



PERÚ

Ministerio del
Ambiente



**PROGRAMA PRESUPUESTAL N°068: REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIA POR DESASTRES**

**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica
Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**



**ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA
DEL ÁREA URBANA DE CHACLACAYO
(Comportamiento Dinámico del Suelo)**

Responsable: Hernando Tavera

**Lima – Perú
2012**

ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE CHACLACAYO (Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsable del Proyecto:	Hernando Tavera
Ejecución del Proyecto:	Isabel Bernal Juan Carlos Gomez Hernando Tavera Bertrán Guillier
Análisis e Interpretación:	Bhila Herrera Eliana Vizcarra
Software SIG:	Rider Navarro-Valderrama
Trabajos de Campo:	Henry Salas Carlos Centurión Julio Martinez Rider Navarro-Valderrama Yonathan Bustamante Joseth Flores Cristhian Flores
Análisis Sísmico:	Cristóbal Condori Patricia Guardia Luz Arredondo

RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado final la Zonificación Sísmica - Geotécnica del Área Urbana del Distrito de Chaclacayo. El estudio permite conocer el Comportamiento Dinámico del Suelo a partir de la aplicación métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.

Los resultados obtenidos para el área urbana de Chaclacayo han permitido identificar, según el procedimiento establecido en la Norma E-030, la existencia de dos (2) zonas sísmicas-geotécnicas correspondientes a suelos Tipo S1 y S2.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el Área Urbana de Chaclacayo se constituye como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- UBICACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO
- 3.- OBJETIVOS
- 4.- ANTECEDENTES
- 5.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO
- 6.- CONDICIONES MECÁNICAS – DINÁMICAS DEL SUELO: NORMA E030
- 7.- METODOLOGÍA
 - 7.1.- Estudios de Peligro Sísmico
 - 7.2.- Estudios de Monitoreo Sísmico
 - 7.3.- Estudios Geológicos y Geotécnicos
 - 7.4.- Estudios Sísmicos y Geofísicos
- 8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS
 - 8.1.- Peligro Sísmico
 - 8.2.- Monitoreo Sísmico
- 9.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA
 - 9.1.- Geología, Geomorfología y Geodinámica
 - 9.2.- Geotecnia
 - 9.3.- Cuantificación de Eventos Extremos
 - 9.3.1.- Flujo de Detritos
 - 9.3.2.- Aspectos Hidrológicos
 - 9.3.3.- Inundación
 - 9.4.- Aspectos Sísmicos y Geofísicos
 - 9.4.1.- Estudios Sísmicos con la Técnica H/V
 - 9.4.2.- Estudios Sísmicos con la Técnica de Arreglos Lineales
 - 9.4.3.- Estudios Sísmicos con la Técnica de Arreglos Circulares
 - 9.4.4.- Estudios de Tomografía Eléctrica
 - 9.4.5.- Mapa de Periodos Dominantes
 - 9.5.- Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ANEXO 1: Inventario de Eventos Geodinámicos

ANEXO 2: Identificación de Puntos de Inundación

ANEXO 3: Descripción y Análisis de Calicatas

ANEXO 4: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

ANEXO 5: CD

NOTA: La base de datos de campo, la información procesada y material fotográfico puede ser solicitado a la Dirección de Sismología del Instituto Geofísico del Perú. Contacto, Dr. H. Tavera (hernando.tavera@igp.gob.pe)

1.- INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2012 el Proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica” y como parte del mismo, la Dirección de Sismología desarrolla la Actividad “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo.

De acuerdo a la historia sísmica de Perú, la región central ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en cada área urbana (Silgado, 1978). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones presentes en cada área urbana

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del sub-suelo sobre el cual se levantan las áreas urbanas y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información sísmica, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar la construcción de estructuras adecuadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de las áreas urbanas antes indicadas deben comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

a.) **Buenos Planos.** Los planos de construcción deben ser hechos por profesionales con pleno conocimiento de las características dinámicas del suelo descritas en los Mapas de Zonificación Sísmica – Geotécnica.

b.) **Buenos Profesionales.** Para la construcción de las viviendas y/o obras de ingeniería se debe contar siempre con la supervisión de ingenieros civiles, arquitectos, etc.

c.) **Buenos materiales.** Solo la calidad de los materiales que se utilizan en la construcción permitirá tener la seguridad de que las estructuras sean bien construidas.

Estos tres aspectos permitirán tener la confiabilidad de que las estructuras sean sismorresistentes a un nivel determinado de sacudimiento del suelo.

Finalmente, remarcar que el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica permite conocer las características dinámicas del suelo y se constituye como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio.

2.- UBICACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

La región de estudio considera a cuatro (4) áreas urbanas situadas en la cuenca del río Rímac, las mismas que fueron consideradas en virtud a la cantidad de población existente en cada una de ellas, ubicación geográfica, expansión urbana y por su proximidad al borde occidental de la región central del Perú, identificada como de mayor riesgo debido a la probabilidad de ser afectada, en el futuro, por un sismo de gran magnitud e intensidad. Estas áreas urbanas son (Figura 1):

- Área Urbana de Chosica, Distrito de Lurigancho - Chosica
- Área urbana de Chaclacayo, Distrito de Chaclacayo
- Área urbana de Huaycan, Distrito de Ate
- Área urbana de Carapongo, Distrito de Lurigancho - Chosica

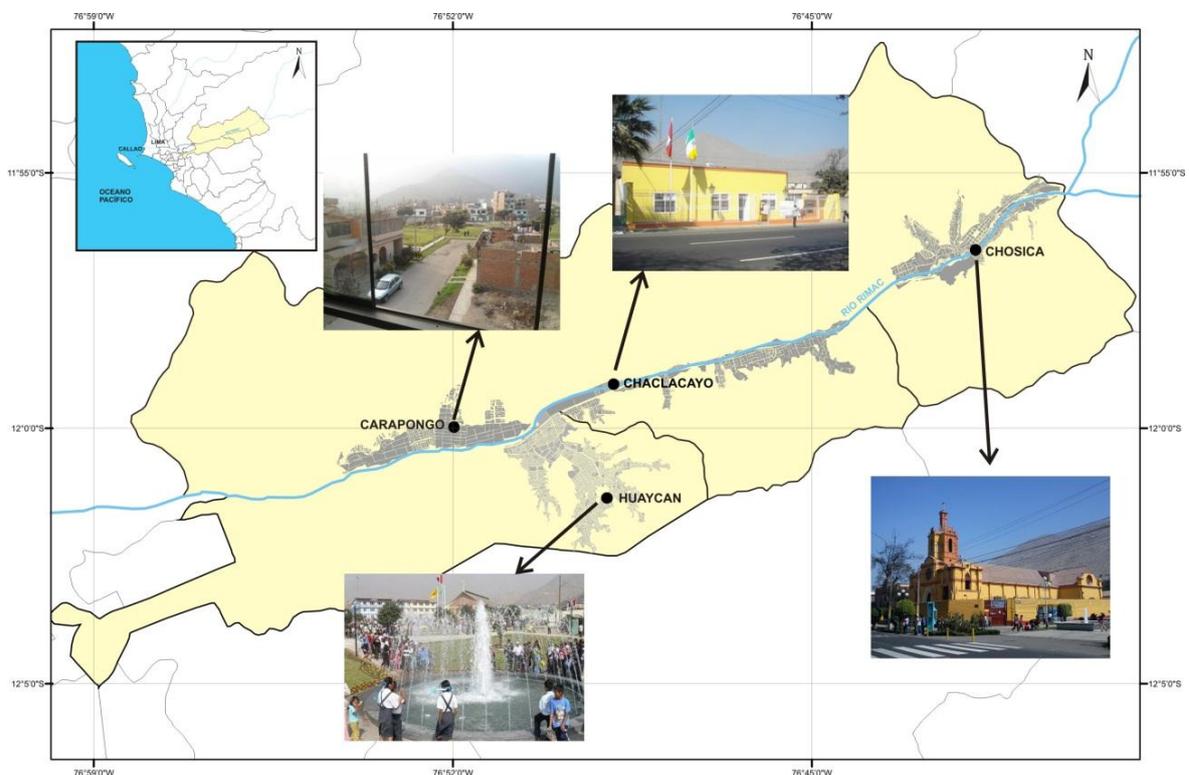


Figura 1: Ubicación de la región de estudio: áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo

3.- OBJETIVOS

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo de sus proyectos sobre la gestión del riesgo ante sismos, lo cual conlleva a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.

4.- ANTECEDENTES

La historia del Perú ha mostrado que el borde occidental de su región central presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y que de acuerdo a su magnitud, muchos de ellos han producido daños importantes en esta región. La ocurrencia de efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de roca y tsunamis propiciaron el incremento de pérdidas humanas y materiales (Silgado, 1978; Dorbath et al, 1990; Tavera y Buforn, 2001).

Por otro lado, a partir de los años 80, la ciudad de Lima Metropolitana y el gran número de distritos que la rodean han soportado procesos continuos de migración por la población proveniente de las provincias del interior del país y, debido a la falta de una adecuada planificación urbana y de acertadas políticas de planeamiento, la población inmigrante ha ocupado áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos y tsunamis, además de sus efectos secundarios. A estas condiciones se suma el hecho de que las viviendas son construidas de manera inadecuada, sin seguir criterios de ordenamiento territorial y, mucho menos, respetando la norma de construcción vigente (Norma E-030). Asimismo, en algunos distritos las viviendas se asientan en laderas de cerros y ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad e incrementando, de este modo, el riesgo en dichas áreas.

En el año 2005, la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG) y el Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) realizaron un importante aporte para la mejora en la Gestión de Riesgos de Lima Metropolitana con el estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao, el mismo que se constituye como información primaria y de base para cualquier otra investigación o proyectos en Gestión de Riesgo en Lima Metropolitana. De manera complementaria, el Instituto Geofísico del Perú, realiza los mismos estudios en los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino, permitiendo completar la información para el total de los distritos que conforman el área de la ciudad de Lima Metropolitana.

A partir del año 2012 y dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú continua con la realización de los estudios de Zonificación Sísmica-Geotécnica para las áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo. Los resultados obtenidos en estos estudios son presentados en el presente informe técnico.

5.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

En la actualidad es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos. Este factor es fuertemente dependiente de las condiciones geológicas, geomorfológicas, geodinámicas, geotécnicas y geofísicas de las zonas en estudio y que en conjunto controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en superficie después de ocurrido un sismo.

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de zonificación sísmica-geotécnica y el resultado se constituye como una de las herramientas más importantes orientadas a minimizar los daños producidos por sismos. La finalidad es evaluar el **comportamiento dinámico de los suelos** (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas.

Las metodologías a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, consideran los estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica de observaciones de campo y la toma de data in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

En conclusión, los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas, permiten tipificar los suelos y estimar el comportamiento dinámico del suelo. El resultado final es el Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

6.- CONDICIONES MECÁNICAS-DINÁMICAS DE SUELOS: NORMA E-030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar las indicaciones contenidas en el Reglamento Nacional de Construcción o Norma E-030 (2003). Básicamente, esta norma considera la clasificación de los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor de estrato, período fundamental de vibración y velocidad de propagación de las ondas de corte.

La Norma E-030, establece que los suelos pueden ser clasificados en cuatro tipos:

.- Suelos muy rígidos (Tipo S1). Corresponden a suelos en los cuales la velocidad de propagación de la onda de corte es similar al de una roca, además el período fundamental de vibración del suelo es de baja amplitud sin exceder los 0.25 s. Se incluyen los casos en los cuales las cimentaciones se realiza sobre:

- *Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).*
- *Grava arenosa densa.*
- *Estrato de no más de 20 m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte, en condiciones no drenadas, superior a 100 kPa (1 kg/cm²), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.*
- *Estrato de no más de 20 m de arena muy densa con $N > 30$, sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.*

.- Suelos intermedios (Tipo S2). Suelos con características intermedias entre las indicadas para los suelos S_1 y S_3 .

.- Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3). Corresponden a suelos que presentan períodos fundamentales mayores a 0.6 segundos con vibraciones de baja amplitud.

.- Condiciones excepcionales (Tipo S4). A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

En general, para cualquier estudio se deberá considerarse el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés y utilizar los correspondientes valores de periodos T_p y del factor de amplificación del suelo S definido en la Norma E-030 (2003), ver Tabla 1.

Tabla 1. *Parámetros del suelo según la Norma E-030 (2003)*

Tipo	Descripción	T_p (s)	S
S ₁	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S ₂	Suelos intermedios	0,6	1,2
S ₃	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S ₄	Condiciones excepcionales	*	*

(*) Los valores de T_p y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S₃.

Una extensión de esta clasificación de suelos, fue implementada por el CISMID para su aplicación en el “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo de Sismo en 43 Distritos de Lima y Callao” por encargo de la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG), ver Figura 2. De acuerdo a este estudio y según las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio, así como las consideraciones dadas por el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (Norma E-030, 2003), se ha definido las siguientes zonas sísmicas-geotécnicas:

ZONA I: *Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido, con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de la superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica, por efecto local del suelo, es de $S=1.0$ con un periodo natural de $T_s=0.4$ s, correspondiendo a un suelo Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana.*

ZONA II: *En esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que*

varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava aluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de microtrepidaciones, varían entre 0.3 y 0.5 s. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de la superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica, por efecto local del suelo, en esta zona es $S=1.2$ con periodo natural del suelo es $T_s=0.6$ s, correspondiendo a un suelo Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana.

ZONA III: Esta zona está conformada en su mayor parte por los depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor que se encuentra en estado suelto. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente peruana, con un factor de amplificación sísmica de $S=1.4$ y periodo natural de $T_s=0.9$ s.

ZONA IV: Esta zona está conformada por los depósitos de arena eólicas de gran espesor, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos son mayores que 0.7 s; por lo que, su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana, asignándoles un factor de amplificación sísmica de $S=1.6$ y periodo natural de $T_s=1.2$ s (Según la Norma E03, es un caso especial).

ZONA V: Están constituidos por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos de desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado, con espesores entre 5 y 15 m. En esta zona se incluyen también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y que, en la actualidad, han sido urbanizados. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que requieren un estudio específico.

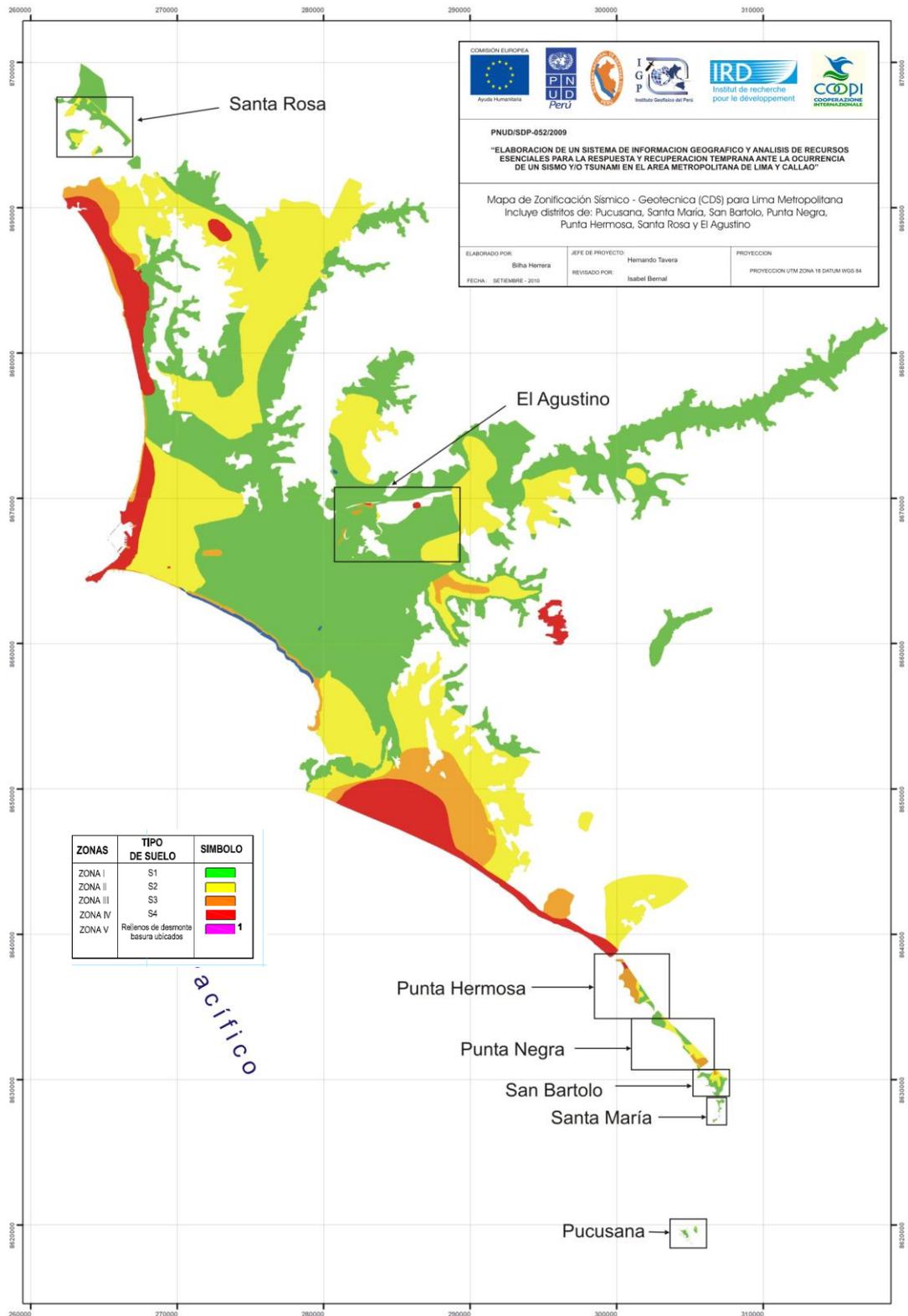


Figura 2.- Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y mapa complementado por el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010)

7.- METODOLOGÍA

Para la ejecución del estudio de Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de Chaclacayo se ha realizado la aplicación de diversos métodos como parte de los estudios geológicos-geotécnicos, sísmicos y geofísicos, cuyas características se detallan a continuación.

7.1.- Estudios de Peligro Sísmico

Considera en términos de probabilidad, conocer la severidad sísmica con la cual podría ser sacudida un área en un determinado lapso de tiempo y puede ser expresado en términos de aceleración. Para tal efecto, se hace uso del catálogo sísmico y fuentes sismogénicas definidas por el Instituto Geofísico del Perú, las ecuaciones de atenuación definidas por Young et al (1997) y de Sadigh et al (1997), y el algoritmo CRISIS-2007 (Ordaz et al, 2007).

7.2.- Estudios de Monitoreo Sísmico

Se ha realizado la instalación de 7 estaciones acelerométricas de tres componentes de registro y formato digital en las áreas urbanas de Chosica (1 estación), Chaclacayo (2 estaciones), Huaycan (2 estaciones) y Carapongo (2 estaciones). Esta red de estaciones ha operado durante un periodo de 9 meses, tiempo durante el cual se ha registrado importante actividad sísmica que ha permitido conocer los niveles de aceleración y sacudimiento del suelo que podrían afectar la geomorfología local.

7.3.- Estudios Geológicos y Geotécnicos

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de diferentes tipos de información geológica, geomorfológica, geodinámica y de zonas susceptibles a deslizamientos y/o flujos. Las técnicas de análisis son:

.- **Técnica de Levantamiento Geológico y Geomorfológico.** Considera el desarrollo de trabajos de campo orientados a recopilar información sobre las características geológicas y geomorfológicas de carácter local (Figura 3), considerando bases de datos topográficos, de pendientes, drenajes, litología, uso de suelos y de áreas susceptibles a deslizamientos y/o flujos.



Figura 3: Imagen del terreno sobre el cual se ha realizado el trabajo geológico y geomorfológico

.- **Técnica de Análisis Geodinámico:** Considera la evaluación de los diversos procesos de intemperismo y meteorización que conducen a movimientos en masa, así como el inventario de los mismos teniendo en cuenta parámetros intrínsecos como la litología, pendientes, geomorfología, cobertura vegetal y drenaje.

.- **Técnica de Análisis Geotécnico:** Se establece la construcción de 10 calicatas para la obtención de muestras de suelo a fin de realizar análisis como el granulométrico, límites de elasticidad, contenido de humedad y corte directo (capacidad portante). Las calicatas tuvieron dimensiones de 1.5 m x 1.5 m de lado x 3.0 m de profundidad máxima. Las muestras se obtuvieron de la capa más profunda y representativa del tipo de suelo en el sitio evaluado. Con la primera muestra de suelo obtenida se hicieron los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad, y con ello se procedió a realizar la clasificación de los mismos haciendo uso del Código SUCS (Clasificación Unificada de Suelos) para el total de las muestras.

La clasificación SUCS fue propuesta por Arturo Casagrande y sus modificaciones fueron realizadas en el año 1942, siendo actualmente la más utilizada a nivel mundial para la clasificación de suelos desde un punto de vista geotécnico. La SUCS divide los suelos en:

- Suelos de grano grueso
- Suelos de grano fino
- Suelos orgánicos

Los suelos de grano grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No. 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz. Los suelos se designan por símbolos de grupo, los mismos que constan de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas); mientras que, los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos:

G = Grava	C = Arcilla	L = Baja plasticidad
S = Arena	O = Limo o arcillas Orgánicas	W = Bien graduado
M = Limo	H = Alta plasticidad	P = Mal graduado

La segunda muestra fue utilizada para el análisis de corte directo que consiste en la aplicación de cargas diferenciadas hasta que la muestra falle, lo cual permite determinar la capacidad portante del suelo (capacidad admisible última). En caso de que la muestra de suelo sea una grava sin contenido de arena, no es posible aplicar el ensayo de corte directo, sino el de densidad máxima, método que también permite estimar el valor de capacidad portante.

7.4.- Estudios Sísmicos y Geofísicos

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de diferentes tipos de información utilizando instrumental sísmico para el registro de vibración ambiental o para realizar arreglos sísmicos lineales y circulares, además de tomografía eléctrica, todos orientados a conocer el comportamiento dinámico del suelo y sus propiedades físicas. Las técnicas de análisis utilizadas son:

.- **Técnica de H/V:** considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales o microtemores generadas por la actividad humana se deben principalmente a la excitación de ondas tipo Rayleigh en las capas superficiales. El registro de esta información y su interpretación, permite conocer el periodo natural del suelo y el factor de amplificación, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de eventos sísmicos. Estos resultados son correlacionados y complementados con los obtenidos de los estudios geológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geotécnicos. Para los registros de vibración ambiental se utiliza un equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CitySharp y sensores tipo Lennartz de tres componentes de registro (Figura 4).



Figura 4: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark

En la Figura 5, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento de la toma de datos, además de ejemplos de registros de vibración ambiental. El registro CHA-065 fue tomado en una zona libre de ruidos de fondo; mientras que, en el punto CHA-029 se ha registrado ruido de mayor amplitud, lo cual sugiere que el suelo es menos compacto y muy heterogéneo. Con la información disponible, se procede de construir las razones espectrales H/V (registros de las componentes horizontales /

registros en la componente vertical) a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (ver Figura 6), el mismo que está definido por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros de la superficie terrestre. Debe entenderse que, de acuerdo a la variación de las propiedades físicas del suelo, cualquier medio al ser afectado por algún tipo de onda de cuerpo o superficial puede causar la amplificación o de-amplificación de las mismas debido al efecto de las capas estratigráficas superficiales de diferente espesor, geometría y composición litológica.

Para aplicar la técnica H/V, se consideran los siguientes pasos:

- 1). *Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de, forma aleatoria, diversos tramos de señal sin la presencia de ruidos transitorios.*
- 2). *Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.*
- 3). *Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos, para cada punto de observación, considerando su respectiva desviación estándar (Figura 5). Luego se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, como condición, presentar una amplificación máxima relativa mayor a 2 veces.*

Para definir la frecuencia predominante se consideraron tres criterios (Lermo y Chávez-García -1994 a,b; Lachet y Bard, 1994): primero, debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 30 Hz; segundo, debe presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia) y por último, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida.

Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

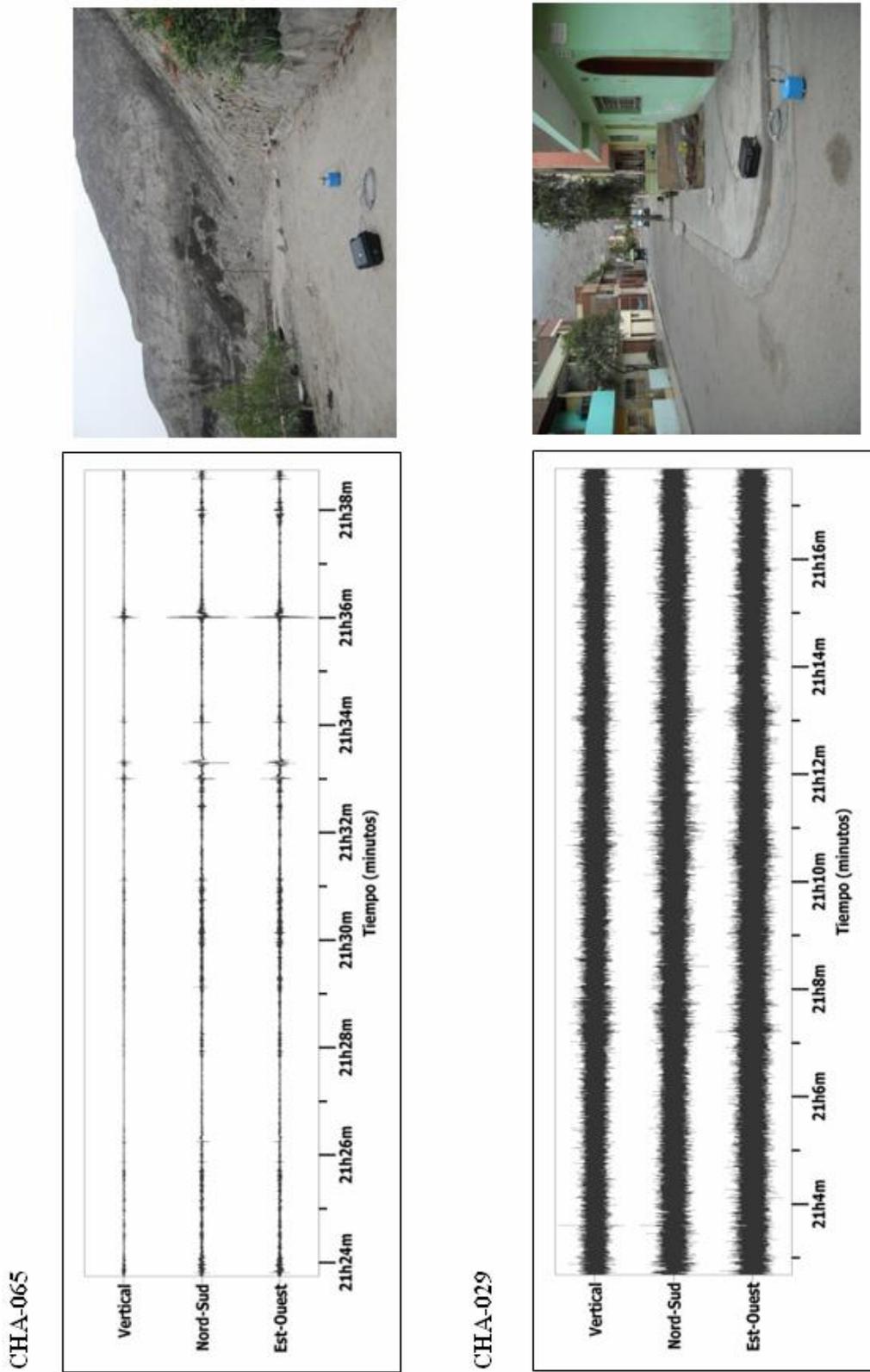


Figura 5: Imágenes de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona libre de ruido de fondo (CHA-065) y otro con ruido aleatorio (CHA-029). Obsérvese las diferentes amplitudes registradas en cada punto.

