



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 HUAYCÁN - ATE
(Comportamiento Dinámico del Suelo)**

Responsable: Hernando Tavera

**Lima – Perú
2012**

ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE HUAYCÁN - ATE (Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsable del Proyecto:	Hernando Tavera
Ejecución del Proyecto:	Isabel Bernal Juan Carlos Gómez Hernando Tavera Bertrán Guillier
Análisis e Interpretación:	Bhila Herrera Eliana Vizcarra
Software SIG:	Rider Navarro-Valderrama
Trabajos de Campo:	Henry Salas Carlos Centurión Julio Martínez 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 de Huaycán, Distrito de Ate. El estudio permite conocer el Comportamiento Dinámico del Suelo a partir de la aplicación de métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.

Los resultados obtenidos para el área urbana de Huaycán 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 Huaycán 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 E.030
- 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.- Aspectos Hidrológicos
 - 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
 - 9.5.- Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1: Inventario de Eventos Geodinámicos

ANEXO 2: Inventario de Zonas de Alto Riesgo

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 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 para 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 Huaycán, Distrito de Ate
- Área urbana de Carapongo, Distrito de Lurigancho - Chosica

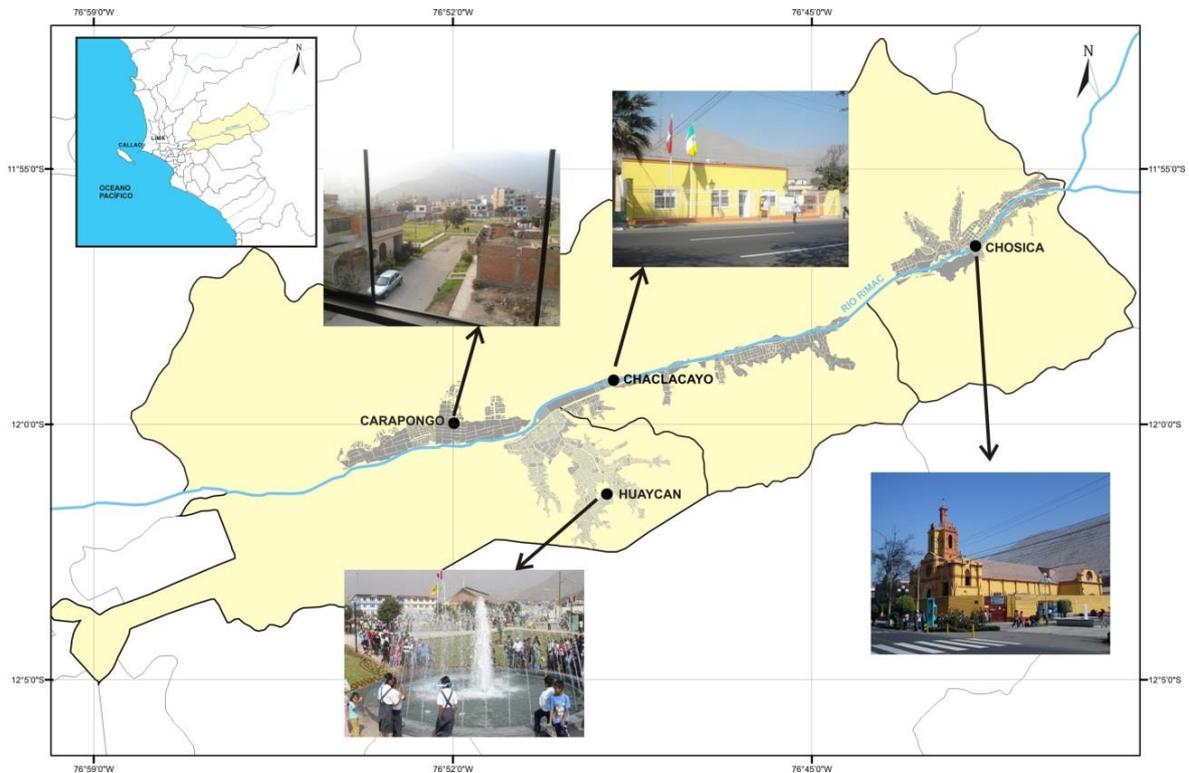


Figura 1: Ubicación de la región de estudio: Áreas Urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo

3.- OBJETIVOS

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el Área Urbana de Huaycán, Distrito de Ate, Provincia de Lima. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que sea de ayuda en el desarrollo de 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 sísmica del Perú, ha mostrado que el borde occidental de su región central, presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y muchos de ellos, de acuerdo a su magnitud y distancia epicentro-estación, han producido daños importantes en esta región. La ocurrencia de efectos secundarios como asentamientos y licuación de suelos, derrumbes de tierra y rocas, 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 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. A estos escenarios 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 en el Perú (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. De manera complementaria, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), 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 (Figura 2).

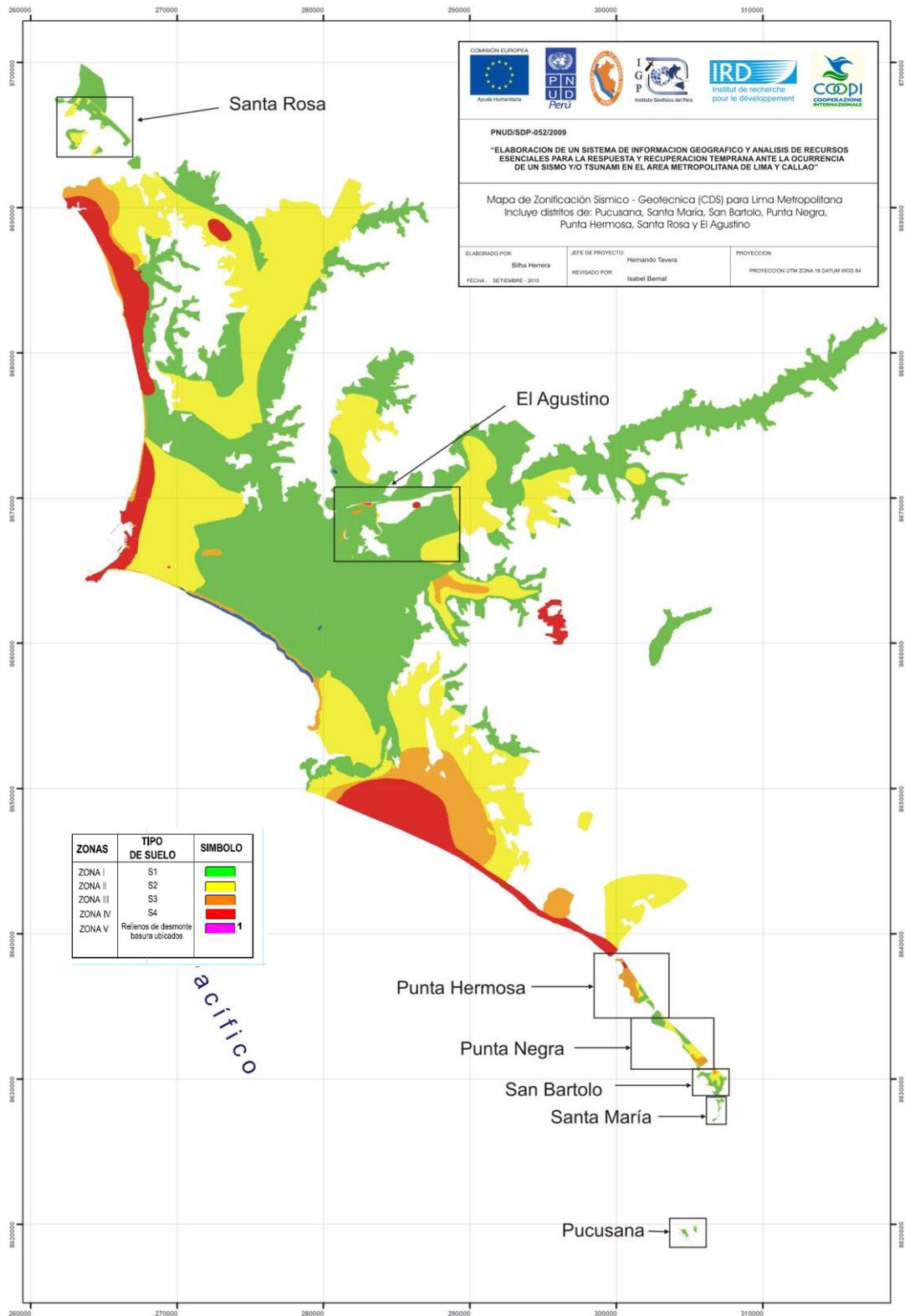


Figura 2.- Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y complementado por el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010)

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 continúa con la realización de los estudios de Zonificación Sísmica-Geotécnica para las áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo. Los resultados obtenidos para el área urbana de Huaycán (Distrito de Ate) son parte del presente informe técnico.

5.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

En la actualidad es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio representan ser uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en edificaciones durante la ocurrencia de sismos de gran intensidad. Este factor es fuertemente dependiente de las condiciones geológicas, geomorfológicas, geodinámicas, geotécnicas y geofísicas presentes en cada zona y 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 sus resultados constituyen ser 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 provee de información básica obtenida de observaciones de campo 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 su comportamiento dinámico. El resultado final es el “Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica” que debe constituirse como el documento más importante para 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 S1 y S3.

.- 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 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.

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 en el área de estudio, así como las consideraciones dadas en el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (Norma E.030, 2003), se ha definido las siguientes zonas sísmicas-geotécnicas (Norma E.030):

ZONA I: Esta zona está conformada por afloramientos rocosos, estratos de grava coluvial-aluvial en 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 al suelo Tipo S1 de la norma sismorresistente.

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 es de $S=1.2$ con periodo natural del suelo es $T_s=0.6$ s, correspondiendo al suelo Tipo S2 de la norma sismorresistente.

ZONA III: Esta zona está conformada, en su mayor parte, por depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor 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 suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente, 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 depósitos de arenas 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 suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente, asignándoles un factor de amplificación sísmica de $S=1.6$ y periodo natural de $T_s=1.2$ s (Según la Norma E.030, es un caso especial).

ZONA V: Están constituidas por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos y desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado. Estos depósitos espesores entre 5 y 15 m. Esta zona considera 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.

7.- METODOLOGÍA

Para la ejecución del estudio de Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de Huaycán se ha realizado la aplicación de diversos métodos como parte de los estudios geológicos-geotécnicos, sísmicos y geofísicos, y 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 procedido con 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), Huaycán (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 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 HUA-155 fue tomado en una zona libre de ruidos de fondo; mientras que, en el punto HUA-061 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 a construir las razones espectrales H/V (registros horizontales / registro vertical) a fin de

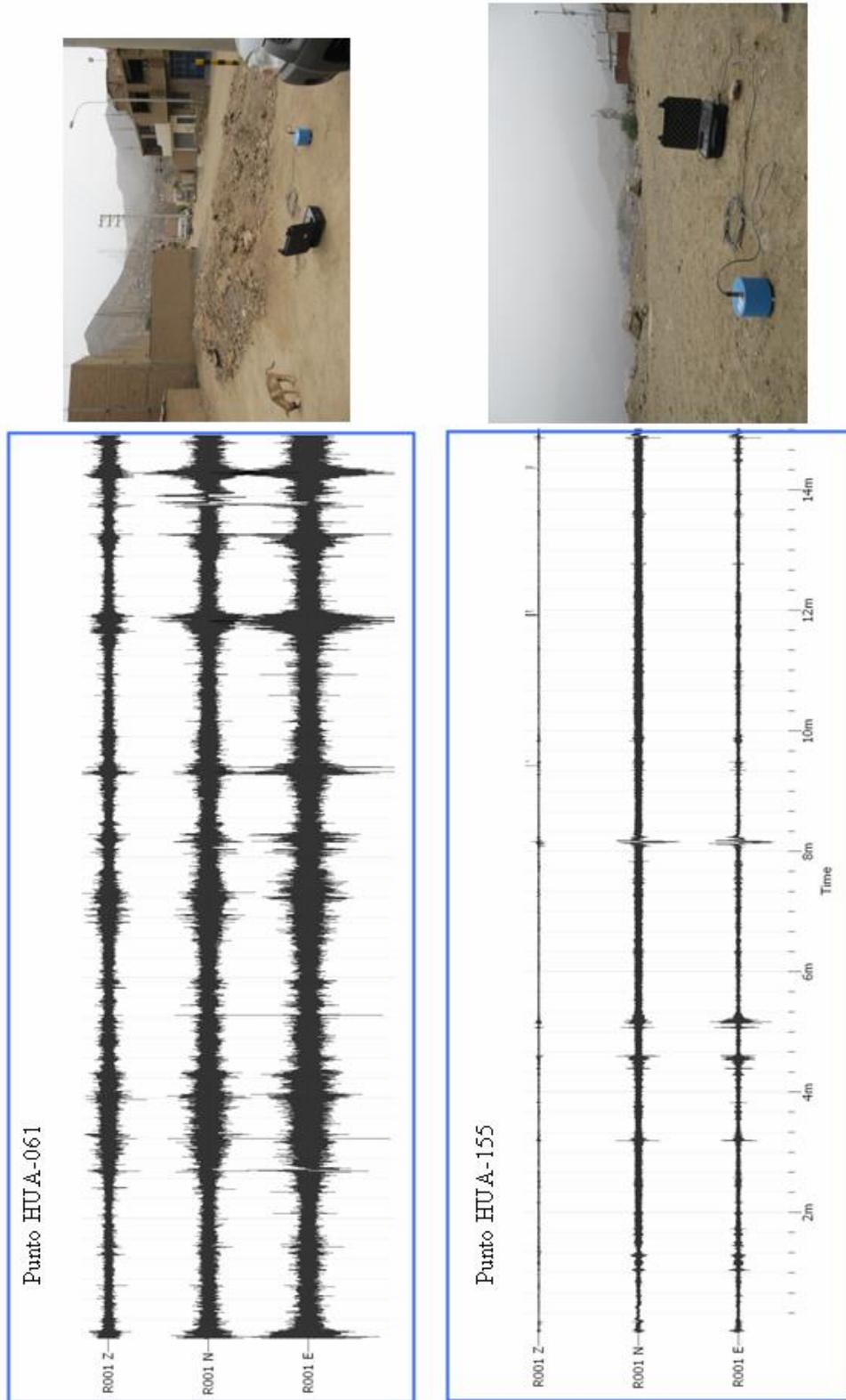


Figura 5: Imágenes de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona libre de ruido de fondo (HUA-155) y otro con ruido aleatorio (HUA-061). Obsérvese las diferentes amplitudes registradas en cada punto.

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 des-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.

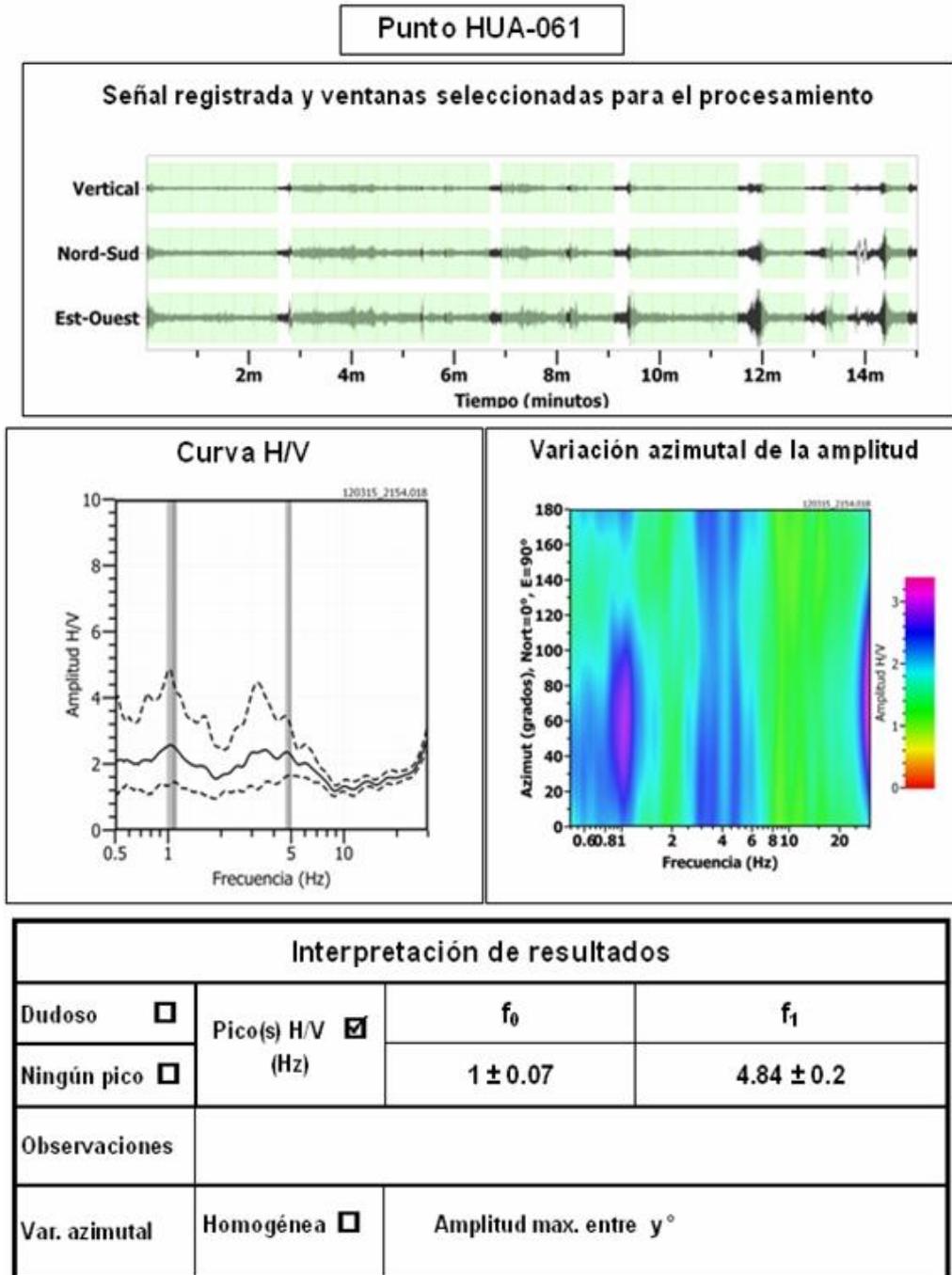


Figura 6: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de color verde) en sus tres componentes. En la parte central se muestra la razón H/V con sus frecuencias predominantes y variación azimutal de la amplitud. Las líneas gruesas en los gráficos H/V indican el promedio 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 datos

.- **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 sólo 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 Huaycán, 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 370 a 375 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 Huaycán, dos acelerómetros de tres componentes para el registro de la actividad sísmica local ocurrida durante el año 2012: Local del Consejo de la Comunidad Urbana Autogestionaria de Huaycán y en el I.E. Juan el Bautista (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 Huaycán aceleraciones de hasta 14 cm/seg², equivalentes a intensidades del orden de III (MM) que facilitaron la caída de piedras de menor tamaño de las laderas de los cerros circundantes.

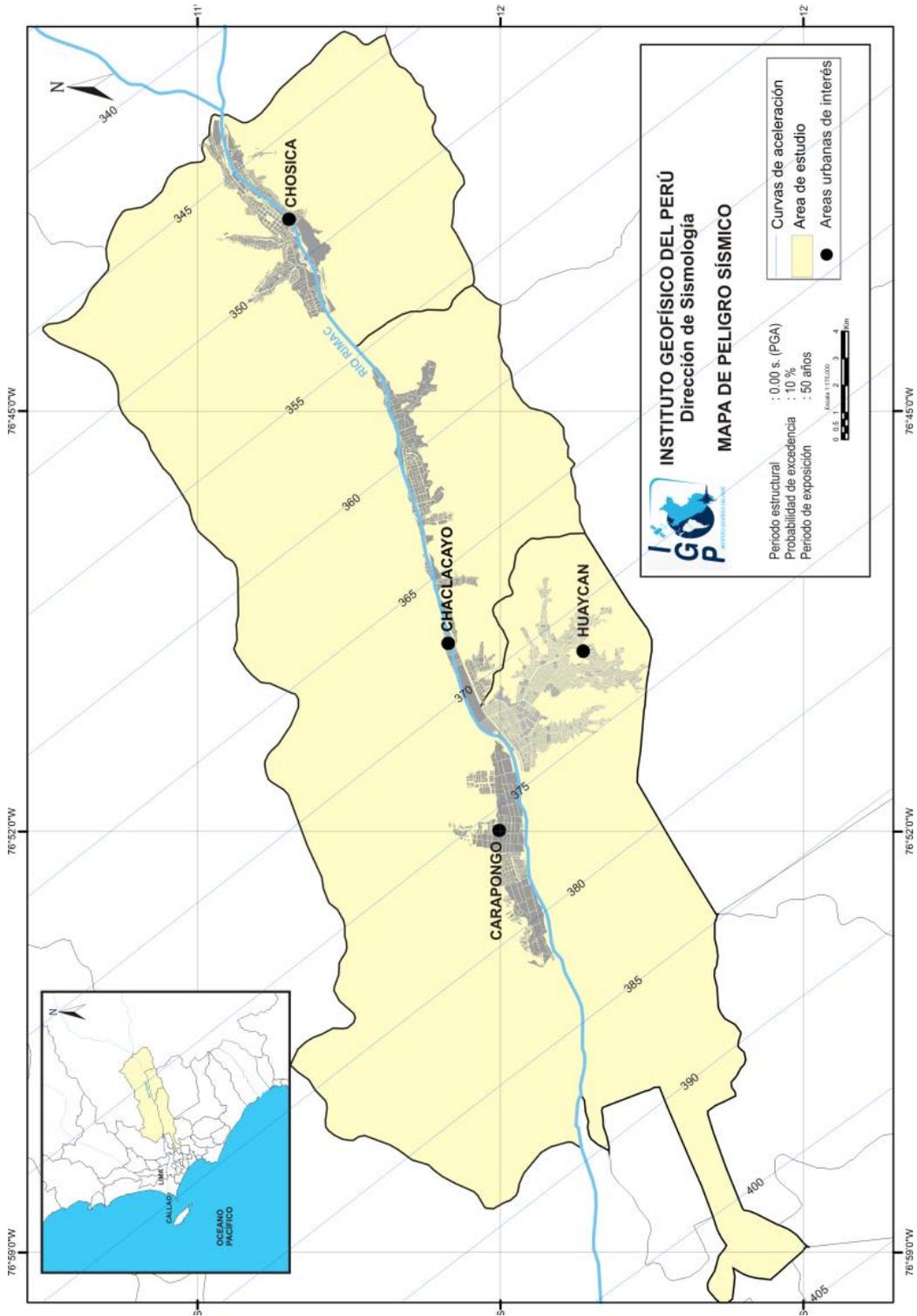


Figura 10: Peligro Sísmico para la región de estudio correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.



