



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 CARAPONGO
LURIGANCHO-CHOSICA
(Comportamiento Dinámico del Suelo)**

Responsable: Hernando Tavera

**Lima – Perú
2012**

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA
DEL ÁREA URBANA DE CARAPONGO
LURIGANCHO-CHOSICA
(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 Martinez Rider Navarro-Valderrama Yonathan Bustamante Joseth Flores Cristhian Flores
Análisis Sísmico:	Cristóbal Condori Patricia Guardia Luz Arredondo

RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica del Área Urbana de Carapongo, Distrito de Lurigancho-Chosica. 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 Carapongo (Lurigancho-Chosica) han permitido identificar, según el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de tres (3) zonas sísmicas-geotécnicas correspondientes a suelos Tipo S1, S2 y S3.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el Área Urbana de Carapongo 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
 - 9.5.- Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1: Inventario de Eventos Geodinámicos

ANEXO 2: Descripción y Análisis de Calicatas

ANEXO 3: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

ANEXO 4: 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 conocer 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 existe suelo malo y que sólo 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 un nivel determinado de sacudimiento del suelo:

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 habitar una vivienda correctamente construida.

Estos tres aspectos permiten tener la confiabilidad de que las estructuras son 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 Huaycan, Distrito de Ate
- Área Urbana de Carapongo, Distrito de Lurigancho - Chosica

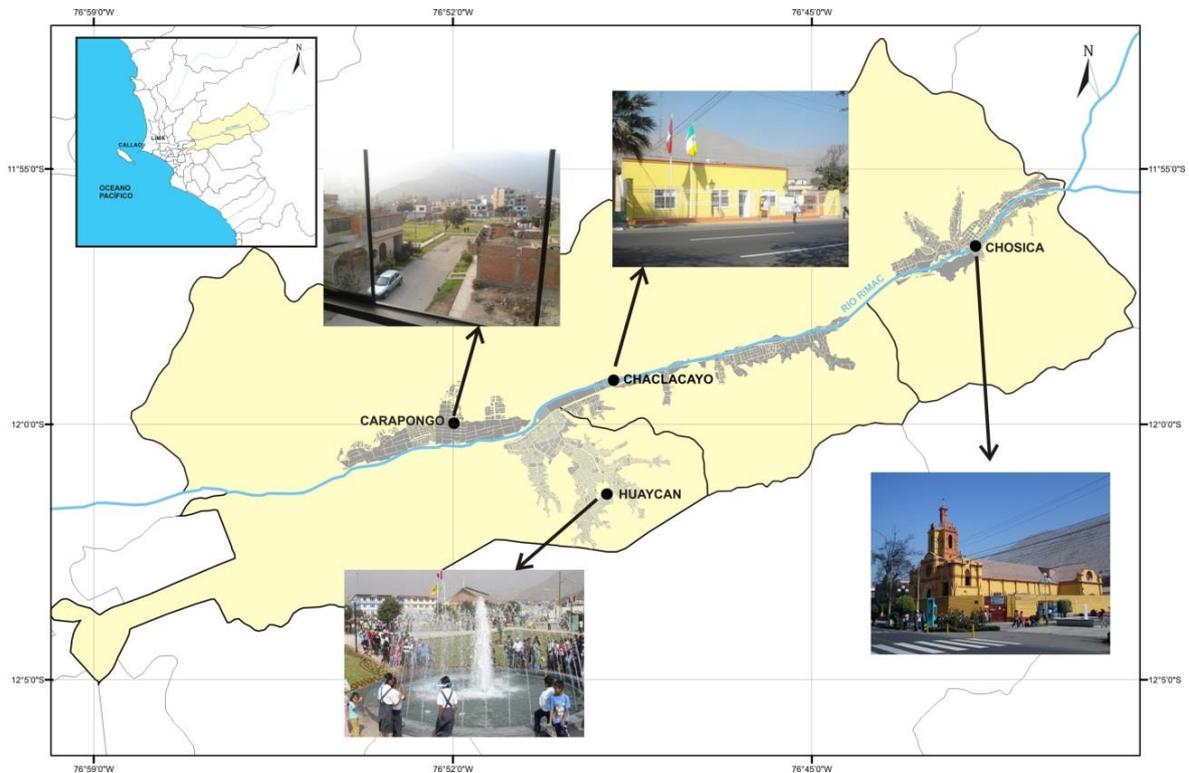


Figura 1: Ubicación de la región de estudio: Áreas Urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo

3.- OBJETIVOS

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el Área Urbana de Carapongo, Distrito de Lurigancho-Chosica, 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).