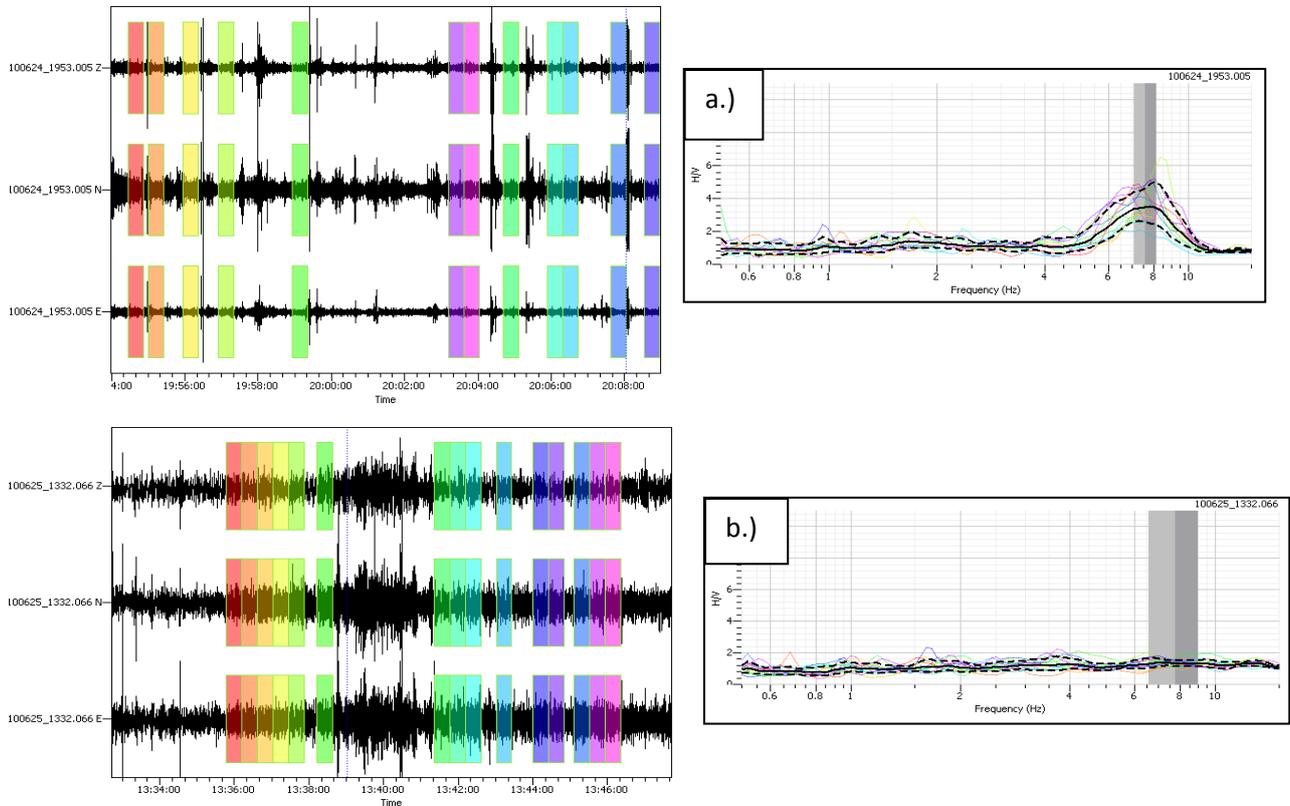


Figura 6: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) en sus tres componentes y con sus respectivos gráficos de razones espectrales H/V. **a)** Registros y razones H/V donde se identifican frecuencias predominantes, **b)** Registros en los cuales no resalta ninguna frecuencia predominante. Las líneas gruesas en los gráficos H/V indican el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar.

.- **Técnica de Arreglos Lineales:** Se hace uso de tendidos lineales de 24 sensores sísmicos a fin de registrar ondas de volumen y superficiales generadas por fuentes artificiales (Figura 7). Con este procedimiento se pretende conocer la velocidad de las ondas de corte (ondas S) utilizando el método MASW; es decir, conocer los cambios de velocidades a lo largo de los diversos estratos existentes en el subsuelo.

La aplicación de esta técnica permite determinar las características físicas del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades físicas de los materiales que la conforman, permitiendo de este modo, definir el perfil de velocidades de las ondas de corte (V_s) que caracteriza a dicha línea. La interpretación de la información recolectada proporciona una curva de dispersión (velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia) para las ondas

superficiales, ya que estas conservan hasta el 90% del valor de la velocidad de las ondas de corte (V_s). Luego mediante un procedimiento de cálculo iterativo inverso se obtiene el perfil de velocidad de las ondas de corte (V_s) para el punto medio de cada línea de estudio. La aplicación de un nuevo cálculo iterativo inverso, permite conocer el periodo predominante teórico correspondiente al perfil de velocidades, el cual es correlacionado con el obtenido con la técnica H/V a fin de validar ambos resultados.



Figura 7: Imagen de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de data

.- **Técnica de Arreglos Circulares:** Se considera el registro de datos de vibración ambiental, en arreglos circulares, a fin de obtener curvas de dispersión de ondas superficiales (Figura 8), similar a la técnica de arreglos lineales. Luego a partir de la aplicación de los métodos F-K (frecuencia-número de onda) y SPAC (autocorrelación espacial) obtener el perfil de velocidades para las ondas S (V_s). El método SPAC (Aki, 1957) asume que el campo de ondas de vibración ambiental son espacialmente estacionarios en espacio y tiempo; por lo tanto, la función de autocorrelación de los registros entre estaciones distribuidas equidistantes y promediadas espacialmente (r), tiene la forma de una función Bessel (J_0) de orden cero y de primera clase, para el

caso de la componente vertical. La inversión de la función de autocorrelación permite estimar la velocidad de fase. El método F-K (Capon, 1973) se basa en determinar el espectro de potencia frecuencia-número de onda, considerando la propagación de ondas planas dentro de un arreglo de estaciones sísmicas. Este espectro mide la cantidad de energía distribuida dentro del arreglo considerando diferentes velocidades de fase y direcciones de propagación, permitiendo obtener la curva de dispersión y con ella, determinar el perfil de velocidades. Esta información permite correlacionar sus resultados con los obtenidos con la técnica de arreglos lineales a fin de validar la data de H/V.



Figura 8: Imagen de arreglos sísmicos circulares para la toma de datos

.- **Técnica de Prospección Eléctrica:** Tiene por objetivo determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida. Para ello se considera los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua. En este estudio se considera solo los perfiles realizados en la superficie del terreno (Figura 9).

El resultado final de este tipo de estudio es una imagen distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos y geotécnicos.



Figura 9: Imagen de disposición del equipo de prospección eléctrica para la toma de datos

8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS

Durante el estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica del área urbana de Chaclacayo, se procedió a estimar el Peligro Sísmico desde el punto de vista probabilístico y a la vez, instalar dos estaciones acelerométricas para conocer las aceleraciones máximas del sacudimiento del suelo producido por los sismos de variada magnitud que afectan a todo el borde occidental de la región central del Perú.

8.1.- Peligro Sísmico

Esta metodología permite conocer, en términos de probabilidad, la severidad sísmica con la cual podría ser sacudida un área en un determinado lapso de tiempo. Este parámetro es expresado en términos de aceleración. Para tal efecto, se hace uso del catálogo sísmico y fuentes sismogénicas definidas por el Instituto Geofísico del Perú (Tavera et al, 2012), las ecuaciones de atenuación definidas por Young et al (1997) para fuentes de subducción y de Sadigh et al (1997) para las fuentes continentales. El algoritmo utilizado para el cálculo del peligro sísmico es el CRISIS-2007 (Ordáz et al, 2007).

Para el área de estudio se obtiene, para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, valores de aceleración entre 365 a 370 gals (Figura 10), equivalentes a intensidades del orden de VI-VII (MM); es decir, suficientes como para producir daños estructurales y deslizamientos en las zonas de pendiente alta.

8.2.- Monitoreo Sísmico

Durante la ejecución del presente estudio se procedió a instalar en el área urbana de Chaclacayo, dos acelerómetros de tres componentes para el registro de actividad sísmica local ocurrida durante el año 2012: Local de INDECI y I.E. Almirante Miguel Grau (Figura 11a). Durante este periodo, se ha registrado, con buena resolución, hasta 19 eventos sísmicos de foco superficial e intermedio, todos con magnitudes entre 3.7 a 4.7 ML (Figura 11b). Estos eventos produjeron en Chaclacayo aceleraciones de hasta 13 cm/seg², equivalentes a intensidades del orden de III (MM)

y que facilitaron la caída de piedras de menor tamaño de las laderas de los cerros circundantes.

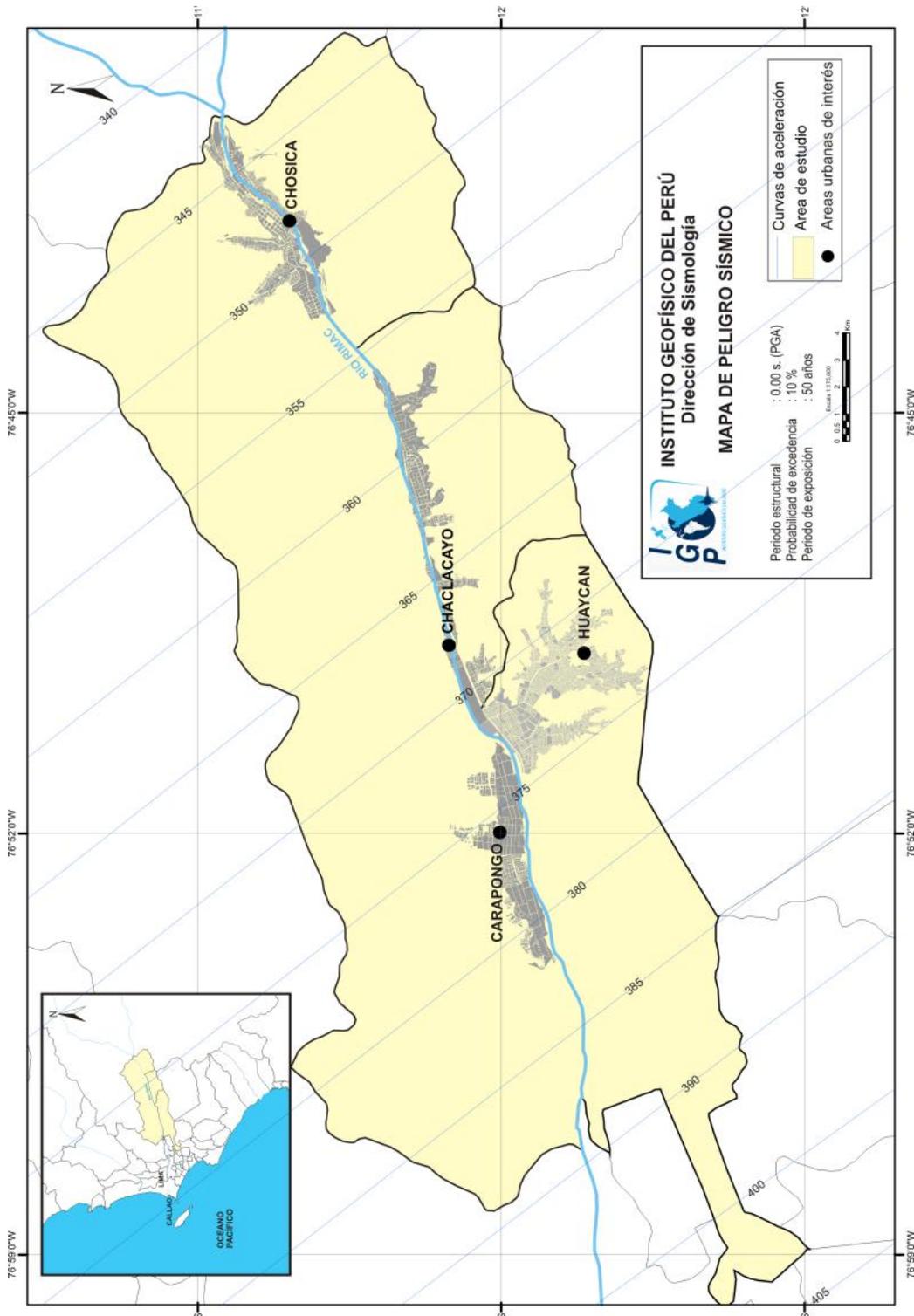


Figura 10: Peligro Sísmico para la región de estudio correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.



Figura 11a: Estaciones acelerométricas instaladas en los locales de INDECI y el I. E. Almirante Miguel Grau de Chaclacayo

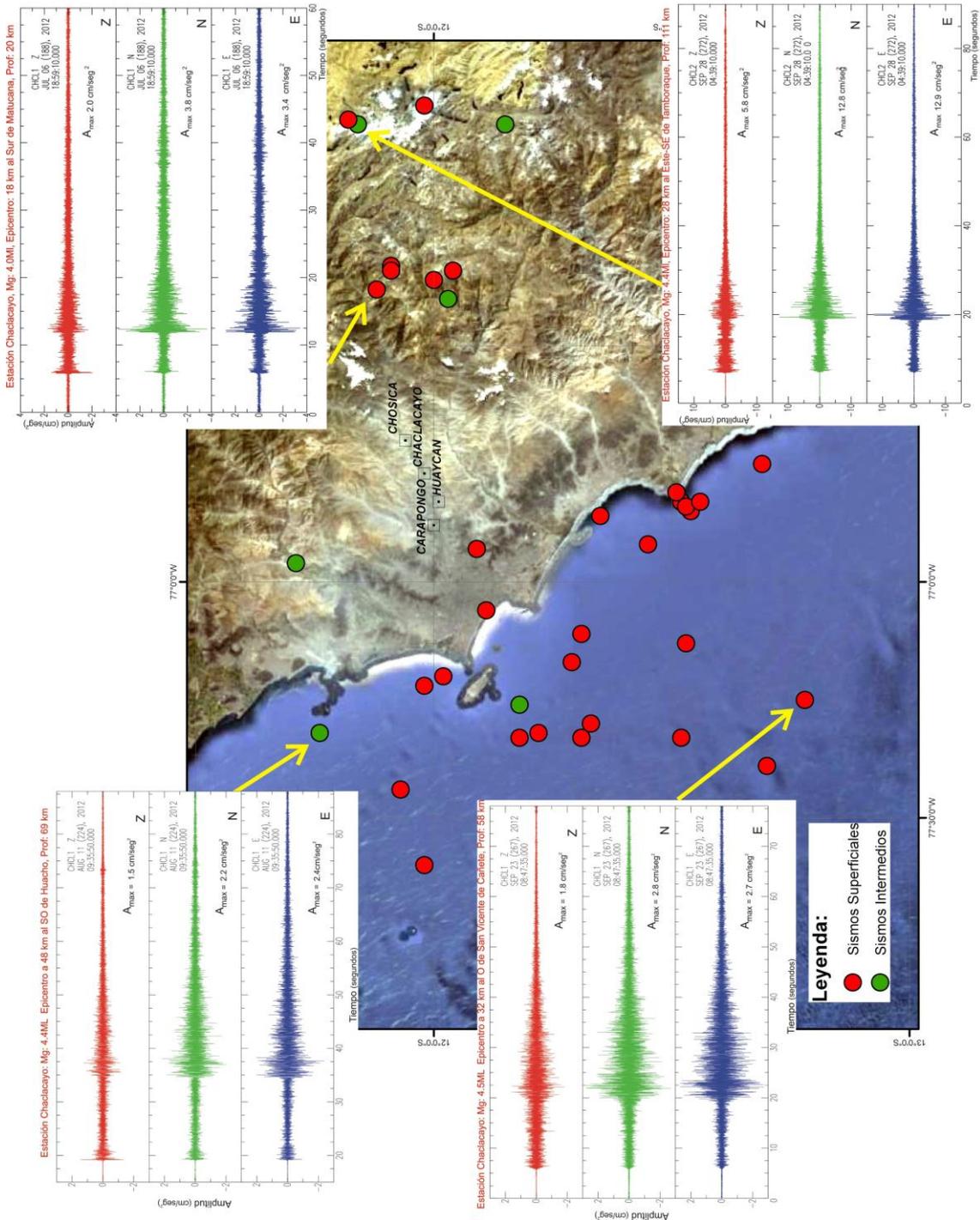


Figura 11b: Eventos sísmicos registrados en la estación acelerométrica que funcionó en la Oficina de Defensa Civil de Chaclacayo. Los registros corresponden a sísmos de foco superficial e intermedio

Por otro lado, se ha observado que sismos de magnitudes moderadas ($>4.0ML$) con epicentros frente a la línea de costa de la región central del Perú (ejemplo, 6 de Julio de 2012, 4.0ML, 20 km de profundidad), son correctamente registrados, al igual que los sismos de profundidad intermedia (ejemplo, 28 de setiembre de 2012, 4.4ML, 111 km de profundidad), lo cual sugiere que sismos de mayor magnitud e intensidad, podrían causar daños en viviendas y ser detonantes de posibles deslizamientos de masas de tierra y rocas, dependiendo de la morfología local.

9.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA-GEOTÉCNICA

El distrito de Chaclacayo se encuentra ubicado en el valle del río Rimac que desciende de los andes peruanos hacia el Océano Pacífico, a una distancia de 27 km en dirección Este por medio de la Carretera Central. La zona céntrica se encuentra a una altura de 647 msnm ocupando un área de 2.8 km² (ver Figura 12). En los últimos 40 años, el distrito ha tenido un fuerte crecimiento poblacional, lo que conllevó a una expansión urbana no planificada, que incluyó el asentamiento de viviendas al pie de quebradas y la cuenca del río Rimac, incrementando de este modo su riesgo ante la posible ocurrencia de peligros naturales como los sismos, flujos de detriticos y crecidas del río.

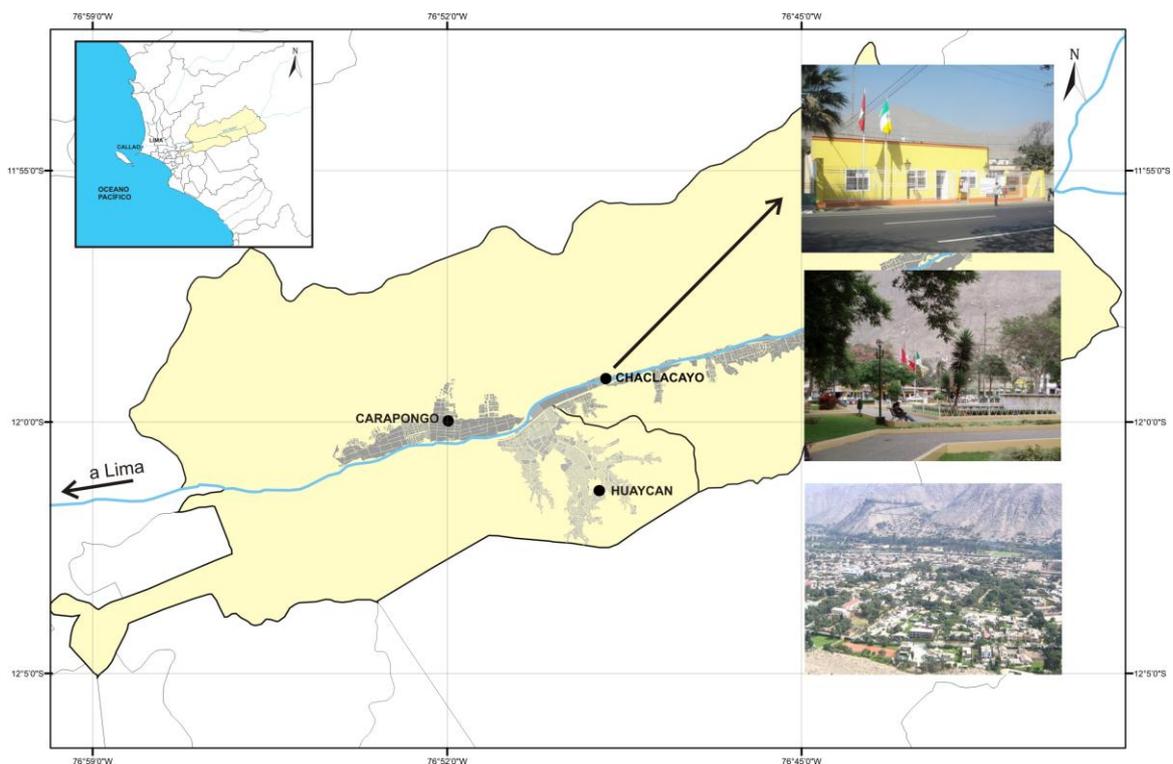


Figura 12: Ubicación geográfica del distrito y área urbana de Chaclacayo

9.1.- Geología, Geomorfología y Geodinámica

Para los estudios geológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geotécnicos, se ha hecho uso de la base topográfica digital a escala 1/5,000 adquiridos del Instituto Geográfico Militar (IGN). Del mismo modo, para las coberturas temáticas se ha hecho uso de fotografías aéreas de la zona a escala 1/15,000. Toda la información fue georeferenciada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) e integrada a la información topográfica de un Modelo Digital de Terreno (MDT), Figura 13.

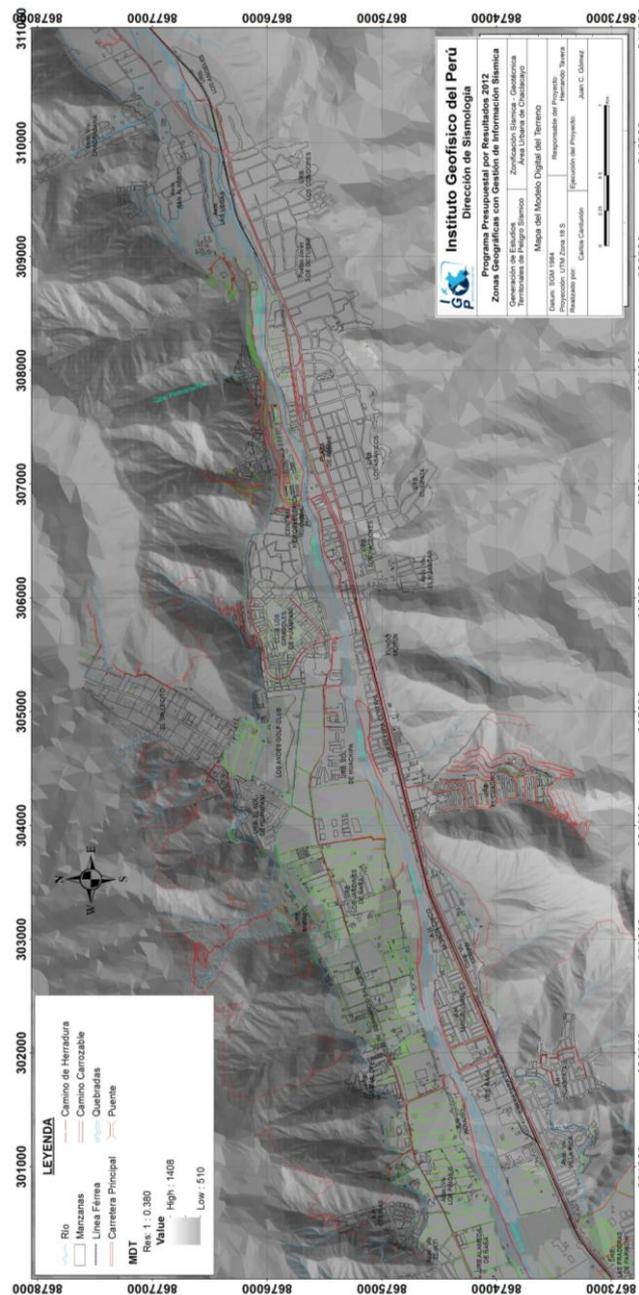


Figura 13: Modelo digital del terreno del área urbana de Chaclacayo

.- Aspectos Geológicos: Según el Cuadrángulo Geológico de Chosica” Boletín N°43 – Hoja: 24-j a escala 1/100,000 (INGEMMET), el área de estudio se emplaza sobre el grupo Casma constituido por una serie volcano-detritica, intruídas por afloramientos ígneos del grupo Santa Rosa, los mismos que están constituidos por cuerpos tonalítico-dioríticos y tonalítico-granodioríticos de gran extensión dentro del Batolito de la Costa (Figura 14). Estos cuerpos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales que por su edad geológica pertenecen al Cuaternario Pleistoceno (Qp-al) y al Cuaternario Reciente (Qr-al). La columna lito-estratigráfica de la zona se detalla en la Tabla 2, siendo sus principales características las siguientes:

CRONOESTRATIGRAFÍA			LITOESTRATIGRAFÍA		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Dep. aluviales		
		PLEHISTOCENO	Dep. aluviales		
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Volc. Quilmaná		SUPER UNIDAD
			Gpo. Casma		Santa Rosa { Tonalita-Granodiorita Tonalita-Diorita
					Patap { Gabro-Diorita

Tabla 2: Columna litoestratigráfica para el área urbana de Chaclacayo

Grupo Casma: Es una serie volcano-detritica que tiene sus afloramientos mejor desarrollados en el lado occidental del Batolito de la Costa y como unidad litoestratigráfica, es una secuencia compuesta de volcánicos andesíticos intercalados con areniscas grawacas, lutitas y piroclásticos de aproximadamente 1700 m de espesor. Se encuentra en el extremo Oeste del distrito de Chaclacayo por el A.H. Colinas y la Asociación de Vivienda El Inti.

Rocas Intrusivas de la Unidad Santa Rosa: Esta unidad de origen ígneo aflora en la mayor parte de los cerros que colindan al área de estudio y está dividida en dos importantes subunidades:

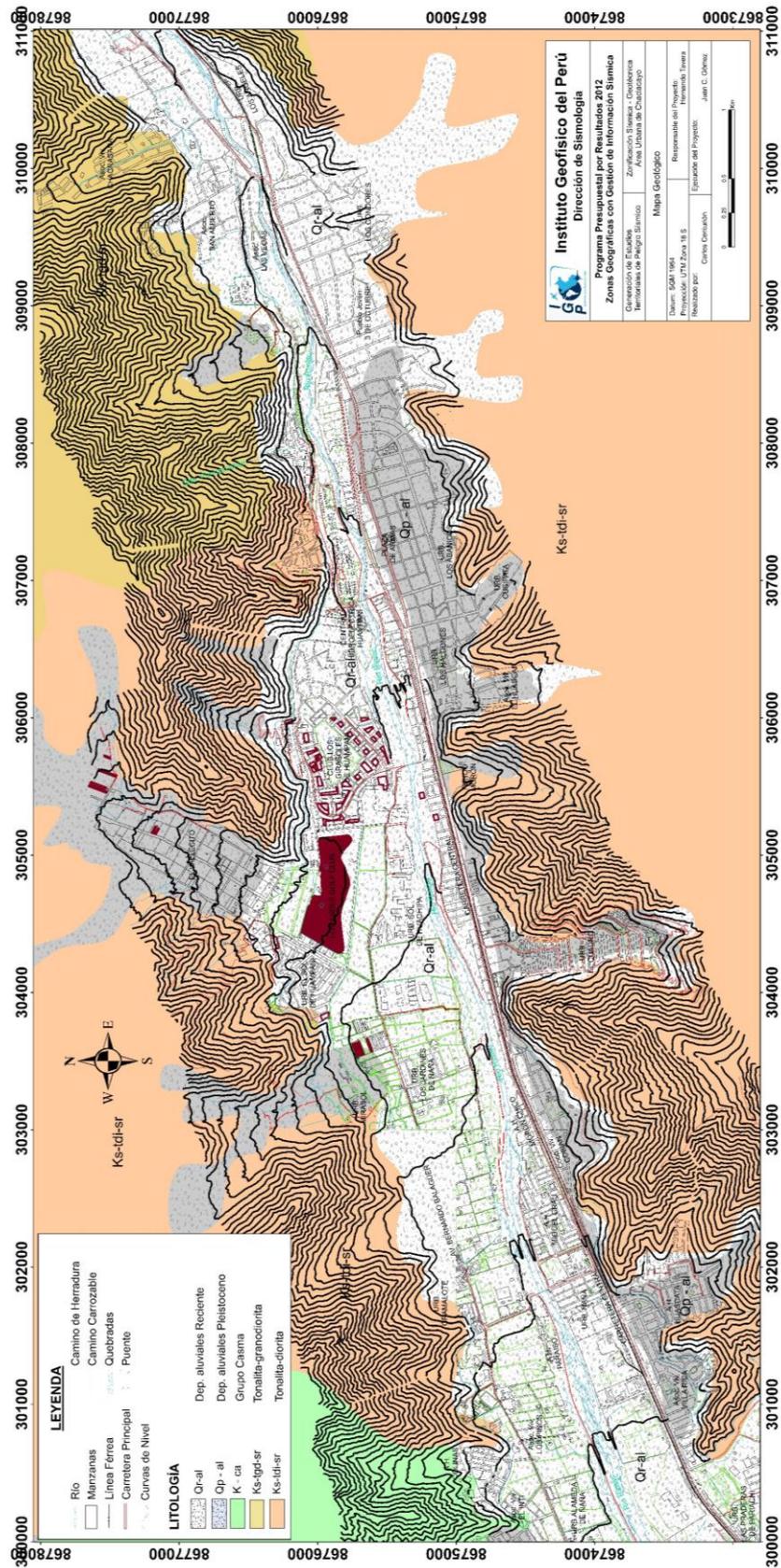


Figura 14: Mapa geológico para el área urbana de Chaclacayo

Tonalita - Granodioritas (Santa Rosa Claro): Se caracterizan por su marcada coloración gris claro de grano medio. Ambas sub unidades presentan el mismo emplazamiento, composición química y textural. La sub unidad Santa Rosa claro presenta mayor compacidad y resistencia que la sub unidad Santa Rosa oscuro por el contenido de cuarzo. Se presentan en las inmediaciones de la Urb. Los Ángeles, Asociación de Vivienda. Chacrasana, Asociación San Alberto y por la Quebrada Parinacochas.