Figura 11a: Estaciones acelerométricas instaladas en los locales del Consejo de la Comunidad Urbana Autogestionaria de Huaycán y en el I. E. Juan El Bautista de Huaycán

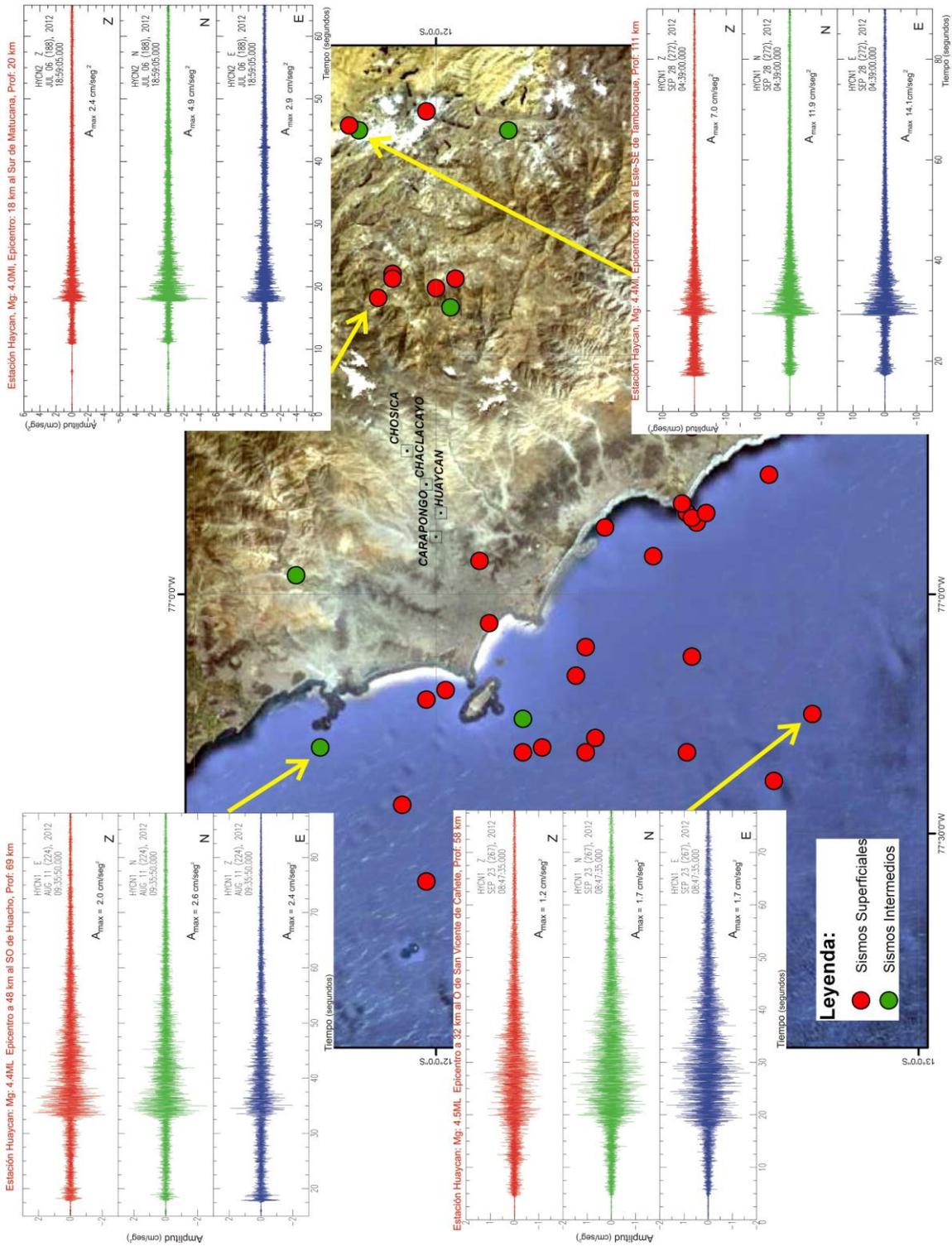


Figura 11b: Eventos sísmicos registrados en la estación acelerométrica que funcionó en I.E. Juan El Bautista de Huaycán. Los registros corresponden a sismos de foco superficial e intermedio

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 posibles detonantes de deslizamientos de masas de tierra y rocas, dependiendo de la morfología local.

9.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA-GEOTÉCNICA

El área urbana de Huaycán se encuentra ubicada en el Distrito de Ate, al este de la Provincia de Lima, a la altura del kilómetro 16.5 de la Carretera Central. Huaycán es la segunda zona urbana de mayor en superficie y población del Distrito de Ate (78 km², 572,000 hab. al 2004), ver Figura 12. En los últimos 20 años, Huaycán ha soportado un fuerte crecimiento poblacional que facilitó su expansión urbana no planificada y que incluyó el asentamiento de viviendas al pie de un gran número de quebradas existentes en la zona, incrementando de este modo su riesgo ante la posible ocurrencia de peligros naturales como los sismos que traen consigo efectos secundarios como los flujos de detritos.

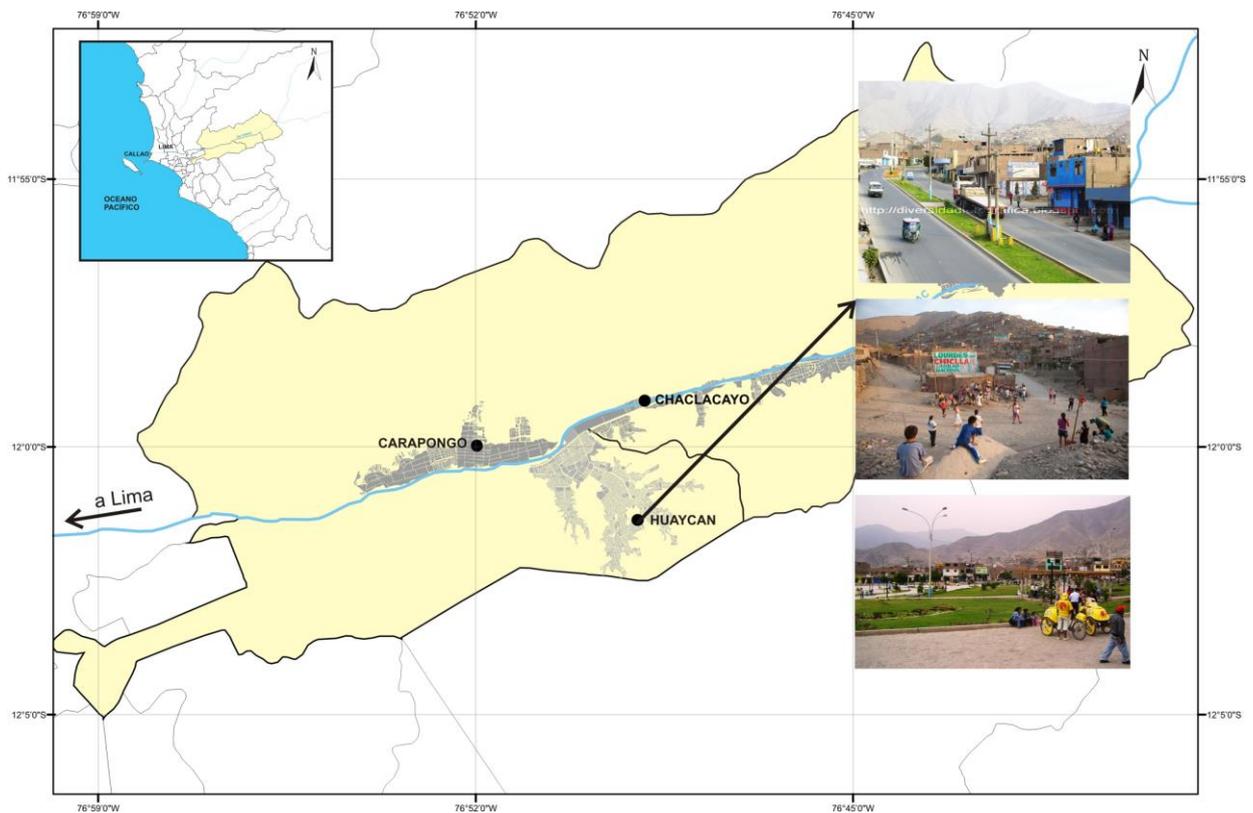


Figura 12: Ubicación geográfica del Área Urbana de Huaycán

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 Nacional (IGN). Del mismo modo, para las coberturas temáticas se ha utilizado fotografías aéreas de la zona a escala 1/15,000. Toda la información fue georeferenciada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) e integrada en un Modelo Digital de Terreno (MDT), Figura 13.

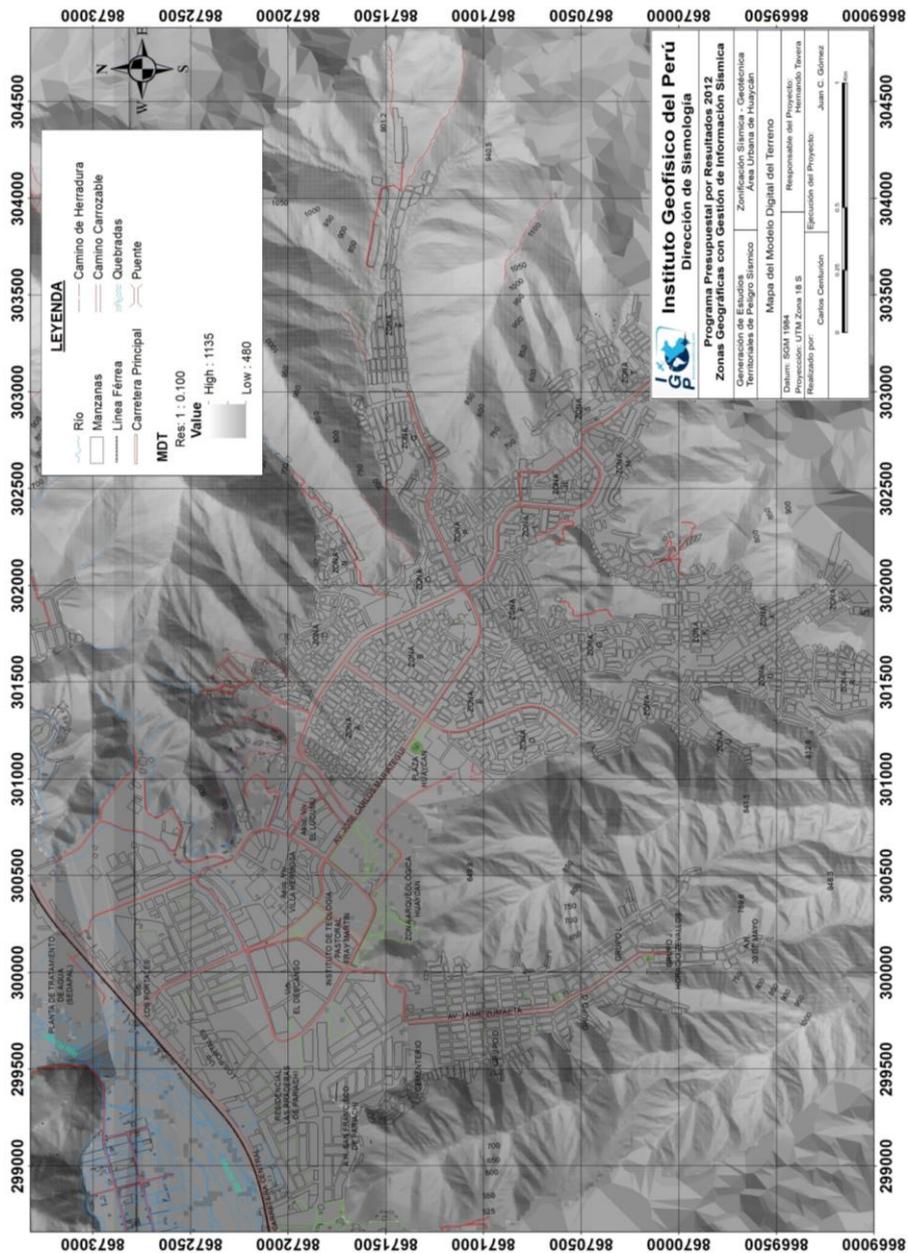


Figura 13: Modelo digital del terreno para el área urbana de Huaycán

.- Aspectos Geológicos: Según el Cuadrángulo Geológico de Chosica” Boletín N°43 – Hoja: 24-j a escala 1/100,000 (INGEMMET), la zona de estudio se emplaza sobre el Volcánico Quilmaná constituido por derrames andesíticos e intruídas por afloramientos ígneos del grupo Santa Rosa constituidos por cuerpos tonalíticos-granodioríticos del Cretáceo Superior de gran extensión dentro del Batolito de la Costa. Estos cuerpos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales del Cuaternario Pleistoceno (Qp-al) y al Cuaternario Reciente (Qr-al), ver Figura 14. El valle es de mediana amplitud y se interrumpe en varios sectores por conos aluviales que desembocan en el río Rímac. La columna lito-estratigráfica de la zona (Tabla 2), se describe a continuación.

Tabla 2: Columna litoestratigráfica para el área urbana de Huaycán

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

Volcánico Quilmaná: Constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados de textura porfirítica, se encuentran en el extremo Oeste del área de estudio (sector de Horacio Zevallos).

Rocas Intrusivas:

Súper Unidad Santa Rosa: Esta unidad de origen ígneo aflora en la mayor parte de los cerros que colindan en toda el área de estudio:

.- Tonalitas - Granodioritas (Santa Rosa claro): Se caracterizan por su marcada coloración gris clara 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 todo el extremo Este del área de estudio.

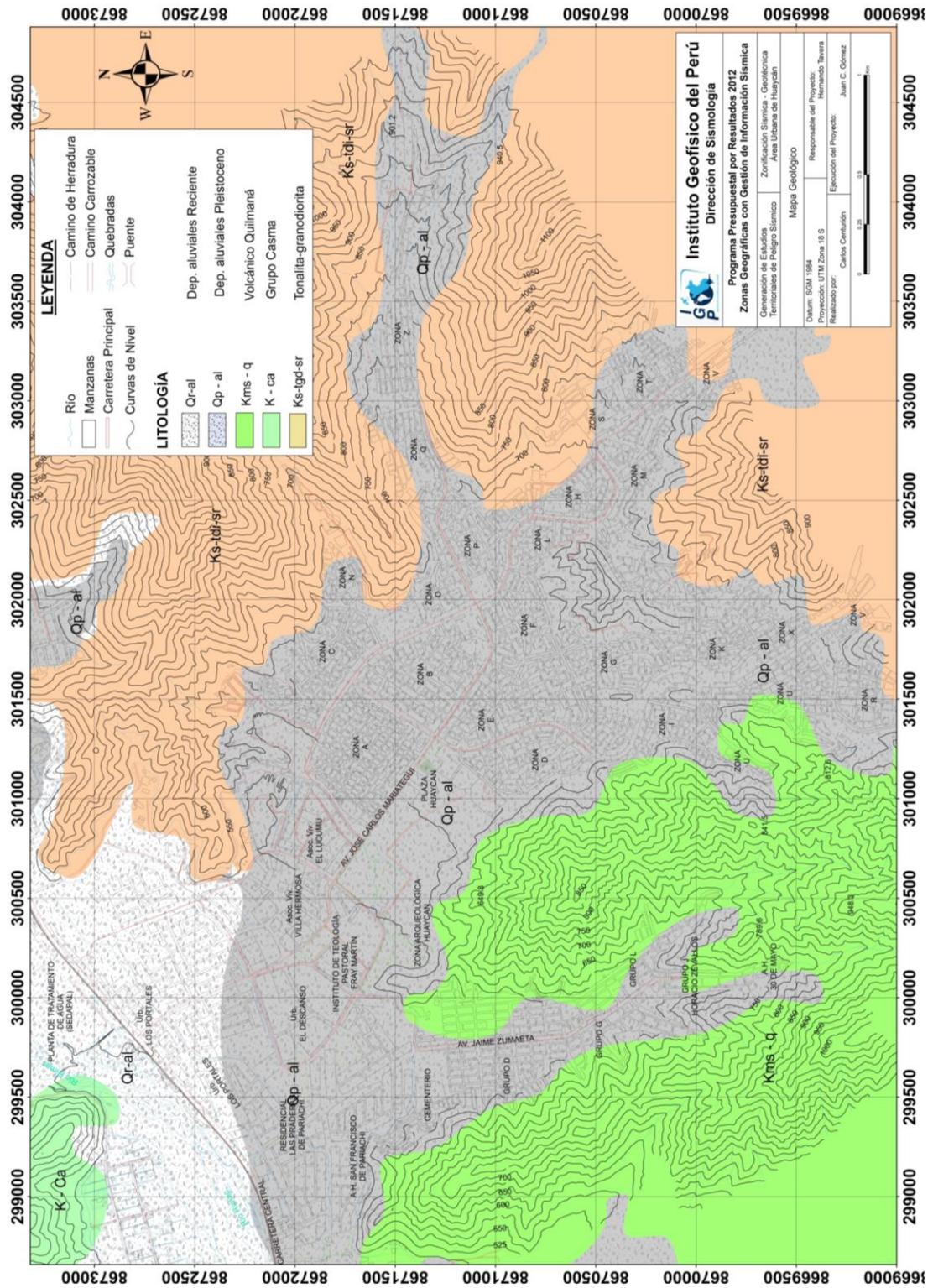


Figura 14: Mapa geológico para el área urbana de Huaycán

Depósitos Cuaternarios: Estos depósitos en forma de terrazas están constituidos por materiales acarreados por los ríos y otros con material detrítico que provienen de las quebradas, estando actualmente ubicados al borde 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 tiene a los Aluviales del Cuaternario, tanto de la serie Reciente en el valle del río Rímac, como de la serie Pleistocena que han sido depositados en las partes altas y bajas de las quebradas. Estos depósitos están constituidos por cantos rodados y gravas heterométricas, con matriz arenolimoso que ocupa el cauce actual del río Rímac. Todos estos materiales se encuentran intercalados formando paquetes de diferentes grosores, presentes en terrazas y antiguos conos de deyección.

.- Aspectos Geomorfológicos: Los rasgos geomorfológicos presentes en la zona de estudio son 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).

Tabla 3: Rangos de pendientes identificados en la zona urbana de Huaycán

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°

En la zona de Huaycán se ha identificado la existencia de cuatro unidades geomorfológicas relacionadas con otros de pendientes identificados en el modelo de elevación digital (MDE) que fue construido utilizando el software SIG y cuyo detalle se

muestra en la Tabla 3. En base al análisis de pendientes, las características de estas unidades son:

Quebradas: Comprenden las quebradas ubicadas en la margen izquierda del valle del río Rímac en las Zonas U, X, M, S, T, V, Q, N y Z., entre las cotas 480 y 850 m.s.n.m. Estas quebradas permanecen secas la mayor parte del año (Mayo-Diciembre), transcurriendo agua solo en época de fuertes precipitaciones y especialmente asociados al fenómeno del niño. Presentan un clima seco y 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 una pendiente mayor a 20°.

Terrazas: Son terrazas del Holoceno Reciente al Pleistoceno y que se han formado por acumulaciones de depósitos aluviales de corrientes relativamente antiguas, quedado en posiciones topográficas superiores por las deformaciones tectónicas recientes, que las han elevado con pliegues de amplio radio de curvatura. En detalle, la topografía de estas terrazas tiene 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.

Colinas: Son parte de estas unidades los cerros de poca elevación, no sobrepasan los 100 metros de altura, y se encuentran separando a las laderas de pendientes medias. Su morfología es ondulada, poco agreste y con taludes que 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 está formado por lutitas o limolitas de formas redondeadas, y cuando se trata de rocas volcánicas su pendiente es empinada. Estas unidades se encuentran en la zona F.

Laderas de pendiente media y empinada: Estas unidades demarcan a las laderas de las cadenas premontañas de la Cordillera Occidental, con altitudes entre 510 y 1040 m.s.n.m. Están constituidas principalmente por rocas intrusivas del batolito de la costa emplazados con rumbo NO-SE. Presentan topografía abrupta y están disectadas por quebradas. En el primer caso presentan pendientes entre los 25° y 35°; mientras que, en el segundo, pendientes mayores a 35°.