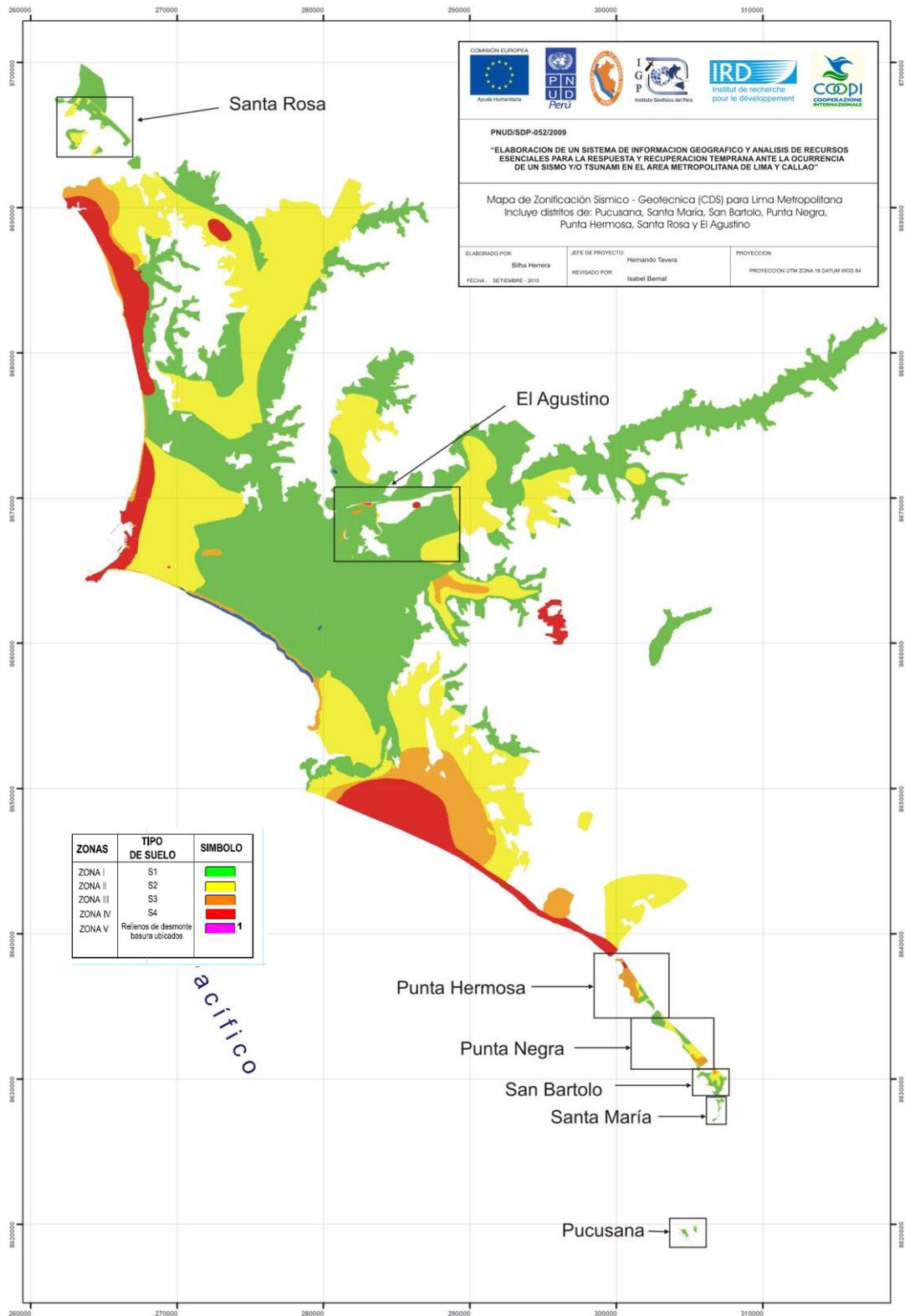


Figura 2.- Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y complementado por el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010)

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 continua 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 Carapongo (Distrito de Lurigancho-Chosica) 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 se deberá considerar 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 Carapongo 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, 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

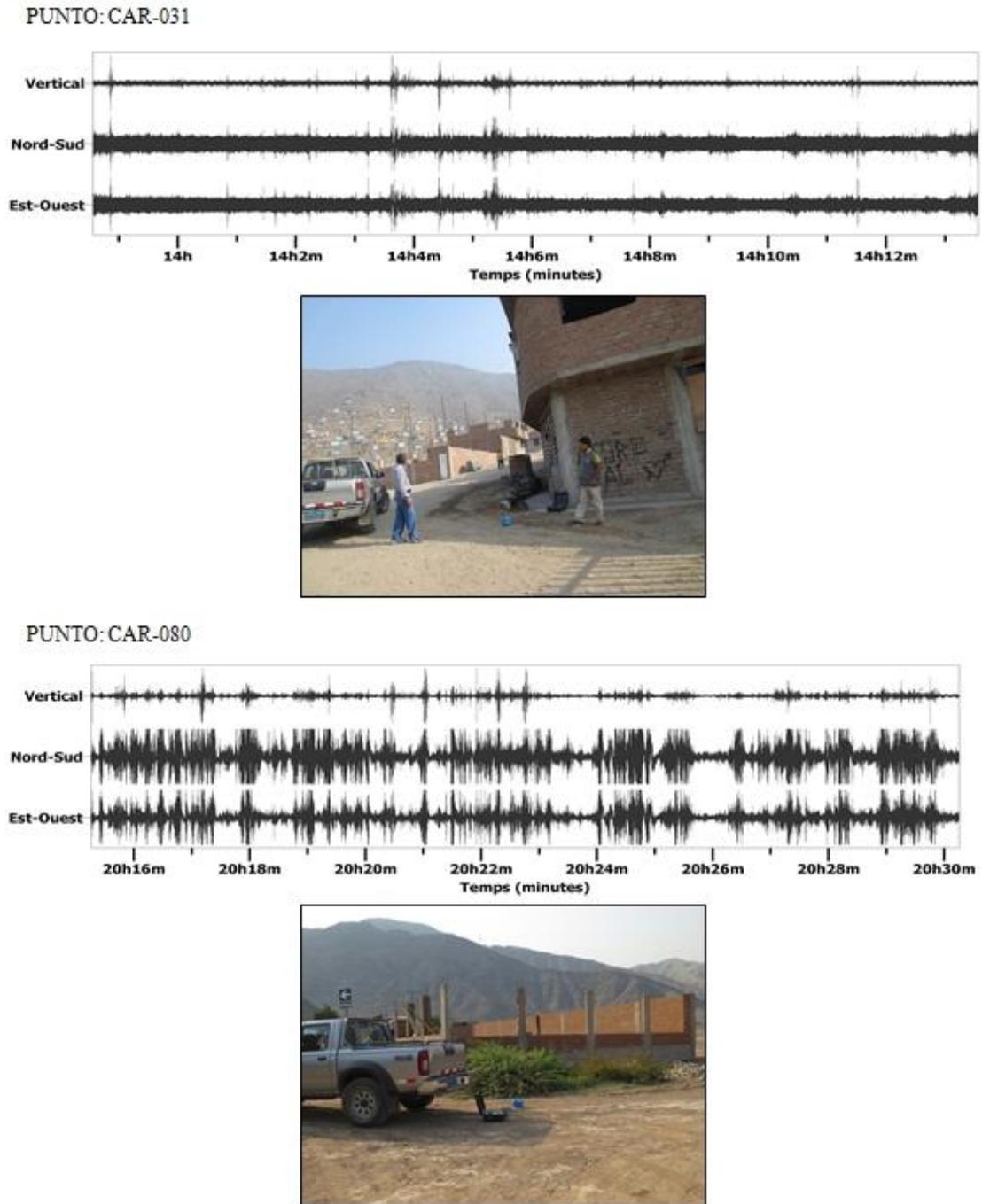


Figura 5: Imágenes de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona libre de ruido de fondo (CAR-031) y otro con ruido aleatorio (CAR-080). Obsérvese las diferentes amplitudes registradas en cada punto.

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 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.