Tonalita - Dioritas (Santa Rosa Oscuro): Se encuentran aflorando en los extremos NO y SE del área de estudio, cubriendo el 80% del área total. Las rocas presentan un color gris oscuro, de grano medio a grueso que cubre gran extensión del valle del río Rímac.

Depósitos Cuaternarios: Están constituidos por materiales acarreados por los ríos dando lugar a la formación de terrazas; además, de los provenientes de las quebradas que dan como origen depósitos de flujo de detritos ubicados en los bordes de los cerros. Estos depósitos tienen un área extensa en superficie y presentan diferencias en composición y espesor propios del origen y la magnitud del transporte del evento. . Entre estos depósitos se tienen a los aluviales recientes a lo largo del valle del río Rímac y los de la serie Pleistocena que han sido depositadas en las partes altas y bajas de las quebradas. Estos depósitos están constituidos por cantos rodados y gravas heterométricas, con matriz areno-limoso. Estos materiales se encuentran intercalados formando paquetes de diferentes espesores, tal como se aprecia en las terrazas y antiguos conos deyeativos.

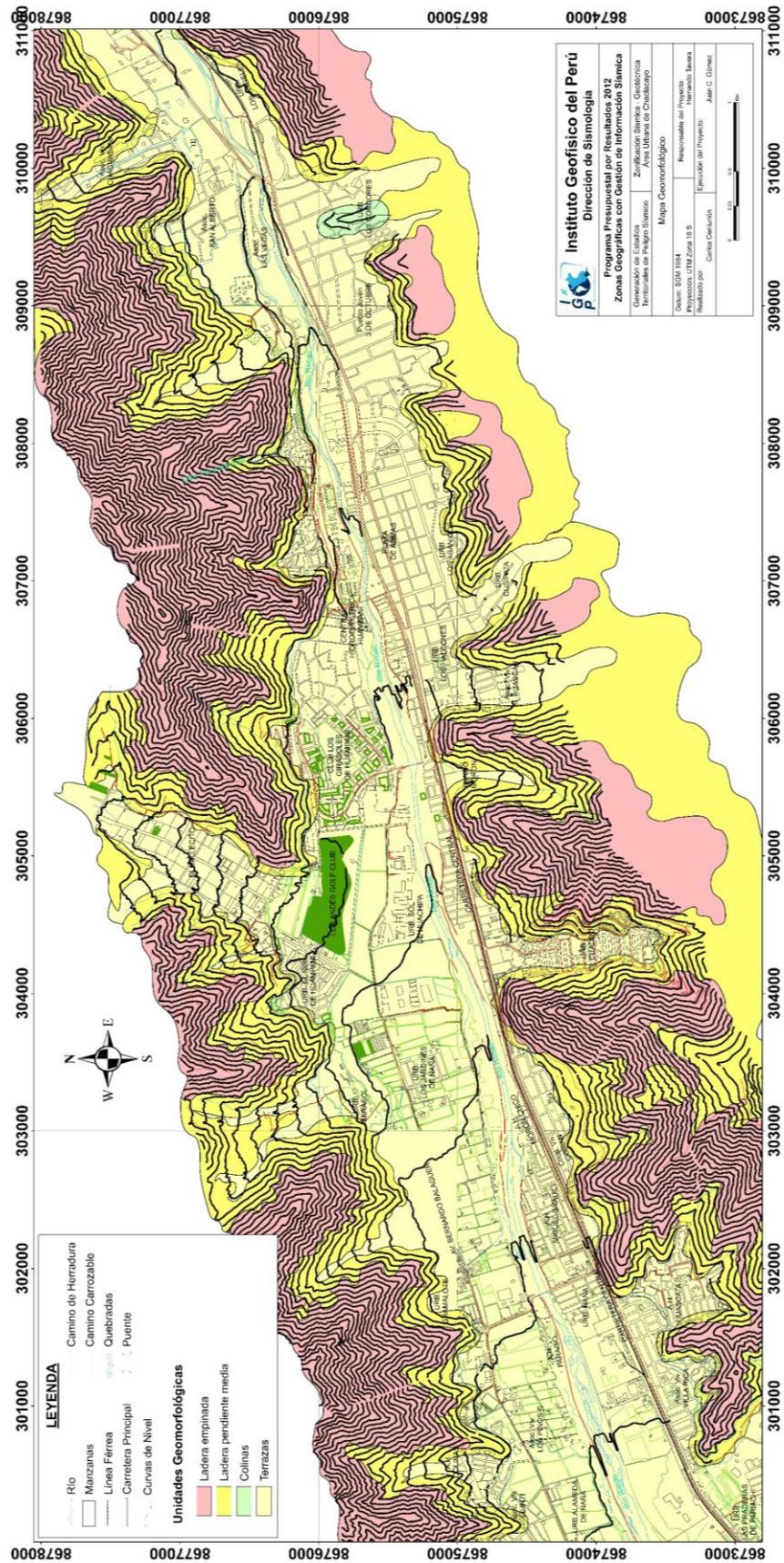


Figura 15: Mapa geomorfológico para el área urbana de Chaclacayo

.- Aspectos Geomorfológicos: Los rasgos geomorfológicos presentes en el área de estudio es el resultado del modelado geológico causado por eventos tectónicos y procesos de geodinámica superficial. El área de estudio se encuentra a alturas entre 510 y 1408 m.s.n.m. En este estudio se utilizó la base de datos provenientes del mapa geológico publicado por el INGEMMET, además de la información recopilada durante los meses de abril a julio del presente año. En general, el relieve del área presenta la forma típica en “V” propios de cauces de ríos y un fondo angosto limitado por cadenas montañosas de moderada a fuerte pendiente (Figura 15).

En el área de estudio se han identificado la existencia de cuatro unidades geomorfológicas relacionadas a cuatro rangos de pendientes identificados en el modelo de elevación digital (MDE) y cuyo detalle se muestra en la Tabla 3. En base al análisis de pendientes, las características de estas unidades son:

Unidad Geomorfológica	Pendiente
Quebradas (Qb)	> 20°
Terrazas (Te)	0° - 15°
Colinas (Co)	15° - 25°
Ladera de pendiente media (Lpm)	25° - 35°
Ladera empinada (Le)	>. 35°

Tabla 3: Rangos de pendientes identificados en el área urbana de Chaclacayo

Quebradas: Comprende las quebradas afluentes al río Rímac, las mismas que permanecen secas la mayor parte del año (Mayo-Diciembre), transcurriendo agua solo en época de fuertes precipitaciones, especialmente asociados al fenómeno del niño. Presentan un clima seco y la forma de sus cauces o depresiones favorecen la acumulación de detritos y materiales de poco transporte (depósitos coluviales), provenientes de las estribaciones de la Cordillera Occidental. Presentan pendiente mayor a 20°.

Terrazas: Proviene del Holoceno al Pleistoceno y se han formado por acumulaciones de depósitos aluviales de corrientes relativamente antiguas, quedando en posiciones topográficas superiores por deformaciones tectónicas recientes, que las han elevado con pliegues de amplio radio de curvatura. En

detalle, la topografía de estas terrazas se caracteriza por presentar ondulaciones y disecciones que afectan la superficie con pendientes máximas de 15° como rango dominante. Estas planicies, actualmente están siendo ocupadas por urbanizaciones y diversos asentamientos humanos que son susceptibles a inundaciones del río Rímac.

Colinas: Considera a cerros que no sobrepasan los 100 metros de altura, todas separadas por laderas de pendientes medias. Su morfología es ondulada, poco agreste y sus taludes no sobrepasan los 25°. Presentan una topografía subordinada a la litología de las unidades geológicas. Por ejemplo, cuando se trata de rocas intrusivas el relieve es abrupto y conformado por lutitas o limolitas de formas redondeadas y cuando se trata de rocas volcánicas, sus pendientes son empinadas. Estas unidades en mayor número de encuentras en la Urb. Los Cóndores.

Laderas de pendiente media y empinada: Esta unidad demarca a las laderas de las cadenas pre-montañosas de la Cordillera Occidental, alcanzan altitudes entre los 570 y 1400 m.s.n.m, estando constituidas principalmente por rocas intrusivas del batolito de la costa emplazadas con rumbo NO-SE. Estas unidades presentan topografías abruptas y disectadas por quebradas. En el primer caso presentan pendientes entre los 25° y 35°; mientras que, en el segundo, tienen pendientes mayores a 35°.

.- Aspectos Geodinámicos: Los procesos de geodinámica superficial dan lugar a diversas geofomas que están sometidas a procesos de intemperismo y meteorización que conducen a la ocurrencia de movimientos en masa. Estos movimientos están relacionados a los siguientes parámetros intrínsecos (Santacana, 2001): litología, pendientes, geomorfología, cobertura vegetal y drenaje; y como agentes detonantes intervienen: las precipitaciones, los sismos y la actividad antrópica que afectan la infraestructura establecida en la zona como: viviendas y la Carretera Central, principalmente. Durante el trabajo de campo se han identificado e inventariado la ocurrencia de 21 movimientos en masa, todos indicados en la Figura16 y detallados en los Anexos del presente informe. En general, las principales características de estos peligros son:

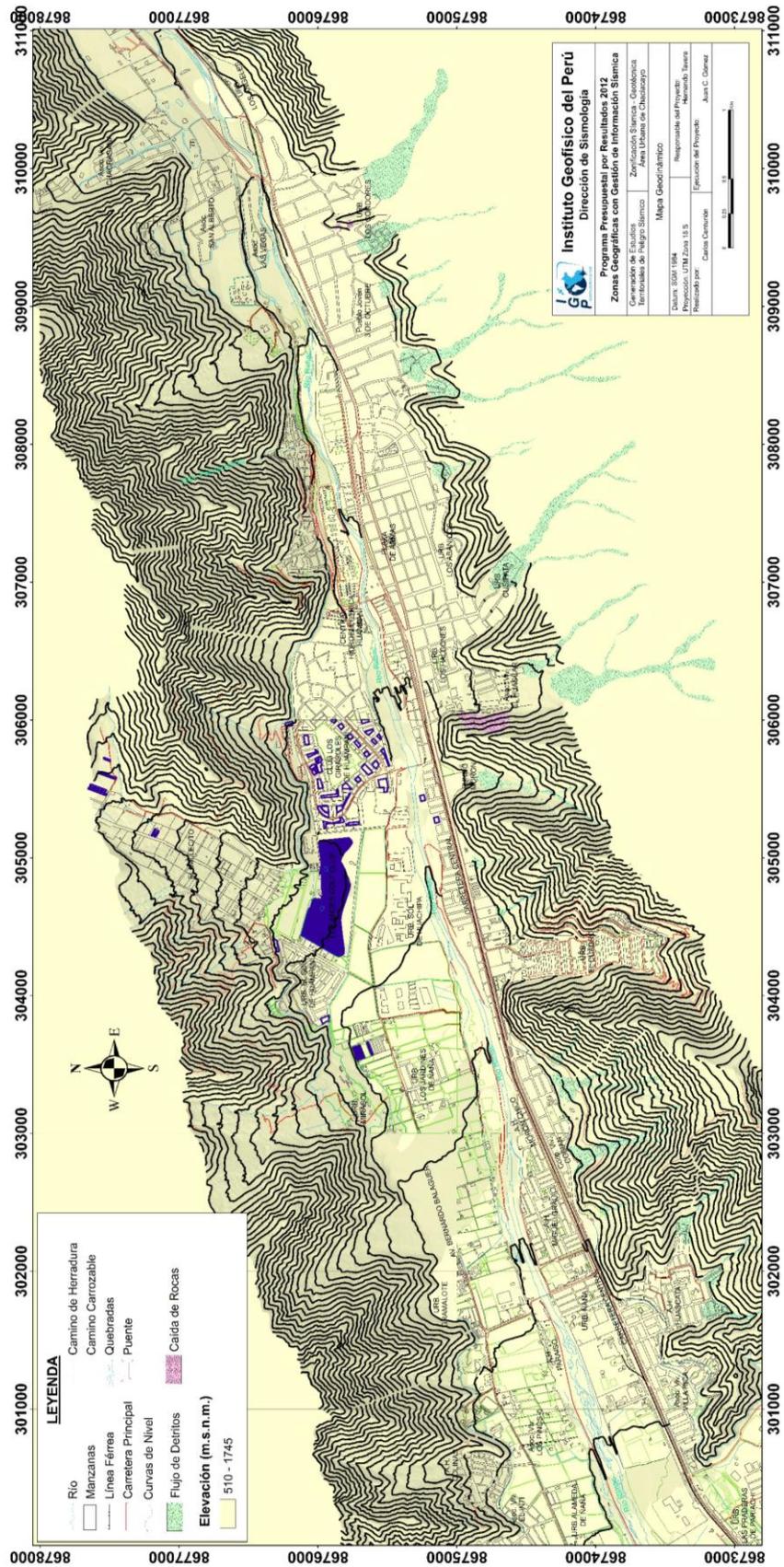


Figura 16: Mapa geodinámico para el área urbana de Chaclacayo

Flujos de detritos: Consisten en coladas con elevada concentración de materiales detríticos que se mueven hacia los valles. El tipo de suelos transportados resultan de la mezcla de materiales finos y en mayor proporción materiales gruesos con variable cantidad de agua; por lo tanto, se propaga como un único cuerpo. Se ha inventariado 13 flujos de detritos asociados a lluvias intensas que pueden provocar la reactivación de algunas quebradas como las de Chacrasana, Cusipata y Los Condores, Figuras 17, 18 y 19.



Figura 17: Inmediaciones del Club Terrazas, en la parte baja se observa la presencia de un depósito de flujos de detritos



Figura 18: Depósito de flujos de detritos a los alrededores de la Urb. Los Girasoles.



Figura 19: Muros de contención en la parte baja de la quebrada colindante a la residencial El Cuadro. El muro evita que las rocas sueltas, producto del flujo de detritos, alcancen la parte baja (carretera central).

Caídas de roca: Consiste en el desprendimiento de material que conforma una ladera, pueden ser rocas, suelos o ambos y cuya causa principal es la gravedad terrestre y las características geomecánicas que posee el substrato rocoso. En este estudio se ha inventariado la presencia de 2 caídas de rocas, la primera en la Urbanización 3 de Octubre y la segunda, en el AA.HH. Huascarán (ver

Anexos). Estos eventos ocurren en zonas de altas pendientes y están asociados al fracturamiento de rocas, grado de meteorización y a la alteración de los macizos rocosos, Figuras 20 y 21.



Figura 20: Caída de rocas en las inmediaciones del cerro de la Urb. 3 de Octubre. Margen izquierda del río Rímac.



Figura 21: Caída de rocas en las inmediaciones de la Asoc. Viv. El Huáscar. Margen izquierda del río Rímac.

9.2.- Geotecnia

Los estudios geotécnicos tienen por finalidad analizar y cuantificar las características físicas de los suelos, siendo su comportamiento geotécnico relevante al momento de utilizarlo como elemento de medida para el soporte de una estructura determinada (cimentaciones). Para el estudio de los suelos se construyeron 10 calicatas (Figura 24, Tabla 4) y el análisis en laboratorio permitió clasificar a los suelos utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). El total de la información analizada permitió identificar la presencia de hasta 9 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (Tabla 5, Figura 25):

- **Suelo tipo GW:** corresponde a gravas redondeadas bien gradadas, con matriz arenosa. El contenido de humedad es de 3.94 %, no presenta plasticidad y se encuentran en el AA.HH Miguel Grau, Coop. Vivienda Cobian y AA.HH Moron Chico a lo largo de la línea férrea.
- **Suelo tipo GP-GM:** corresponde a gravas arenosas mal gradadas con finos limosos y arcillosos, además de gravas redondeadas a sub redondeadas. El contenido de humedad es de 2.90 % y 7.30 %, no presentan plasticidad y se encuentran en la Urb. El cuadro, Fundo Moron, Centro Vacacional Huampaní y parte de la carretera central.
- **Suelo tipo GC-GM:** corresponde a gravas arenosas con limos, gradadas y rocas redondeadas. El contenido de humedad es de 8.17 %, presenta plasticidad y se encuentran en el AA.HH Villa Mateo Pumacahua y parte de la Urb. Jardines de Ñaña.
- **Suelo tipo SW:** corresponde a arenas bien gradadas con pocos finos y gravas sub redondeadas. El contenido de humedad es de 5.39%, no presenta plasticidad y se encuentra en Los Andes Golf Club y el club Los Girasoles de Huampaní.
- **Suelo tipo SP:** corresponde a arenas pobremente gradadas con poco finos y con rocas sub angulosas. El contenido de humedad es de 1.67%, no presenta

plasticidad y se encuentra en las Urbanizaciones Mirasol y Sol de Huachipa II, III y IV etapa.

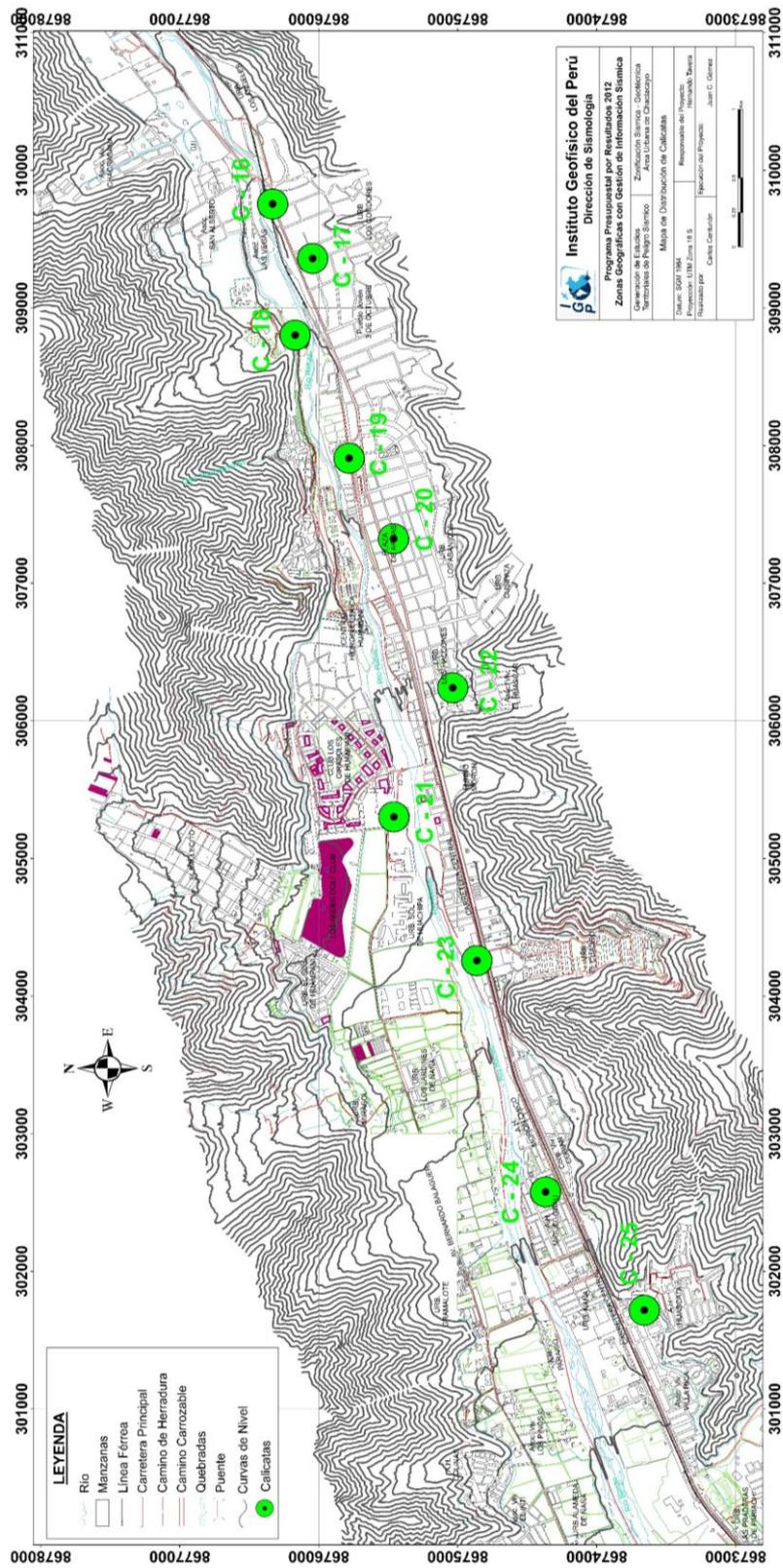


Figura 24: Distribución espacial de las 10 calicatas construidas en el área urbana de Chaclacayo

- **Suelo tipo SP-SC:** corresponde a arenas pobremente gradadas con finos y fragmentos de rocas angulosas y redondeadas. El contenido de humedad es de 4.25%, presenta plasticidad (5.93%) y se encuentra en la Urb. Los Condores.
- **Suelo tipo SM:** corresponde a arenas medias a finas pobremente gradadas con gravas sub-angulosas y redondeadas. El contenido de humedad es de 7.34%, presenta plasticidad (2.24%) y se encuentra en la Urb. Cusipata y Los Cedros.
- **Suelo tipo ML:** corresponde a limos inorgánicos, arenas muy finas con gravas redondeadas de mala compactación. El contenido de humedad es de 9.08%, no presenta plasticidad y se encuentra en los AA.HH La Tapada y Perla del Sol.
- **Suelo tipo CL:** corresponde a arcillas inorgánicas con gravas redondeadas y bien compactos. El contenido de humedad es de 11.83%, presenta alta plasticidad (11.07%) y se encuentra en el Parque Central de Chaclacayo.

CALICATAS	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACION (m.s.n.m)
C-16	8676332	309756	727
C-17	8676044	309360	720
C-18	8676170	308803	718
C-19	8675782	307909	676
C-20	8675462	307323	672
C-21	8675460	305303	631
C-22	8675036	306240	658
C-23	8674862	304258	603
C-24	8674368	302577	570
C-25	8673658	301718	559

Tabla 4: Coordenadas UTM de las 10 calicatas construidas en el área urbana de Chaclacayo

CALICAT	Profundidad (m).	Grava (> 4.76mm)	Arena (>0.074mm, <4.76mm)	Finos (<0.074mm)	Uniformidad	Curvatura	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Contenido de Humedad (%)	CLASIFICACION SUCS	Denominación
C-16	2.50	0.0	46.0	54.0	-	-	NT	NP	-	9.08	ML arenoso	Limos orgánicos
C-17	2.60	14.0	75.0	11.0	37.42	0.34	24.31	18.38	5.93	4.25	SP-SC	Arena y arcilla reg. Gradada
C-18	2.70	60.0	25.0	15.0	-	-	24.87	19.54	5.33	8.17	GC-GM con arena	Grava reg. Gradada
C-19	2.40	48.0	41.0	11.0	141.51	0.62	NT	NP	-	2.90	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-20	2.40	3.0	23.0	74.0	-	-	31.38	20.31	11.07	11.83	CL con arena	Arcillas inorgánicas
C-21	2.40	41.0	58.0	1.0	10.00	2.39	NT	NP	-	5.39	SW con grava	Arena bien Gradada
C-22	2.85	1.0	70.0	29.0	-	-	20.73	18.49	2.24	7.34	SM	Arena limosa mal Gradada
C-23	2.50	46.0	43.0	11.0	155.02	0.13	NT	NP	-	7.30	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-24	2.60	61.0	38.0	1.0	31.41	2.47	NT	NP	-	3.94	GW con arena	Grava bien Gradada
C-25	2.60	12.0	87.0	1.0	11.43	0.51	NT	NP	-	1.67	SP	Arena pob. Gradada

Tabla 5: Clasificación de suelos SUCS para el área urbana de Chaclacayo

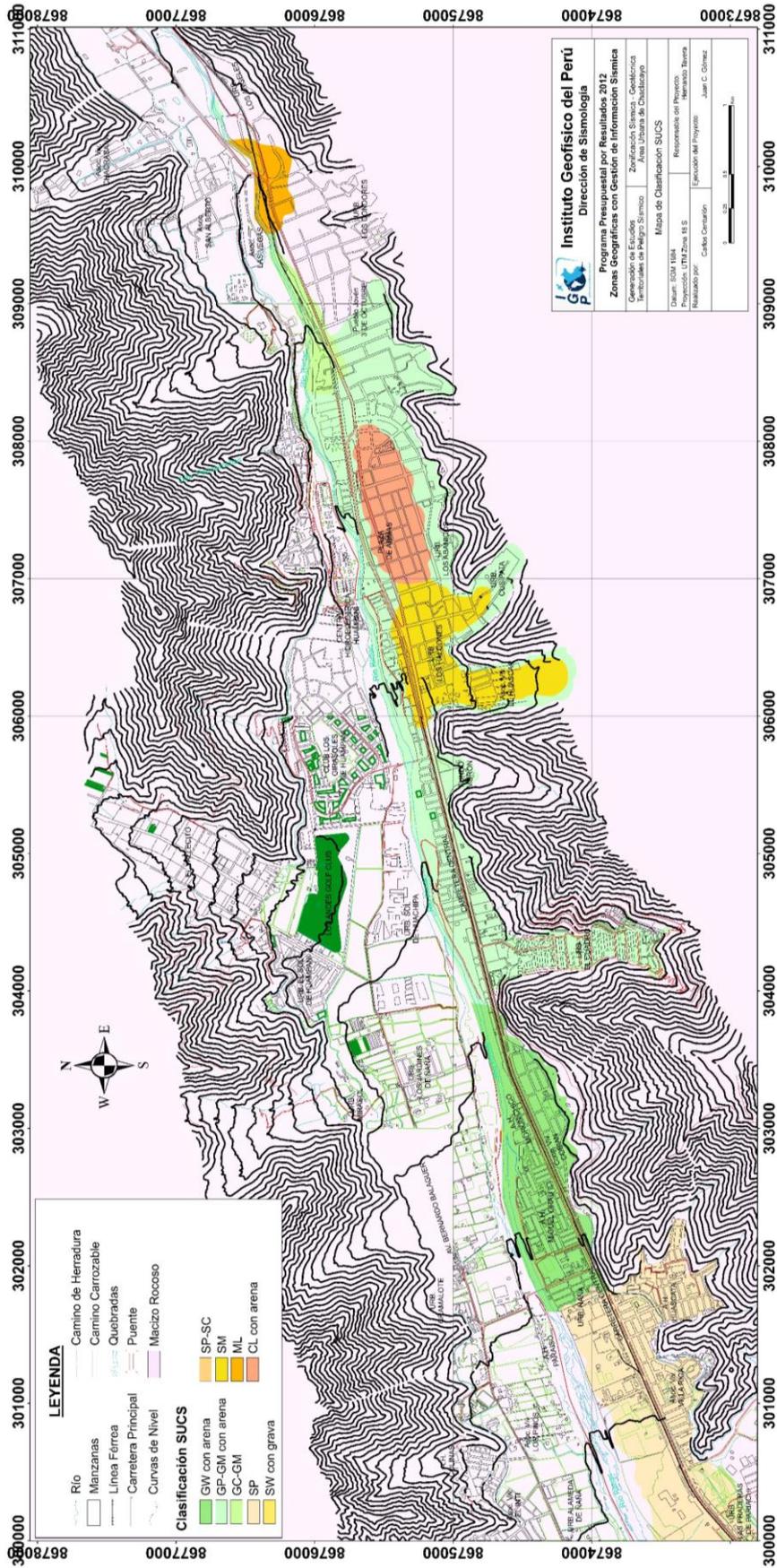


Figura 25: Mapa de clasificación de suelos SUCS para el área urbana de Chaclacayo

Finalmente, se realizaron los ensayos de corte directo para determinar la resistencia del terreno y/o la capacidad portante de los suelos para los 10 puntos analizados en este estudio y los resultados se presentan en la Tabla 6 y Figura 26.