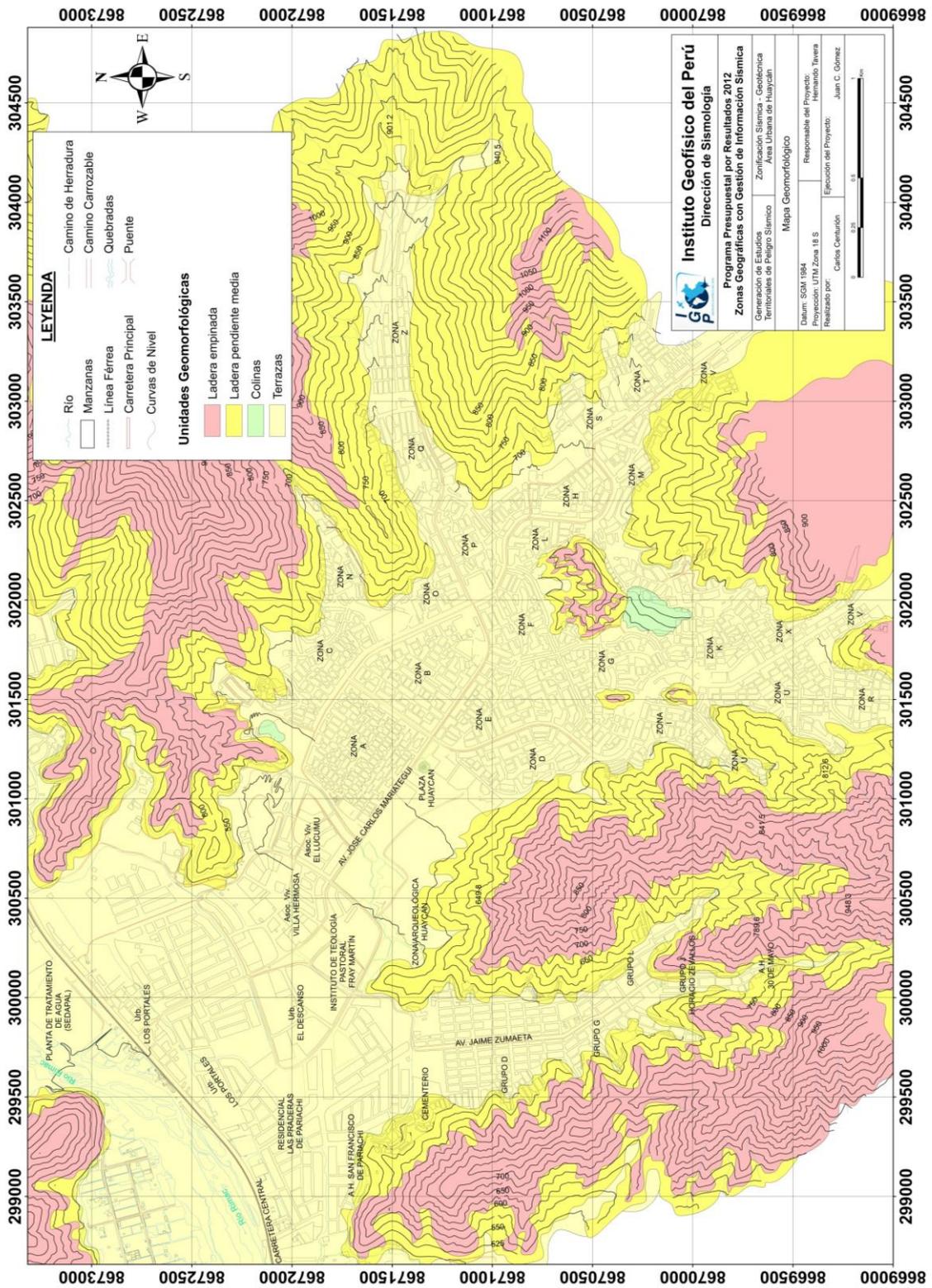


Figura 15: Mapa geomorfológico para el área urbana de Huaycán

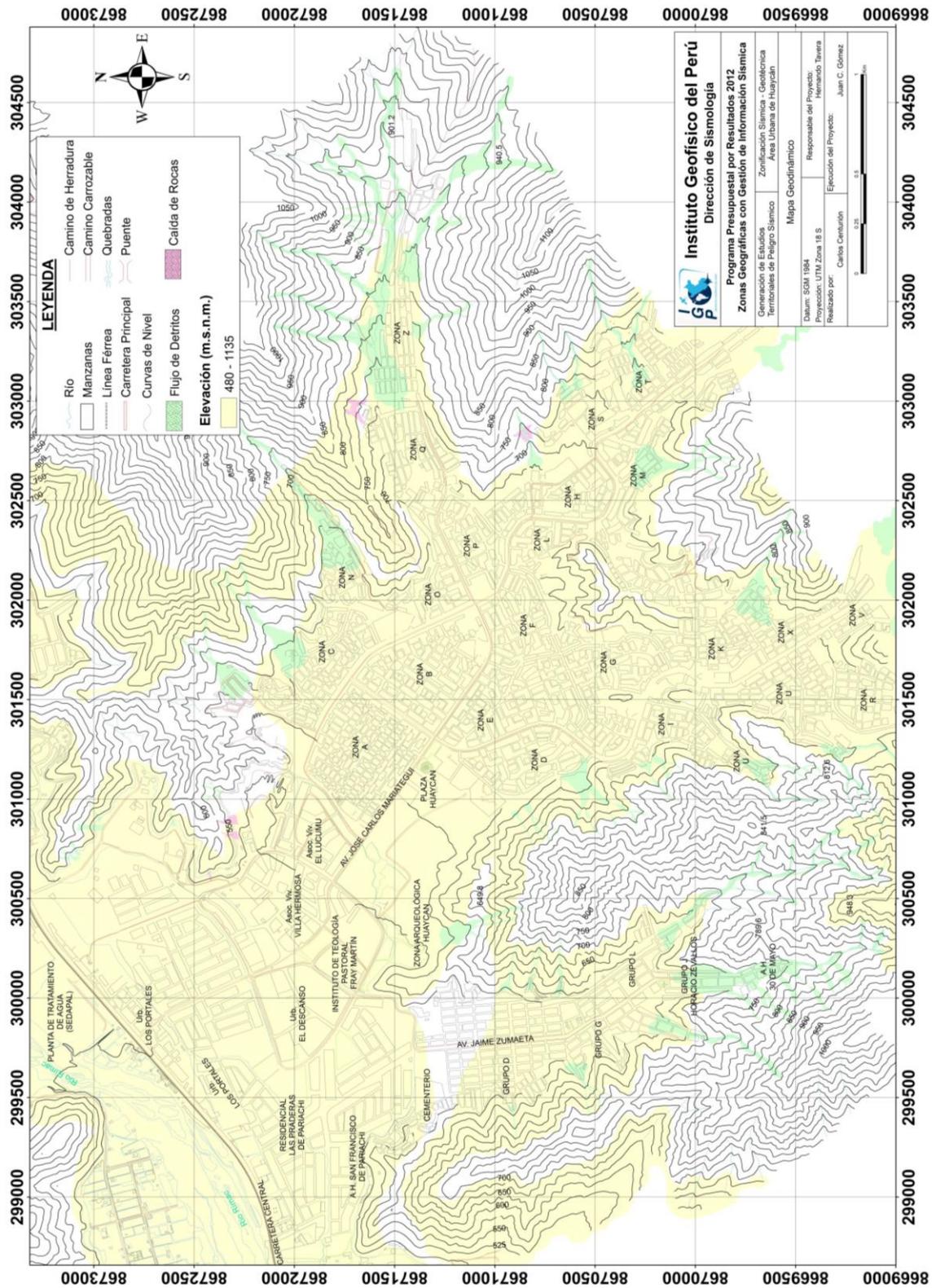


Figura 16: Mapa geodinámico para el área urbana de Huaycán

.- Aspectos Geodinámicos: Los procesos de geodinámica superficial dan lugar a diversas geofomas que están sometidas a procesos de intemperismo y meteorización que al final conducen a la ocurrencia de movimientos en masa. Estos movimientos en masa 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 26 movimientos en masa, todos indicados en la Figura 16 y detallados en los Anexos del presente informe. En general, las principales características de estos peligros son:

Flujos de detritos: Consisten en una colada con elevada concentración de materiales detríticos, que se mueven hacia los valles y que afectan a una masa de suelos mezclando materiales finos y en mayor proporción gruesos, conteniendo una cantidad variable de agua y propagándose como un cuerpo único. Se han inventariado 22 flujos de detritos que asociados a lluvias intensas pueden provocar la reactivación de las quebradas. Estos flujos están circunscritos a quebradas que conforman la cuenca del río Rímac en el área de estudio: quebradas ubicadas en la Zona U, Zona X, Zona M, Zona S, Zona T, Zona Q, Zona Z, Zona N y en Horacio Zevallos en la parte alta y baja, Figuras 17 y 18.



Figura 17: Depósito de flujo de detritos en las inmediaciones de la quebrada de la Zona “Z”.



Figura 18: Depósito de flujo de detritos en las inmediaciones de la quebrada de la Zona “Q”.

Caídas de rocas: Es el desprendimiento del material que conforma una ladera, puede ser roca, suelo o ambos y cuya causa principal es la gravedad terrestre y las características geomecánicas que posee el substrato rocoso. Se han inventariado 4 caídas de rocas, en la en la Urb. Luna Pizarro, Zona Q y en la Zona H-L. Estos eventos ocurren en zonas de altas pendientes y están asociados al fracturamiento, al grado de meteorización y la alteración de los macizos rocosos, Figuras 19 y 20.



Figura 19: Las líneas segmentadas de color rojo nos muestran caída de rocas de 7” en los alrededores de la Zona el Lúcumo.



Figura 20: La línea segmentada de color rojo nos muestra caída de rocas de 8" en los alrededores de la Zona H-L.

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 de Huaycán se construyeron 15 calicatas (Figura 21, 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 22):

- *Suelo GW-GM*: corresponde a gravas gradada adecuadamente con finos y gravas angulosas a sub angulosas. El contenido de humedad es de 3.43 %, no presenta plasticidad y se encuentran en la residencial las Praderas de Pariachi y en la Zona F.
- *Suelo tipo GP-GM*: corresponde a gravas arenosas mal gradadas con finos limosos y arcillosos, gravas angulosas a sub angulosas. El contenido de humedad es de 2.52 %, no presenta plasticidad y se encuentran en los grupos A, B, C, D, E Y F de Horacio Zevallos y parte de la Villa Tusan.

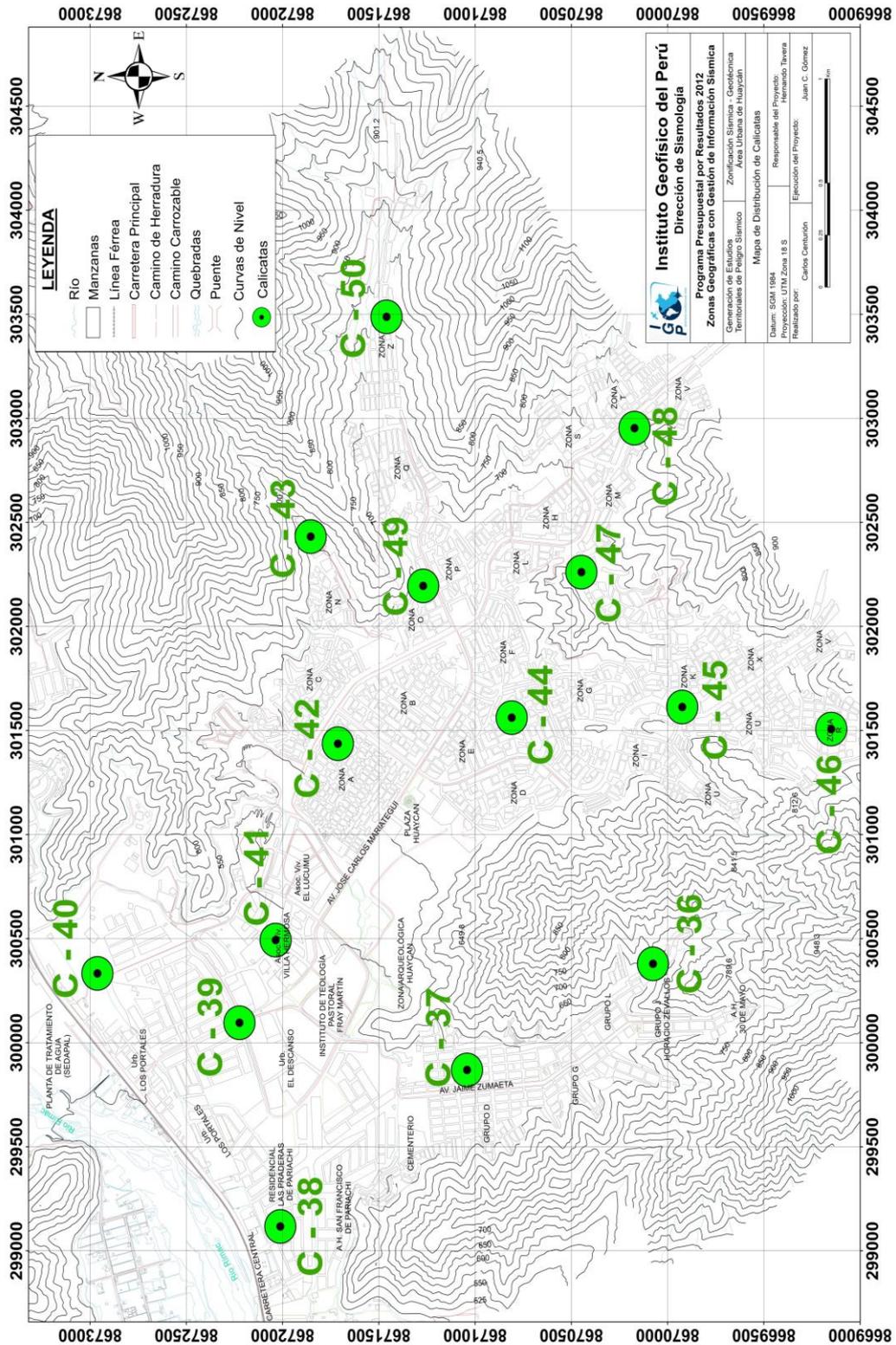


Figura 21: Distribución espacial de las 15 calicatas construidas en el área de Huaycán

Tabla 4: Coordenadas UTM de las 15 calicatas construidas en el área de Huaycán

CALICATAS	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)
C-36	8670076	300379	677
C-37	8671042	299869	560
C-38	8672012	299117	505
C-39	8672224	300096	519
C-40	8672962	300333	530
C-41	8672036	300493	540
C-42	8671713	301437	577
C-43	8671854	302432	675
C-44	8670810	301562	627
C-45	8669924	301613	690
C-46	8669150	301507	787
C-47	8670448	302261	691
C-48	8670172	302953	753
C-49	8671270	302195	396
C-50	8671460	303488	733

- *Suelo tipo GC:* corresponde a gravas arenosas gradada adecuadamente con arcillas y con rocas sub angulosas. El contenido de humedad es de 2.76 %, presenta plasticidad de 17.10% y se encuentra en la Residencial Las Praderas de Pariachi (Entrada principal a Huaycán).
- *Suelo tipo GM:* corresponde a gravas medias compactas con matriz arenosa y pocos limos mal gradadas y gravas sub angulosas. El contenido de humedad es de 1.27% y 1.65%, no presenta plasticidad y se encuentran en los grupos G, H, I, J, K Y L de Horacio Zevallos y en las Zonas I, K, U.
- *Suelo tipo SW:* corresponde a arenas bien gradadas con pocos finos y gravas redondeadas a sub redondeadas. El contenido de humedad es de 1.00%, no presenta plasticidad y se encuentran en parte de la Zona U y parte de la Urb Los Portales.
- *Suelo SW-SM:* corresponde a arenas gradadas adecuadamente con gravas angulosas a sub angulosas y presenta mala compactación. El contenido de humedad es de 1.51%, no presenta plasticidad y se encuentra en la Zona V.

Tabla 5: Clasificación de suelos SUCS para el área de Huaycán

CALICAT AS	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-36	2.40	58.0	28.0	14.0	-	-	NT	NP	-	1.27	GM con arena	Grava con finos mal Gradada
C-37	2.80	47.0	45.0	8.0	51.21	0.59	NT	NP	-	2.52	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-38	2.50	13.0	33.0	54.0	-	-	29.38	21.41	7.97	8.96	CL arenoso	Arcillas inorgánicas
C-39	2.40	51.0	22.0	27.0	-	-	37.41	20.31	17.10	2.76	GC con arena	Grava reg. Gradada con arcilla
C-40	2.50	49.0	50.0	1.0	22.70	2.78	NT	NP	-	1.00	SW con grava	Arena bien Gradada
C-41	3.00	15.0	84.0	1.0	11.48	0.47	NT	NP	-	6.75	SP con grava	Arena pob. Gradada
C-42	2.80	18.0	67.0	15.0	-	-	NT	NP	-	3.95	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-43	2.20	41.0	47.0	12.0	82.35	1.36	NT	NP	-	1.51	SW-SM con grava	Arena reg. Gradada con gravas
C-44	2.90	58.0	34.0	8.0	102.27	2.93	NT	NP	-	3.43	GW-GM con arena	Grava reg. Gradada con finos
C-45	2.10	54.0	32.0	14.0	-	-	NT	NP	-	1.65	GM con arena	Grava mal Gradada con finos
C-46	2.00	34.0	46.0	20.0	-	-	NT	NP	-	3.39	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-47	2.80	38.0	46.0	16.0	-	-	NT	NP	-	6.60	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-48	2.20	33.0	63.0	4.0	22.65	0.53	NT	NP	-	3.36	SP con grava	Arena pob. Gradada
C-49	2.50	0.0	66.0	34.0	-	-	NT	NP	-	3.61	SM	Arena limosa
C-50	2.10	26.0	58.0	16.0	-	-	NT	NP	-	1.79	SM con grava	Arena limosa mal Gradada

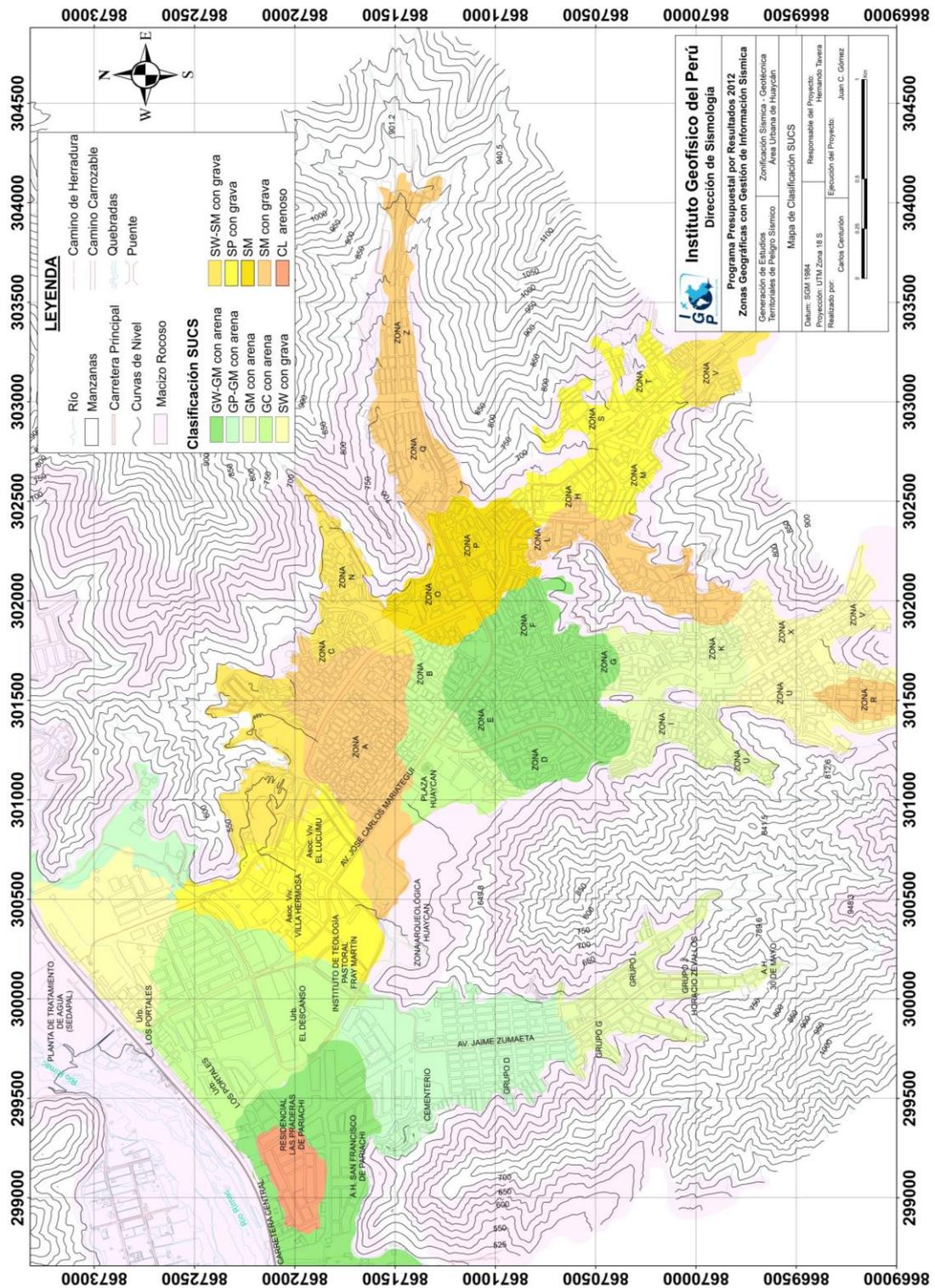


Figura 22: Mapa de clasificación de suelos SUCS para el área de Huaycán

- *Suelo tipo SP*: corresponde a arenas pobremente gradadas con poco finos y con gravas sub angulosas. El contenido de humedad es de 3.36% y 6.75%, no presenta plasticidad y se encuentran en la Zona M, S y T.
- *Suelo tipo SM*: corresponde a arenas medias a finas pobremente gradadas con gravas sub-angulosas y redondeadas. El contenido de humedad varía de 1.79% a 6.60%, no presentan plasticidad y se encuentran en la Zona O y P.
- *Suelo tipo CL*: corresponde a arcillas inorgánicas con gravas redondeadas y bien compactos. El contenido de humedad es de 8.96%, presentan plasticidad de 7.97% y se encuentran en el parque Las Praderas de Pariachi (Entrada a Horacio Zevallos).

Finalmente, se realizaron los ensayos de corte directo para determinar la resistencia del terreno y/o la capacidad portante de los suelos para los 15 puntos analizados en este estudio y los resultados se presentan en la Tabla 6 y Figura 23.