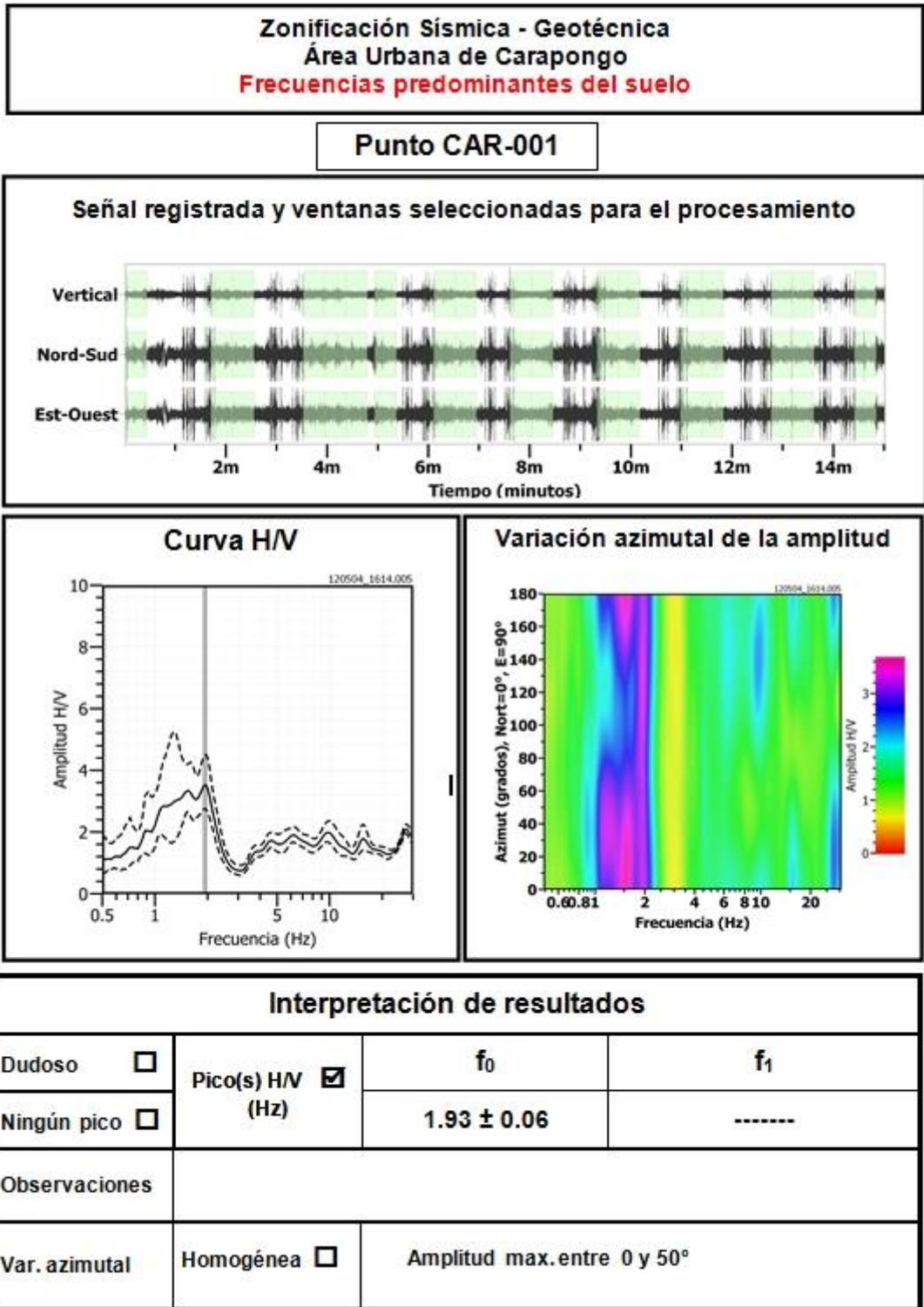


Figura 6: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de color verde) en sus tres componentes. En la parte central se muestra la razón H/V con sus frecuencias predominantes y variación azimutal de la amplitud. Las líneas gruesas en los gráficos H/V indican el promedio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

8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS

Durante el estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica del área urbana de Carapongo, 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 375 a 380 gals (Figura 8), 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 Carapongo, dos acelerómetros de tres componentes para el registro de la actividad sísmica local ocurrida durante el año 2012: IE. 0051 Jose Faustino Sanchez Carrion y en el I.E. Divina Sabiduría (Figura 9). 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 10). Estos eventos produjeron en Carapongo aceleraciones de hasta 5.2 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.