CALICATAS	Angulo de Fricción interna del Suelo (°)	Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm²)	Densidad seca Promedio (gr/cm³) (< N° 4)	Humedad Natural (%)	Capacidad Carga Admisible (Kg/cm²)
C-16	30.15	0.00	1.61	3.20	1.68
C-17	24.39	0.02	1.70	4.25	1.06
C-18	26.61	0.05	1.64	8.17	1.69
C-19	26.74	0.02	1.58	2.90	1.30
C-20	24.96	0.09	1.46	11.83	1.76
C-21	27.89	0.00	1.52	5.35	1.17
C-22	27.69	0.13	1.76	7.34	1.79
C-23	29.90	0.02	1.45	7.30	1.76
C-24	29.98	0.00	1.51	3.94	1.51
C-25	31.21	0.02	1.62	1.67	1.91

Tabla 6: Valores de capacidad portante para cada calicata, área urbana de Chaclacayo

Para el área urbana de Chaclacayo, la capacidad portante de suelos se ha calculado para una profundidad y ancho mínimo de cimentación de 1.00 m, obteniéndose valores de capacidad portante de media a baja:

.Capacidad Carga Admisible (Kg/cm²)	Denominación
1.0 – 1.5	BAJA
1.5 – 2.5	MEDIA

En el área urbana de Chaclacayo, los suelos presentan, desde los extremos oeste-este, una capacidad portante media en un 60% de su área total. En las zonas de los Andes Golf Club, los Girasoles de Huampaní, PJ 3 de Octubre, Urb. Los Angeles, Urb. Los Condores y la Asociación de Vivienda El Inti, se presentan valores de capacidad portante baja.

9.3.- Cuantificación de Eventos Extremos

Para la cuantificación de eventos extremos recientes en el área urbana de Chaclacayo, se está considerando los flujos de detríticos y los niveles de caudal del río Rimac, siendo sus principales características las siguientes:

9.3.1.- Flujos de detríticos: En Chaclacayo, el principal evento de flujo de detríticos ocurrió el 5 de abril de 2012 debido a la caída de fuertes precipitaciones, llegando a discurrir el huayco por la quebrada Los Cóndores, para luego inundar calles y viviendas de una gran parte de la zona urbana de este distrito. Básicamente, los lugares afectados fueron: Asociación de Vivienda Garcilaso de la Vega, Pueblo Joven 3 de Octubre, AA.HH. Perla del Sol, AA.HH. La Tapada, AA.HH. Santa Inés, AA.HH. Paraíso, Casco Urbano, Av. Los Laureles, Av. Nicolás Ayllón (Carretera Central) entre los Kms. 24 y 27, AA.HH. Virgen de Fátima-Morón y la Asociación de vivienda San Bartolomé.

9.3.2.- Aspectos hidrológicos: A fin de evaluar los aspectos hidrológicos en el área urbana de Chaclacayo, se procedió a recopilar información de SENAMHI y su análisis ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Caudal Medio Mensual del río Rímac: La oficina general de estadística e informática del SENAMHI, elaboró un cuadro con los registros de descargas medios mensuales del río Rímac registrados en la Estación Chosica R-2 para el periodo septiembre 1967 a diciembre 2004 (37 años), el mismo que fue utilizado como descriptor de la oferta hídrica media anual del río Rímac (Figura 27):

- Caudal medio multianual: 30.8 m³/s
- Máximo caudal medio multianual: 140.6 m³/s
- Mínimo caudal medio multianual: 9.6 m³/s

Para el análisis, se ha considerado los caudales medios mensuales para los años en los cuales ocurrieron los flujos de detritos más significativos y destructivos en Chaclacayo (ver Tabla 7).

ESTACIÓN: CHOSICA /202909/DRE-04						LONG. : 76° 41' "W"				DPTO. : LIMA			
PARAMETRO: DESCARGA MEDIA MENSUAL (m3/s)						LAT.: 11° 55' "S"				PROV. : LIMA			
						ALT.: 906 m.s.n.m.				DIST. : LURIGANCHO			
Año	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Prom.
1967-1968	18.9	23.9	21.1	20.4	24.5	22.4	31.4	20.8	16.5	15.0	14.4	14.0	20.3
1971-1972	19.1	18.7	15.8	26.7	47.9	65.3	140.5	66.0	22.4	17.0	15.2	15.6	39.2
1974-1975	13.1	15.6	15.0	11.6	18.6	18.6	100.3	39.2	28.5	23.6	21.3	22.2	27.3
1975-1976	21.5	20.4	21.8	22.8	41.3	76.0	65.0	36.7	20.8	19.4	16.5	16.8	31.6
1982-1983	23.3	23.6	28.1	26.2	31.3	28.7	58.6	70.1	37.5	28.1	22.9	19.0	33.1
1984-1985	17.0	19.5	21.9	34.2	23.6	37.6	52.4	48.3	23.2	19.3	16.0	20.1	27.8
1986-1987	21.6	19.2	23.5	28.5	54.0	81.8	96.7	30.5	23.2	20.9	18.6	19.5	36.5
2007-2008	19.4	19.5	19.6	18.9	34.8	47.1	45.9	27.0	18.0	23.0	22.8	23.3	26.6

Tabla 7: Caudales medios del río Rímac para un periodo de 8 años (1967-2004). Estación meteorológica de Chosica (R-2)

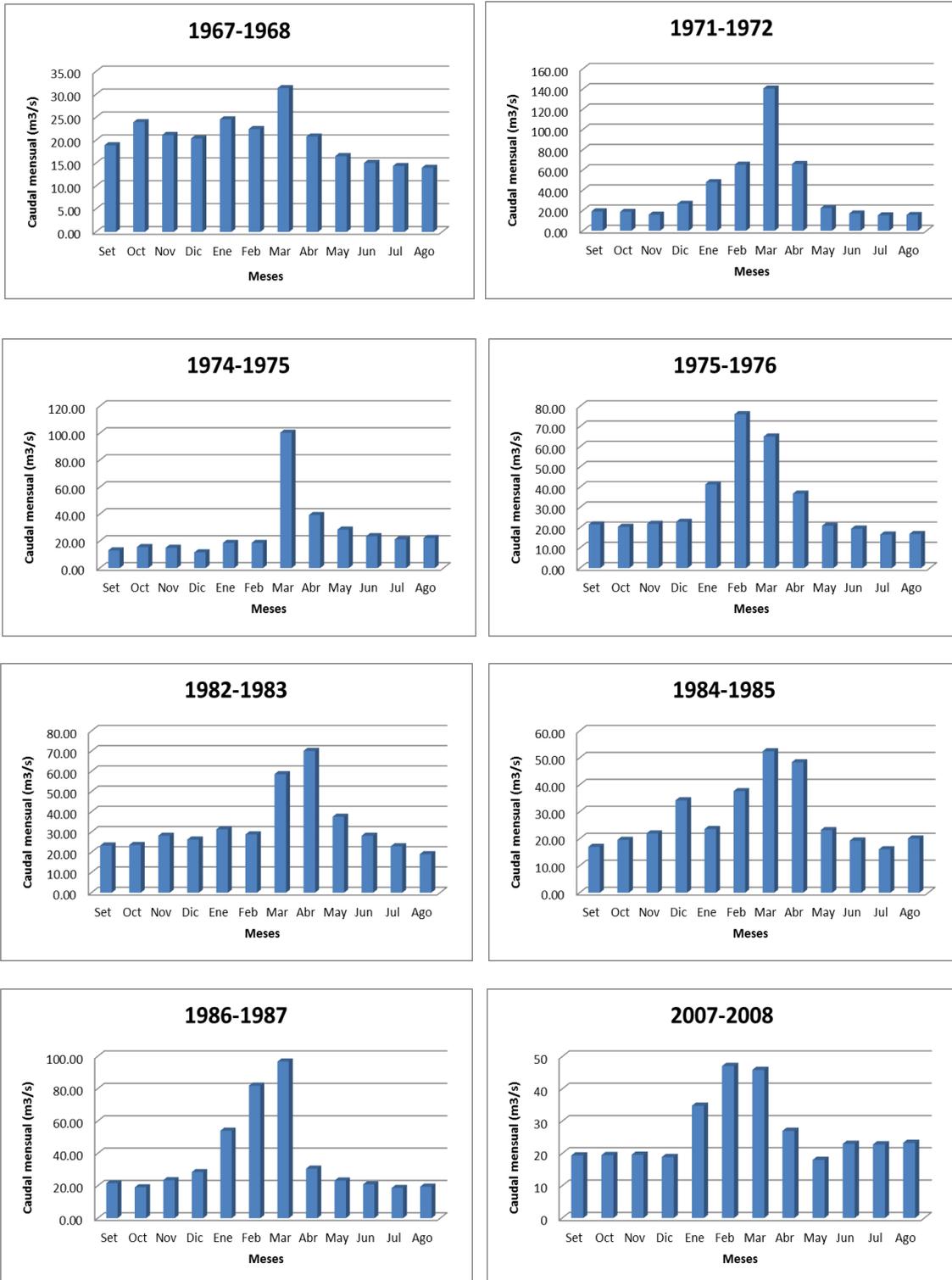


Figura 27: Histogramas de caudales para 8 periodos de datos de la estación meteorológica Chosica

Finalmente, los caudales medios mensuales para el periodo 2011-2012 registrado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en la Estación Chosica se presentan en la Tabla 8 y Figura 28.

Año	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Prom.
2011 a 2012	32.02	33.93	70.38	68.71	67.53	35.46	26.57	26.67	39.42
		Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic		
		26.67	24.93	23.27	25.43	38.17			

Tabla 8: Caudales medios del río Rímac en la estación meteorológica de Chosica: año 2011-2012.

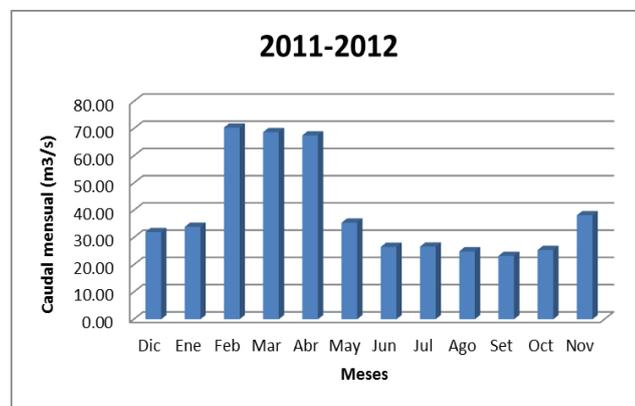


Figura 28: Histograma de caudal para el periodo 2011-2012, estación meteorológica de Chosica.

9.3.3.- Inundación: El río Rímac cruza el distrito de Chaclacayo desde los 700 m aguas arriba del sector denominado Santa Inés, hasta 2 km aguas abajo del sector denominado Los Pinos, con un desnivel de 100 m (pendiente del 3%) y un trayecto de aproximadamente 6 km. A lo largo de la ribera del río Rimac se ha identificado la existencia de 8 puntos críticos por inundación, que por factores naturales y/o antrópicos se constituyen de peligro para las viviendas asentadas en las riberas del río. Para estos puntos se han elaborado fichas individuales que describen el escenario actual frente a la posibilidad de inundación (ver Anexo).

En el punto codificado como R.CHACL.01 (Figura 29) se ha identificado la presencia de bloques sub-redondeados a redondeados desde 15" hasta 100" de diámetro, lo cual sugiere que la capacidad de carga del río es alta. Además se observa que las riberas están conformadas por terraplenes de material de relleno, colmatando

parcialmente el cauce, aumentando el peligro de inundación y por tanto, la vulnerabilidad física de las viviendas asentadas en estos sectores.

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
R.CHACL-01	8676190 m	309187 m	701 m.s.n.m.

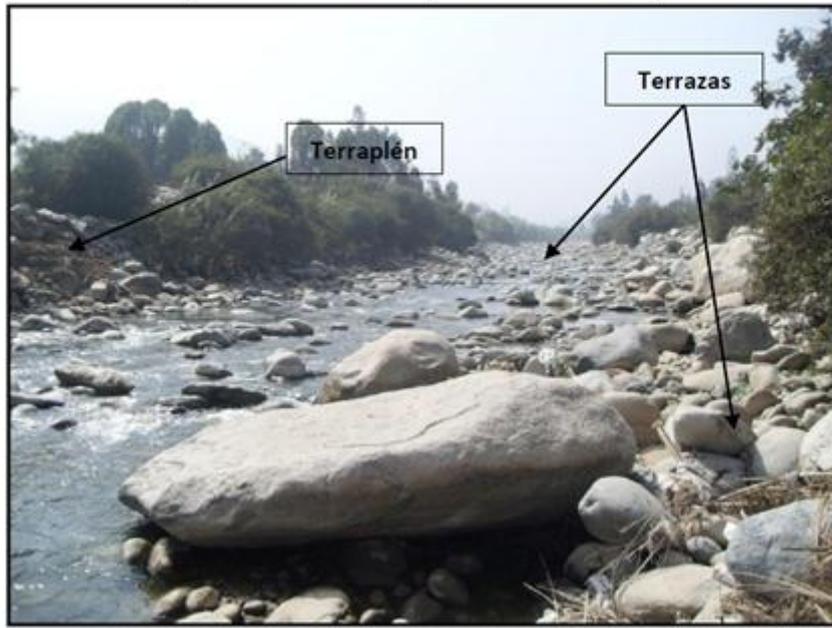


Figura 29: Nivel bajo del agua de color claro en el Río Rímac. Rocas con diámetros de 30 a 250 cm.

En los puntos R.CHACL.2 y 3 (Figura 30) se observa la presencia de terrazas de inundación conformadas por bloques polimícticos redondeados de distintos tamaños, en su mayoría de 12” de diámetro. Del mismo modo, en el punto R.CHACL.3 el terraplén se encuentra sobre la terraza de inundación, similar a lo observado en el punto R.CHACL.01.

En los puntos R.CHACL.04 y 05 (Figura 31) el cauce se muestra amplio y es delimitado por terraplenes de hasta 2 m de altura, factor que disminuye la probabilidad de desborde del río en este sector.

En el punto R.CHACL.06 y 07 (Figura 32) se observa claramente la presencia de terrazas de inundación que indican el nivel máximo que alcanza el agua durante los periodos de aumento del caudal del río.

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
R.CHACL-02	8676023 m	308684 m	691 m.s.n.m.



ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
R.CHACL-03	8676003 m	308062 m	682 m.s.n.m.

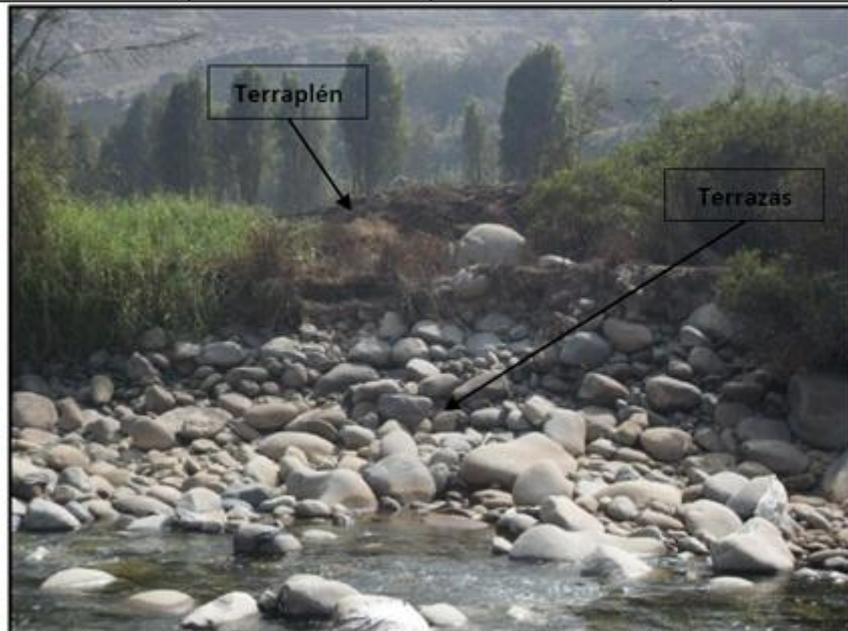
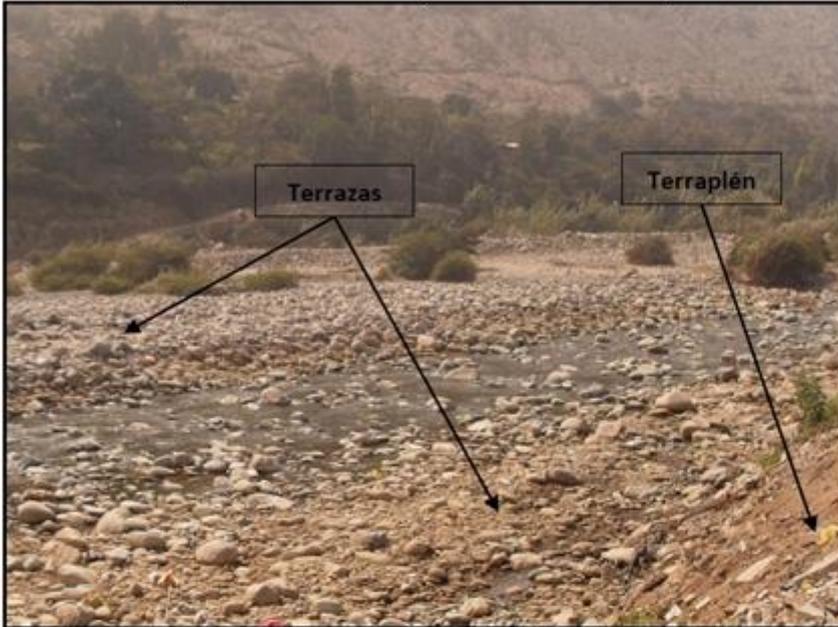


Figura 30: Presencia de vegetación al costado de las terrazas, además de rocas con diámetros mayores a 30 cm con presencia de arena limosa

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
R.CHACL-04	8675830 m	307562 m	672 m.s.n.m.



ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
R.CHACL-05	8675633 m	307110 m	669 m.s.n.m.

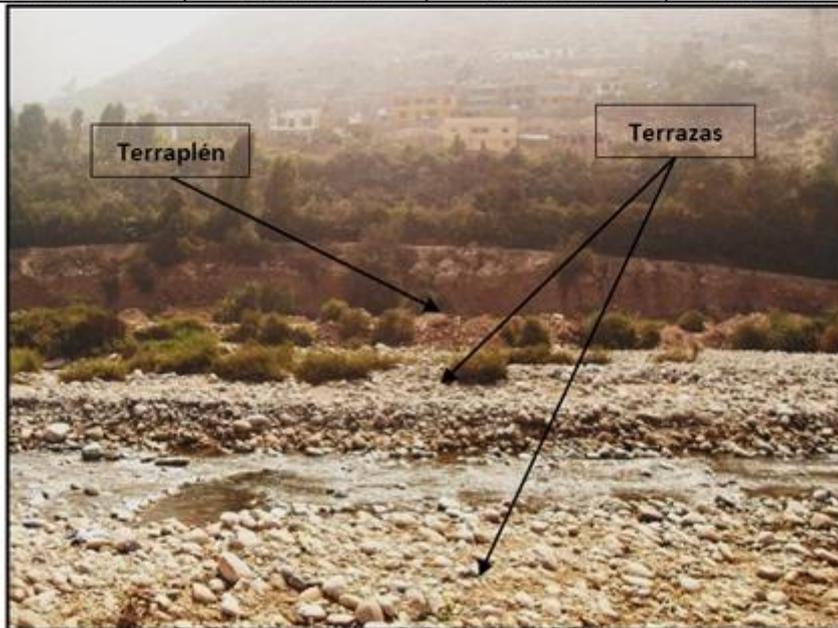
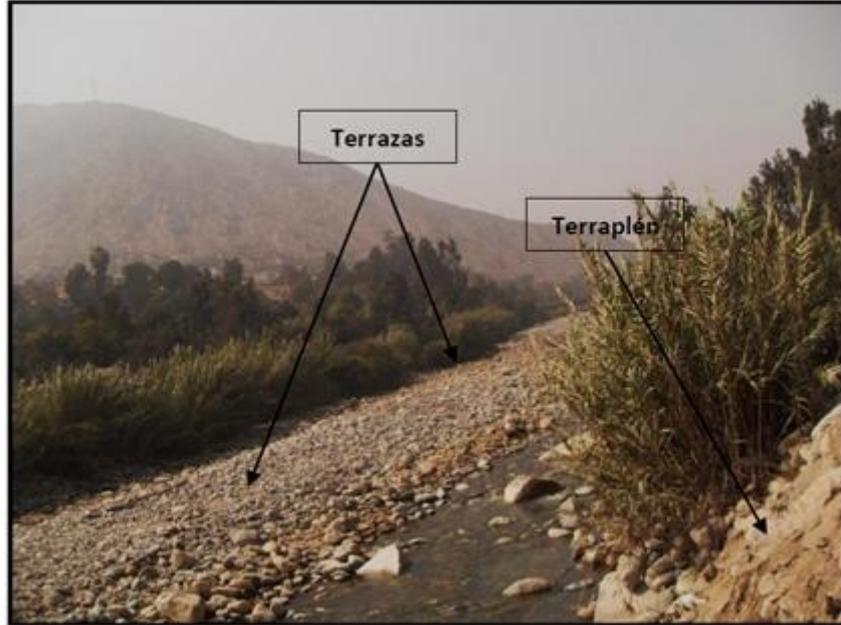


Figura 31: Obsérvese la acumulación de rocas sub redondeadas como producto de la erosión fluvial

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
R.CHACL-06	8675537 m	306430 m	648 m.s.n.m.



ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
R.CHACL-07	8675296 m	305746 m	634 m.s.n.m.

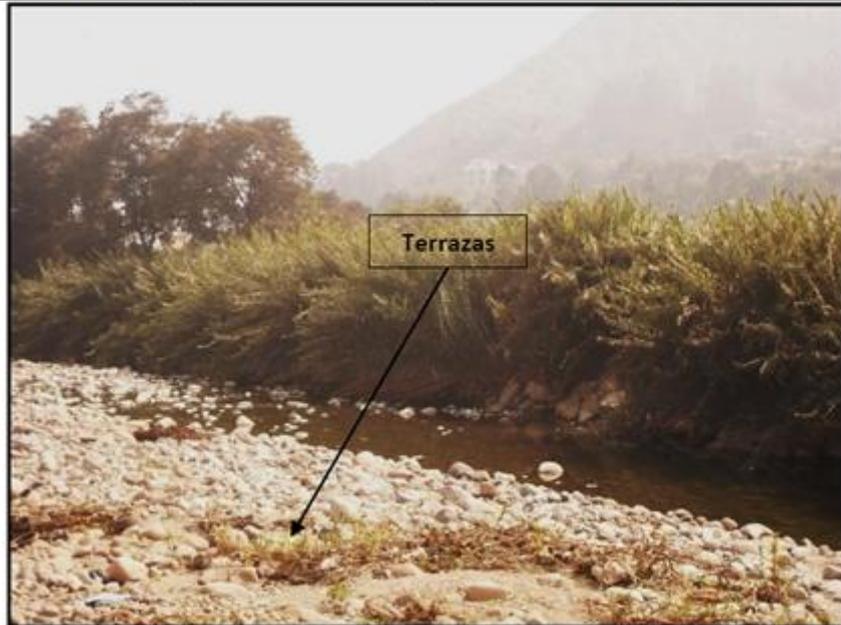


Figura 32: Obsérvese la presencia de rocas redondeadas y vegetación alrededor del río, además de agua estancada en época seca producto de la formación de terrazas

En los puntos R.CHACL.08 y 09 (Figura 33) existen muros de contención para evitar el posible desborde del río. En el punto R.CHACL.08 el muro se levanta hasta dos metros aproximadamente sobre el nivel del agua en época no lluviosa; por lo tanto, no representaría peligro alguno de desborde. En el punto R.CHCL.09 se observa que a escasos metros del muro de contención se está construyendo una vivienda; es decir, se levanta sobre la ribera del río Rímac, sobre un terraplén conformado por material de desmonte, convirtiéndose en un área de alto riesgo a la ocurrencia de desbordes del río.

Finalmente, para una evaluación más detallada se requiere contar con datos históricos de caudal, además de las secciones topográficas que permitan estimar la morfología del cauce del río, y con ellos realizar modelamientos de por inundación a fin de identificar con detalle las zonas susceptibles a estos eventos. Esta información es primaria para la gestión del riesgo orientado a reducir la vulnerabilidad.

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
R.CHACL-08	8675133 m	304757 m	617 m.s.n.m.



ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
R.CHACL-09	8674705 m	303596 m	593 m.s.n.m.



Figura 33: Presencia de barreras de contención construidas en terrenos no compactos por lo tanto se observa erosión en su base. En la figura de abajo se observa que el agua del río Rimac se encuentra a nivel de la base de la vivienda que está en etapa de construcción.

9.4.- Aspectos Sísmicos y Geofísicos

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos: razones espectrales (H/V), arreglos lineales y circulares, además de tomografía eléctrica. Todos tienen como principal objetivo conocer las propiedades físicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, niveles freáticos, etc.) a efectos de lograr su caracterización física.

9.4.1.- Estudios Sísmicos con la Técnica H/V

Para la aplicación de la técnica H/V, se procedió a disponer del mapa catastral del área urbana de Chaclacayo a fin de definir la distribución y el número de puntos para la toma de datos de vibración ambiental. La información geológica y geomorfológica fue importante para lograr una mejor distribución de los puntos de medición de data sísmica. En la Figura 34 se muestra la distribución de los 192 puntos de medición de vibración ambiental. Para cada punto se ha tomado un tiempo de registro de 20 minutos, lo cual permite tener buena cantidad de información para su posterior análisis.

El análisis de la información recolectada en los diferentes puntos de medida, permite obtener espectros de Fourier para sus tres componentes de registro y a partir de la razón de estos (componentes horizontales / componente vertical), se determina las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes para la vibración natural del sub-suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa. En la Figura 35 se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de la información obtenida en campo.