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

CALICATAS	Ángulo 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-36	27.99	0.01	1.81	1.27	1.54
C-37	29.79	0.00	1.85	2.52	1.81
C-38	23.81	0.08	1.48	8.96	1.05
C-39	23.41	0.08	1.55	2.76	1.46
C-40	30.00	0.00	1.87	1.00	1.88
C-41	29.98	0.00	1.74	6.75	1.74
C-42	29.24	0.02	1.85	3.95	1.74
C-43	30.02	0.00	1.84	1.51	1.85
C-44	29.18	0.00	1.85	3.43	1.67
C-45	28.95	0.02	1.88	1.65	1.70
C-46	28.22	0.03	1.87	3.39	1.57
C-47	29.75	0.02	1.89	6.60	1.89
C-48	30.12	0.00	1.87	3.36	1.91
C-49	26.88	0.03	1.66	3.61	1.50
C-50	28.67	0.01	1.78	1.79	1.65

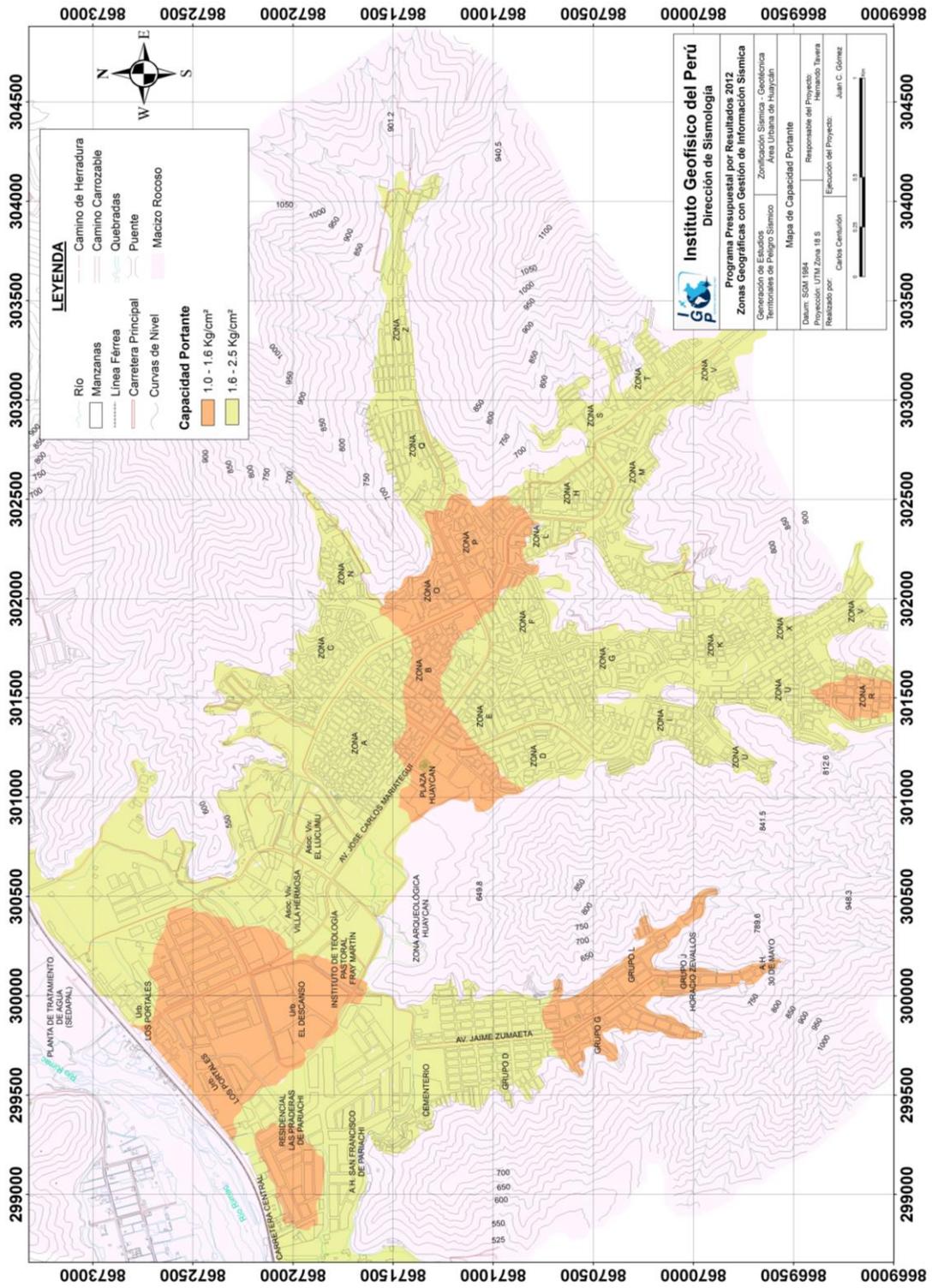


Figura 23: Mapa de capacidad portante para el área de Huaycán

Para la zona de Huaycán, 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 resistencia al corte:

Capacidad Carga Admisible (Kg/cm ²)	Denominación
1.0 – 1.5	BAJA
1.5 – 2.5	MEDIA

Los suelos en el sector de Horacio Zevallos presentan valores de capacidad media en un 95% del área a excepción de un lente de suelo ubicado en la Residencial las Praderas de Pariachi de capacidad baja. Los suelos del extremo Noroeste y Sureste de la localidad Huaycán presentan valores de capacidad media en un 80% del área; mientras que, los suelos en la Urb. El Descanso, Urb. Los Portales, Plaza Huaycán, Zona B , Zona O y la Zona P corresponden el 20% y presentan valores de capacidad baja.

9.3.- Cuantificación de Eventos Extremos

Para la cuantificación de eventos extremos recientes en la zona urbana de Huaycán, se está considerando los aspectos hidrológicos, siendo sus principales características las siguientes:

9.3.1.- Aspectos Hidrológicos: A fin de evaluar los aspectos hidrológicos en la zona de Huaycán, 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 24):

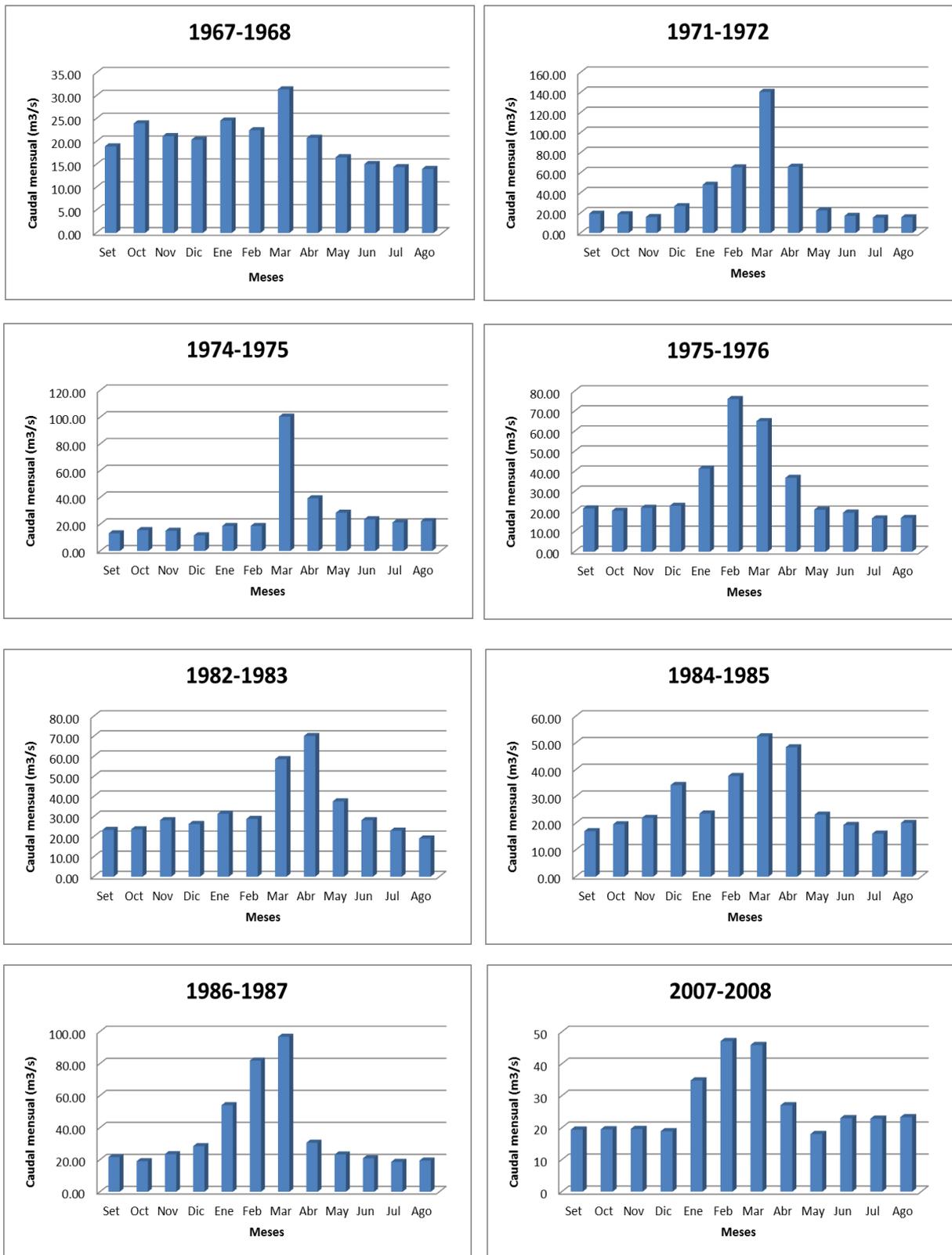


Figura 24: Histogramas de caudales para 8 periodos de datos de la estación meteorológica Chosica

- 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 Huaycán (ver Tabla 7).

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

ESTACIÓN: CHOSICA /202909/DRE-04						LONG. : 76° 41' "W"			DPTO. : LIMA				
PARAMETRO: DESCARGA MEDIA MENSUAL (m ³ /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	18.93	23.96	21.16	20.40	24.57	22.45	31.40	20.81	16.55	15.08	14.40	14.01	20.31
1971-1972	19.17	18.72	15.87	26.72	47.96	65.33	140.57	66.01	22.41	17.02	15.28	15.62	39.22
1974-1975	13.15	15.61	15.07	11.61	18.66	18.65	100.36	39.27	28.50	23.63	21.33	22.28	27.34
1975-1976	21.56	20.40	21.87	22.88	41.36	76.08	65.03	36.78	20.89	19.46	16.57	16.83	31.64
1982-1983	23.32	23.61	28.14	26.27	31.31	28.78	58.62	70.12	37.52	28.17	22.90	19.03	33.15
1984-1985	17.01	19.59	21.99	34.25	23.62	37.67	52.47	48.38	23.21	19.31	16.08	20.10	27.81
1986-1987	21.60	19.09	23.52	28.51	54.03	81.89	96.76	30.59	23.25	20.93	18.69	19.51	36.53
2007-2008	19.40	19.50	19.60	18.90	34.80	47.10	45.90	27.00	18.00	23.00	22.80	23.30	26.61

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 25.

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

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			

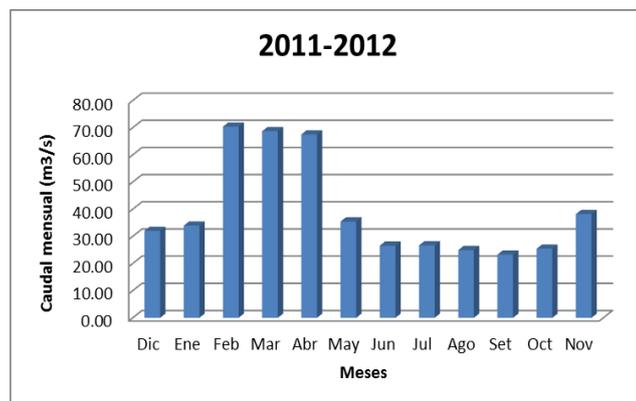


Figura 25: Histograma de caudal para el periodo 2011-2012, estación meteorológica de Chosica.

9.4.- Aspectos Sísmicos y Geofísicos

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: 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 Huaycán 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 26 se muestra la distribución de los 310 puntos de medición de vibración ambiental y para cada uno, 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 27 se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de la información obtenida en campo.

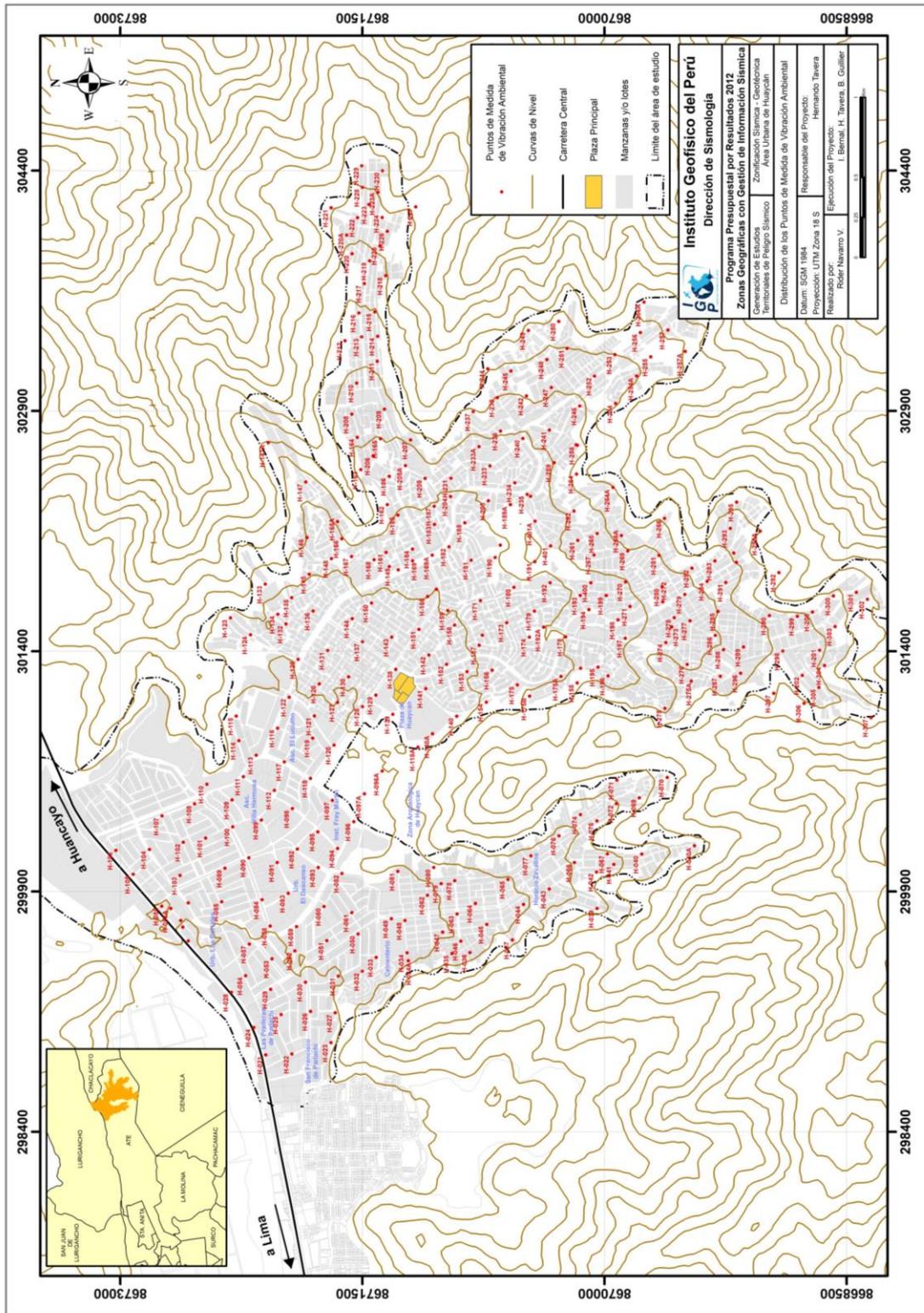


Figura 26: Mapa del área de estudio y distribución de puntos de registro de vibración ambiental

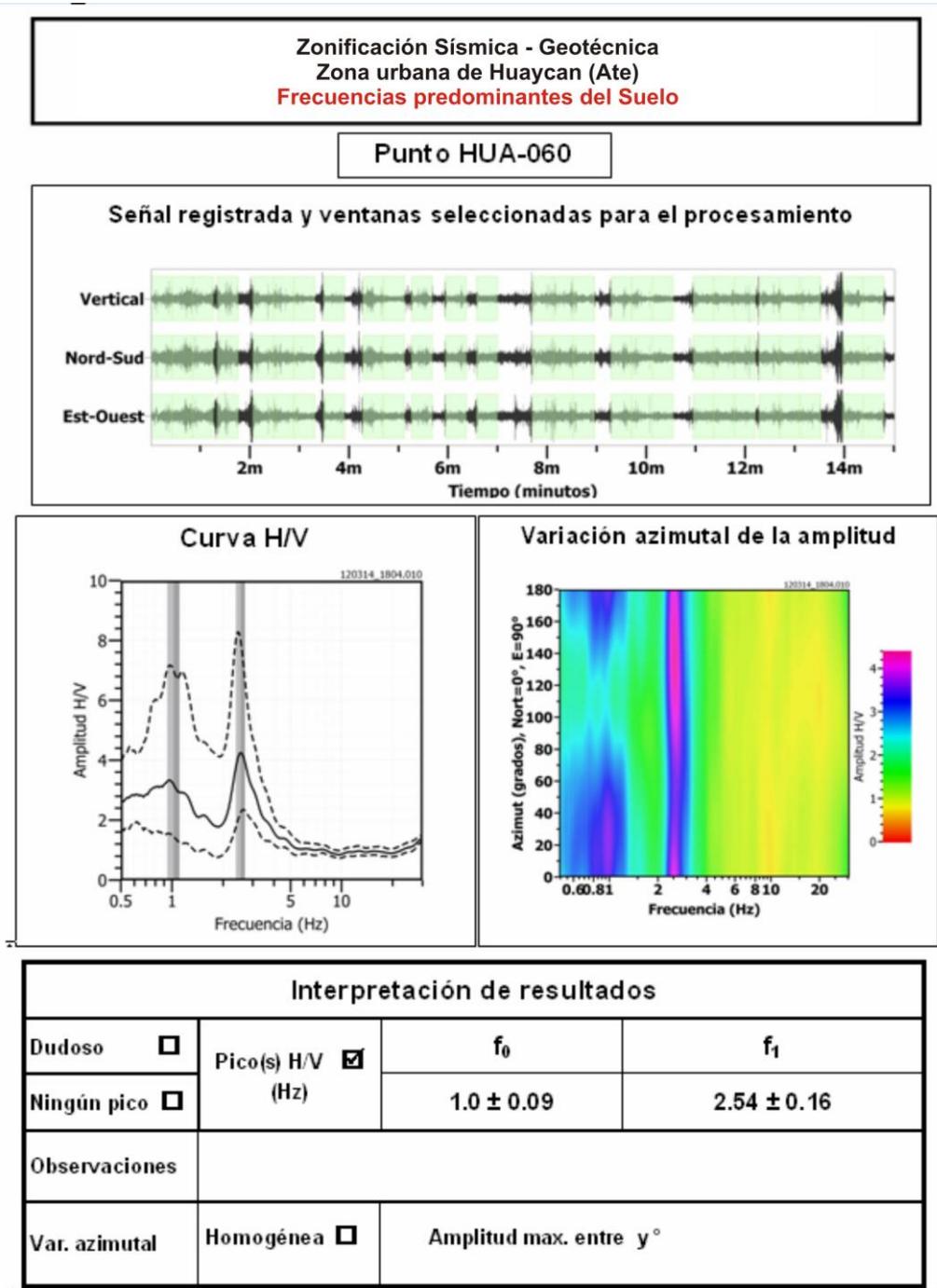


Figura 27: Ejemplo de la ficha H/V para el punto HUA-060 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Espectrograma y Abajo: resultados.

- 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 3.0 Hz; y entre 3.0 y 20 Hz. Esta clasificación se hace en razón que varios puntos de medición presentan entre uno y dos picos de frecuencias predominantes, y ambos sugieren que el suelo es bastante complejo y se requiere de análisis más detallados.

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 debidas a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006). A continuación, se analiza las características de los diferentes rangos de frecuencias identificados para la zona.

Rango de frecuencias entre 0.5 – 3.0Hz: En la Figura 28, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes para el rango de 0.5 –3.0 Hz, observándose que dichos valores se distribuyen sobre toda el área de estudio. En la Figura 29, se presenta como ejemplo la razón espectral obtenida para los puntos H-047, H-057, H-101, H-105, H-121, H-161, H-192, H-201, H-226, 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 con frecuencias mayores a 3 Hz, lo cual sugiere la presencia de suelos heterogéneos: H-047, H-121 y H-226 (Figura 29). En general, este rango de frecuencias predomina en la periferia de la zona de estudio, pero tienen como características bajas amplificaciones.

En la Figura 30 se presenta la distribución espacial de 9 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. Los espectros correspondientes a puntos ubicados en el extremo NE de la zona de estudio presentan mayores amplitudes y mayor irregularidad en su forma; mientras que, los que se encuentran en el extremo SO, presentan menor amplitud y picos de frecuencias mejor definidos.

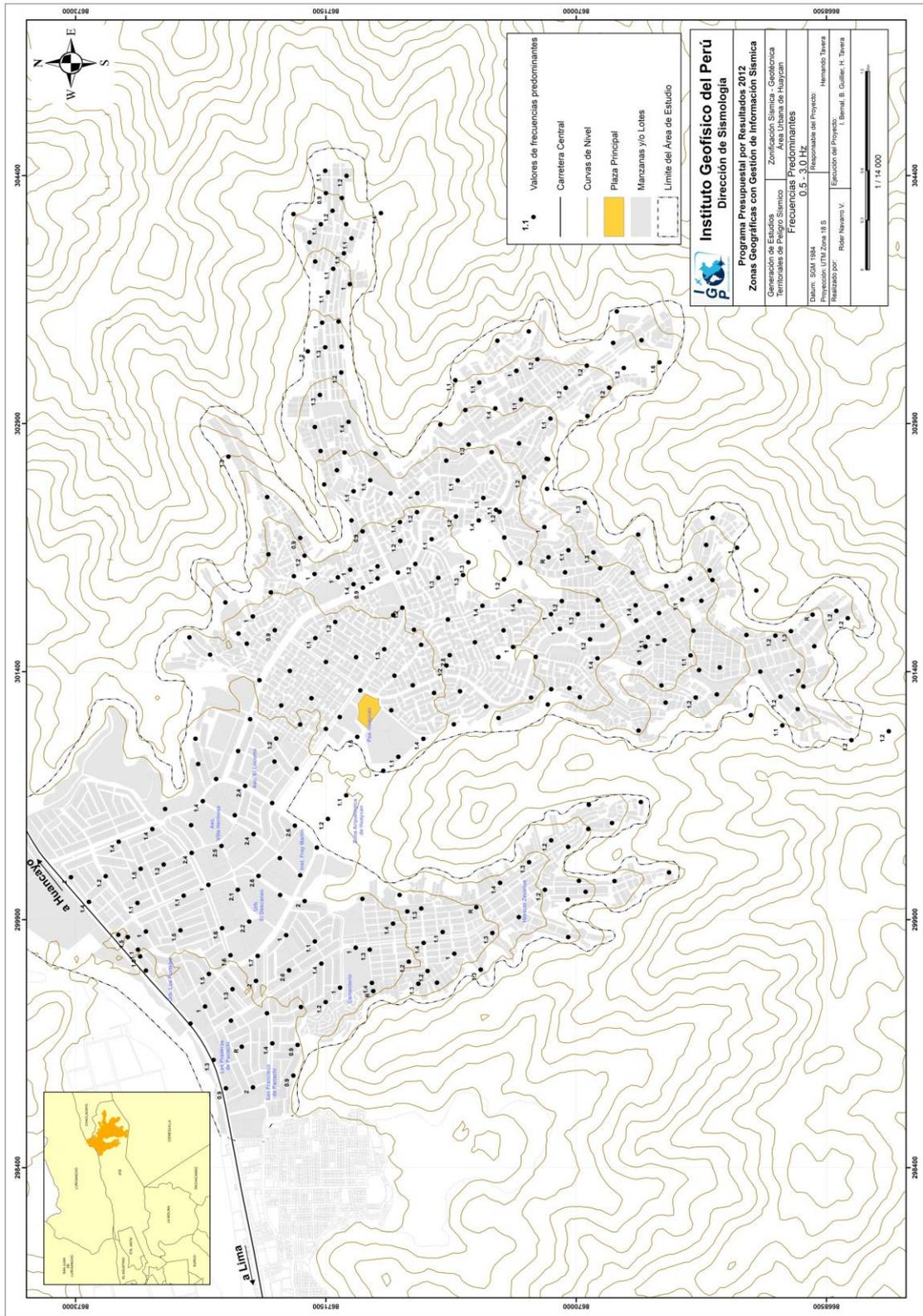


Figura 28: Mapa del área de estudio y distribución espacial de frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 3.0 Hz. Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango.