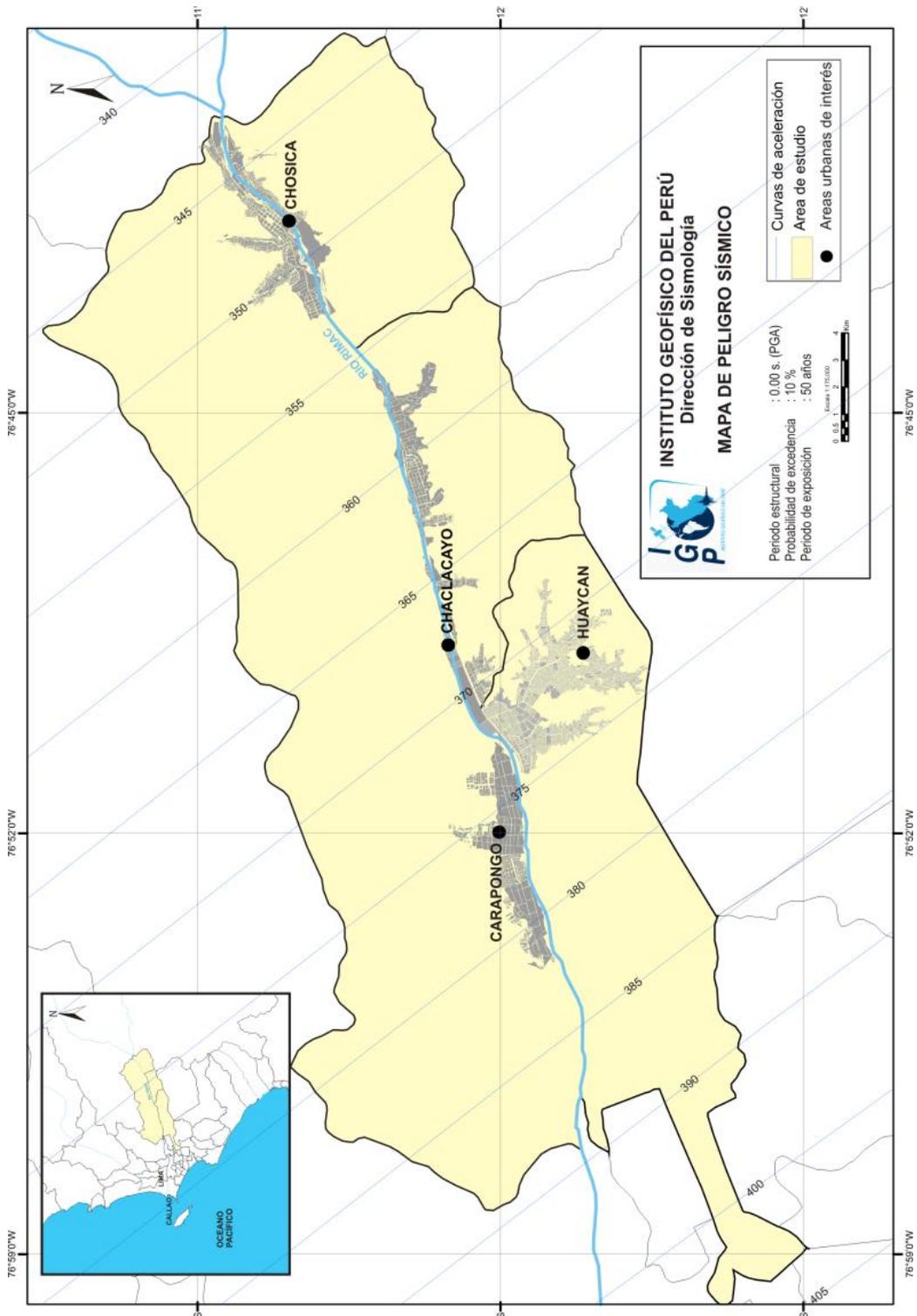


Figura 8: Peligro Sísmico para la región de estudio correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.



Figura 9: Estaciones acelerométricas instaladas en los locales del IE. 0051 José Faustino Sánchez Carrión y IE Divina Sabiduría de Carapongo

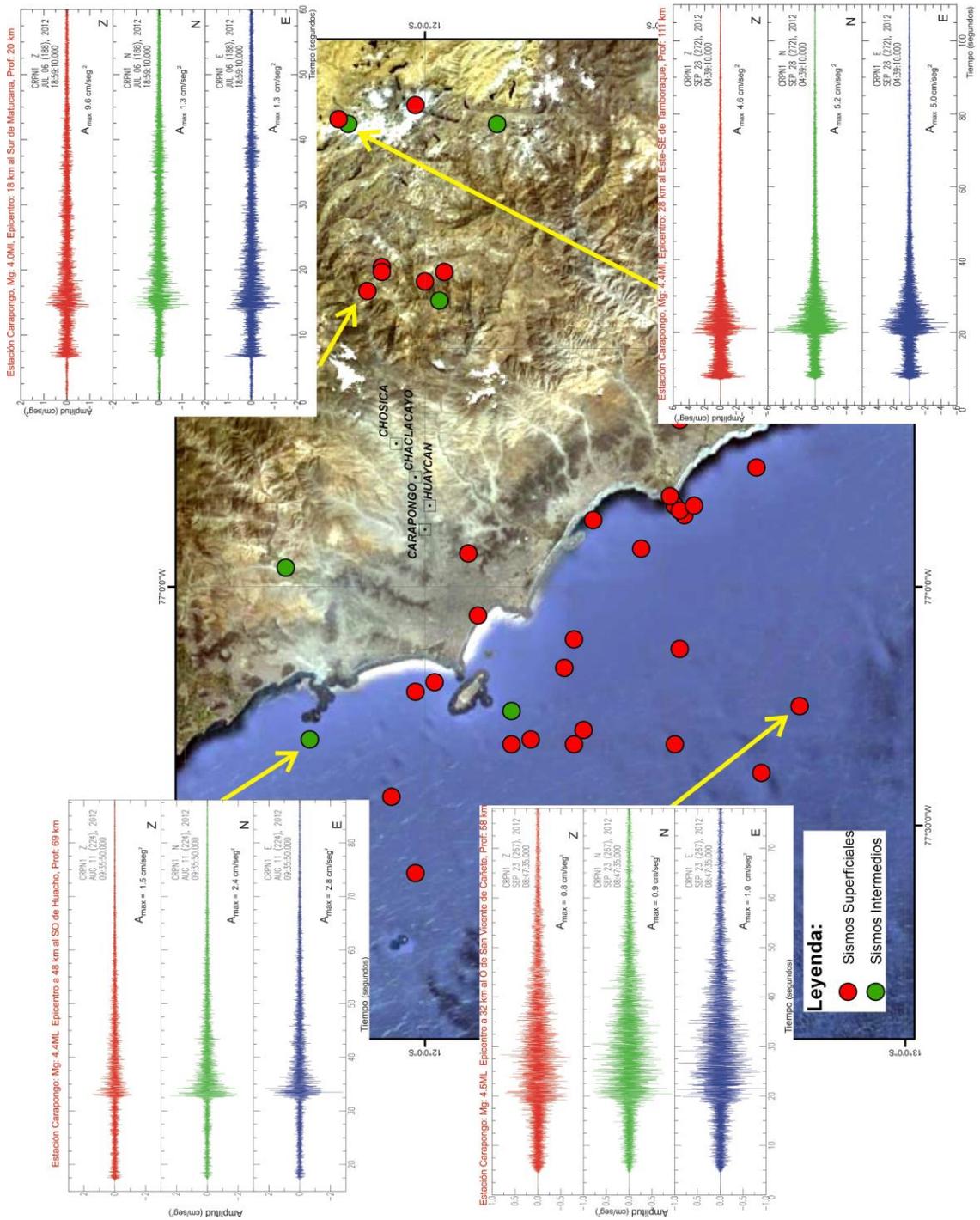


Figura 10: Eventos sísmicos registrados en la estación acelerométrica que funcionó en IE. Divina Sabiduría de Carapongo. Los registros corresponden a sísmos de foco superficial e intermedio

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

9.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA-GEOTÉCNICA

El área urbana de Carapongo se encuentra ubicada en el margen derecho del Río Rímac como parte del Distrito de Lurigancho-Chosica, tiene un área poblada de aproximadamente 4 km² y una población del orden de 3,200 habitantes, ver Figura 11. En los últimos 10 años, Carapongo ha soportado un fuerte crecimiento poblacional que facilitó su expansión urbana no planificada y que incluye 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 detriticos. Asimismo, la población ha iniciado su vivencia en zonas que se encuentran bajo o en las cercanías de las líneas eléctricas de alta tensión, lo cual incrementa enormemente su riesgo a efectos causados por peligros antrópicos.

