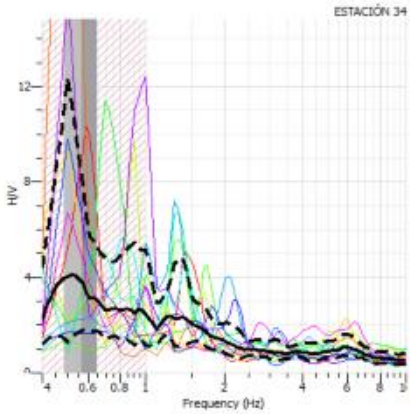
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	16.00	LUGAR	Via a Cuenca	ESTACION Nº	34
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X:695957		Y: 9561389		Z: 2173	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.56873				PERIODO: 1.758319047			



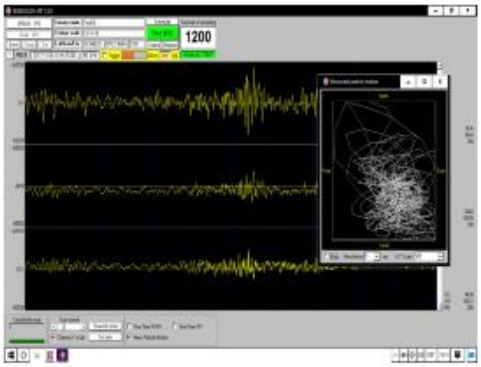


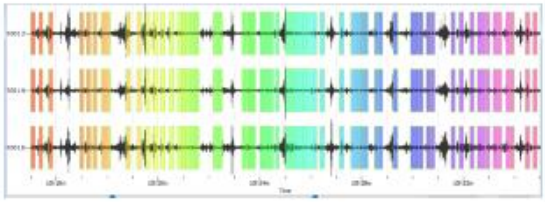


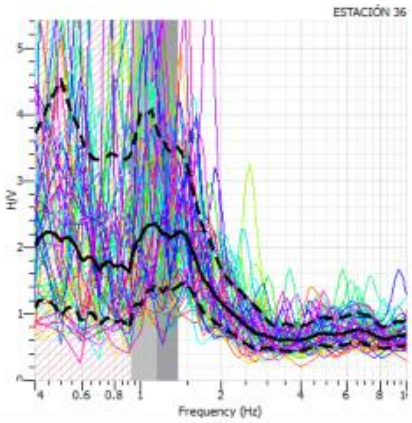
Fuente: Autora, 2018.

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	10:15	LUGAR	Frente al colegio militar	ESTACION Nº	36
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X:697979		Y: 9563379		Z: 2013	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 1.15775				PERIODO: 0.863744332			



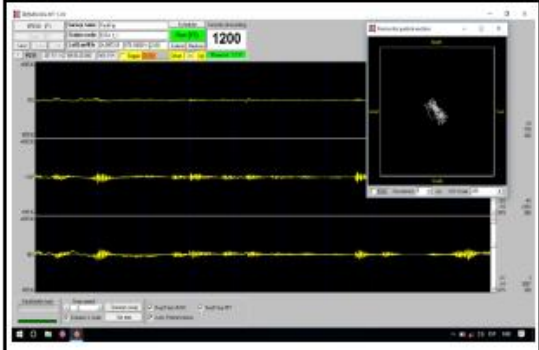


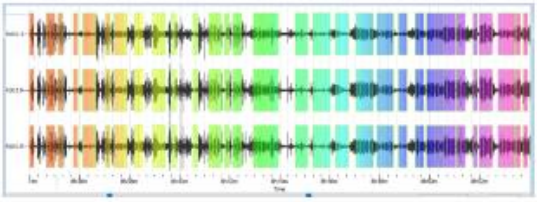


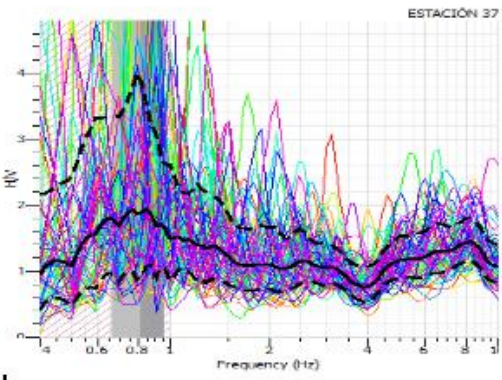
Fuente: Autora, 2018

Cálculo del Cociente espectral H/V

FECHA	28/11/2017	HORA	08.34	LUGAR	Capuli	ESTACION Nº	37
OPERADOR		David Nasimba				DATUM: WG84 17 S	
COORDENADAS		X:699954		Y: 9551400		Z: 2197	
EQUIPO:	Sismómetro triaxial, Geobox SR04 de "SARA electronic instruments".						
TIEMPO DE GRABACIÓN: 1200 segundos							
FRECUENCIA: 0.81333				PERIODO: 1.229514747			







Fuente: Autora, 2018

ANEXO 3

1. MAPA DE ELEVACIONES

2. MAPA GEOMORFOLÓGICO

3. MAPA GEOLÓGICO

4. MAPA DE UBICACIÓN DE LA MALLA Y PUESTOS DE MUESTREO.

5. MAPA DE ZONIFICACION DE PERIODOS FUNDAMENTALES DEL SUELO