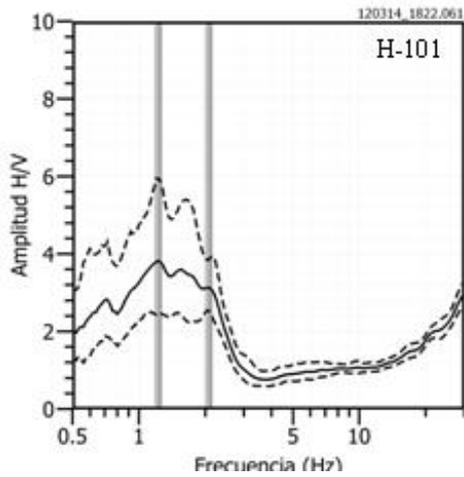
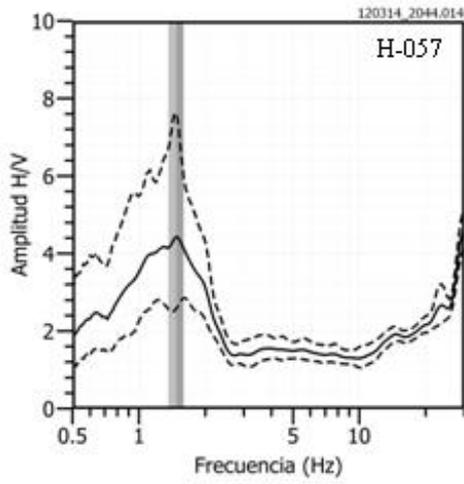
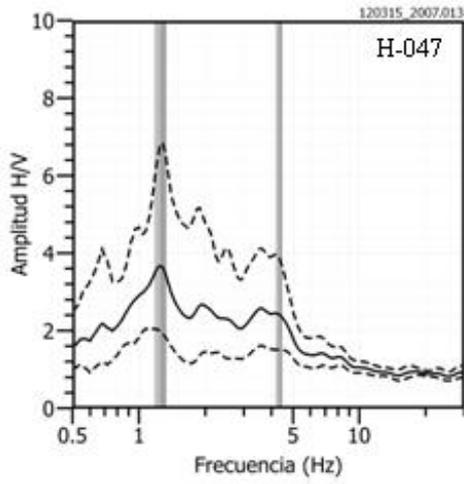


Figura 29: Ejemplos de razones espectrales (H/V) con frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 3.0Hz. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

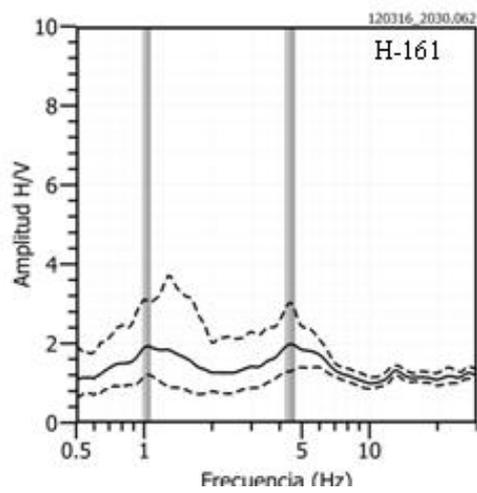
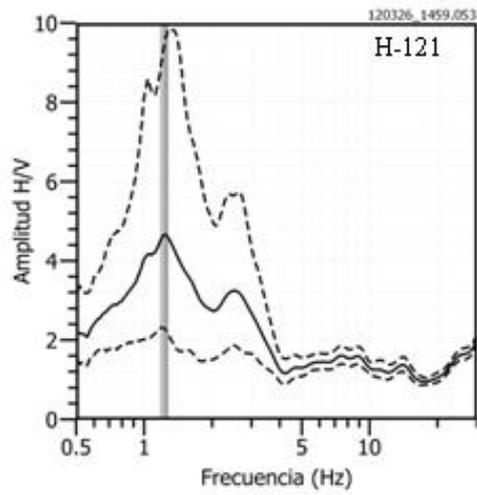
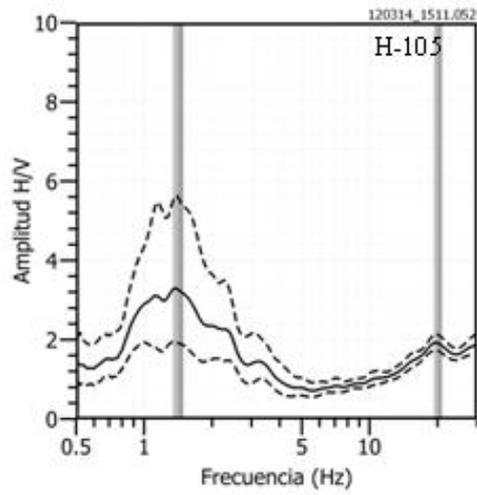


Figura 29: ...//Continuación. Ejemplos de Razones espectrales (H/V) donde la frecuencia predominante sobresale en el rango de 0.5 - 3.0Hz. Las líneas continuas, representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias bajas.

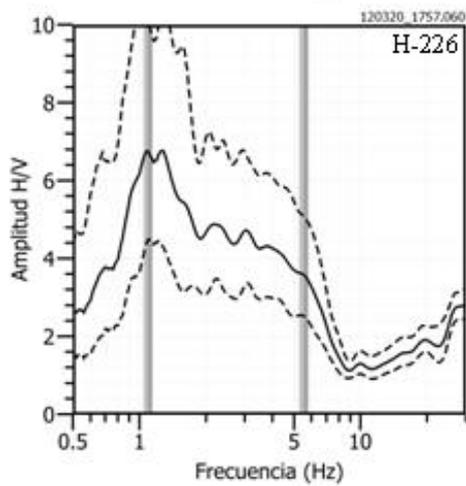
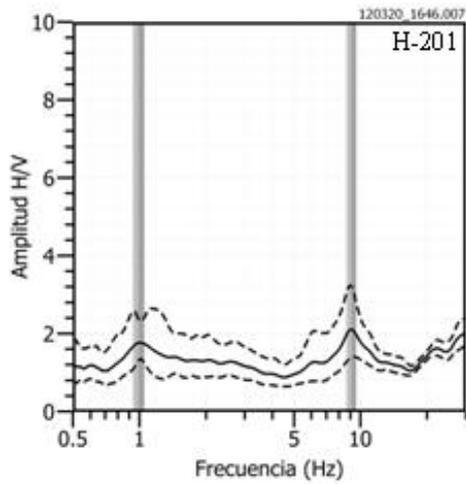
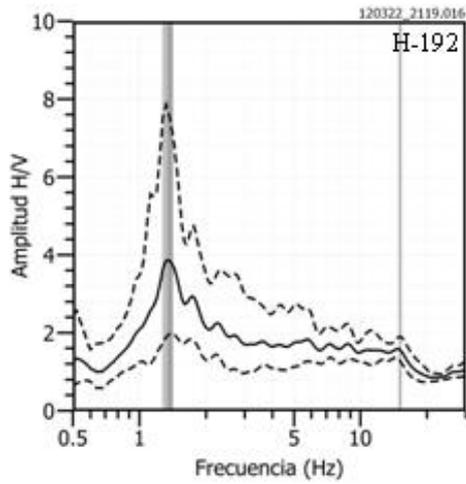


Figura 29: .../Continuación. Ejemplos de Razones espectrales (H/V) donde la frecuencia predominante sobresale en el rango de 0.5 - 3.0Hz. Las líneas continuas, representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias bajas.

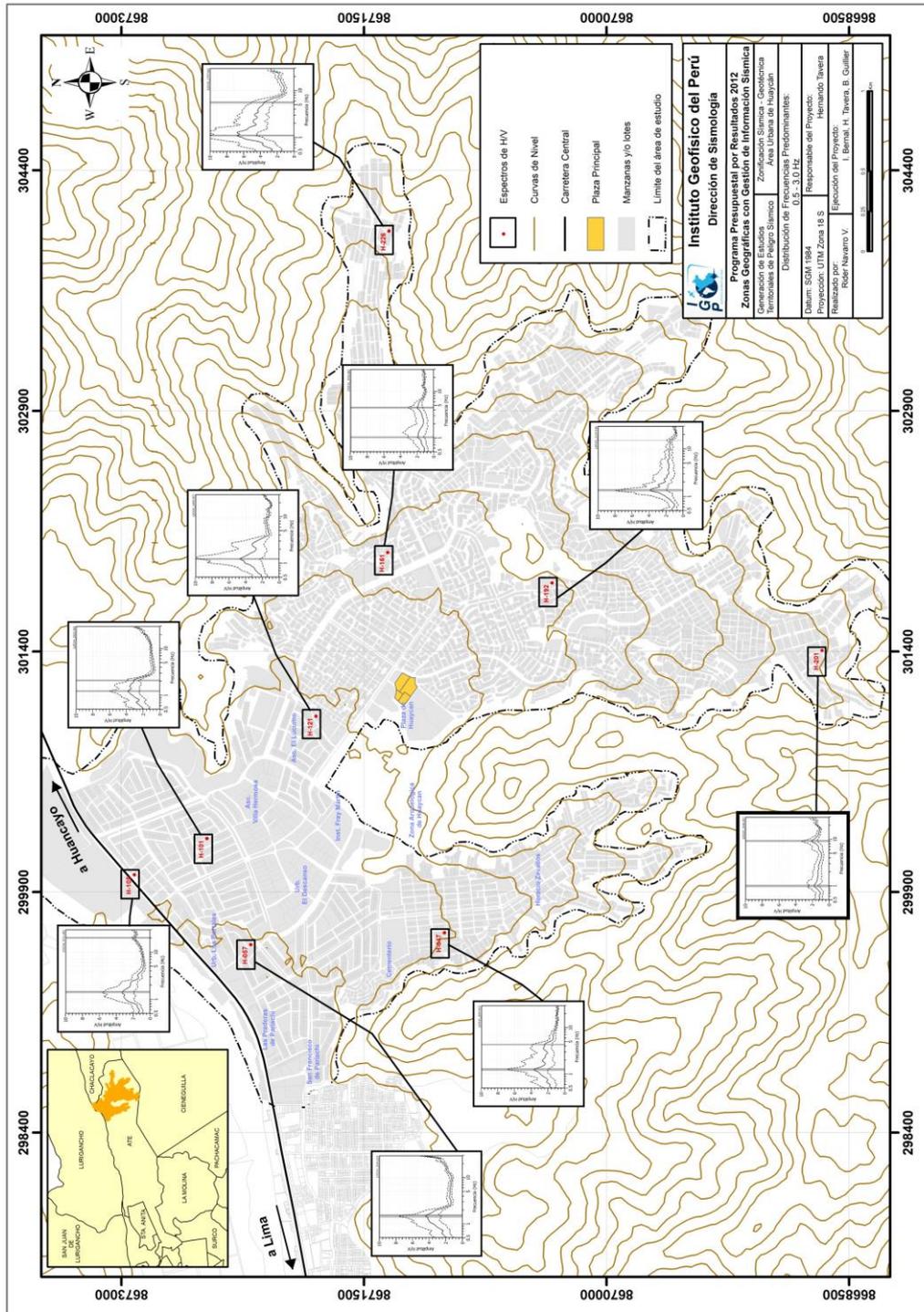


Figura 30: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 0.5 y 3.0 Hz. En las gráficas, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

Rango de frecuencias de 3.0 a 20 Hz: En la Figura 31 se presenta el mapa de distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes comprendidos entre 3 y 20 Hz, y en la Figura 32 algunos ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-026, H-060, H-109, H-116, H-122, H-126, H-141, H-144, H-173, H-191, H-211, H-305. De acuerdo a la distribución de estos valores, se puede diferenciar la presencia de tres sub-áreas (A1-rosado, A2-verde y A3-gris) en donde las frecuencias presentan valores similares, siendo sus principales características las siguientes (Figura 31):

Área 1: Considera los puntos donde las frecuencias predominantes menores a 4.0 Hz, concentrándose sobre tres áreas de regular tamaño y otras tres de áreas pequeñas. La zona de mayor área se encuentra sobre la zona céntrica del área de estudio (Plaza Central de Huaycán) y las otras dos, sobre la Urb. El Descanso y entre las Praderas de Pariachi y San Francisco de Pariachi. Estas frecuencias se distribuyen en su mayoría hacia el centro de la terraza aluvial, cuya geomorfología tiene la forma de una cuenca con orientación perpendicular al Río Rimac. Las áreas en gris presentan amplificaciones menores a 2 veces.

Área 2: Predominan frecuencias que varían entre 4.0 y 10.0 Hz, los mismos que se encuentran principalmente en áreas que rodean al Área 1 y abarcando un 60% de la terraza aluvial sobre la cual se asienta el distrito de Huaycán. Las áreas en gris presentan amplificaciones menores a 2 veces.

Área 3: Considera las frecuencias predominantes mayores a 10.0 Hz y en su mayoría rodean a las Áreas 1 y 2. Estos valores se encuentran próximos a las laderas de los cerros y lomeríos, estando concentrados en mayor número hacia el extremo NE del área de estudio, próximo a la Carretera Central y Río Rímac. Las áreas en gris presentan amplificaciones menores a 2 veces.

En la Figura 31, los puntos sin valor indican que no presentaban frecuencias predominantes y todos ellos, se encuentran distribuidos en las partes altas de las quebradas y cerca de la Carretera Central.

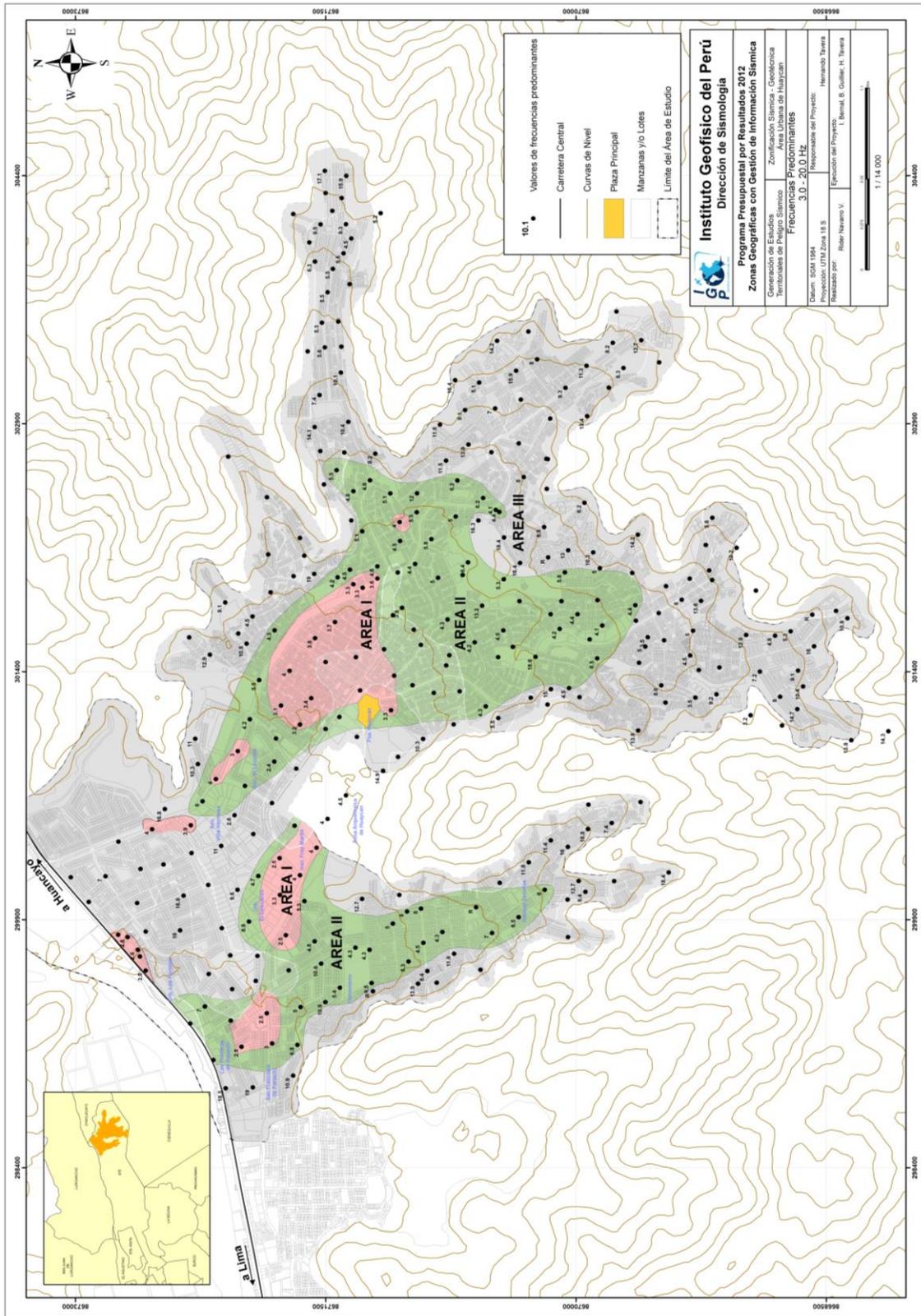


Figura 31: Mapa del área de estudio y distribución espacial de las frecuencias predominantes en el rango de 3.0 - 20.0 Hz. Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango. Para las Áreas, ver texto.

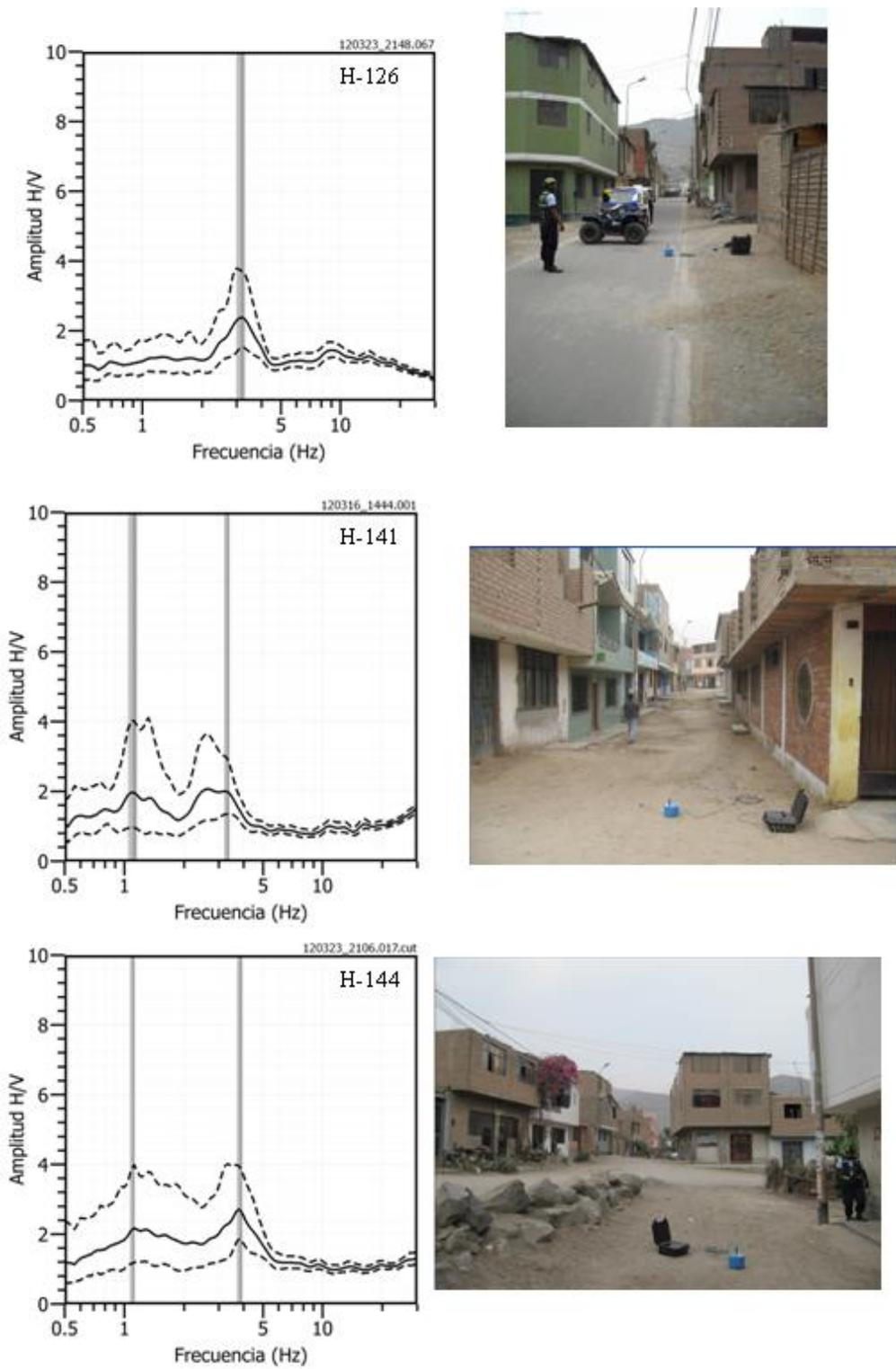


Figura 32: Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-126, H-141 y H-144 ubicados sobre el Área A1 (Figura 31).