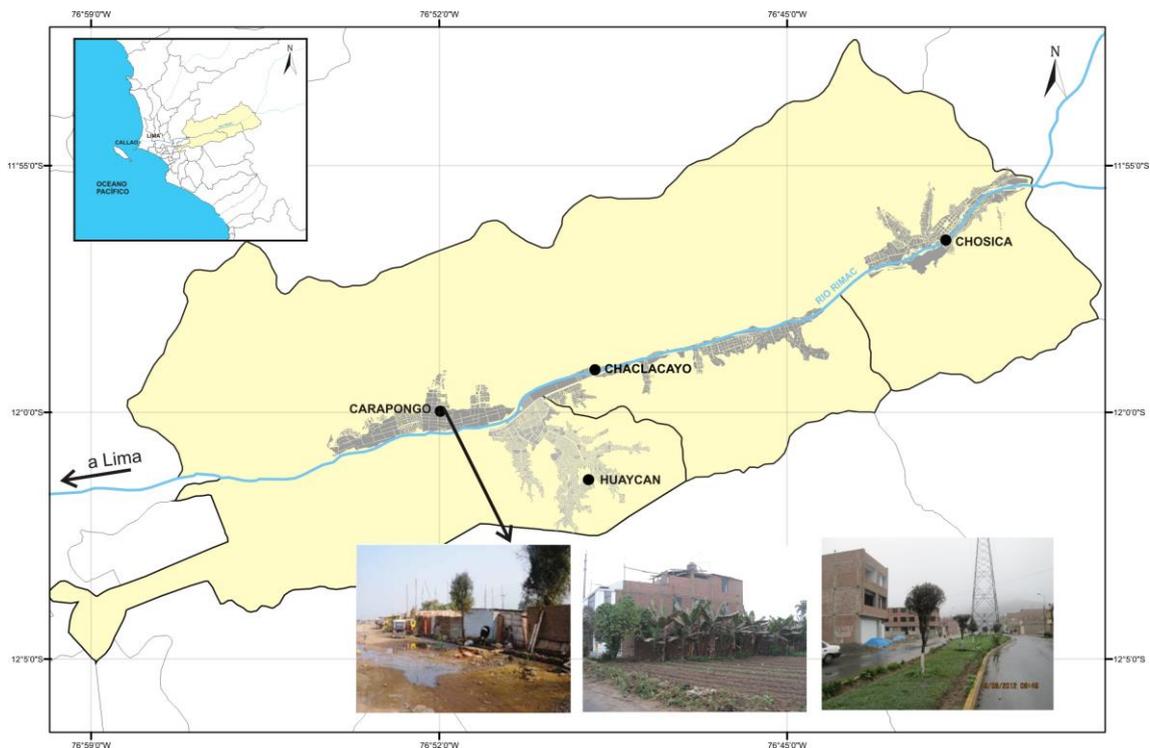


Figura 11: Ubicación geográfica del Área Urbana de Carapongo

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 12.