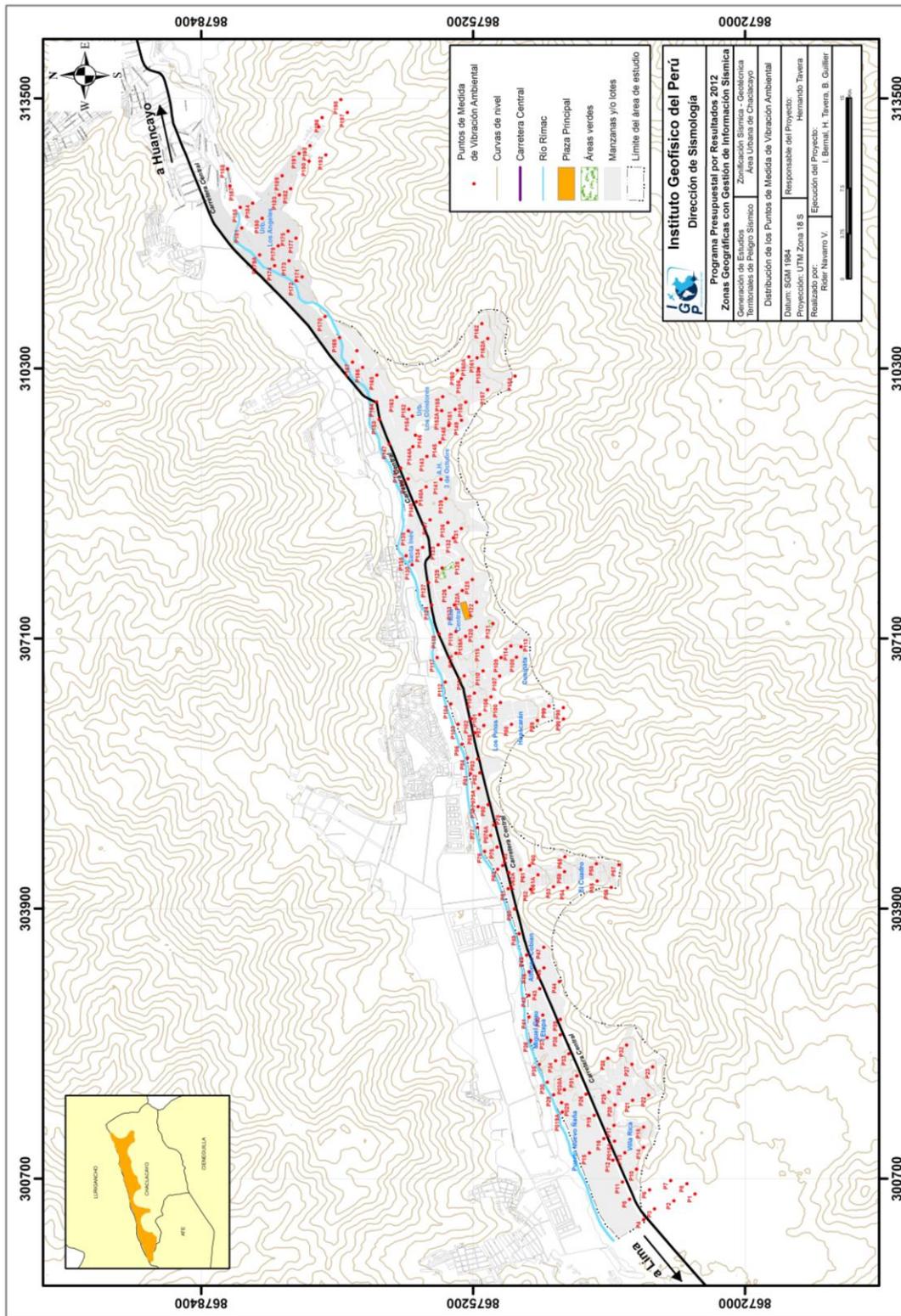


Figura 34: Mapa de la zona de estudio y distribución de puntos de registro de vibración ambiental

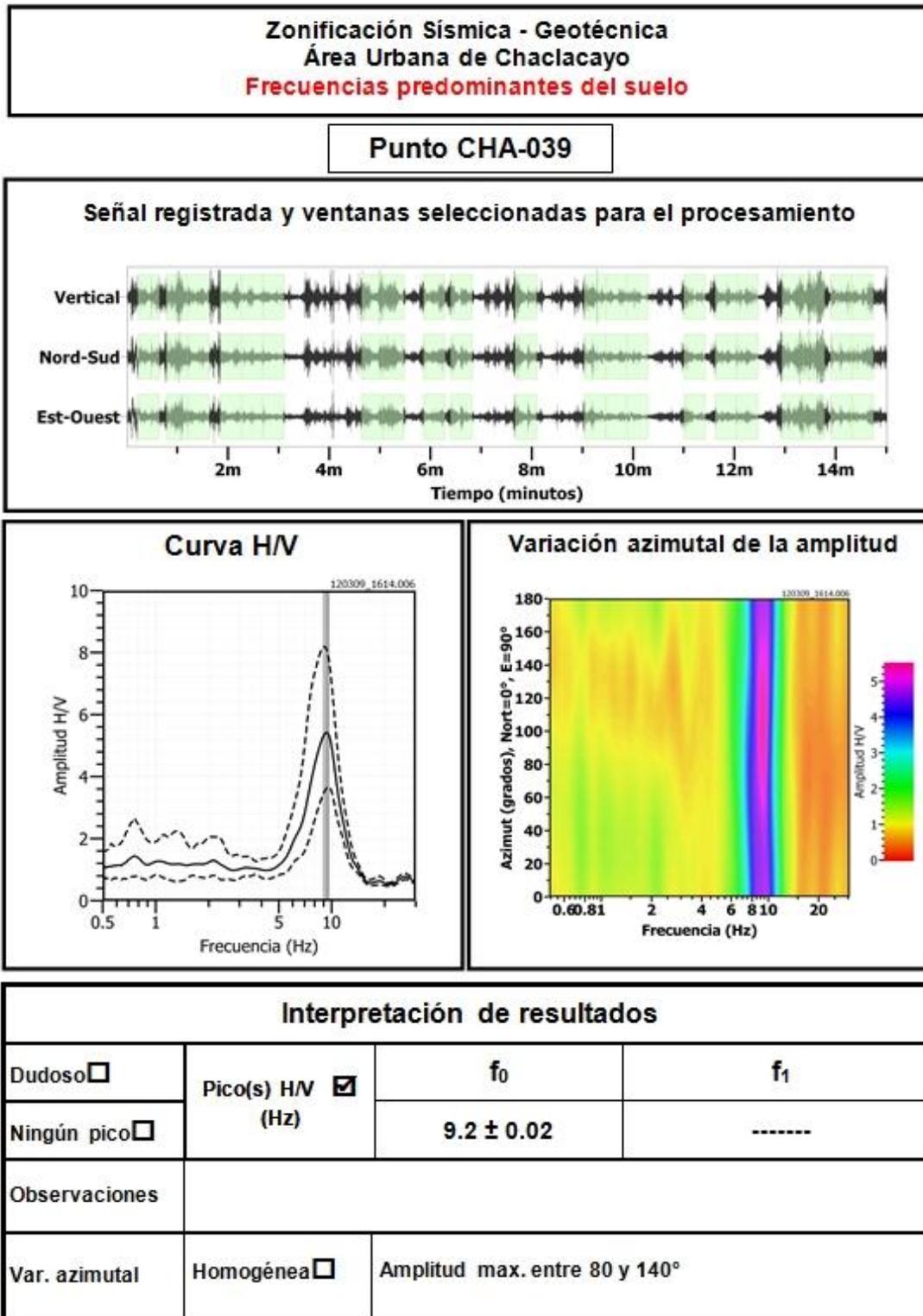


Figura 35: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CHA-039 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio, razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Espectrograma y Abajo: resultados.

- Distribución de frecuencias Dominantes: A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes considerando diferentes rangos: entre 0.5 y 2.0 Hz; entre 2.0 y 10 Hz; y entre 10 y 30 Hz. Esta clasificación se hace en razón que varios puntos de medición presentan entre dos y tres picos de frecuencias predominantes, los cuales sugieren que el suelo es bastante complejo y por ello se requiere de un análisis más detallado para comprender mejor el comportamiento dinámico del suelo.

El análisis de la información debe considerar los siguientes aspectos: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006).

A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de los diferentes rangos de frecuencias identificadas para el área urbana de Chaclacayo.

Rango de frecuencias entre 0.5 – 2.0Hz: En la Figura 36, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes para el rango de 0.5 – 2.0 Hz, observándose que dichos valores se distribuyen sobre toda el área de estudio. En la Figura 37, se presenta como ejemplo la razón espectral obtenida para los puntos CHA-03, CHA-47, CHA-108, CHA-137, CHA-162, CHA-188, observándose en todos que la función H/V presenta forma de campana, cubriendo un amplio rango de frecuencias en su base y en algunos casos, un decaimiento alargado y/o irregular hacia valores altos de frecuencia. En algunos puntos, esta característica enmascara los picos de frecuencias entre 2 a 5Hz, lo cual sugiere la presencia de suelos heterogéneos.

En la Figura 38 se presenta la distribución espacial de 6 razones espectrales representativas para este rango de frecuencias a fin de buscar evidenciar su relación con los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos de la zona. En los espectros correspondientes a puntos alejados del río Rimac, la curva H/V enmascara a las frecuencias mayores a 2 Hz; mientras que, para puntos próximos al río, dichas frecuencias sobresalen nítidamente.

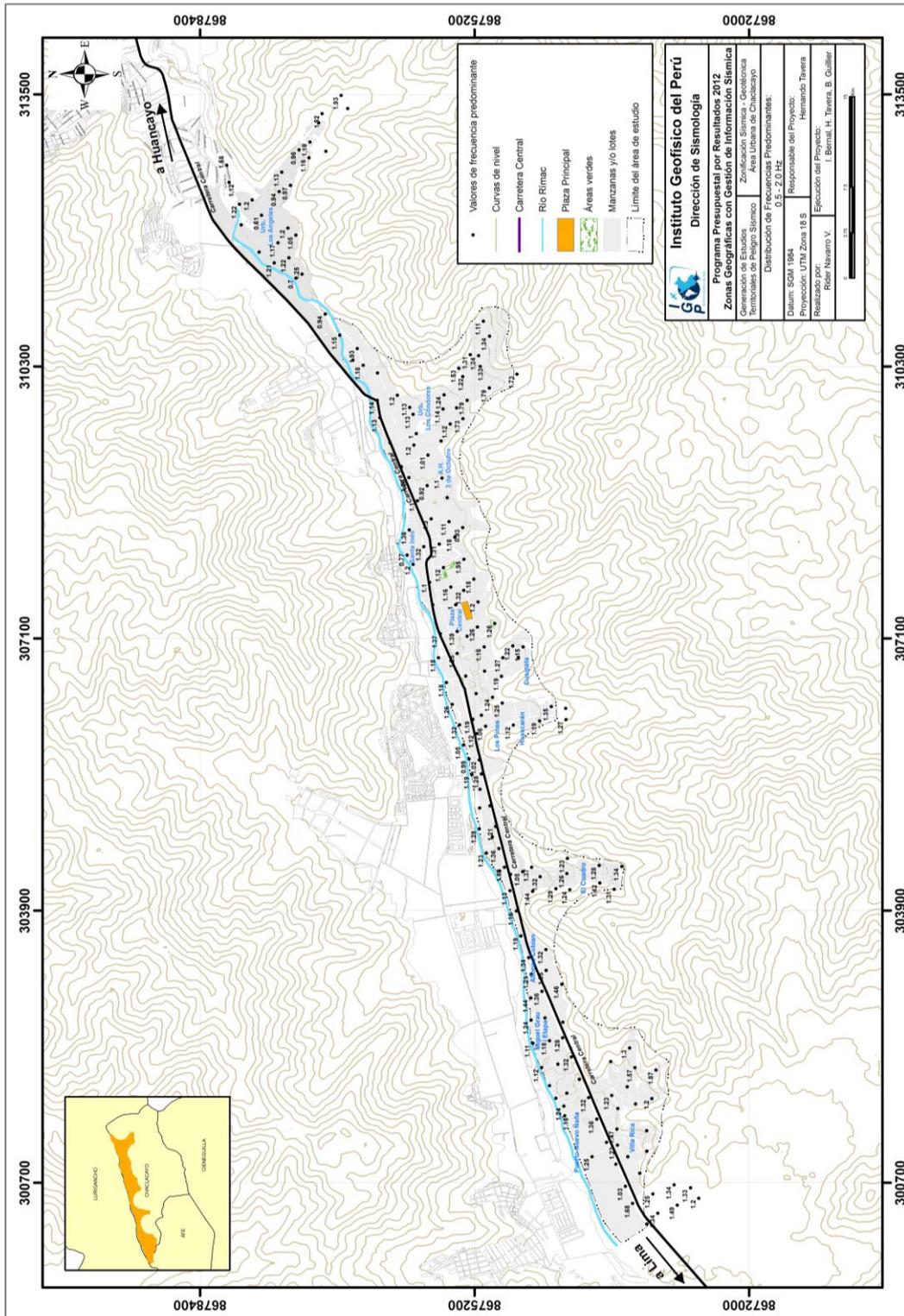


Figura 36: Mapa del área de estudio y distribución espacial de frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 2.0 Hz. Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango.

Considerando que los picos de frecuencias están asociados a la presencia de una o más capas sedimentarias, cerca del río las capas de poco espesor fueron erosionadas; mientras que, a mayor distancia del río, ellas están presentes.

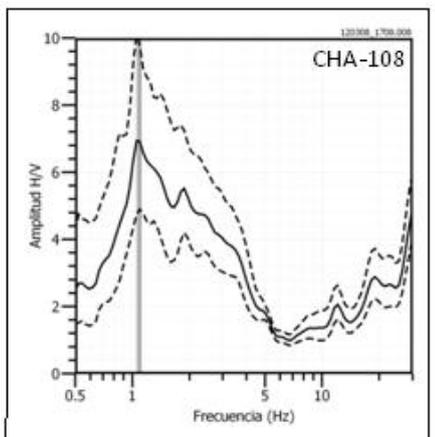
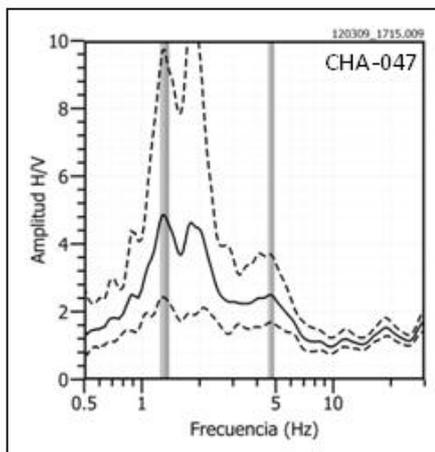
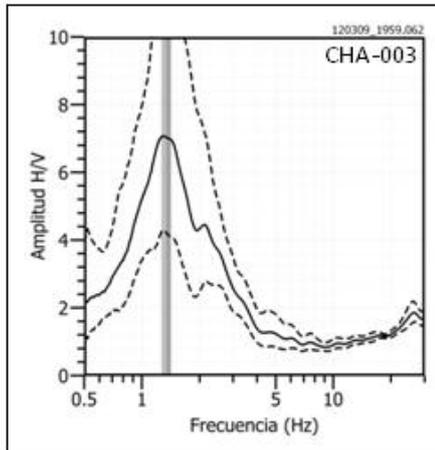


Figura 37: Ejemplos de razones espectrales (H/V) con frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 2.0Hz. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

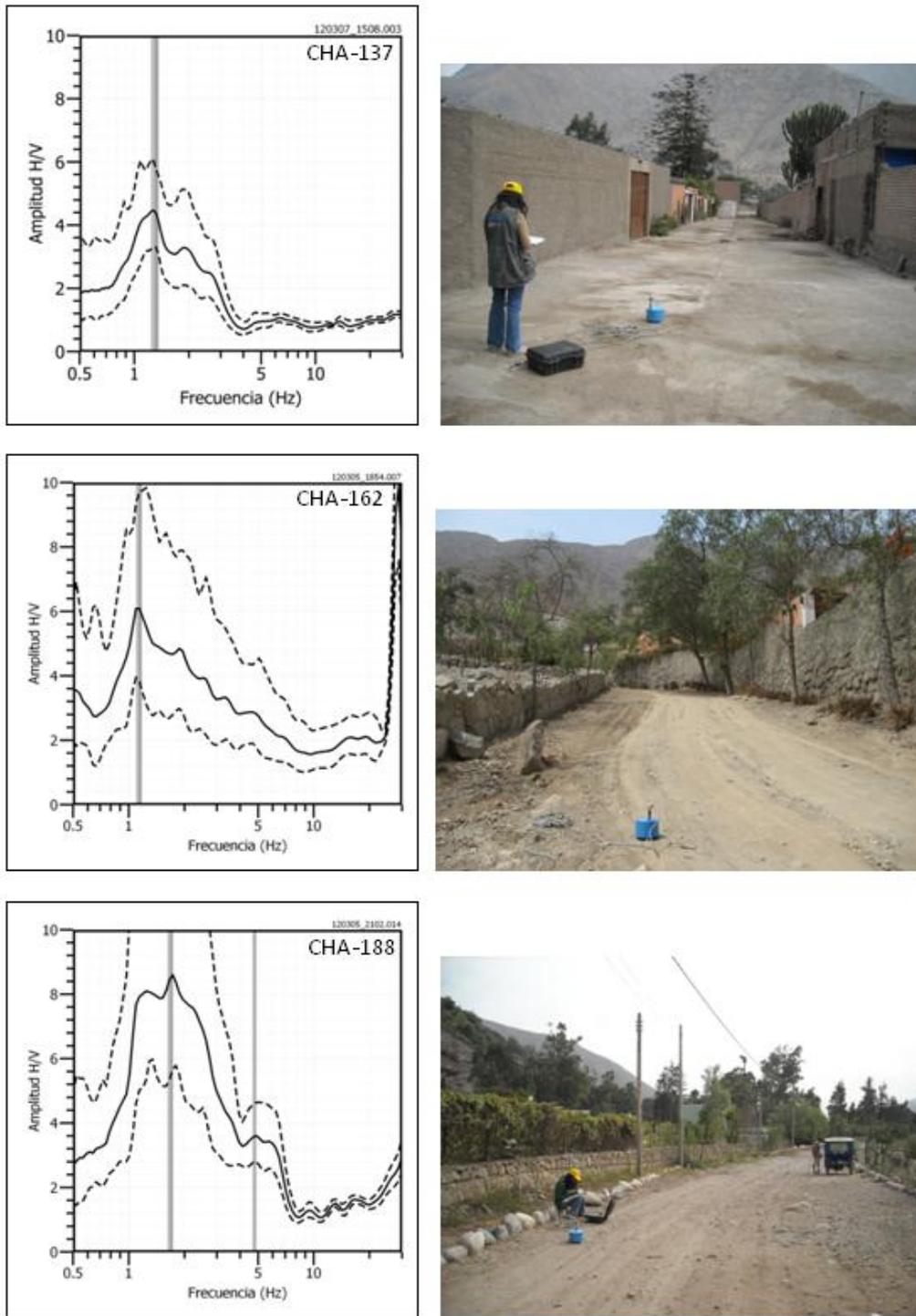


Figura 37: ...//Continuación. Ejemplos de Razones espectrales (H/V) donde la frecuencia predominante sobresale en el rango de 0.5 - 2.0Hz. Las líneas continuas, representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias bajas.

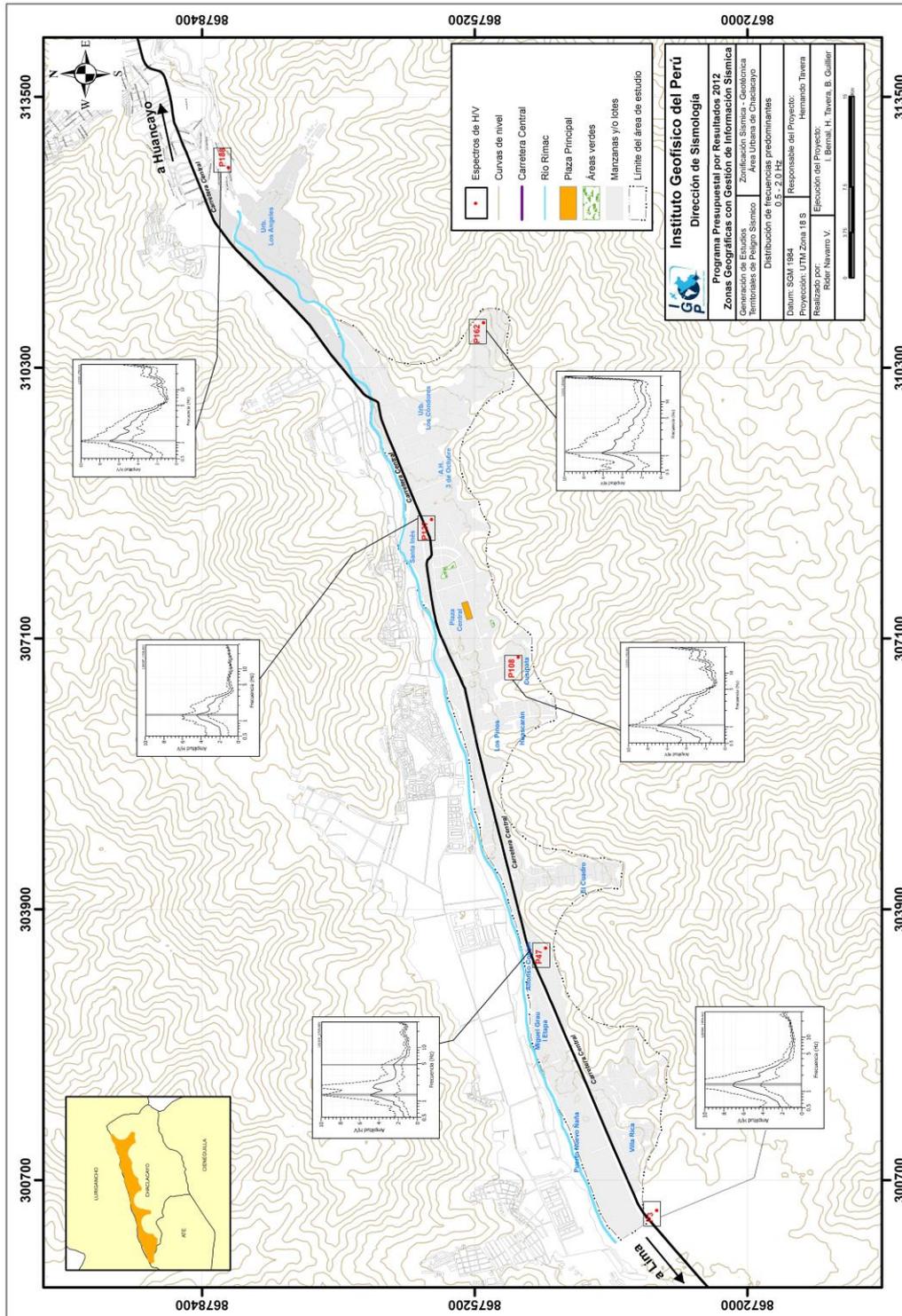


Figura 38: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 0.5 y 2.0 Hz. En las gráficas, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

Por otro lado, es sabido que las frecuencias predominantes menores a 1 Hz son asociados al ruido producido por el oleaje del mar o cambios meteorológicos, pero en el caso del presente estudio, al ser notorio la presencia de este pico de frecuencias predominantes, es posible asociarlos a los efectos de resonancia de ondas atrapadas en la cuenca del río Rimac, tal como indica Toten et al (2004). Del mismo modo, Fah et al (2002) asocia la presencia de estas frecuencias a la geometría del valle, ya que la respuesta es diferente si la interface suelo-roca es superficial o profunda. En el primer caso, el campo de ondas es dominado por la propagación lateral de ondas superficiales y en el segundo, la interferencia de estas ondas con la propagación lateral generan ondas de baja frecuencia, en ambos casos habría efectos de resonancia local. En estos dos escenarios, el rango de frecuencias podría afectar a edificaciones con más de 5 niveles.

Rango de frecuencias de 2 a 10 Hz: En la Figura 39 se presenta el mapa de distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes comprendidos entre 2 y 10Hz, y en la Figura 40 algunos ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CHA-07, CHA-16A, CHA-76, CHA-86, CHA-128, CHA190, CHA-162A, CHA-163, CHA-39. De acuerdo a la distribución de estos valores, se puede diferenciar la presencia de tres sub-áreas (A1, A2 y A3) en donde las frecuencias presentan valores similares, siendo sus principales características las siguientes (Figura 39):

Área 1: *Considera las zonas donde las frecuencias predominantes varían entre 2.0 y 4.0 Hz, las mismas que se encuentran ubicadas en los extremos E y O de la Plaza Central y sobre el A.H. Miguel Grau I Etapa, y otras de menor dimensión en la zona central del área de estudio. Estas frecuencias se distribuyen en su mayoría hacia el centro de la cuenca del río Rimac. Para esta zona, las áreas sombreadas presentan amplificaciones menores a 2 veces.*

Área 2: *Se observa el predominio de frecuencias que varían entre 4.0 y 20 Hz, las mismos que se incrementan conforme se tiende hacia las partes altas (cerros). Las áreas sombreadas presentan amplificaciones menores a 2 veces.*

Área 3: *Considera a puntos de medición ubicados en las zonas de gris y corresponden a puntos para los cuales no se ha identificado frecuencias predominantes.*

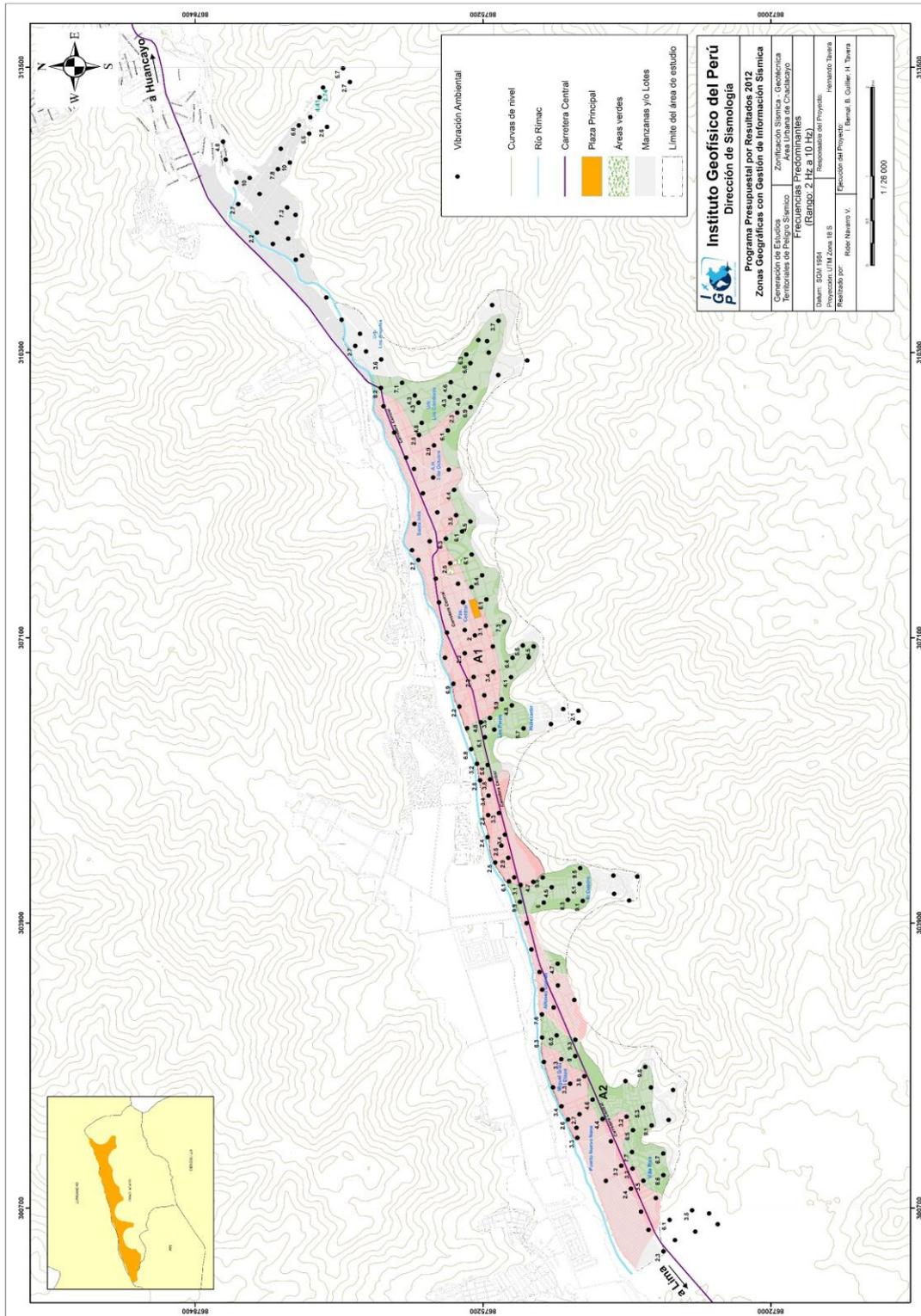


Figura 39: Mapa del área de estudio y distribución espacial de las frecuencias predominantes en el rango de 2.0-10.0 Hz. Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango.