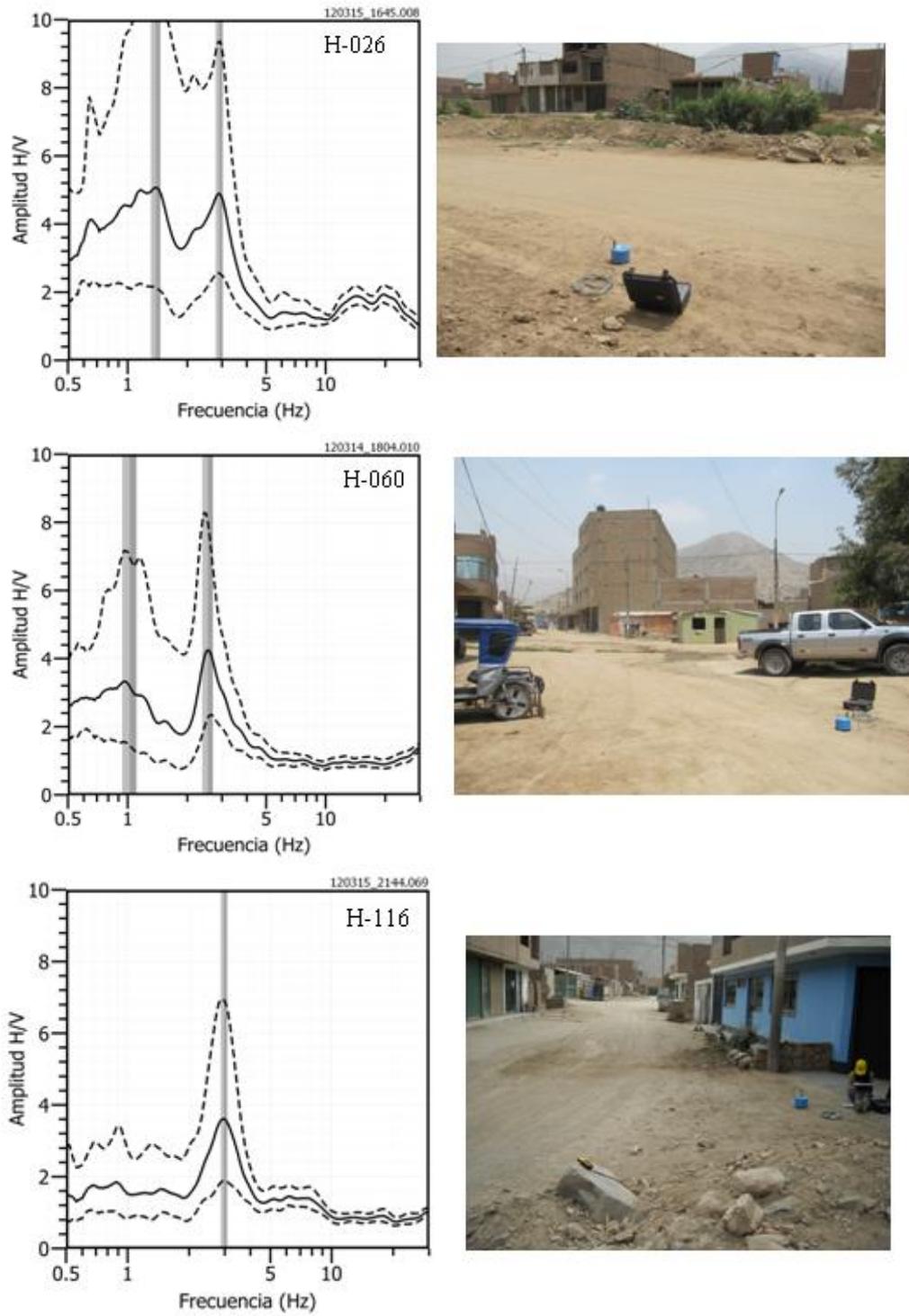


Figura 32: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-026, H-060 y H116 ubicados sobre la sub-área A1 (Figura 31).

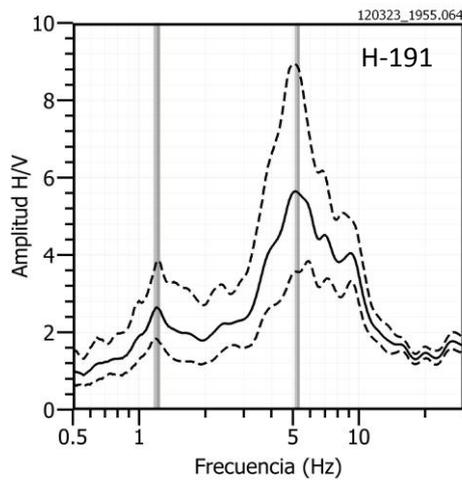
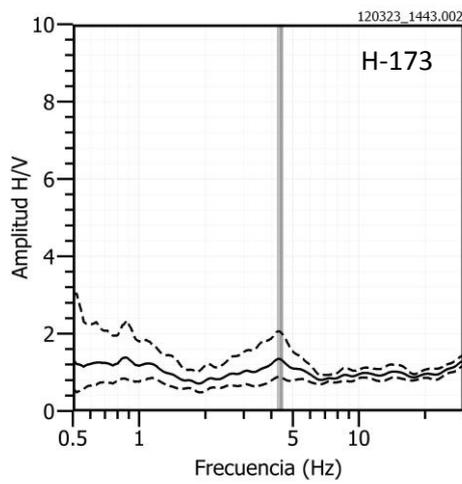
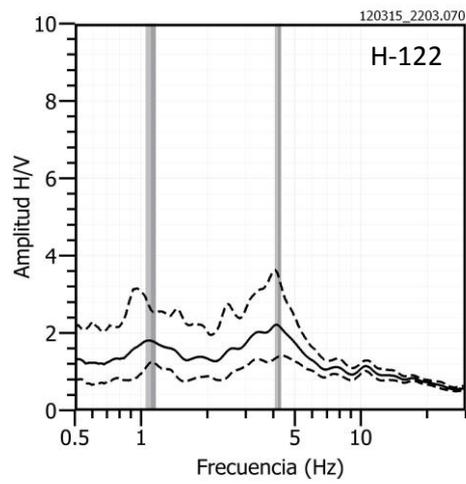


Figura 32: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-122, H-173 y H-191 ubicados sobre el Área A2 (Figura 31).

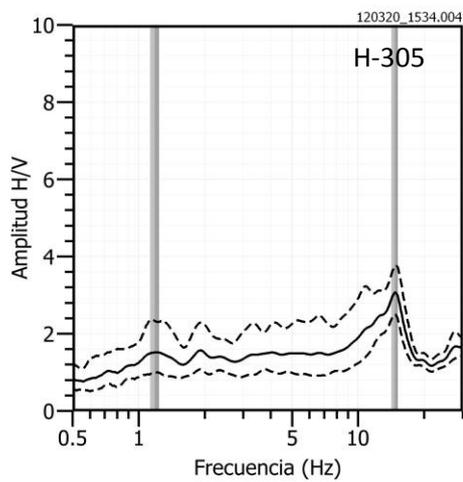
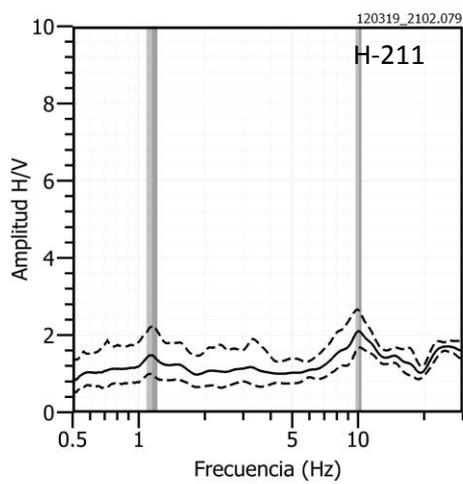
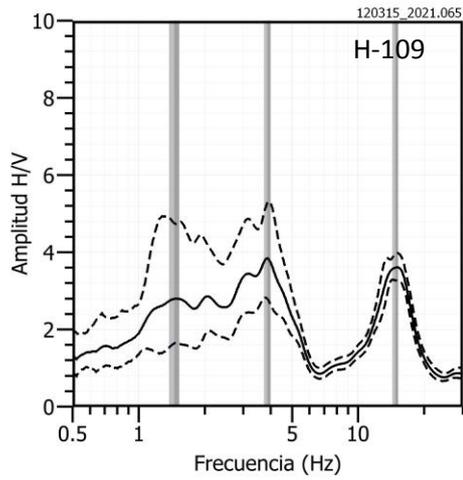


Figura 32: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-109, H-211 y H-305 ubicados sobre el Área A3 (Figura 31).

En la Figura 33 se presenta la distribución espacial de razones espectrales consideradas como ejemplo a fin de evidenciar visualmente la posible relación entre la forma de las curvas H/V y los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos del área de estudio. En las curvas H/V para los puntos H-026, H-060, H-122, H-141, H-144, H-191, H-211 y H-305 se observa que predominan dos picos de frecuencias (1.0-1.5 Hz; 2.0-5.0 Hz y 10.0 -15.0 Hz) y en las curvas de los puntos H-116, H-126 y H-173, sólo un pico de frecuencia (3.0 Hz y 4.0 Hz); mientras que en la curva del punto H-109, hasta tres picos de frecuencia (1.0Hz, 3.0Hz y 10Hz), lo cual evidencia la heterogeneidad y complejidad de los suelos existentes en la zona de estudio.

Asimismo, se observa importantes diferencias en la forma de las curvas de H/V. Por ejemplo, las razones espectrales con predominio de dos picos de frecuencias se encuentran principalmente en el extremo SE de área de estudio y los de solo un pico en la zona central (línea discontinua), lo cual sugiere la presencia de dos y una capa de suelos respectivamente. Finalmente, los espectros presentan amplificaciones menores a 2 en los puntos que se encuentran en dirección sur del área de estudio.

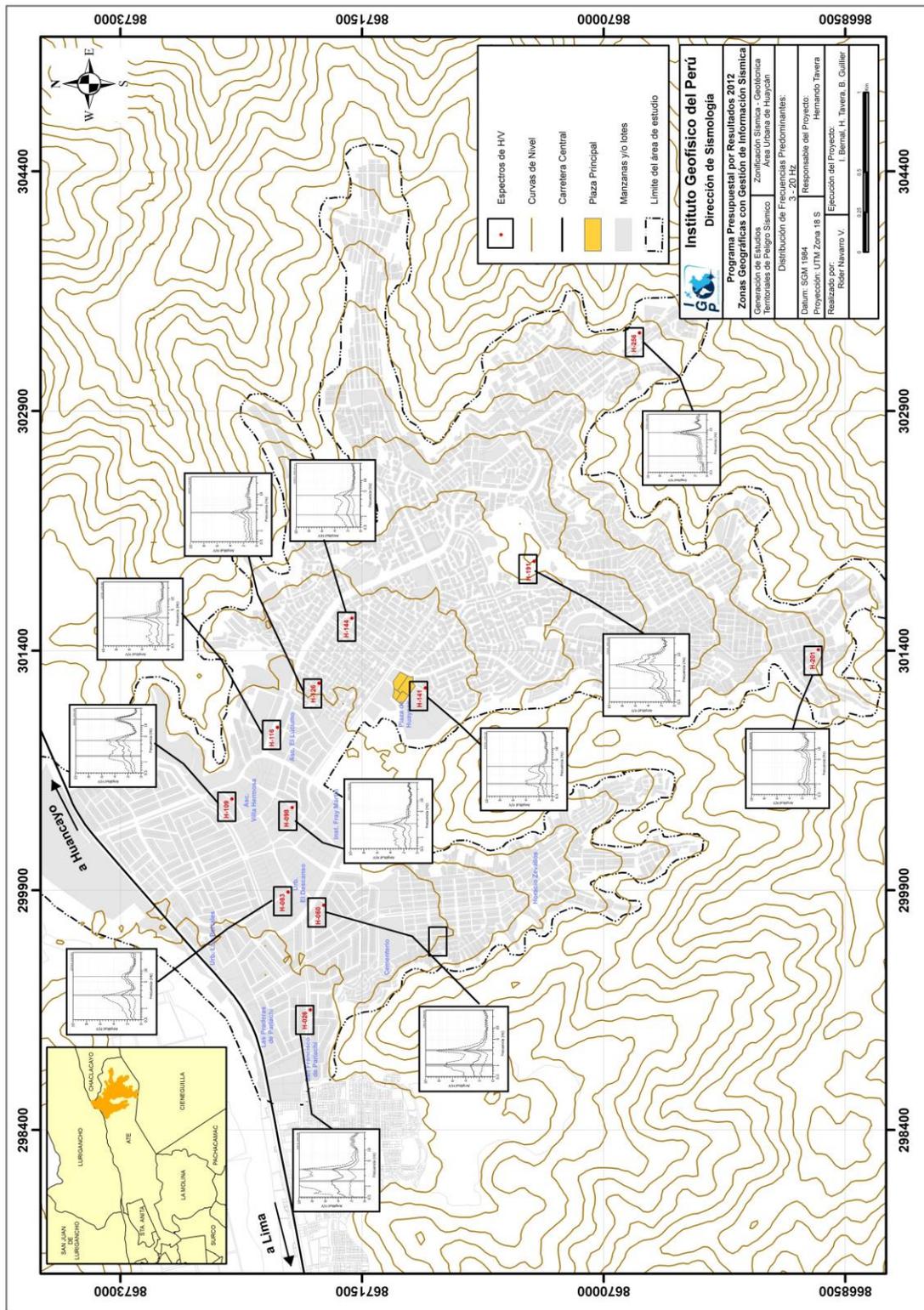


Figura 33: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 3 y 20 Hz. En las gráficas, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango 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 34, se presenta el mapa del área urbana de Huaycán con la ubicación espacial de las 6 líneas de refracción sísmica codificadas como:

- .- Líneas LR01-HUA: extremo NO, Urb. Los Portales,
- .- Línea lineal LR02-HUA: extremo oeste del área, Cementerio,
- .- Líneas LR03-HUA y LR04-HUA: sobre la zona arqueológica,
- .- Línea LR05-HUA: al NE de la Plaza Central y
- .- Línea LR06-HUA: al SE del área de estudio

En la Figura 35 de presente imágenes de la toma de datos en campo y en la Figura 36, ejemplos de los registros obtenidos.

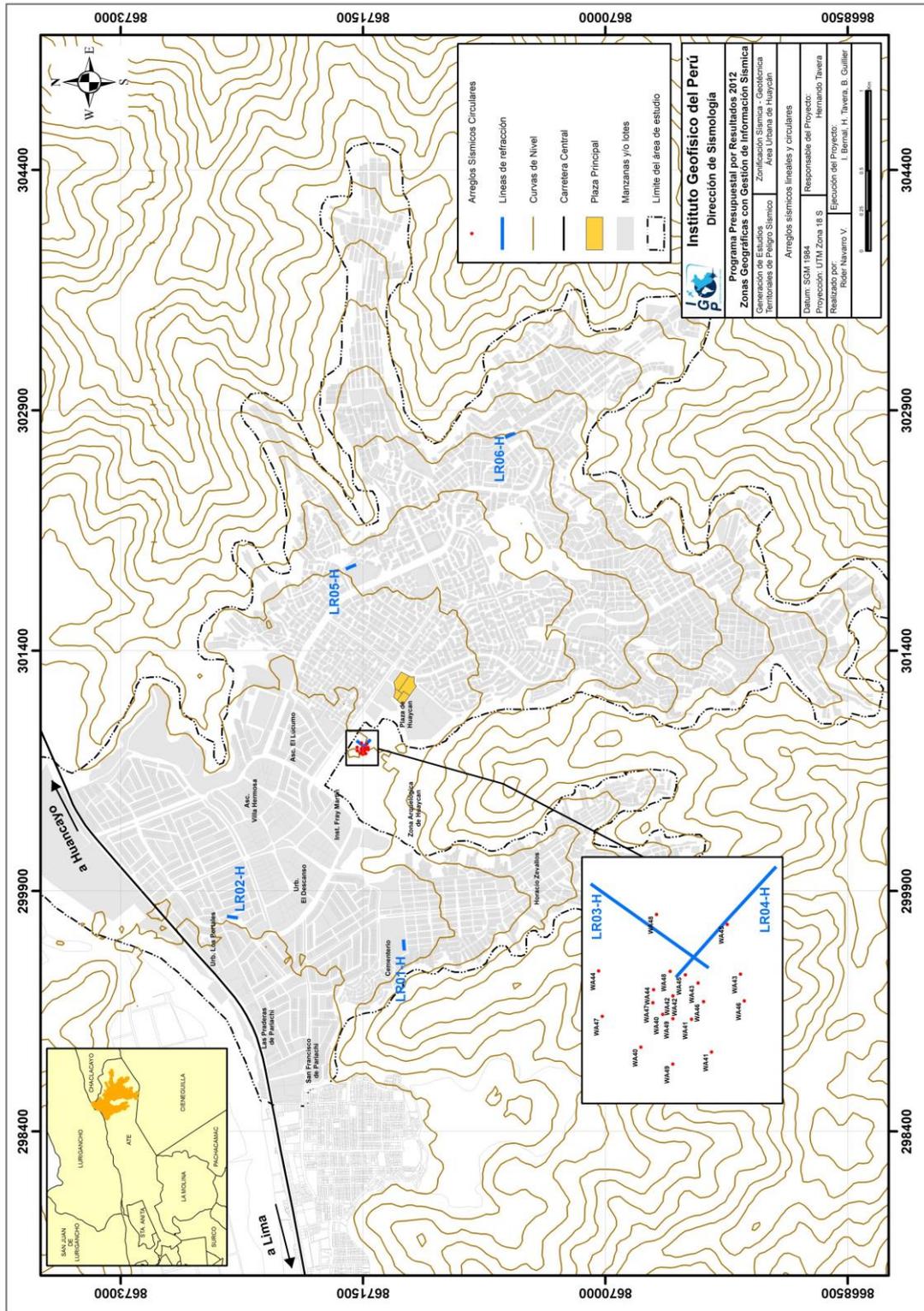


Figura 34: Mapa del área urbana de Huaycán y distribución de las líneas de refracción sísmica (LR01-H...LR06-H). Asimismo, en la figura se muestra la ubicación de los arreglos circulares de estaciones sísmicas con radios de 10 y 30 metros.

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 E.030 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

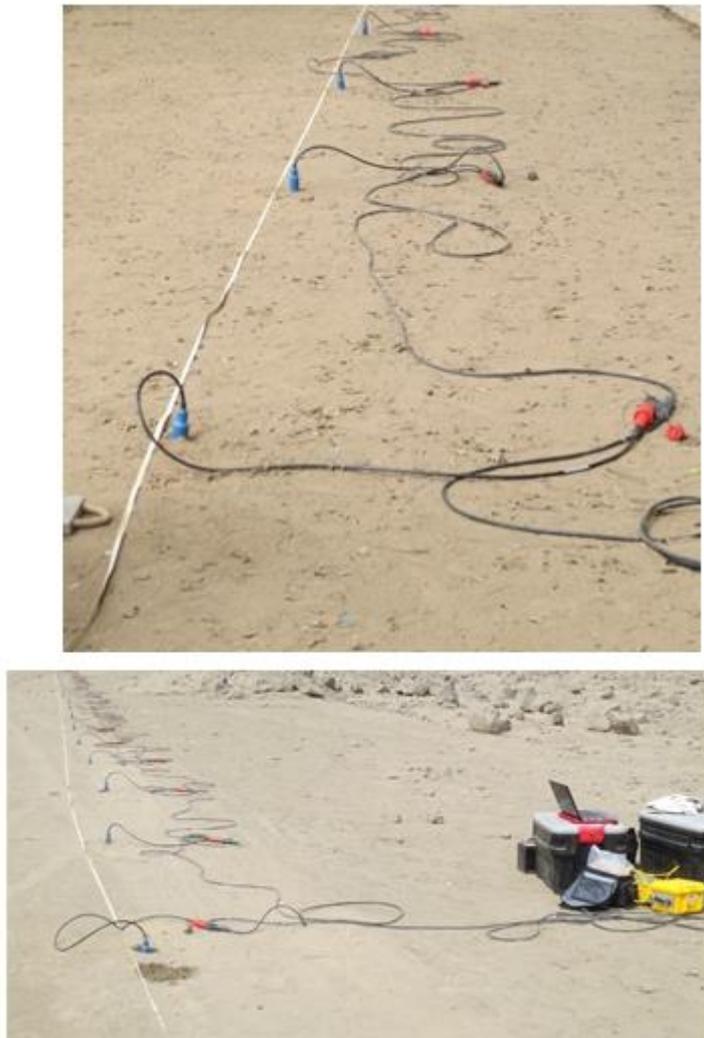


Figura 35: Imágenes de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de data

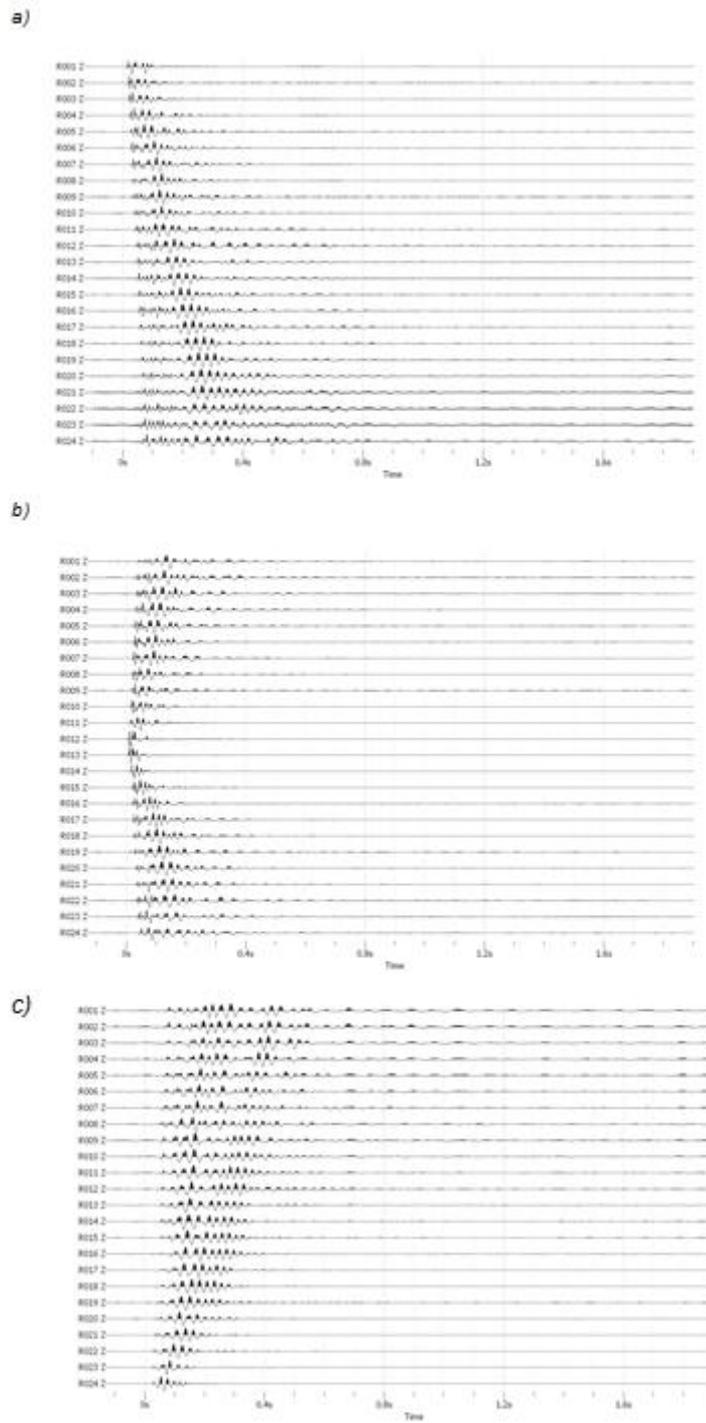


Figura 36: Ejemplos de registros obtenidos en los 24 canales considerando el golpe de martillo en ambos extremos (a,c) y el centro del arreglo (b).