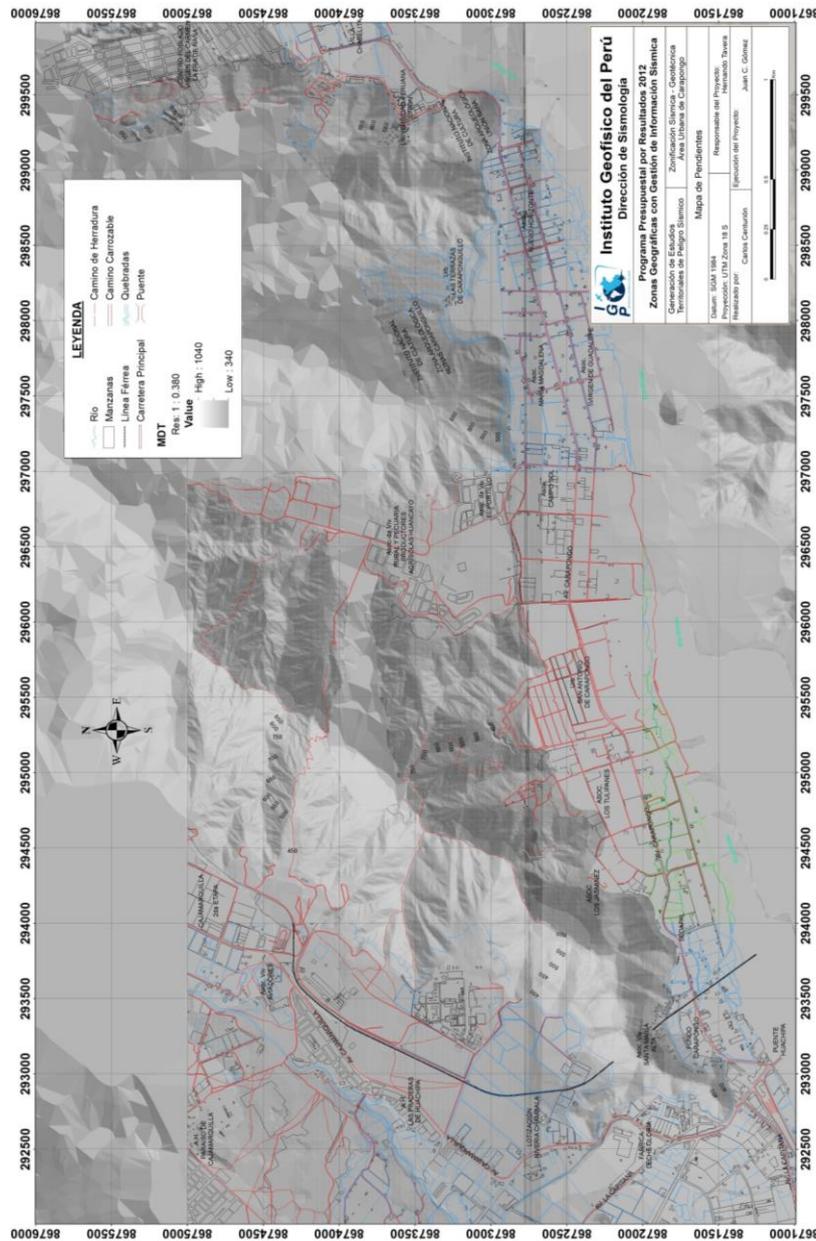


Figura 12: Modelo digital del terreno para el área urbana de Carapongo

.- Aspectos Geológicos: Según el Cuadrángulo Geológico de Chosica” Boletín N°43 – Hoja: 24-j a escala 1/100,000 (INGEMMET), El área de estudio se emplaza sobre el grupo Casma constituida por una serie volcano-detritica, intruídas por afloramientos ígneos del grupo Santa Rosa constituidos por cuerpos tonalítico-granodioríticos que tienen una gran extensión dentro del Batolito de la Costa y por afloramientos ígneos del grupo Patap constituidos por cuerpos gabros-dioritas del cretáceo superior. Estos cuerpos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales cuya edad geológica pertenecen al cuaternario pleistoceno (Qp-al) y al cuaternario reciente (Qr-al), ver Figura 13. 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 Carapongo

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

Grupo Casma: Es una serie vulcano-detritica que tiene sus afloramientos mejor desarrollados en el lado occidental del Batolito de la Costa. Es una unidad litoestratigráfica con una secuencia compuesta de volcánicos andesíticos intercalados con areniscas grawacas, lutitas y piroclásticos de aproximadamente 1700 m de espesor. Se encuentran en las Terrazas de Carapungillo, Universidad Peruana Unión y en el C.P Virgen del Carmen.

Rocas Intrusivas

Súper Unidad Patap: Está constituida por cuerpos de gabros y dioritas, que corresponden a las rocas las más antiguas del batolito, emplazados al lado occidental del mismo, con intervalos de tiempo que pueden variar entre los 84 y 102 millones de años. La textura de la roca varía de grano medio a grueso. Sus

afloramientos se encuentran en la lotización Niveria Chambala, el fundo Carapongo, Asociaciones de Vivienda: Santa María alta y Los Jazmines.

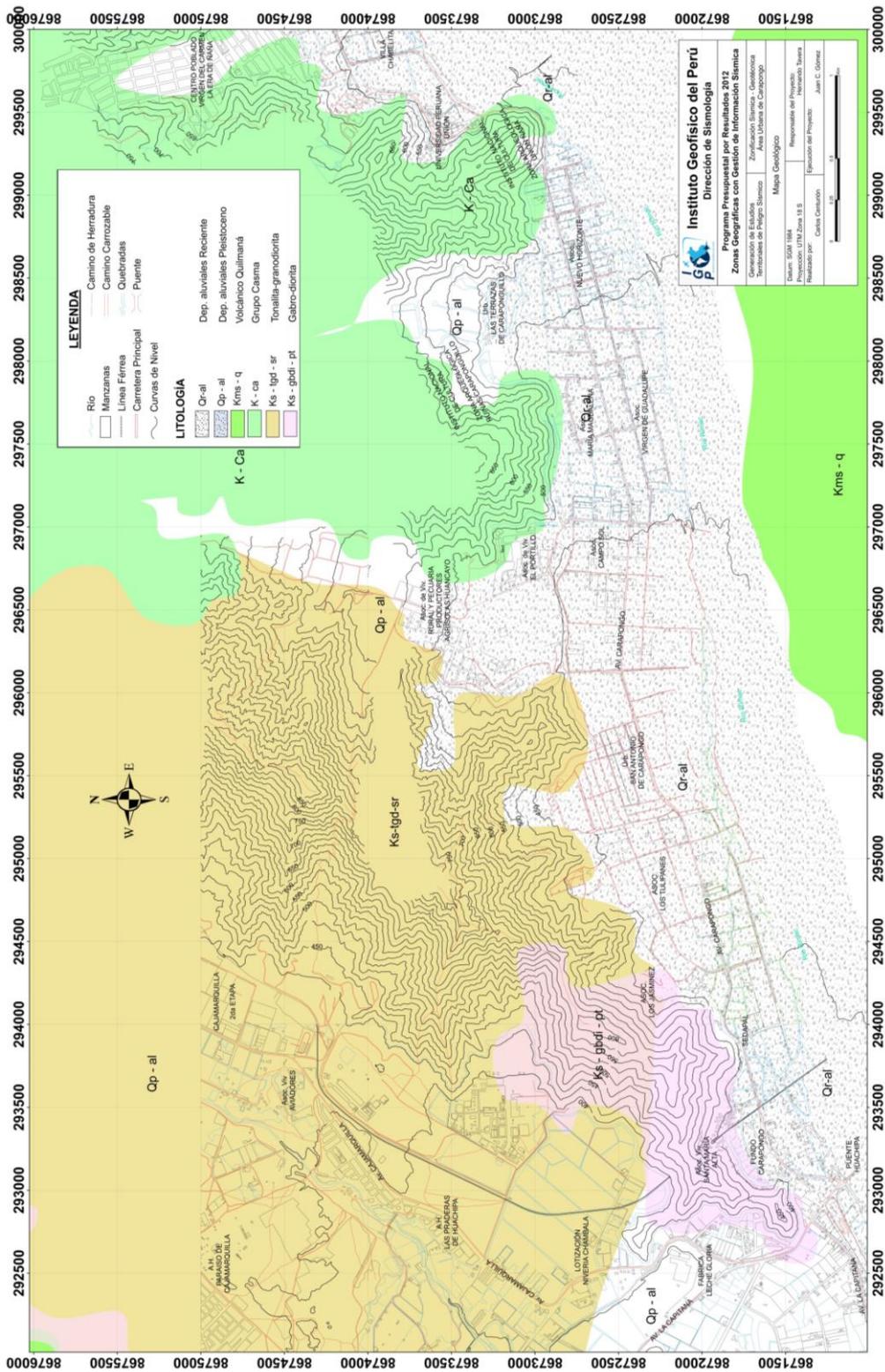


Figura 13: Mapa geológico para el área urbana de Carapongo

Depósitos Cuaternarios: Están constituidos por materiales acarreados por los ríos que forman terrazas y aquellos provenientes de las quebradas formando depósitos de flujo de detritos que se encuentran al borde de los cerros. Estos depósitos tienen un área extensa en superficie, presentando 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.