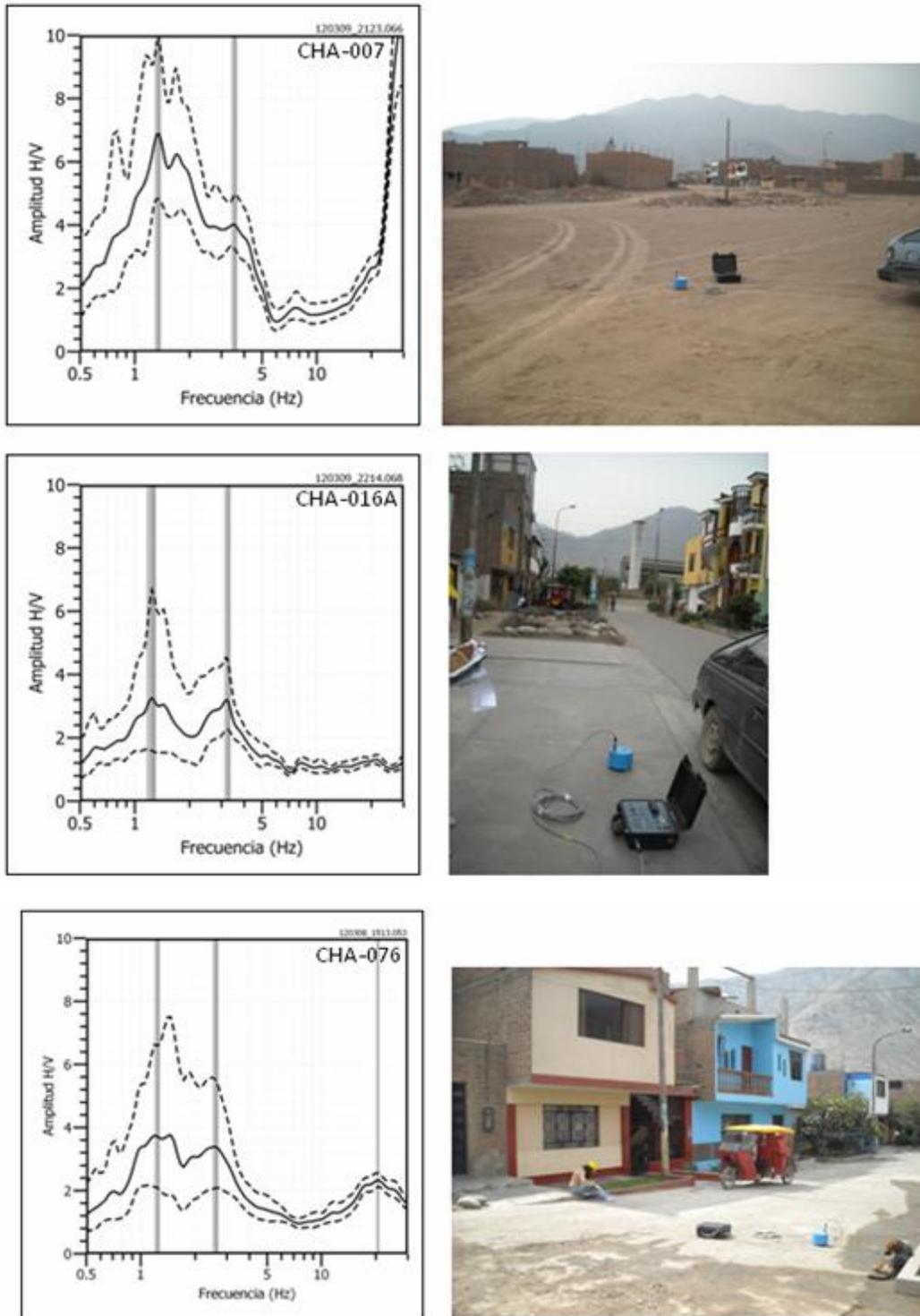


Figura 40: Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CHA-07, CHA-16 y CHA-76 ubicados sobre la sub-área A1 (Figura 39).

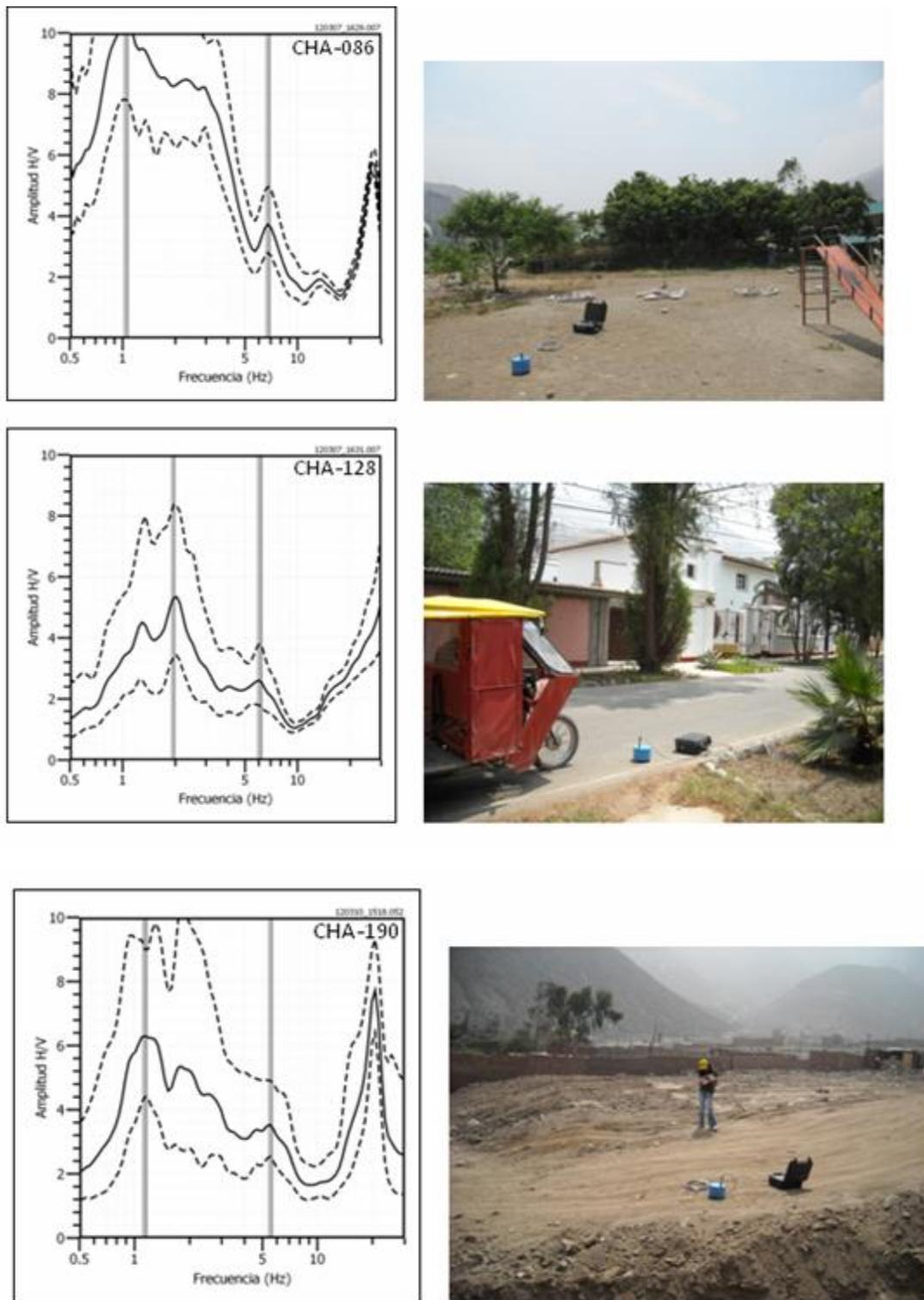


Figura 40: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CHA-086, CHA-128 y CHA-190 ubicados sobre el Área A2 (Figura 39).

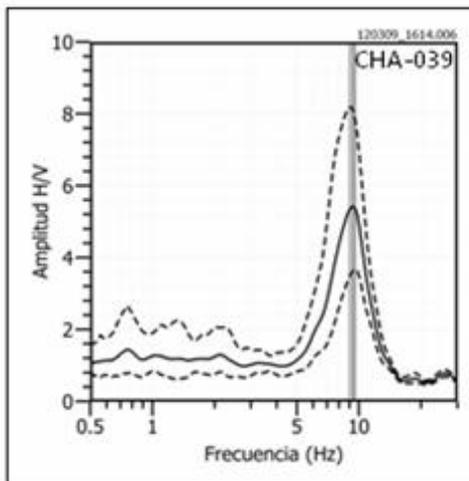
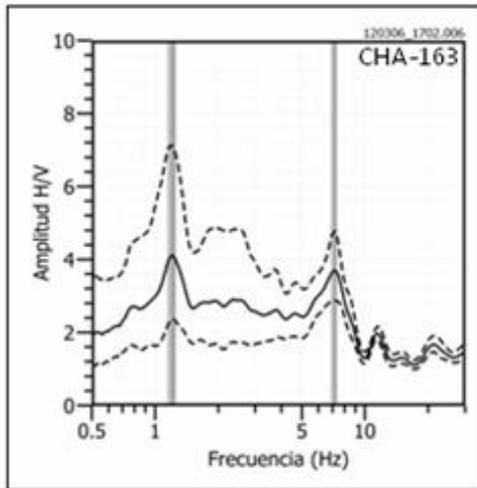
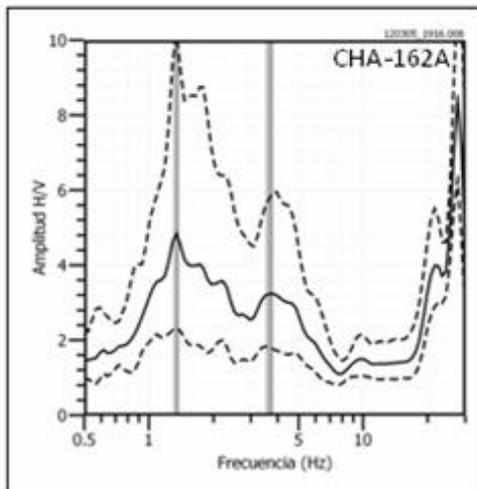


Figura 40: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CHA-162A, CHA-163 y CHA-039 ubicados, el primero sobre el Área 1 y los dos siguientes sobre el Área 2, ambos con la diferencia que para el punto CHA-163 sobresalen dos picos (1.2Hz y 7.0Hz) y en CHA-039 un pico a 9.0Hz con una amplificación máxima relativa de 6 veces.

Rango de frecuencias de 10 a 30Hz: En la Figura 41 se presenta la distribución espacial de frecuencias predominantes para el rango entre 10 y 30 Hz, y en la Figura 42, ejemplos de razones espectrales obtenidos para los puntos CHA-010, CHA-044, CHA-136, CHA-41, CHA-103 y CHA-142 considerados como representativos de la zona de estudio. De acuerdo a la distribución espacial de estos valores, ellos abarcan un 30% del área de estudio, concentrándose en la zona céntrica sobre áreas pequeñas con amplificaciones de al menos 2 veces.

El rango de frecuencias analizado está asociado a la presencia de superficies de menor espesor con respecto a las zonas caracterizadas con valores menores para las frecuencias predominantes. Estas superficies están presentes en zonas próximas al río Rimac y sobre posibles puntos de relleno antrópico. En la Figura 43 se muestra, como ejemplo, el espectro de razones espectrales para los puntos CHA-041, CHA-103 y CHA-142, ubicados próximos al río Rimac: En el primero sobresalen frecuencias mayores a 20 Hz con amplificaciones relativas de hasta 8 veces y en los dos siguientes puntos, frecuencias menores a 20 Hz con amplificaciones de 2 a 6 veces; además de un pico alrededor de 1 Hz con amplificaciones máximas relativas que varían entre 3-6 veces. En los puntos CHA-010, CHA-044 y CHA-136 ubicados entre el río Rimac y los cerros en dirección sur, sobresalen frecuencias predominantes entre 10 y 20 Hz con amplificaciones que fluctúan entre 2 a 8 veces.

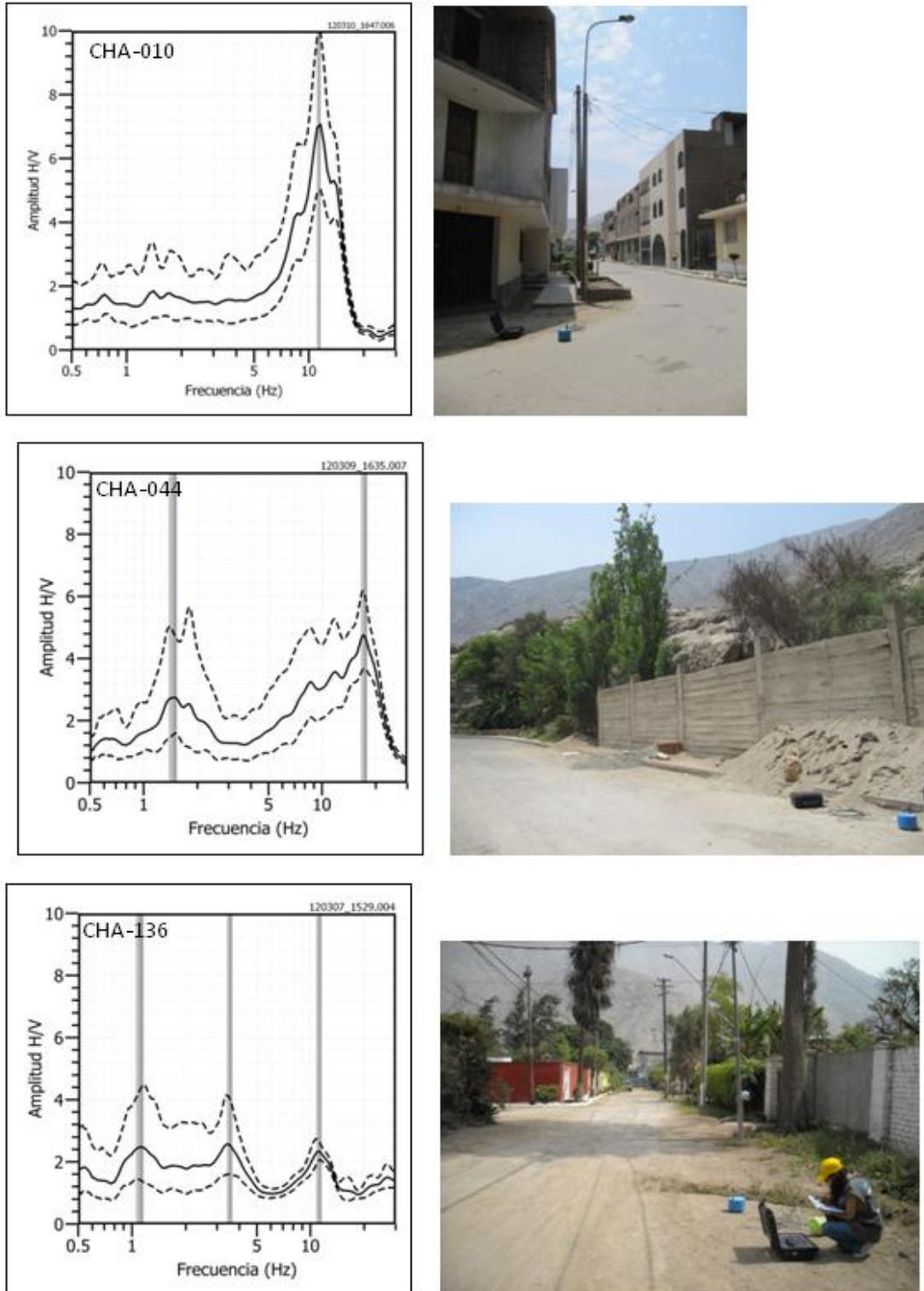


Figura 42: Ejemplos de razones espectrales en el rango de frecuencias de 10 a 30 Hz, obtenidas para los puntos CHA-010, CHA-044 y CHA-136.

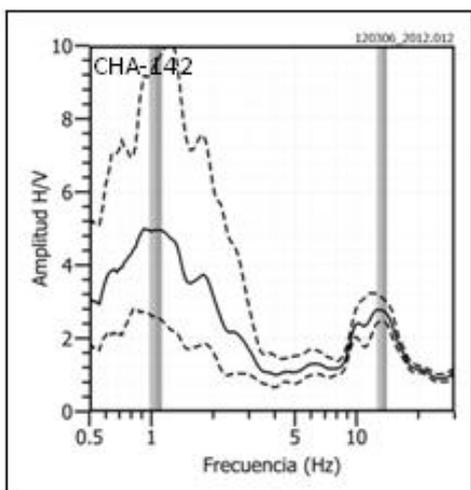
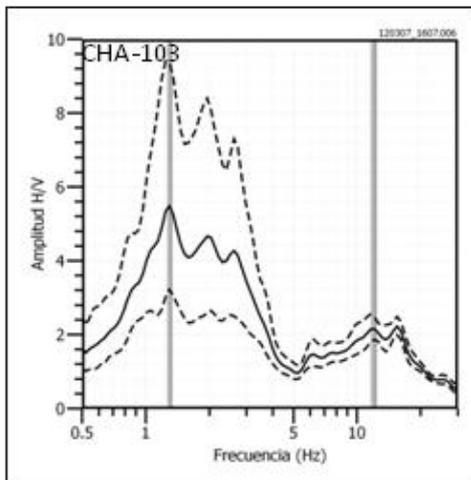
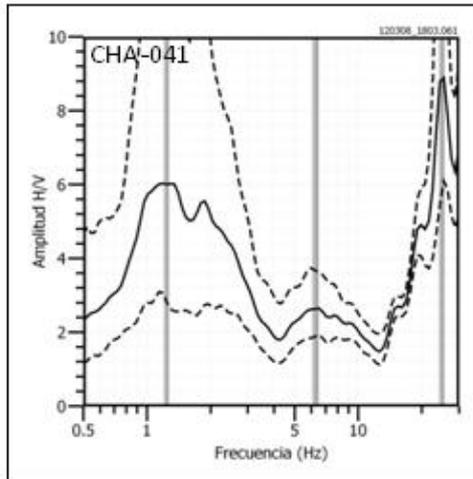


Figura 42: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales en el rango de frecuencias de 10 a 30 Hz, obtenidas para los puntos CHA-041, CHA-108 y CHA-142.

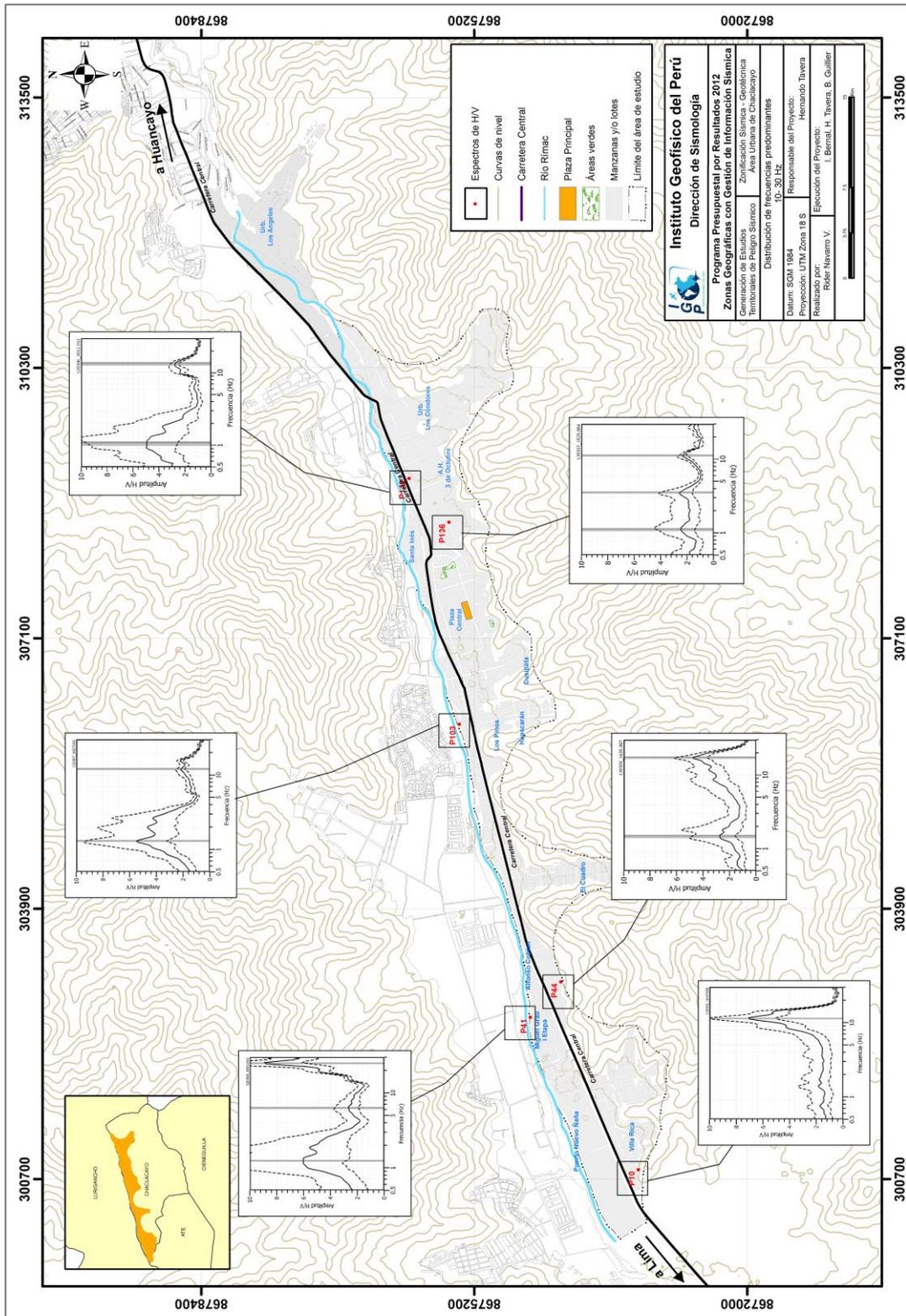


Figura 43: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 10 y 30 Hz. En las gráficas, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

9.4.2.- Estudios Sísmicos con la Técnica de Arreglos Lineales

La técnica MASW (Multichannel Análisis of Surface Waves) permite conocer la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales registradas por arreglos lineales de estaciones sísmicas. Como resultado de la inversión de la curva de dispersión se obtiene el perfil de velocidades para las ondas de corte (V_s) en el punto central de cada arreglo.

Para el registro de la data se ha utilizado un equipo de refracción sísmica que consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE (24 canales), geófonos de 4.5 Hz y registros a una resolución de 24 bits con un rango dinámico mayor a 110dB. Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos (entre 3 y 6 metros) y el punto de impacto del martillo, fue variable ya que dependía de la geomorfología de la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos. Para eliminar el registro de ruido de fondo se realizaron entre 6 y 12 golpes en cada punto de disparo, permitiendo el estaqueo temporal de los datos y así, aumentar la coherencia en los resultados. La calidad del registro fue verificada en campo y analizada con el software Geopsy 2.8. En la Figura 44, se presenta el mapa del área urbana de Chaclacayo con la ubicación espacial de las 7 líneas de refracción sísmica codificadas como:

- .- Líneas LR01-CHA y LR02-CHA: extremo SO de la urbanización de Villa Rica,
- .- Línea lineal LR03-CHA: extremo NE de la urbanización de Villa Rica,
- .- Líneas LR04-CHA y LR05-CHA: al SO de la Plaza Central sobre la Urb. Los Pinos,
- .- Línea LR06-CHA: al NO de la Plaza Central entre el Río Rimac y la carretera Central y
- .- Línea LR07-CHA: al NE de la Plaza Central

En la Figura 45 de presente imágenes de la toma de datos en campo y en la Figura 46, ejemplos de los registros obtenidos.

Las curvas de dispersión de ondas obtenidas para cada tendido y número de impactos, fueron promediadas y luego invertidas usando el algoritmo DINVER a fin de obtener perfiles de velocidad para puntos específicos de toma de datos. Para el análisis de los resultados se considera la clasificación que la Norma E030 establece para cada tipo de suelo en base a los siguientes rangos de velocidades para las ondas de corte (V_s):

- .- Rocas duras, velocidades $V_s > 1,500$ m/s
- .- Rocas moderadamente duras, velocidades V_s de 760 a 1500 m/s
- .- Suelo muy duro o roca blanda, velocidades V_s de 360 a 760 m/s
- .- Suelo duro, velocidades V_s de 180 a 360 m/s
- .- Suelo blando, velocidades $V_s < 180$ m/s



Figura 45: Imágenes de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de data

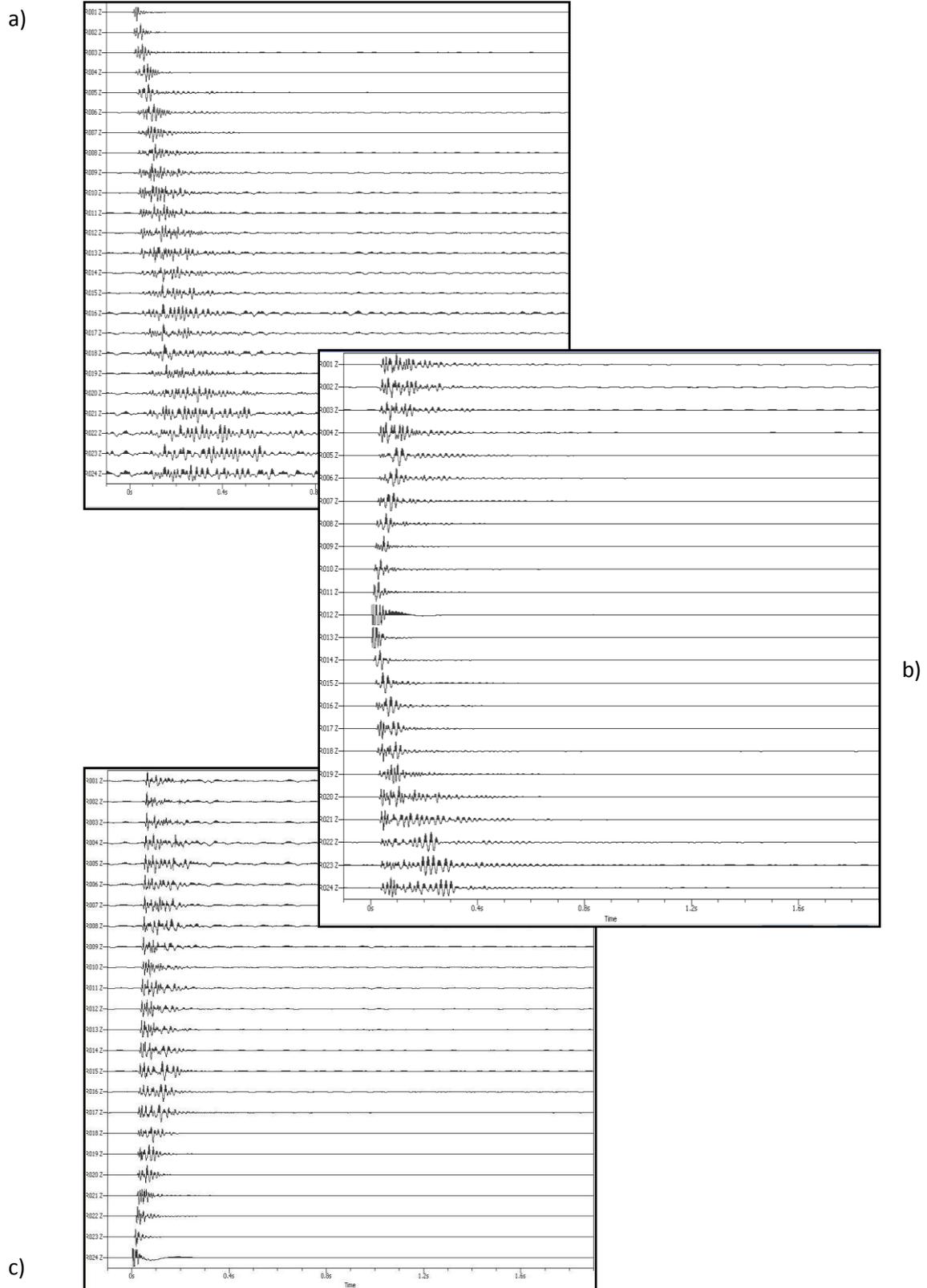


Figura 46: Ejemplos de registros obtenidos en los 24 canales considerando el golpe de martillo en ambos extremos (a,c) y el centro del arreglo (b).