Para el análisis de la información obtenida con el método MASW, la inversión de las curvas de dispersión permiten obtener los perfiles de velocidad de las ondas de corte (V_s) y espesores de las diferentes capas sobre el estrato rocoso. Conocida esta información, se procede a obtener una función de transferencia teórica para ser correlacionada con la empírica obtenida con la técnica H/V. Si existe correspondencia entre ambas funciones de transferencia, indica que los resultados que se obtienen son óptimos; es decir, las velocidades de ondas de corte (V_s) y espesores de las capas superficiales obtenidos son correctos.

Arreglo Lineal LR01-HUA: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo Oeste del área, próximo al Cementerio de Huaycán (Figura 37). El perfil de velocidad permite diferenciar la existencia de dos capas, la primera superficial con 5 a 7 metros de espesor y velocidades V_s promedio de 200 m/s correspondientes a suelos blandos a moderadamente duros. La segunda capa tiene espesores de 9 m con velocidades V_s promedio de 400 m/s debido a suelos moderadamente duros a duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 700 m/s y corresponde a suelos muy duros.

Arreglo Lineal LR02-HUA: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo NO del área, Urb. Los Postales (Figura 38). El perfil de velocidad permite identificar la presencia de tres capas, la primera con espesor de 2 a 4 m y velocidades V_s de 200 m/s correspondiente a suelos blandos a moderadamente duros. La segunda capa presente un espesor de 6 m y velocidades V_s de 390 m/s correspondiente a suelos moderadamente duros a duros y la tercera capa, espesores de 16 metros con velocidades V_s promedio de 500 m/s correspondiente a suelos duros a muy duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 800 m/s y corresponde a suelos muy duros.

Arreglo Lineal LR03-HUA y LR04-HUA: Estos arreglos se realizaron sobre la Zona Arqueológica de Huaycán (Figuras 39 y 40). En ambos perfiles se ha identificado la presencia de una capa con espesores de 5 y 7 m velocidades V_s del orden de 280 m/s correspondiente a suelos relativamente duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de hasta 450 m/s, la misma que aparentemente supera la profundidad de 30 metros (suelo muy duro).

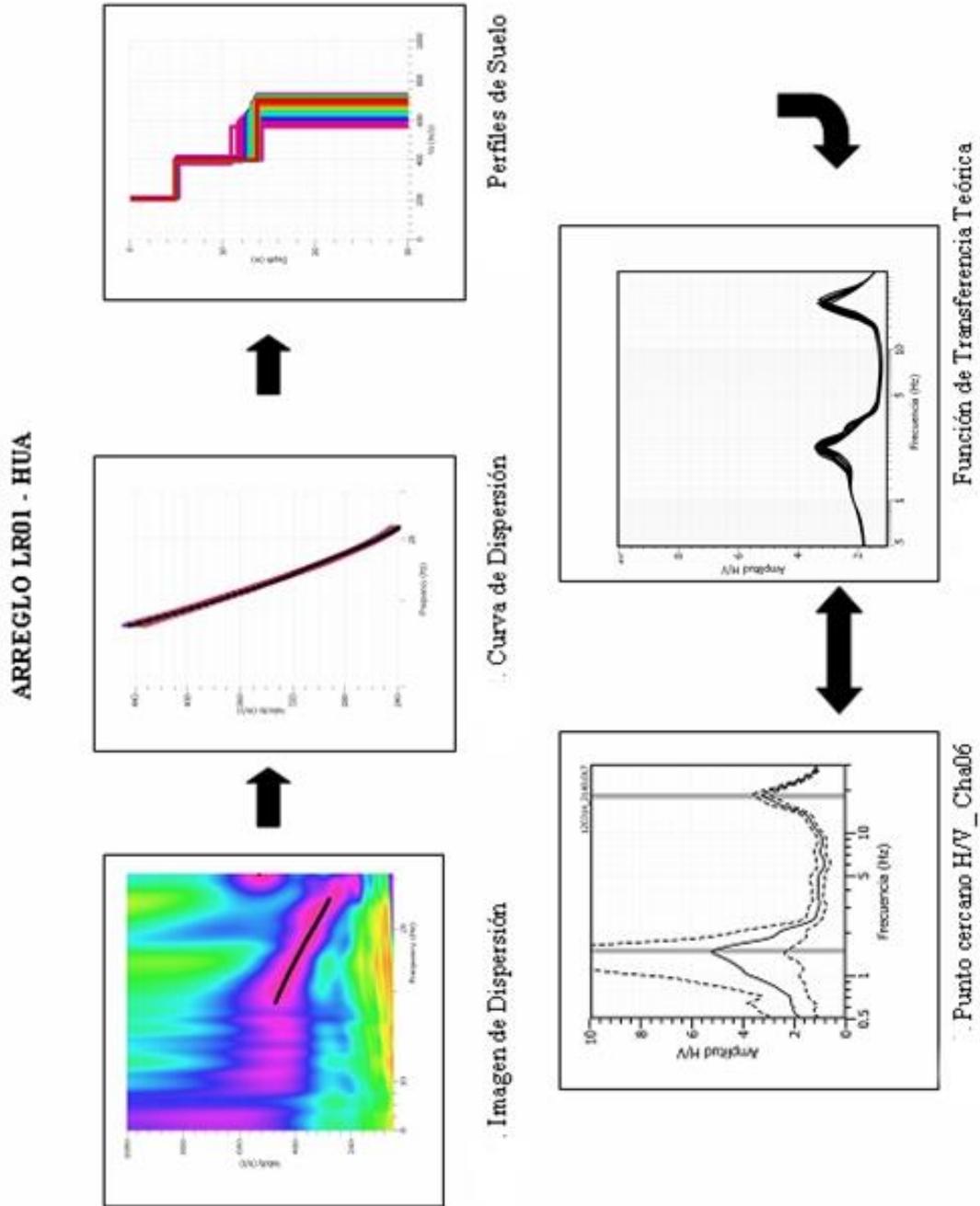


Figura 37: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR01-HUA (ver Figura 34)

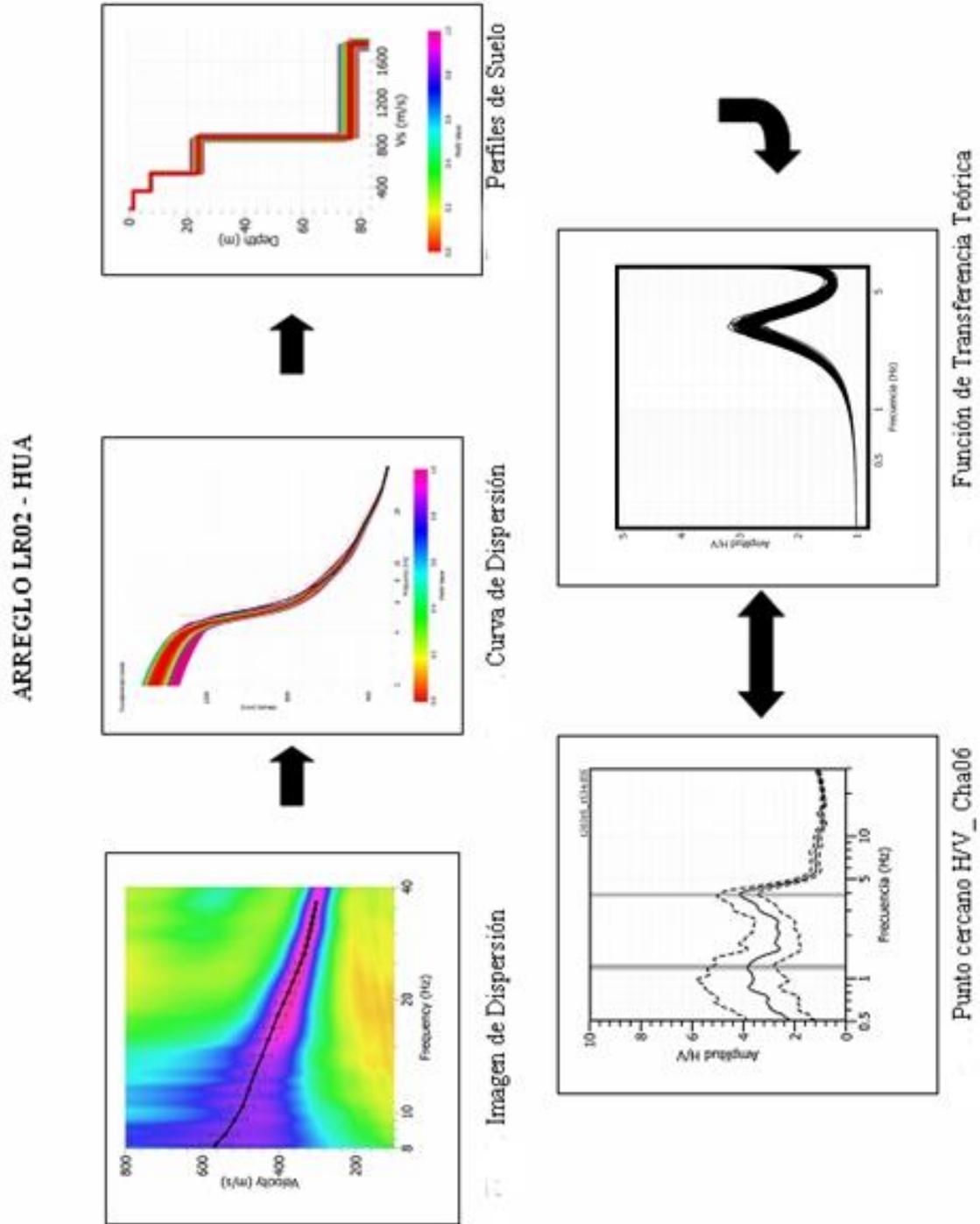


Figura 38: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR02-HUA (ver Figura 34)

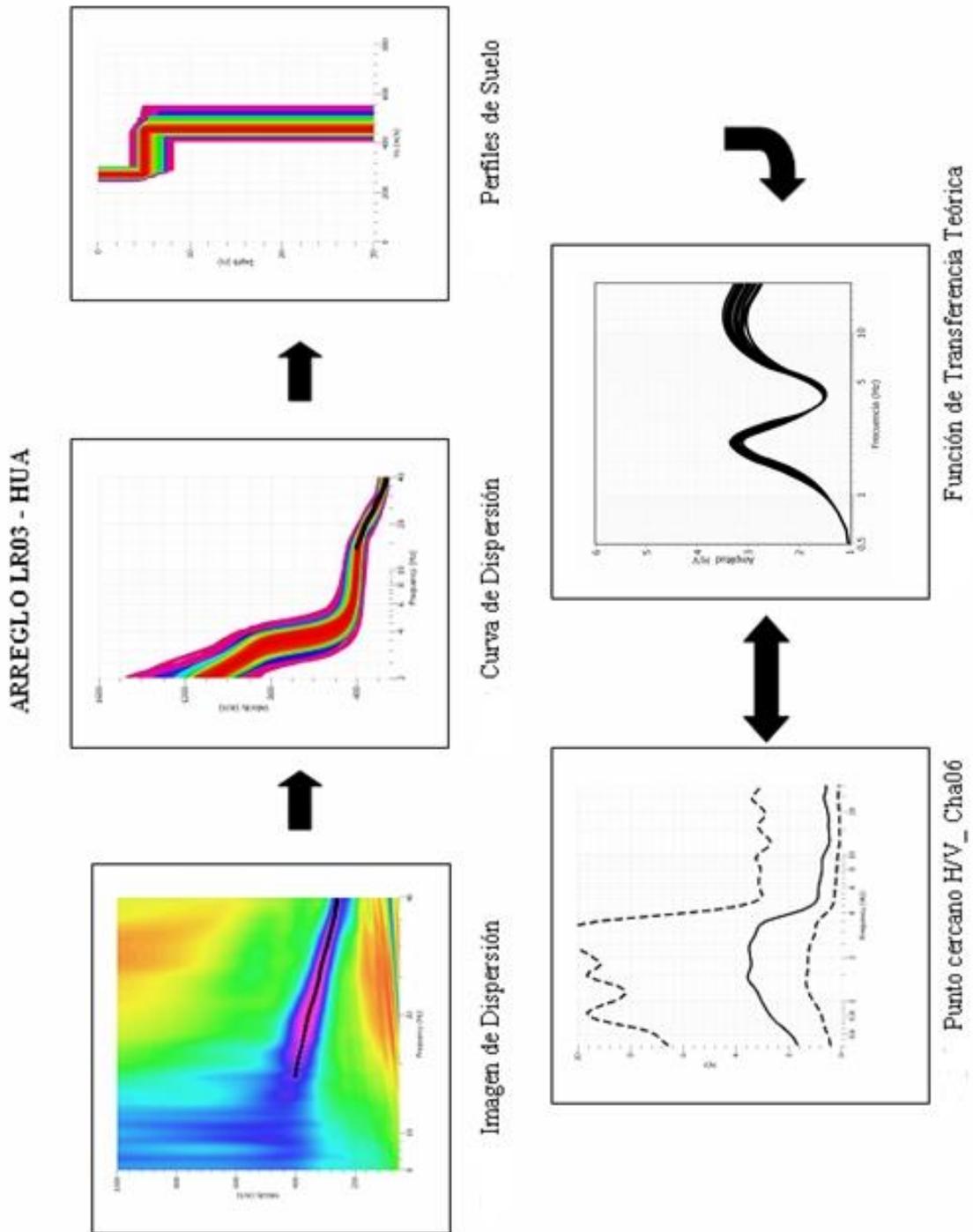


Figura 39: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR03-HUA (ver Figura 34)

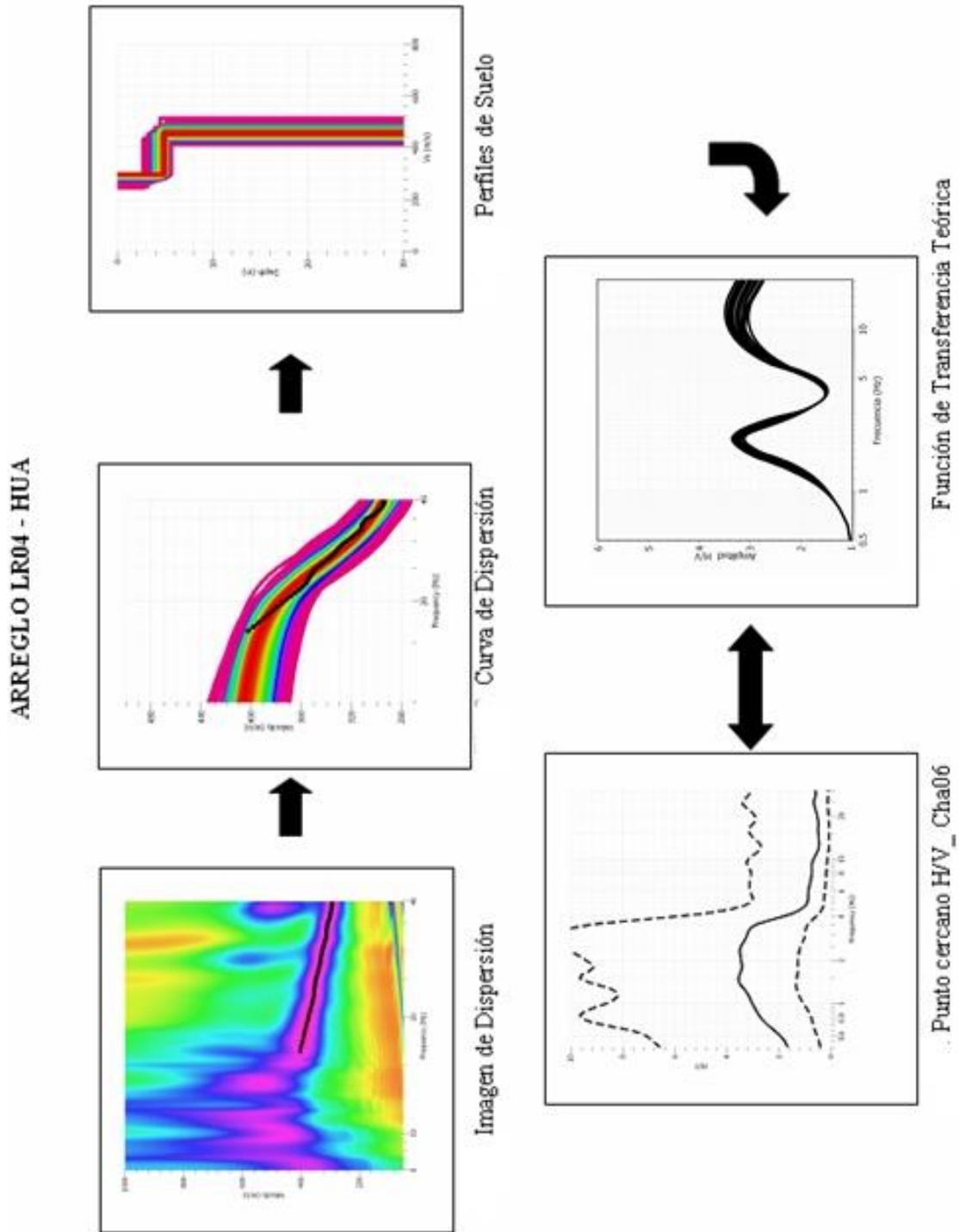


Figura 40: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR04-HUA (ver Figura 34)

Arreglo Lineal LR05-HUA: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado al NE de la Plaza Central de Huaycán (Figura 41). En el perfil se ha diferenciado la presencia de dos capas, la primera superficial de 2 y 4 m de espesor con velocidades V_s promedio de 230 m/s correspondiente a suelos blandos a moderadamente duros. La segunda capa de 5 m de espesor y velocidades V_s promedio de 460 m/s correspondiente a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 610 m/s y corresponde a suelos muy duros.

Arreglo Lineal LR06-HUA: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo SE del área de estudio (Figura 42). Según el perfil de velocidad, en este punto se tiene tres capas, la primera superficial de 2 a 3 m de espesor y velocidades V_s promedio de 160 m/s correspondiente a suelos blandos. La segunda capa de 3 m de espesor con velocidades V_s promedio de 350 m/s correspondiente a suelos moderadamente duros y la tercera capa de 5 m de espesor y velocidades V_s promedio de 460 m/s correspondiente a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 700 m/s y corresponde a suelos muy duros.