Los depósitos aluviales están constituidos por cantos rodados y gravas heterométricas, con matriz areno-limoso que ocupa el cauce actual del río Rímac. Todos estos materiales se encuentran intercalados formando paquetes de diferentes grosores y se aprecia 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 750 y 1745 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 14).

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

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 el área de Carapongo 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 derecha del valle del río Rímac, en la Urb. Las Terrazas de Caraponguillo, C.P Virgen del Carmen y en la Asociación de Vivienda El Portillo, entre las cotas 370 y 750 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, donde 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 de edad Holoceno Reciente a Pleistoceno, que se han formado por acumulación de depósitos aluviales de corrientes relativamente antiguas que han quedado en posiciones topográficas superiores debido a 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 teniendo una pendiente máxima de 15° como rango dominante. Estas planicies, actualmente están siendo ocupadas por urbanizaciones y diversos asentamientos humanos, siendo susceptibles a inundaciones producidas por el río Rímac.

Colinas: Considera a los cerros de poca elevación (>100 m) que separan de esta unidad, las laderas de pendientes medias. Su morfología es ondulada, poco agreste, sus taludes no sobrepasan los 25°. Presentan una topografía subordinada a la litología de las unidades geológicas, Por ejemplo, cuando se trata de rocas intrusivas, el relieve es abrupto formado por lutitas o limolitas de formas redondeadas, y cuando se trata de rocas volcánicas su pendiente es empinada. Se encuentran en la lotización Niveria Chambala y el fundo Carapongo.

Laderas de pendiente media y empinada: Esta unidad demarca a las laderas de las cadenas premontañas de la cordillera Occidental, que alcanzan altitudes entre los 420 y 1040 m.s.n.m, y están constituidas principalmente por rocas intrusivas del batolito de la costa emplazados con rumbo NO-SE. Presentan topografía abrupta, los mismos que son disectadas por las quebradas. En el primer caso, presentan

pendientes entre los 25° y 35°; mientras que, en el segundo tienen pendientes mayores a 35°.