Arreglos Lineales LR01-CHA y LR02-CHA: Ambos arreglos fueron realizados en la urbanización de Villa Rica, el primero con una orientación SO-NE y el segundo NO-SE, considerando como punto común, su parte media. De acuerdo a los perfiles elaborados para LR01-CHA (Figura 47) y LR02-CHA (Figura 48), se ha identificado la presencia de dos capas. La primera superficial con espesores de 6 a 10 metros y velocidades V_s alrededor de 400 m/s correspondientes a suelos duros. La segunda capa presenta espesores de 20 a 25 metros y velocidades V_s alrededor de 700 m/s correspondientes a suelos muy duros y/o rocas moderadamente duras. En ambos casos, la superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de hasta 1000m/s y corresponde a rocas moderadamente duras.

Arreglo Lineal LR03-CHA: Este arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo NE de la urbanización Villa Rica (Figura 49). En el perfil de velocidad se ha diferenciado una primera capa superficial de 5 a 6 metros de espesor con velocidades V_s promedio de 300 m/s correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 500 m/s y corresponde a suelos muy duros.

Arreglos Lineales LR04-CHA y LR05-CHA: Ambos arreglos fueron realizados en el extremo SO de la Plaza Central sobre la Urb. Los Pinos (Figura 50), el primero tiene una orientación NE-SO y el segundo SE-NO considerando su punto medio, común para ambos arreglos. De acuerdo a los perfiles elaborados (Figuras 51), se ha identificado la presencia de dos capas. La primera superficial con espesores de 5 metros y velocidades V_s de 240 m/s correspondientes a suelos duros. La segunda capa presenta espesores de 10 a 15 metros y velocidades V_s de 380 m/s correspondientes a suelos muy duros. En ambos casos, la superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de hasta 600m/s y corresponde a suelos muy duros y/o rocas blandas.

Arreglo Lineal LR06-CHA: Este arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo NO de la Plaza Central, entre el río Rimac y la Carretera Central (Figura 52). En el perfil se ha identificado la existencia de dos capas, la primera superficial con espesores de 5 a 7 metros y velocidades V_s de 440 m/s correspondientes a suelos muy duros. La segunda capa con espesores de 10 metros y velocidades V_s de 500 m/s correspondiente a suelos muy duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de hasta 1000 m/s correspondientes a rocas moderadamente duras. Estos resultados muestran valores

altos para las velocidades de las ondas Vs; por lo tanto, se requiere realizar estudios más detallados.

Arreglo Lineal LR07-CHA: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado al NE de la Plaza Central (Figura 53). En el perfil de velocidad se ha identificado la presencia de dos capas, la primera superficial con espesores de 5 metros y velocidades Vs de 400 m/s correspondientes a suelos muy duros. La segunda capa con espesores de 10 metros y velocidades Vs de 600 m/s correspondientes a suelos muy duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades Vs de hasta 800 m/s correspondiente a rocas moderadamente duras.

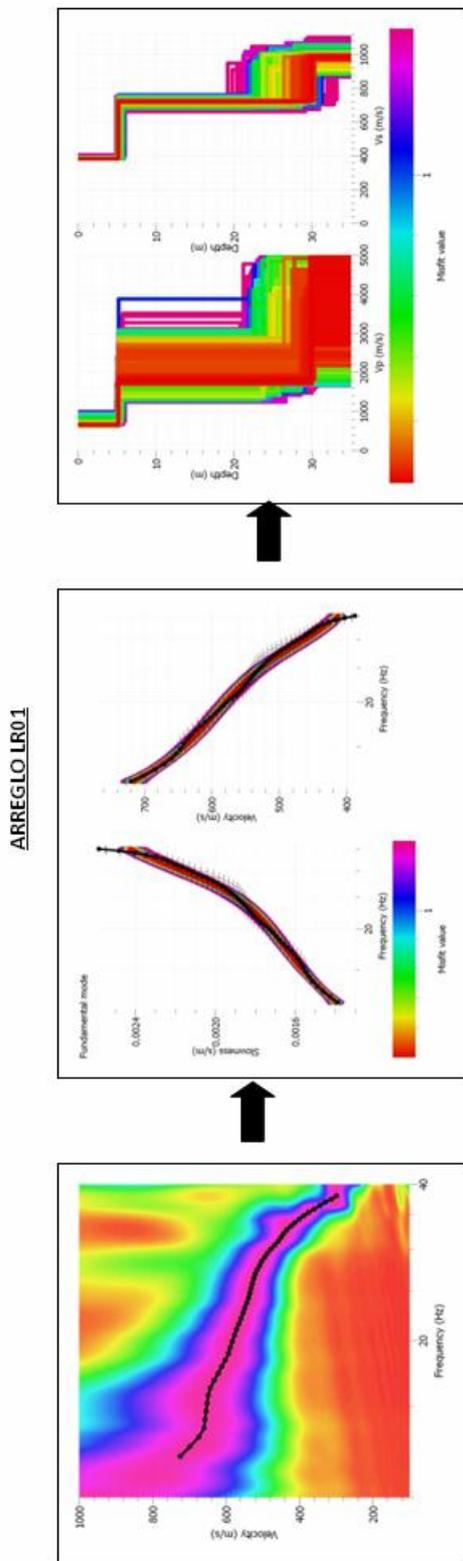


Fig. 1. Imagen de Dispersión

Fig. 2. Curva de Dispersión

Fig. 3. Perfiles de Suelo

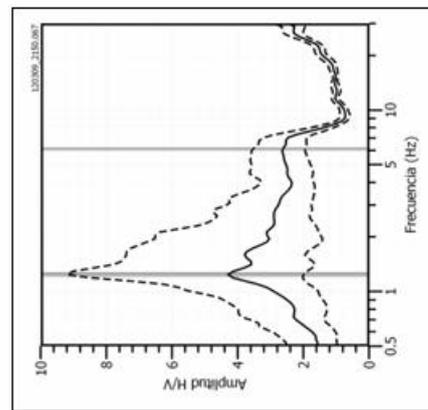


Fig. 5. Punto cercano H/V_ Cha06

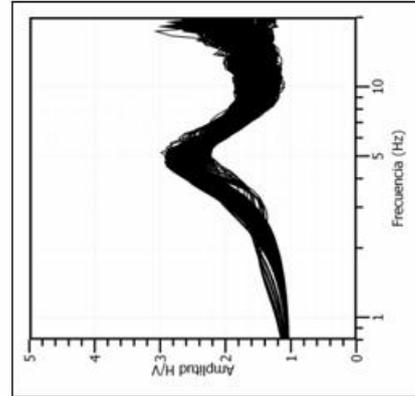


Fig. 4. Función de Transferencia Teórica



Figura 47: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR01-CHA (ver Figura 44)

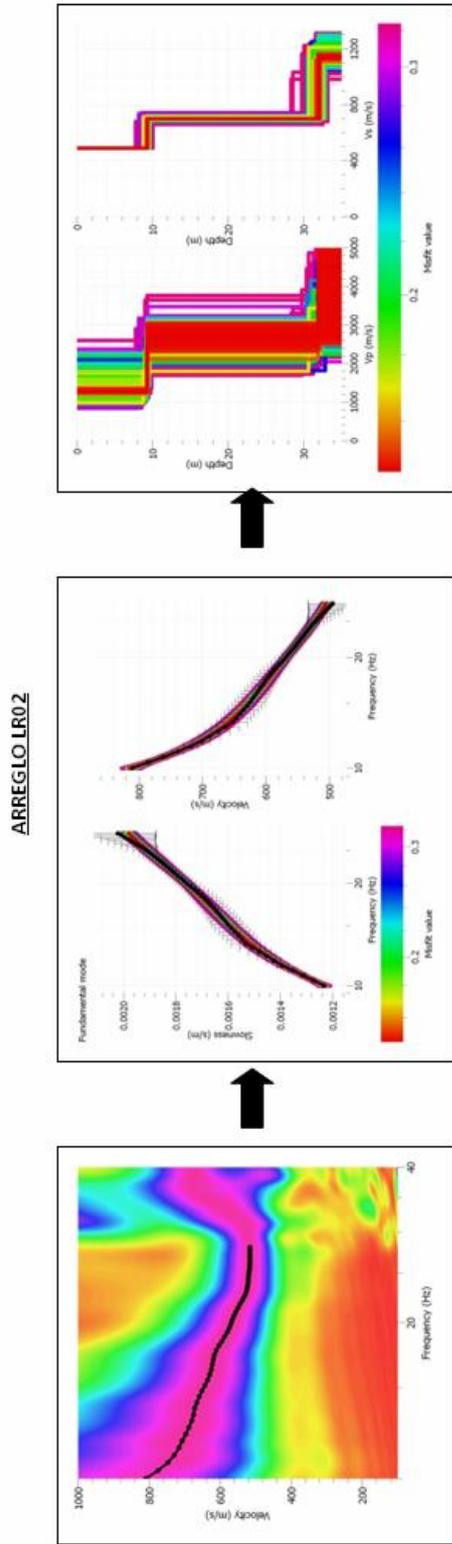


Fig. 1. Imagen de Dispersión

Fig. 2. Curva de Dispersión

Fig. 3. Perfiles de Suelo

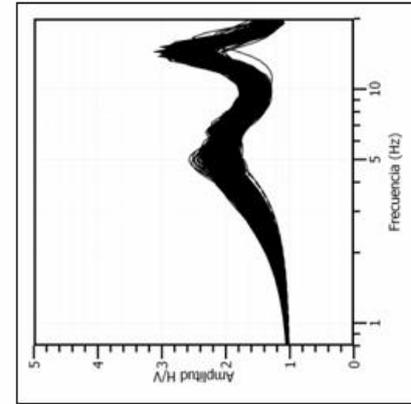


Fig. 4. Función de Transferencia Teórica

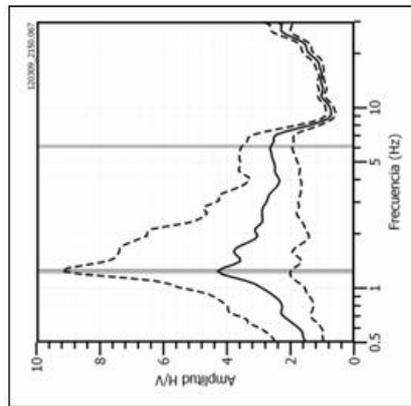


Fig. 5. Punto cercano H/V_ Cha06

Figura 48: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR02-CHA (ver Figura 44)

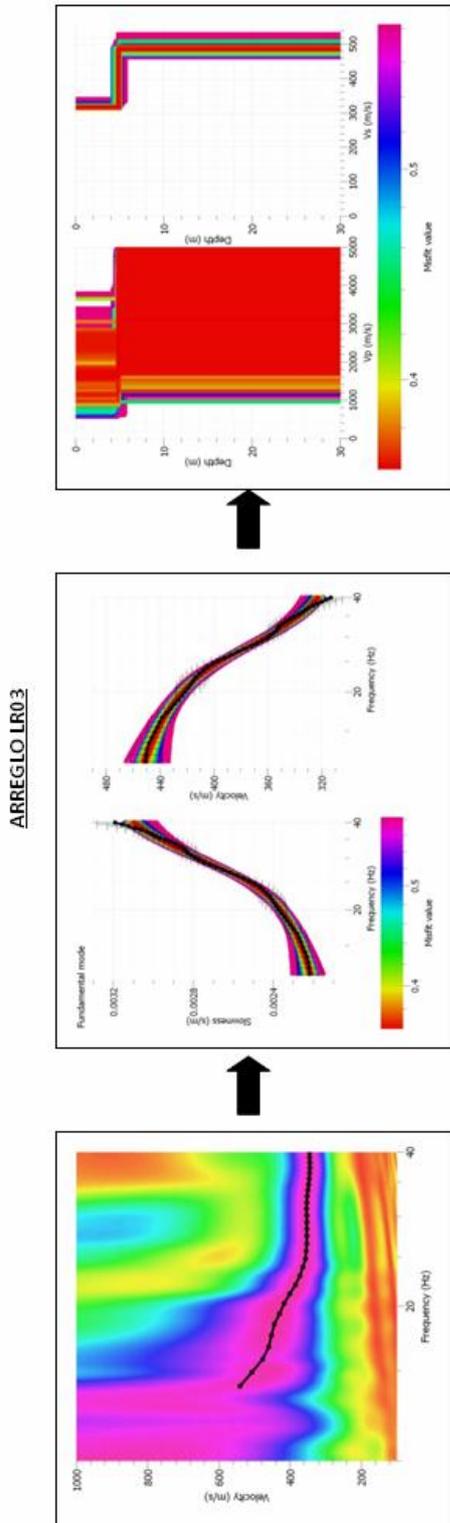


Fig. 1. Imagen de Dispersión

Fig. 2. Curva de Dispersión

Fig. 3. Perfiles de Suelo

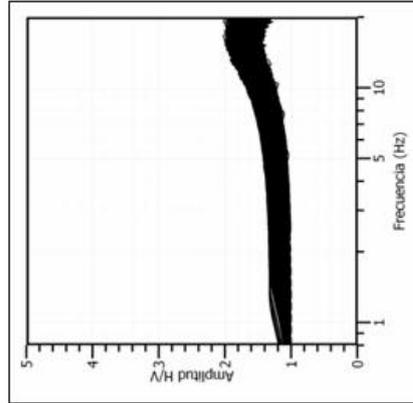


Fig. 4. Función de Transferencia Teórica

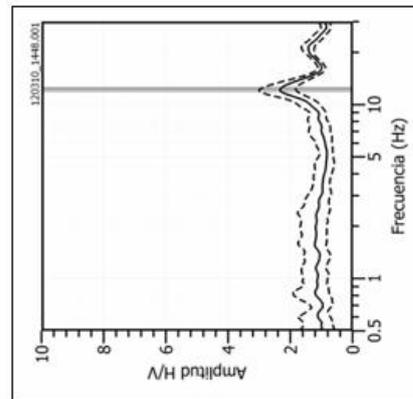


Fig. 5. Punto cercano H/V_ Cha28

Figura 49: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR03 – CHA (ver Figura 44)

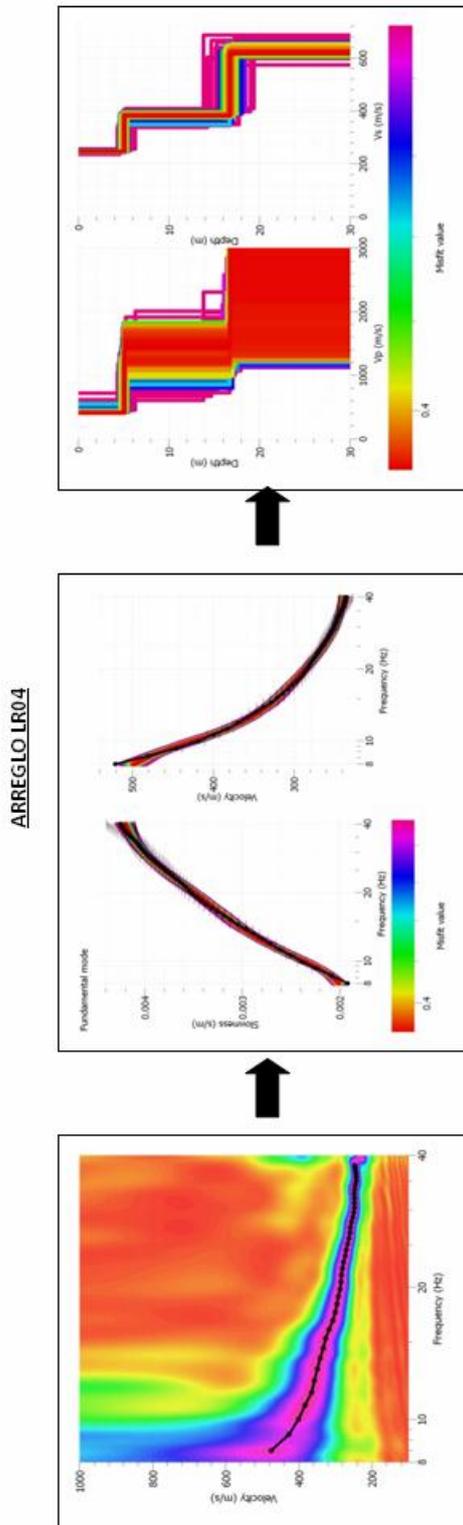


Fig. 1. Imagen de Dispersión

Fig. 2. Curva de Dispersión

Fig. 3. Perfiles de Suelo

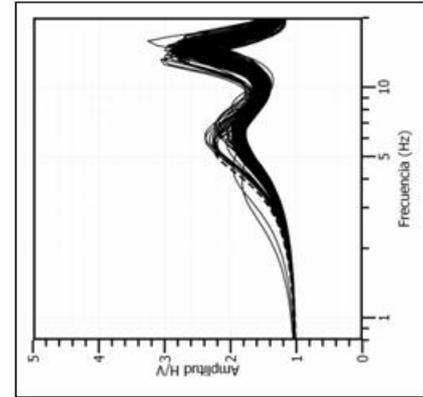


Fig. 4. Función de Transferencia Teórica

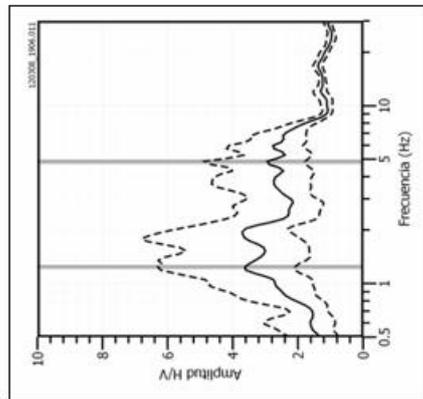


Fig. 5. Punto cercano H/V_ ChaL100

Figura 50: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR04 – CHA (ver Figura 44)

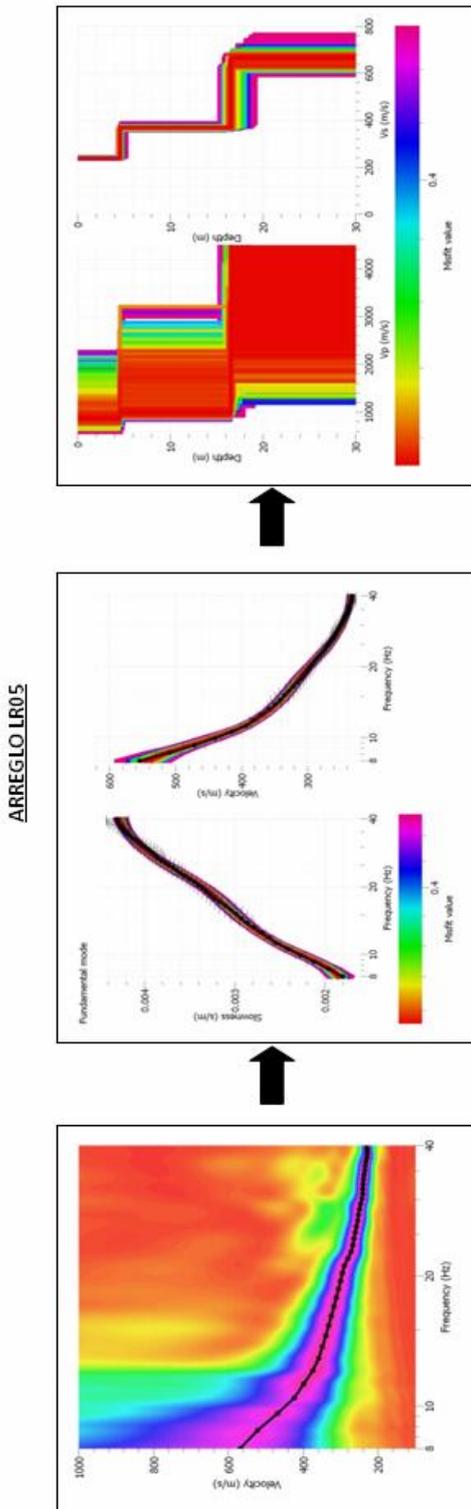


Fig. 1. Imagen de Dispersión

Fig. 2. Curva de Dispersión

Fig. 3. Perfiles de Suelo

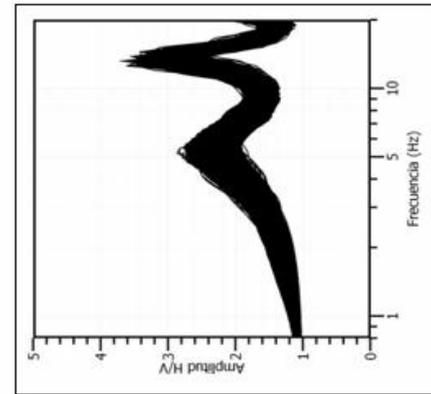


Fig. 4. Función de Transferencia Teórica

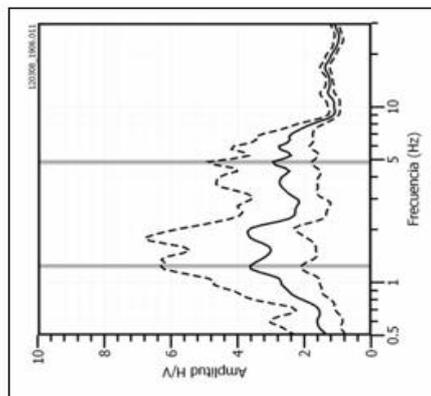


Fig. 5. Punto cercano H/V/ Cha100

Figura 51: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR05 – CHA (ver Figura 44)

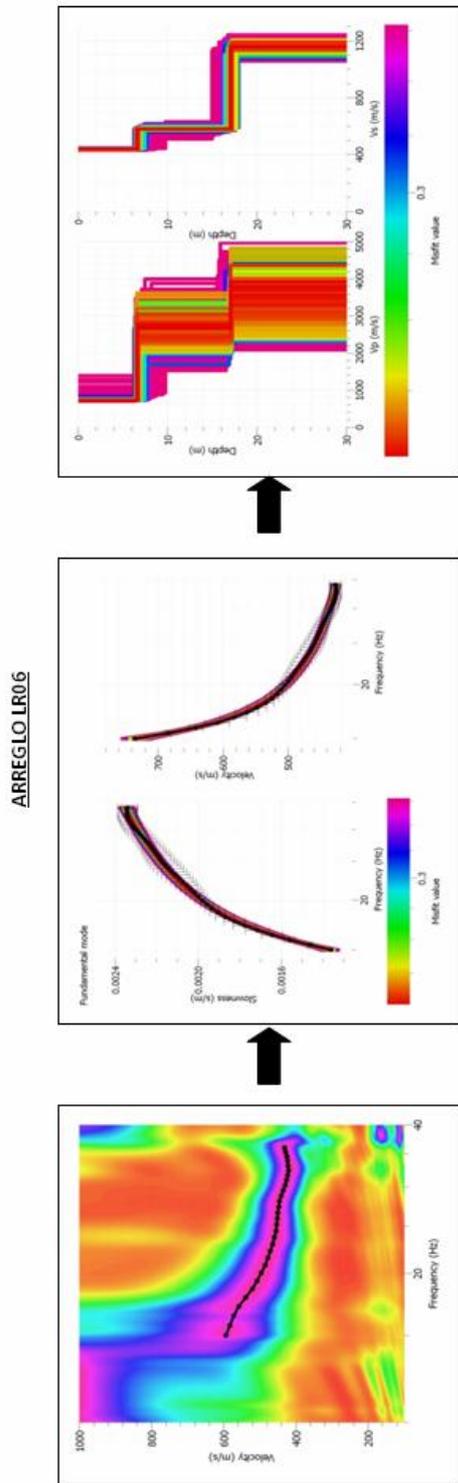


Fig. 1. Imagen de Dispersión

Fig. 2. Curva de Dispersión

Fig. 3. Perfiles de Suelo

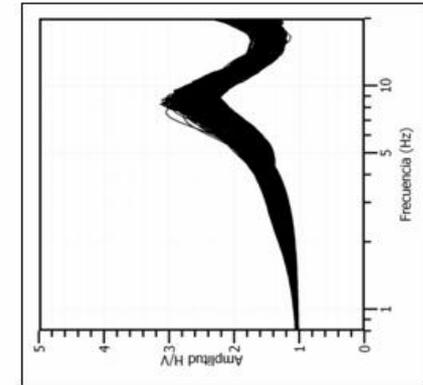


Fig. 4. Función de Transferencia Teórica

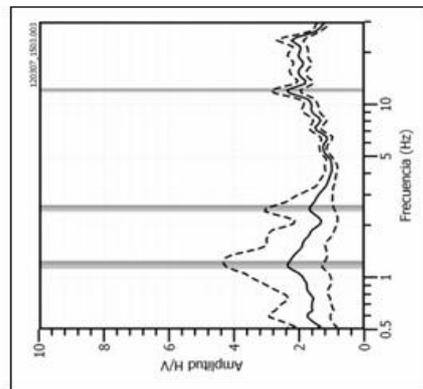


Fig. 5. Punto cercano H/V_ Chal17

Figura 52: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR06 – CHA (ver Figura 44)

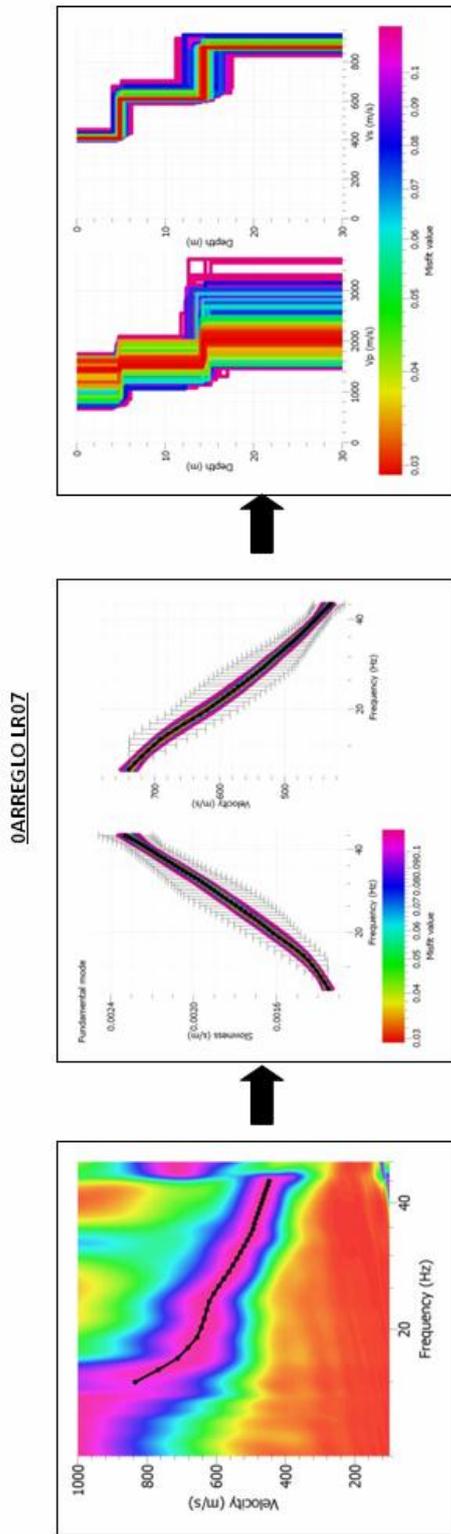


Fig. 1. Imagen de Dispersión

Fig. 2. Curva de Dispersión Inicio de Linea

Fig. 3. Perfiles de Suelo de Inicio de Linea

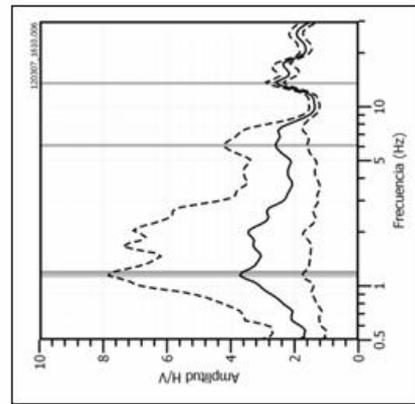


Fig. 5. Punto cercano H/V_ Cha132

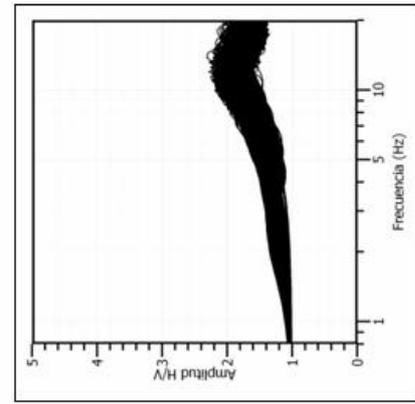


Fig. 4. Función de Transferencia Teórica



Figura 53: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR07 – CHA (ver Figura 44)

9.4.3.- Estudios Sísmicos con la Técnica de Arreglos Circulares

Los métodos de autocorrelación espacial (SPAC) y análisis de Frecuencia vs Número de Onda (F-K), permiten obtener curvas de dispersión a partir de las cuales se estima el perfil de velocidades de ondas Vs en el subsuelo. En la zona urbana de Chaclacayo se realizaron tres arreglos circulares considerando una estación de base y otras 10 estaciones sísmicas distribuidas de manera equidistante a distancias radiales de 5, 20 y 30 metros (Figura 54). En la figura se muestra la distribución y disposición del equipo sísmico utilizado en el estudio.