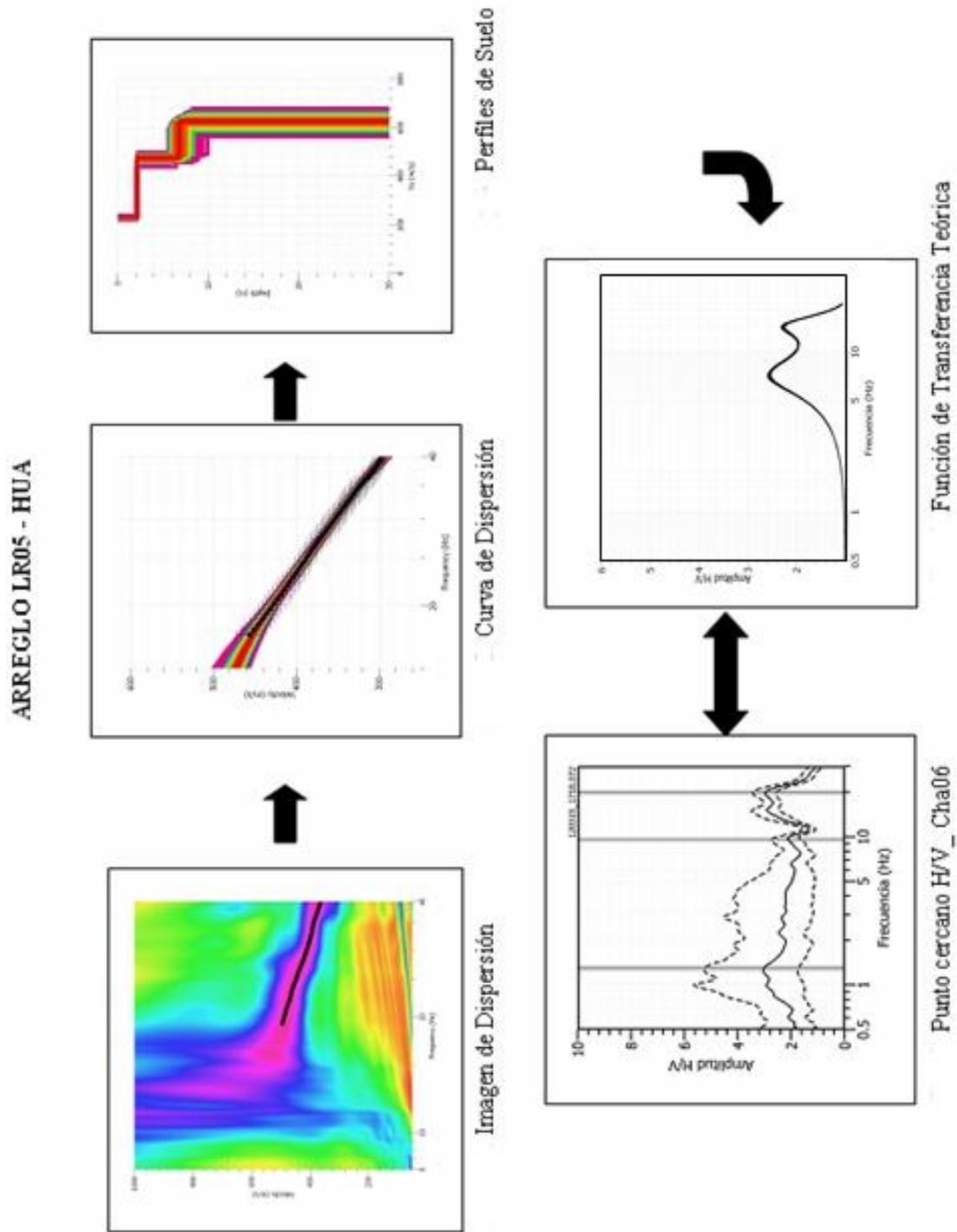


Figura 41: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR05-HUA (ver Figura 34)

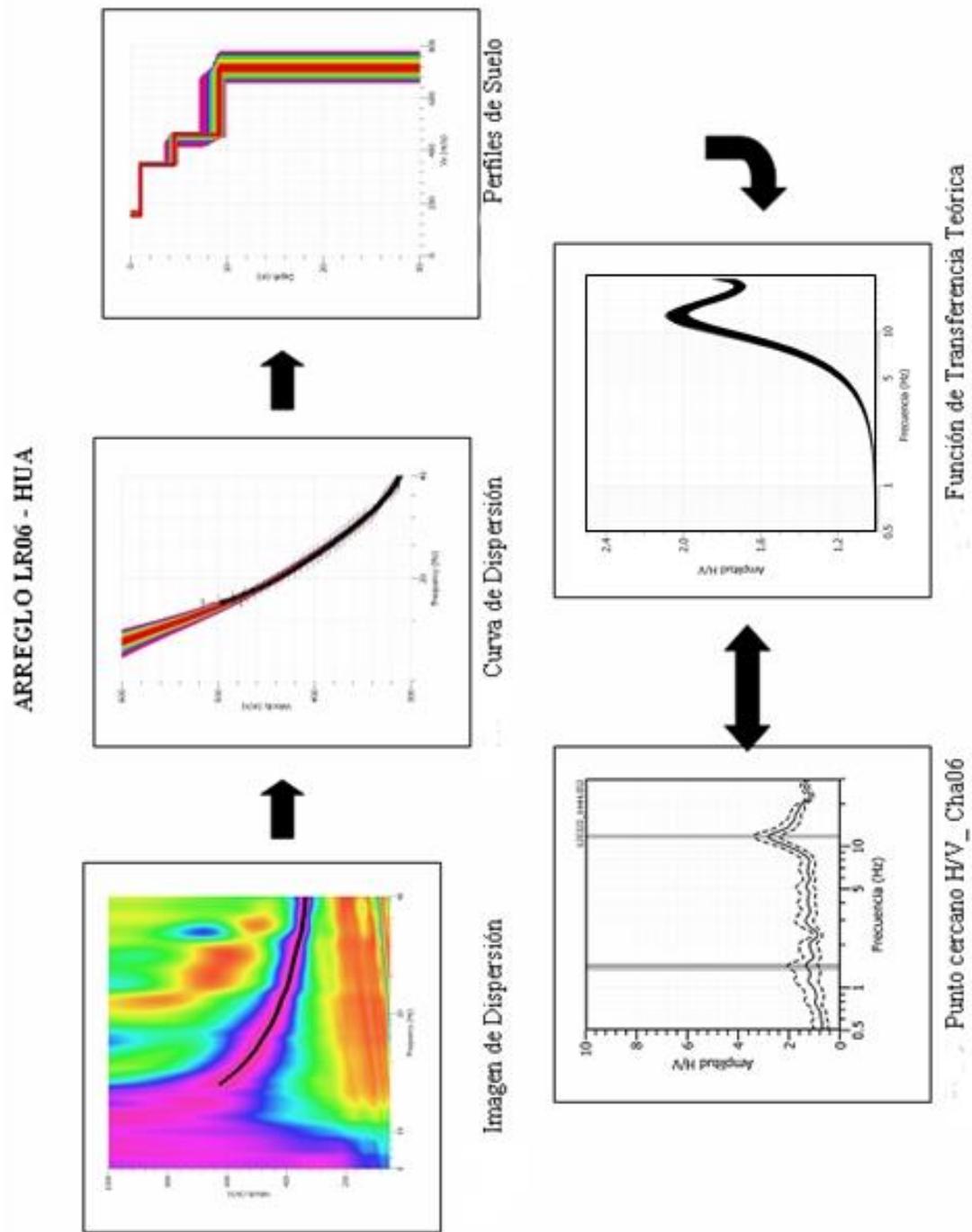


Figura 42: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR06-HUA (ver Figura 34)

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 Arqueológica de Huaycán se realizaron dos arreglos circulares considerando una estación de base y otras 9 estaciones sísmicas distribuidas de manera equidistante a distancias radiales de 10 y 30 metros (Figura 34). En la Figura 43 se muestra la distribución y disposición del equipo sísmico utilizado en el estudio.



Figura 43: Imágenes de los arreglos sísmicos circulares realizados en Huaycán. Se muestran los equipos utilizados y su disposición a diferentes distancias radiales.

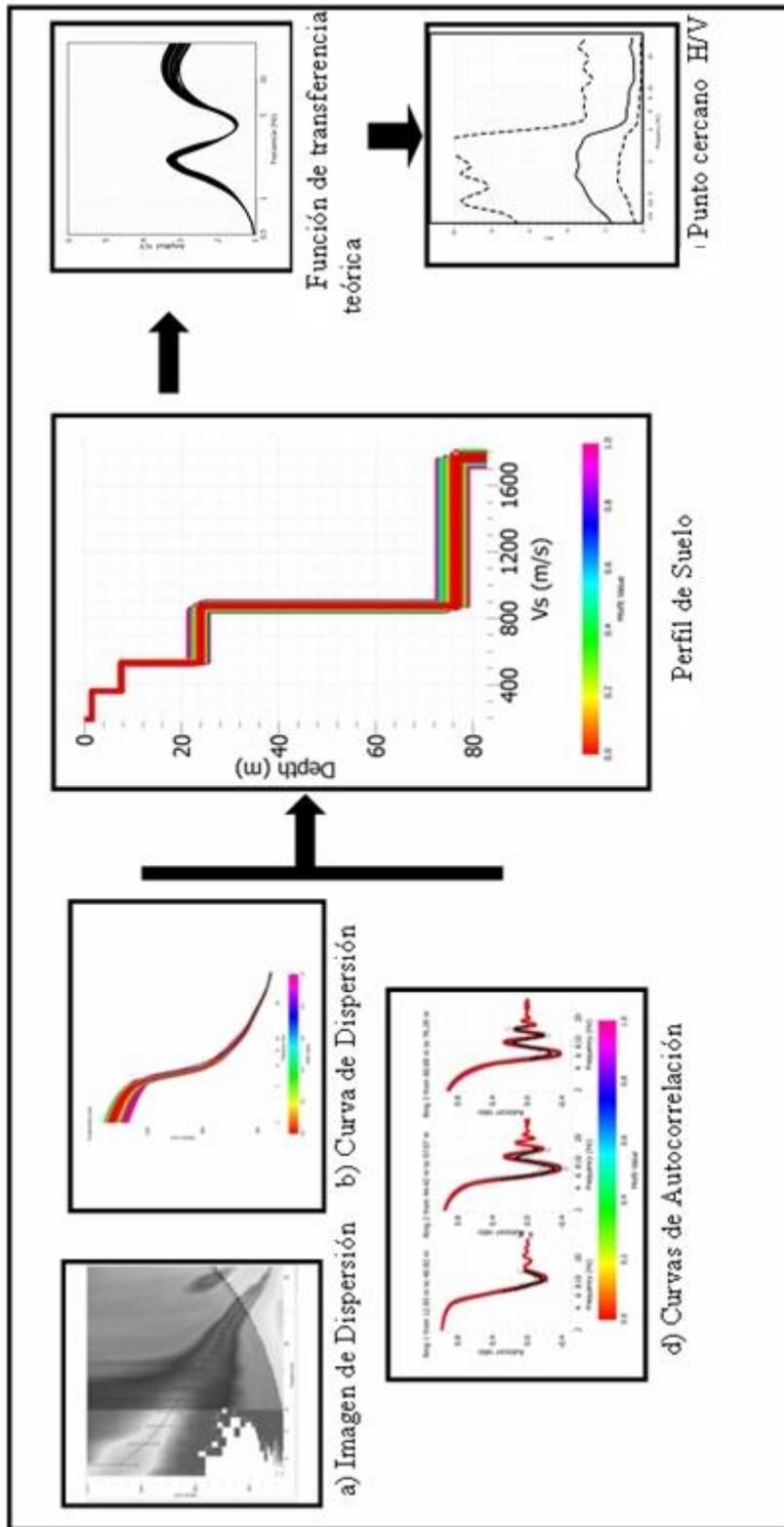


Figura 44: Análisis e interpretación geofísica de los arreglos sísmicos lineales (a, b) y circulares (d) realizados en Huaycán, y su correlación con la técnica H/V

Las curvas de dispersión obtenidas con los métodos F-K y SPAC se muestran en la Figura 44, 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 (LR04-HUA, Figura 40). En el perfil de velocidades se ha identificado la presencia de tres capas, la primera con espesores de 4 a 5 metros con velocidades V_s alrededor de 200 m/s correspondiente a suelos blandos a duros. La segunda capa con espesores de 5 metros y velocidades de 390 m/s correspondiente a suelos duros, y la tercera capa con espesores de 18 a 25 metros con velocidades de 520 m/s correspondiente a suelos muy duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de hasta 800m/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 Arqueológica de Huaycán y para su procesamiento, se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ.

Línea Geoeléctrica LE01-HUA (Figura 45): Se caracteriza por presentar zonas de alta resistividad con valores de 700 y 800 Ohm-m para la primera capa de espesor entre 4 y 5 metros, estando posiblemente relacionada con la presencia de material de grano grueso consolidado a la que subyace, hacia el extremo derecho de la línea (a 120 m de distancia del punto de inicio de la línea), una segunda capa con resistividades menores a 500 Ohm-m y espesores entre 5 y 8 metros aproximadamente, estando constituida por material poco consolidado. Hacia el extremo izquierdo de la línea, esta segunda capa desaparece para dar paso a resistividades entre 500 y 700 Ohm-m. Por otro lado, entre los 70 y 90 metros, desde el punto de inicio de la línea, se observa como un pequeño afloramiento, resistividades del orden de 400 ohm-m constituido por material poco consolidado y con posible presencia de humedad.

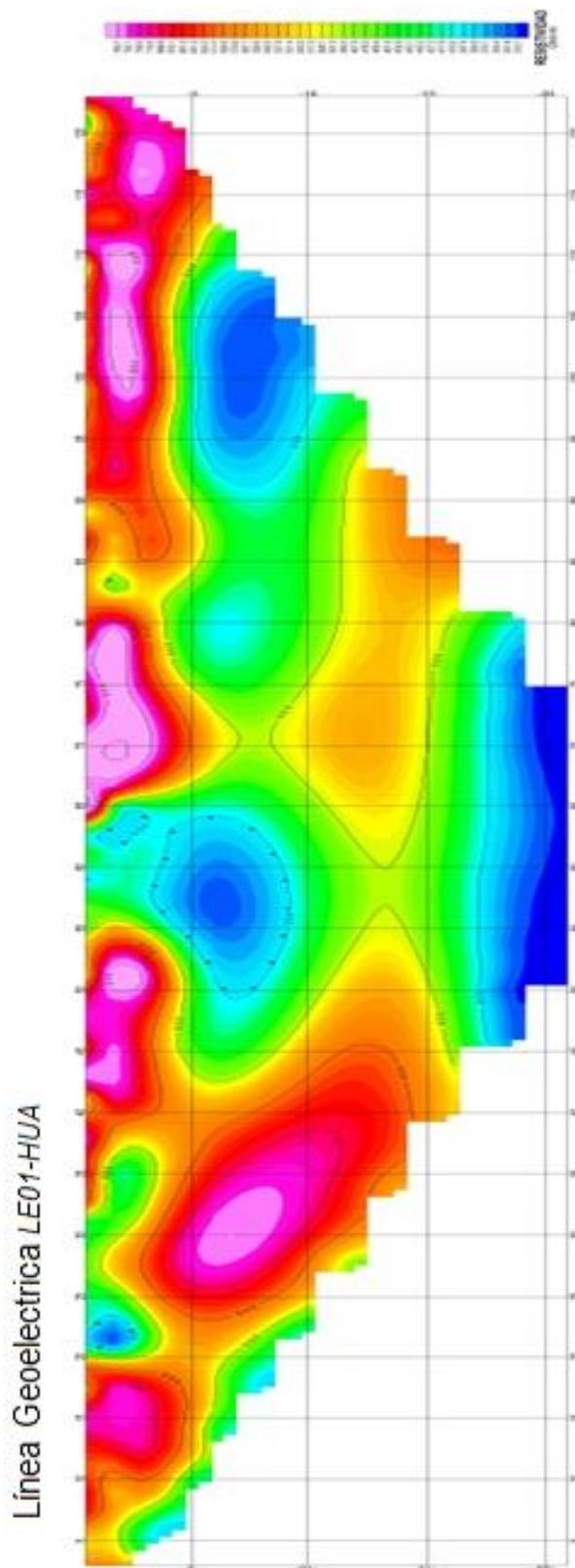


Figura 45: Línea Geoelectrica tomada en la zona Arqueológica de Huaycán

9.5.- Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área urbana de Huaycán 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 E.030), la existencia de suelos de Tipo S1 y S2. Finalmente, para el área Urbana de Huaycán (Ate) se propone la siguiente zonificación (Figura 46):

ZONA I: *Esta zona está conformada por estratos de grava con arena 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.*

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 Huaycán.*

En la Figura 46, las zonas sombreadas con líneas inclinadas presentan amplificaciones menores a 2 veces, correspondiendo a zonas rocosas y/o más estables.

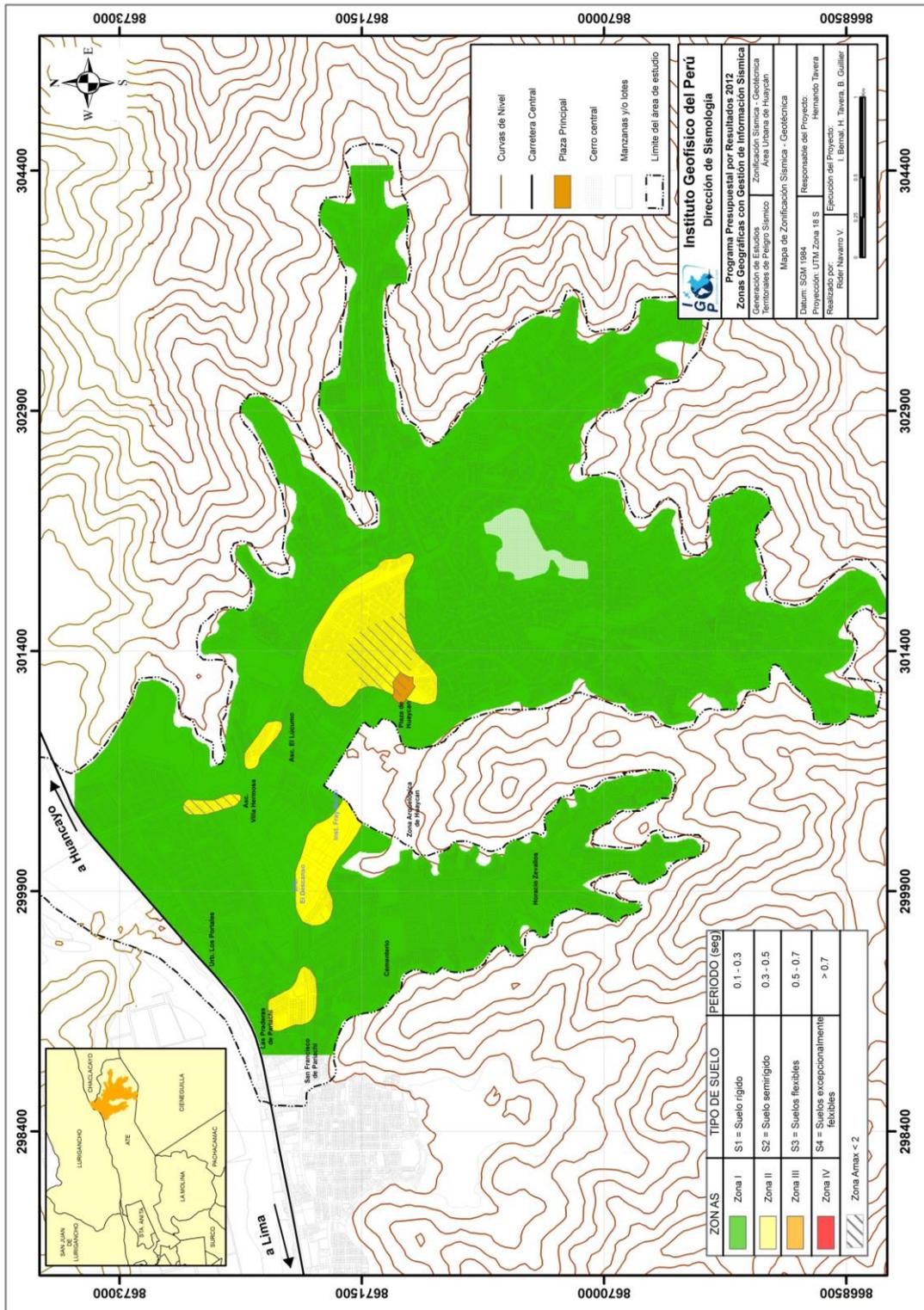


Figura 58: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el área urbana de Huaycán

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

CONCLUSIONES

Aspectos Geológicos:

El área urbana de Huaycán se emplaza sobre el Volcánico Quilmaná constituido por derrames andesíticos e intruídas por afloramientos ígneos del grupo Santa Rosa constituidos por cuerpos tonalíticos-granodioríticos del Cretáceo Superior de gran extensión dentro del Batolito de la Costa. Estos cuerpos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales del Cuaternario Pleistoceno (Qp-al) y al Cuaternario Reciente (Qr-al). El valle es de mediana amplitud y se interrumpe en varios sectores por conos aluviales que desembocan en el río Rímac.

Aspectos Geomorfológicos:

El área urbana de Huaycán se encuentra comprendida entre las cotas de 510 a 1408 m.s.n.m y su morfología presenta una forma típica de “V” dentro de un fondo angosto limitado por cadenas montañosas de moderada 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 26 movimientos en masa caracterizados por flujos de detritos y caída de rocas provenientes de zonas de pendiente alta. Los agentes detonantes típicos son las precipitaciones de lluvia, sismos y la actividad antrópica.

Aspectos Geotécnicos:

La elaboración de 15 calicatas y el respectivo análisis de muestras realizadas en laboratorio han permitido identificar para el área urbana de Huaycán, la presencia de hasta 9 tipos de suelos, los mismos que han sido caracterizados de acuerdo a la clasificación SUCS.

Los suelos en el sector de Horacio Zevallos presentan valores de capacidad media en un 95% del área a excepción de un lente de suelo ubicado en la Residencial las Praderas de Pariachi de capacidad baja. Los suelos del extremo Noroeste y Sureste de la localidad Huaycán presentan valores de capacidad media en un 80% del área; mientras que, los suelos en la Urb. El Descanso, Urb. Los Portales, Plaza Huaycán, Zona B , Zona O y la Zona P corresponden el 20% y presentan valores de capacidad baja.

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 $14\text{cm}/\text{seg}^2$, 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 370 a $375\text{ cm}/\text{seg}^2$. 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 20 Hz, lo cual sugiere que el suelo sobre el cual se encuentra el área urbana de Huaycán es muy heterogéneo y por ende, complejo. El rango de frecuencias entre 3 y 20 Hz ha permitido identificar la presencia de tres áreas con similares valores de frecuencias, lo cual confirma la heterogeneidad del suelo.

Los estudios con arreglos sísmicos lineales y circulares han permitido identificar la presencia de suelos con velocidades de ondas de corte (V_s) de 160 a 280 m/s correspondiente a suelos duros con espesores de 2 a 7 metros, suelos con velocidades V_s de 350 a 490 m/s correspondiente a suelos muy duros con espesores de 3 a 9 metros. La superficie de contacto alcanza velocidades de 450 a 800 m/s que corresponde a suelos compuesto por rocas moderadamente duras.

Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo):

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E.030), la existencia en el área urbana de Huaycán 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 Huaycán.

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 de Huaycán, esto debido a la compleja heterogeneidad identificada en la composición de sus suelos.

Este documento técnico debe ser utilizado por las autoridades locales de Huaycán 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 de Ate, zona de Huaycán.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtemores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
- APESSEG (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 microtemores. 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 microtemor 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.030 (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.