Figura 54: Imágenes de los arreglos sísmicos circulares realizados en Chaclacayo. Se muestra la distribución y disposición del equipo sísmico a diferentes distancias radiales.

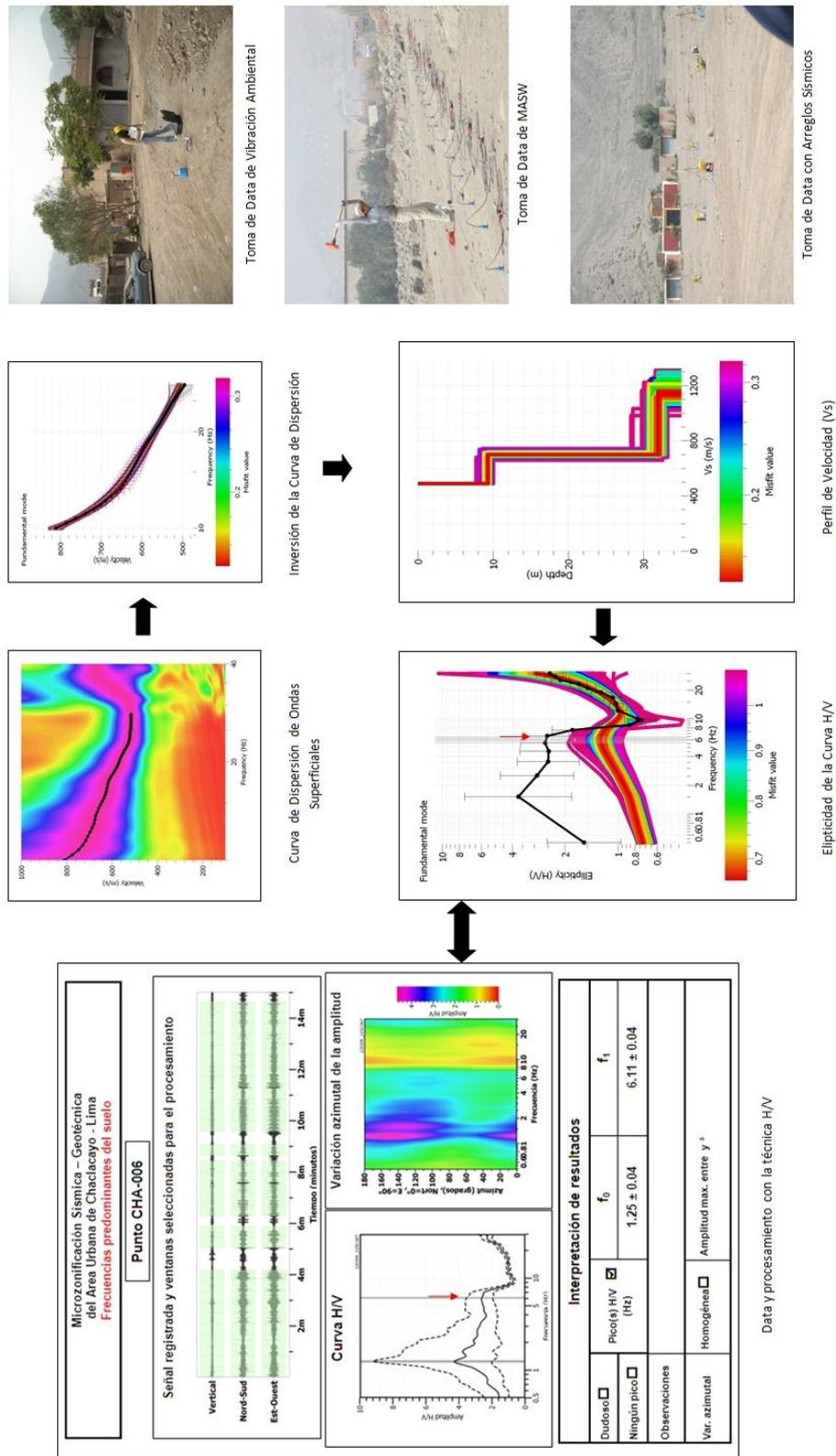


Figura 55: Análisis e interpretación geofísica de los arreglos sísmicos lineales y circulares realizados en Chaclacayo y su correlación con la técnica H/V

Las curvas de dispersión obtenidas con los métodos F-K y SPAC se muestran en la Figura 55, así como la secuencia seguida para la obtención del perfil de velocidad y validación entre la función de transferencia teórica y la curva H/V para el punto de estudio (LR06-CHA. En el perfil de velocidades se ha identificado la presencia de dos capas, la primera con velocidades V_s alrededor de 400 m/s correspondiente a suelos duros con espesor de 6 a 10 metros y la segunda, con velocidades V_s de 700 m/s correspondiente a suelos muy duros y espesores de 20 a 25 metros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de hasta 1000m/s y corresponde a rocas moderadamente duras. Estos valores para los espesores y velocidades V_s son coherentes con los obtenidos con la técnica H/V, demostrando así que los resultados obtenidos presentan gran confiabilidad.

9.4.4.- Estudios de Tomografía Eléctrica

La tomografía eléctrica es un método geofísico que proporciona información sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad del mismo al paso de la corriente eléctrica. Esta propiedad permite conocer la resistividad del subsuelo asociado a la presencia de capas y superficies con mayor o menor contenido de agua. En el área de estudio se han realizado 1 sección de tomografía eléctrica en la zona de Pariachi y para su procesamiento, se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ.

Línea Geoeléctrica LE01-CHA (Figura 56): Se caracteriza por presentar zonas de baja resistividad con valores de 150 Ohm-m para la primera capa de espesor entre 2 y 3 metros, estando posiblemente relacionada con la presencia de material de grano grueso no consolidado. La segunda capa exhibe un horizonte de alta resistividad, mayor a 500 Ohm-m y espesores entre 10 y 15 metros aproximadamente, estando constituida por material consolidado con ausencia de humedad. Subyacente a esta capa, se tiene un horizonte de aproximadamente 10 metros de espesor con resistividad moderada y caracterizada por presentar un fuerte fracturamiento.

Corte Geo-eléctrico LE01-CHA

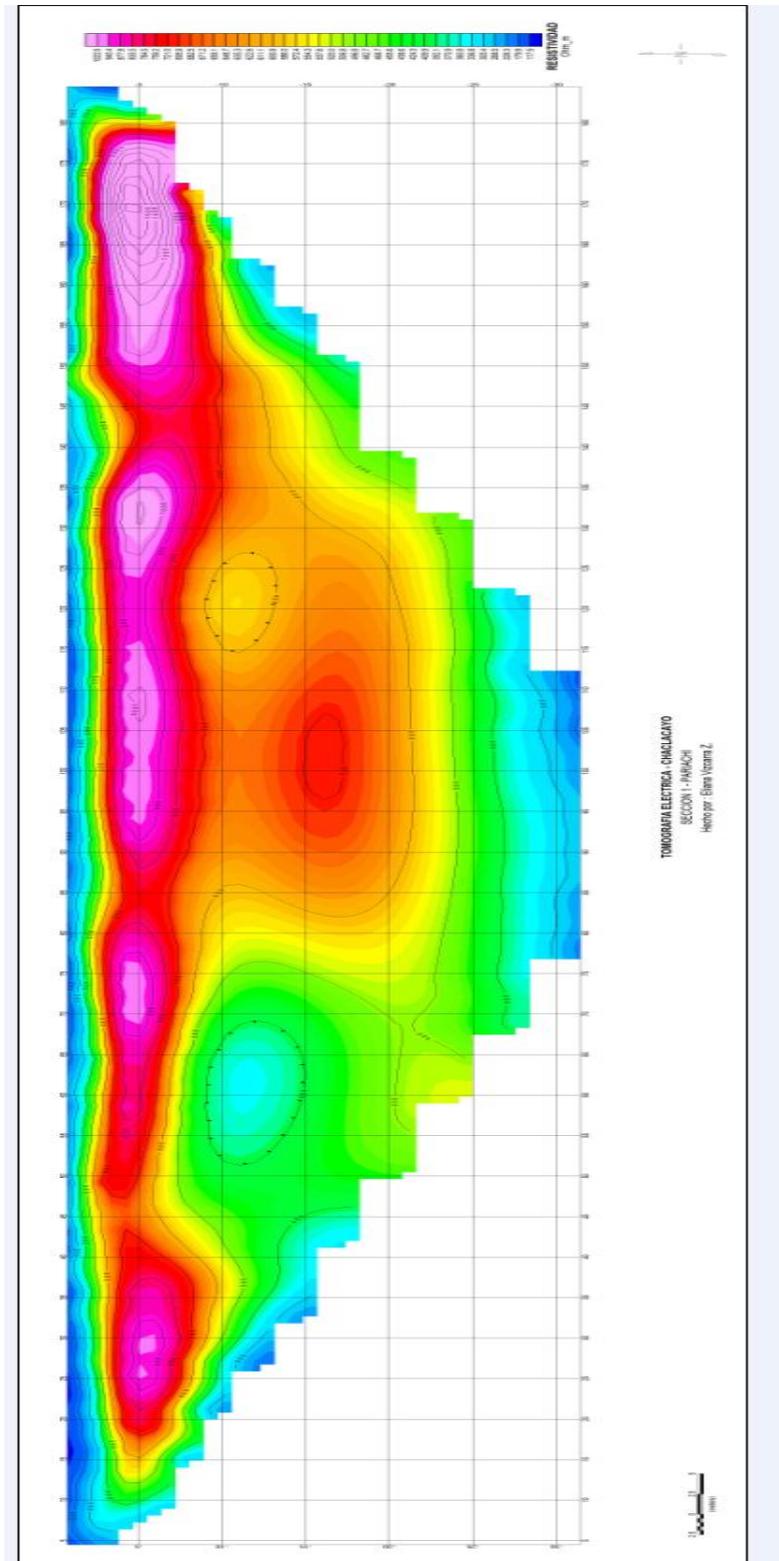


Figura 56: Sección Geoeléctrica tomada en el extremo Oeste del área de estudio (zona Pariachi)

9.4.5.- Mapa de Periodos Dominantes

Para presentar los resultados finales obtenidos en este estudio, se procede a transformar los valores de frecuencias predominantes a periodos dominantes, y para su análisis son reagrupados en dos rangos: de 0.03 a 0.1 segundos (10 a 30 Hz) y de 0.1 a 0.5 segundos (2 a 10 Hz).

Para construir el mapa de periodos dominantes se ha considerado para cada punto de medición, un radio de confiabilidad del orden de los 10 metros, y los resultados obtenidos permiten identificar la presencia de áreas de similar comportamiento. Por ejemplo, en la Figura 57 se muestra la distribución espacial de los puntos en los cuales los periodos varían entre 0.03 y 0.1 segundos (10 a 30 Hz), valores que definen la presencia de una capa superficial de poco espesor. Considerando la relación $H=V_s/4F$ y asumiendo una velocidad de 180 m/s para las ondas de corte (V_s), se estima para la capa superficial espesores entre 1.8 y 4 metros, los mismos que son confirmados con los valores obtenidos con los métodos que consideran arreglos sísmicos (arreglos lineales y circulares). Dentro de este rango de periodos, se ha identificado la presencia de zonas con similar comportamiento próximas al río Rimac y corresponden a depósitos de aluviales recientes, rellenos antrópicos y a efectos especiales asociados a la dinámica local del suelo.

En la Figura 58 se presenta el mapa de periodos para el rango de 0.1 a 0.5 segundos (2 a 10 Hz) y su análisis permite definir la presencia de una capa superficial de mayor espesor que subyace a la indicada anteriormente, coherente con las características geomorfológicas del área de estudio. Asimismo, se observa que los periodos de 0.3 a 4.0 segundos se concentran sobre la zona céntrica del área Urbana del Distrito de Chaclacayo que encierra a la Plaza Central; asimismo, al extremo Este del A.H. 3 de Octubre y sobre el A.H. Puerto Nuevo Ñaña y A.H. Miguel Grau I Etapa. Finalmente, los periodos de 0.1 a 0.2 segundos se encuentran distribuidos en la periferia del área urbana de Chaclacayo y en menor número, se concentran en el A.H. Alfonso Cobian, al Este del A.H. Santa Inés y Los Pinos. La distribución de los diferentes valores de periodos dominantes muestra clara correlación con la geomorfología y geotecnia de la zona de estudio.

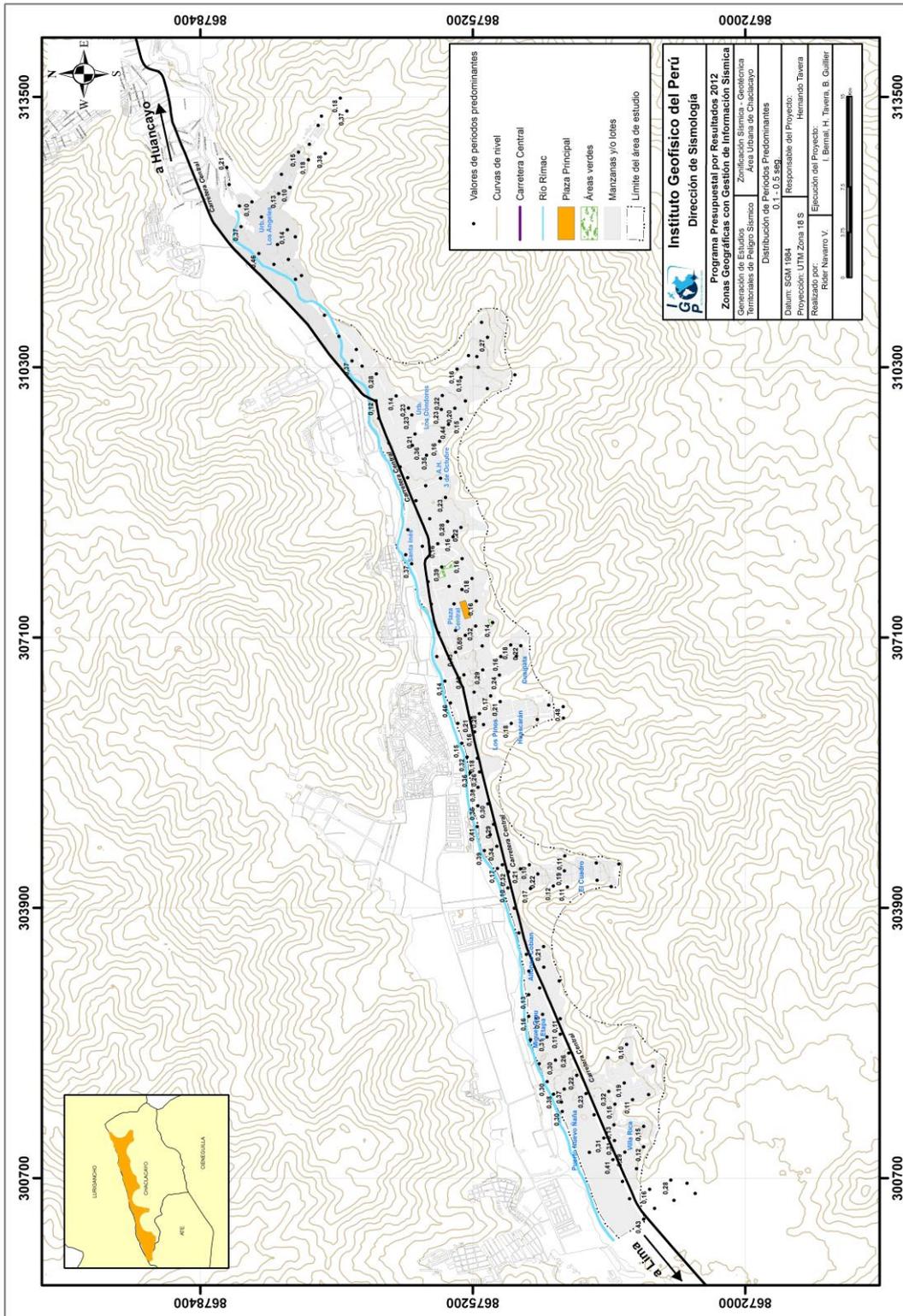


Figura 58: Mapa del área de estudio, con la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en el rango de 0.1 – 0.5 segundos (2 – 10 Hz). Las áreas con menor confiabilidad, a la hora de interpolar por densidad de valores, están sombreadas

9.5.- Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área urbana del distrito de Chaclacayo considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Las características dinámicas del suelo han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia de suelos de Tipo S1 y S2. Finalmente, para el área Urbana de Chaclacayo se propone la siguiente zonificación (Figura 59):

ZONA I: *Esta zona está conformada por estratos de grava coluvial-aluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido con periodos de vibración natural, determinados por las mediciones de vibración ambiental, entre 0.1 y 0.3 s correspondientes a suelos de Tipo S1. Esta zona considera la parte baja de las laderas entorno a la zona urbana de Chaclacayo. Asimismo, en esta zona predominan periodos de 0.2 s que se concentran próximos al río Rimac.*

ZONA II: *En esta zona se considera a las planicies aluvionales conformadas por columnas de gravas y arenas intercaladas con niveles finos limosos y arcillosos cuyos espesores varían entre 6 y 25 m. Los periodos dominantes del terreno, determinados por las mediciones de vibración ambiental, se encuentran entre 0.3 y 0.5 s y corresponden a suelos de Tipo S2. Esta zona abarca principalmente la parte céntrica del área urbana de Chaclacayo, el margen izquierdo del Río Rimac y su extremo oeste conformado por los A.H. Puerto Nuevo Ñaña y Miguel Grau I Etapa. Asimismo, considera dos zonas de menor dimensión ubicadas a lo largo del área de estudio.*

En la Figura 59, las zonas sombreadas con líneas inclinadas presentan amplificaciones menores a 2 veces, correspondiendo a zonas rocosas y/o más estables.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La realización del estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana del Distrito de Chaclacayo, Provincia de Lima, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

CONCLUSIONES

Aspectos Geológicos:

El Distrito de Chaclacayo se emplaza sobre el grupo Casma constituido por una serie vulcano-detrítica, instruidas por afloramientos del grupo Santa Rosa, los mismos que están constituidos por cuerpos tonalíticos-dioríticos y tonalíticos-grandodioríticos de gran extensión dentro del batolito de la Costa, todos cubiertos por depósitos aluviales pertenecientes al Cuaternario Pleistoceno y Cuaternario Reciente.

Aspectos Geomorfológicos:

El área urbana del Distrito de Chaclacayo se encuentra comprendida entre las cotas 510 y 1408 m.s.n.m. y su morfología presenta una forma típica de “V” dentro de un fondo angosto limitado por cadenas montañosas de modera a fuerte pendiente. Se ha identificado la presencia de cuatro unidades geomorfológicas en base a las pendientes identificadas en el mapa MDE.

Aspectos Geodinámicos:

Se ha identificado e inventariado la ocurrencia de 16 movimientos en masa caracterizados por flujos de detritos y caída de rocas provenientes de zonas de pendiente. Los agentes detonantes típicos son las precipitaciones de lluvia, sismos y la actividad antrópica.

Aspectos Geotécnicos:

La elaboración de 10 calicatas y el respectivo análisis de muestras realizadas en laboratorio han permitido identificar para el área urbana de Chaclacayo, la presencia de hasta 9 tipos de suelos, los mismos que ha sido caracterizado de acuerdo a la clasificación SUCS.

La capacidad portante de los suelos en un 60% del área total de estudio es denominada como “Media” (1.5 a 2.5 kg/cm²); mientras que, en las zonas de los Andes Golf Club, los Girasoles de Huampaní, P.J. 3 de octubre, Urb. Los Angeles, Urb. Los Condores y en la Asociación de Vivienda El Inti, los valores de Capacidad Portante son bajas.

Aspectos Sísmológicos y Peligro Sísmico

Se ha registrado actividad sísmica regional con magnitudes menores a 4.7ML que han producido en el área de estudio aceleraciones de hasta 13cm/seg², equivalentes a intensidades de III (MM), lo que produjo que cayeran, de las zonas altas, piedras de menor tamaño.

El estudio de peligro sísmico ha permitido estimar para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, aceleraciones de 365 a 370 cm/seg². Estos valores son equivalentes a intensidades de VI-VII (MM); es decir, suficientes como para producir años estructurales y deslizamientos en las zonas de pendiente alta.

Aspectos Sísmicos y Geofísicos:

El análisis de las razones espectrales H/V ha permitido observar gran variedad de frecuencias predominantes que van desde 0.5 a 30 Hz, lo cual sugiere que el suelo sobre el cual se encuentra el área urbana de Chaclacayo es muy heterogéneo y por ende, complejo. El rango de frecuencias entre 2 y 10 Hz han permitido identificar la presencia de tres áreas con similares valores de frecuencias, lo cual confirma la heterogeneidad del suelo. El rango de frecuencias entre 10 y 30 Hz sugiere la presencia de suelos con espesores menores en la ladera de los cerros y otras zonas de relleno antrópico.

Los estudios con arreglos sísmicos lineales y circulares han permitido identificar la presencia de suelos con velocidades de ondas de corte (V_s) de 240 a 440 m/s correspondiente a suelos duros con espesores de 5 a 10 metros, suelos con velocidades V_s de 380 a 500 m/s correspondiente a suelos muy duros con espesores de 10 a 25 metros. La superficie de contacto alcanza velocidades de 500 a 1000 m/s que corresponde a suelos compuesto por rocas moderadamente duras.

El mapa de isoperiodos muestra la presencia de tres zonas con suelos de características dinámicas similares. La primera se encuentra sobre la zona céntrica del área urbana del Distrito de Chaclacayo (Plaza Central), el extremo Este del A.H. 3 de octubre, A.H. Puerto Nuevo Ñaña y A.H. Miguel Grau I Etapa. La segunda en la periferia del área urbana de Chaclacayo y en el A.H. Alfonso Cobian, al Este del A.H. Santa Inéz, y Los Pinos.

Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo):

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia en el área urbana de Chaclacayo de 2 zonas sísmicas - geotécnicas, las mismas que corresponden a suelos de Tipo S1 y S2. Esta clasificación permite proponer, en este estudio, el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del suelo) para el área urbana de Chaclacayo.

RECOMENDACIONES

Es importante realizar estudios complementarios de geofísica (georadar y/o perforaciones de diamantina) a fin de lograr mayor detalle en la caracterización de los suelos en el área urbana del Distrito de Chaclacayo, esto debido a la compleja heterogeneidad identificada en la composición de sus suelos.

Este documento técnico debe ser utilizado por las autoridades locales de Chaclacayo y regionales de Lima para una mejor Gestión del Riesgo ante la ocurrencia de sismos. Del mismo modo, para aportar con las normativas necesarias para el desarrollo y expansión urbana del distrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtremores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
- APESEG (2005): Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
- Aki, K., (1957): Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo 35, 415–457.
- Bernal, I. (2006): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala – Mexico. Tesis de Maestría, II-UNAM, Mexico.
- Bernal, I. y H. Tavera (2007): Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condormarca, provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad. Informe Técnico, 23p.
- Bernal, I. y H. Tavera (2007): Estimación de frecuencias predominantes y amplificaciones relativas en los terrenos del BCP-Ciudad de Trujillo. Informe presentado al BCP, 22p.
- Capon, J.,(1973): Signal processing and frequency-wavenumber spectrum analysis for a large aperture seismic array, in *Methods in Computational Physics*, Vol. 13, ed. Bolt, B.A., Academic Press Inc, New York
- Casagrande. A. (1948): Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions, Vol. 113, 901-991.
- Dorbath, L., Cistermas, A., Dorabath, C. (1990): Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576
- Fäh D., Kind F. and Giardini D. (2002). Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site effects. *Journal of Seismology*, 7, 449-467
- Gutierrez, C. y S.K. Singh (1992): A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of results from strong motion and microtremor data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 642-659, 1992.
- INGEMMET (1999): 501 Cuadrángulos Geológicos Digitales de la Carta Nacional 1960-1999. Sector Energía y Minas.
- Lachet, C. y P. Y. Bard (1994): Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth.*, 42, 377-397 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a): Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 1350-1364 pp.

- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b): Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, *Soil. Dyn. & Earthq. Eng.* 13, 413-423 pp.
- Nakamura, Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, 30, No.1, 25-33 pp.
- Norma E-30 (2003): Technical Building Standard E.030 Earthquake Resistant Standards (E-030 Diseño Sismorresistente). Ministry of Housing, Construction and Sanitation.
- Ordaz, M., A. Aguilar, J. Arboleda (2007): Program for computing seismic hazard: CRISIS-2007 V1.1., Institute of Engineering, UNAM, Mexico.
- Okada, H. (2003): The Microtremor Survey Method, Geophysical monograph series, No 12, Society of exploration geophysicists, 135 pp.
- PREDES (1989): Chosica – Lima, huaycos del año 1987. www.predes.org.pe
- Sadigh, K., C. Chang, J. Egan, F. Makdisi, R. Young (1997): Attenuation relationship for shallow crustal earthquakes based on California Strong Motion Data, *Seis. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.
- Santacana, N. (2001): Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña
- Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
- Tavera, H., Buforn, E. (2001): Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology* 5: 519–539, 2001.
- Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Callao (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Lima (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C. (2012): Propuesta del mapa de Peligro Sísmico para el Perú. Sismología, IGP.
- Young, R., S. Chiou, W. Silva, J. Humphrey (1997): Strong Ground Motion Attenuation Relationship for subduction zone earthquakes. *Seism. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.