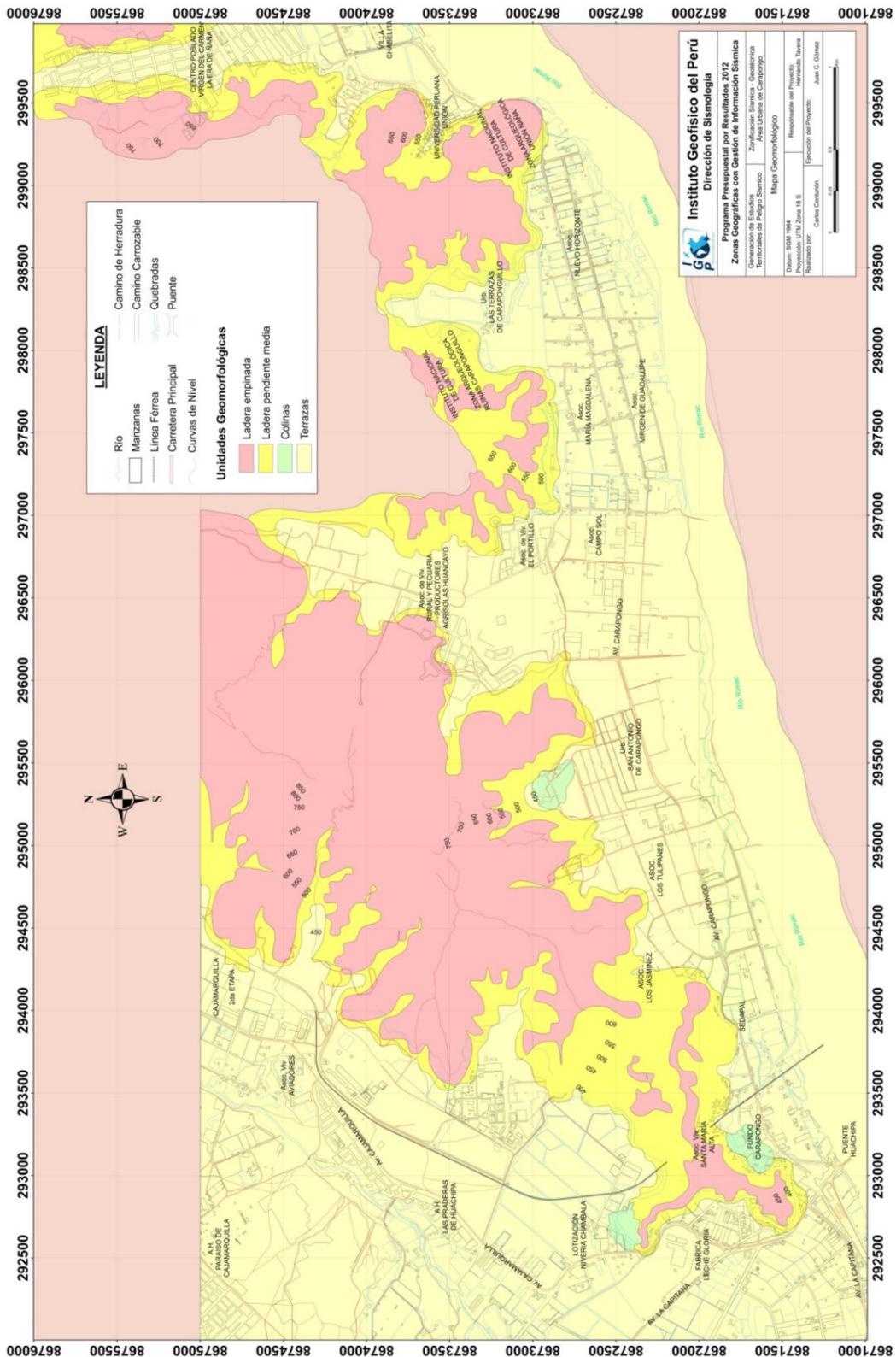


Figura 14: Mapa geomorfológico para el área urbana de Carapongo

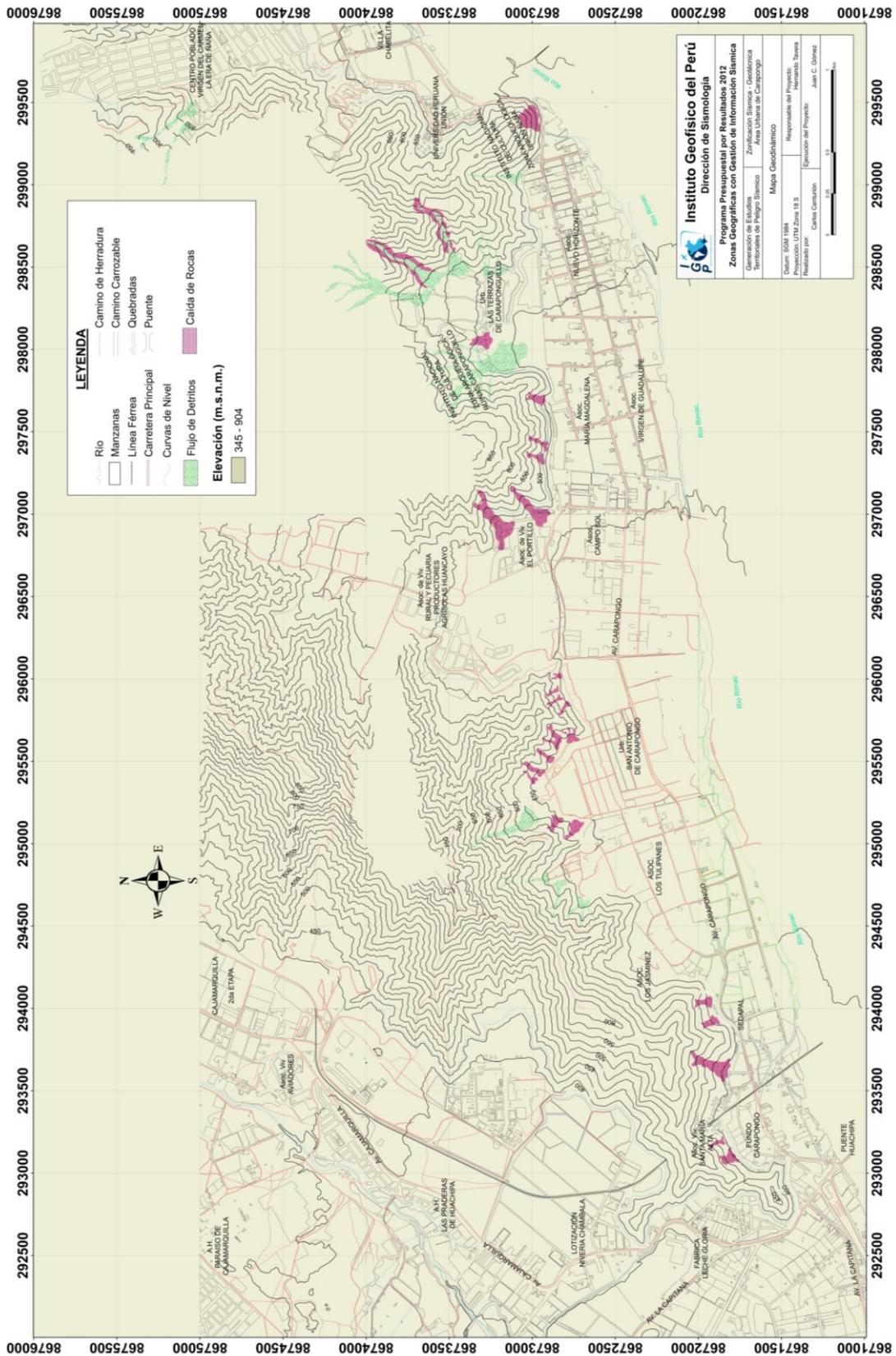


Figura 15: Mapa geodinámico para el área urbana de Carapongo

.- 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 21 movimientos en masa, todos indicados en la Figura 15 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 afectando a los suelos con mezclas de materiales finos y en mayor proporción materiales gruesos, conteniendo gran cantidad de agua que facilita su propagación como un solo cuerpo. Se ha inventariado ocho flujos de detritos, que asociados a lluvias intensas, pueden provocar la reactivación de las quebradas. En general, los flujos están circunscritos a las quebradas que conforman la cuenca del río Rímac, como son las quebradas ubicadas en la Urb. San Antonio de Carapongo, Urb. Las Terrazas de Caraponguillo y en el C.P Virgen del Carmen, Figuras 16 y 17.



Figura 16: Depósito de flujos de detritos en el extremo oeste de la Urbanización Las Terrazas, declarado patrimonio cultural por el INC.



Figura 17: Las líneas segmentadas muestran el flujo de detritos en el extremo este de la Urb. Las Terrazas.

Caídas de rocas: Considera el desprendimiento del material que conforma una ladera (rocas, tierra o ambos), teniendo como causa principal la gravedad terrestre y las características geomecánicas que posee el substrato rocoso. Para el área de estudio, se ha inventariado trece caídas de rocas, en las inmediaciones del fundo Carapongo, la planta de sedapal, la Urb. San Antonio de Carapongo, Asociación de Vivienda El Portillo, Asociación María Magdalena, Urb. Las Terrazas de Caraponguillo y zona arqueológica Unión Ñaña. Estos eventos ocurren en zonas de altas pendientes y están asociados al fracturamiento, grado de meteorización y a la alteración de los macizos rocosos, Figuras 18 y 19.



Figura 18: La línea segmentada de color rojo muestran caídas de rocas en el extremo norte del frontis de la planta de Sedapal.



Figura 19: La línea segmentada de color rojo muestran caídas de rocas en el extremo noreste del frontis de la planta de Sedapal

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 Carapongo se construyeron 10 calicatas (Figura 20, 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 7 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (Tabla 5, Figura 21):

- **Suelo GW-GM:** corresponde a gravas redondeadas a sub redondeadas bien gradadas y con matriz arenosa. El contenido de humedad es de 1.91% y 5.60%, no presentan plasticidad y se encuentran, desde la entrada a Huachipa pasando por el ovalo Huañe, siguiendo la carretera a Cajamarquilla y en las Asociaciones Maria Magdalena, Virgen de Guadalupe y Nuevo Horizonte.
- **Suelo GW-GM:** corresponde a gravas gradada adecuadamente con finos y gravas angulosas a sub redondeadas. El contenido de humedad es de 8.87%, no presentan plasticidad y se encuentran en la Asociación Campo Sol, Universidad Peruana Unión y Villa Chabelita.

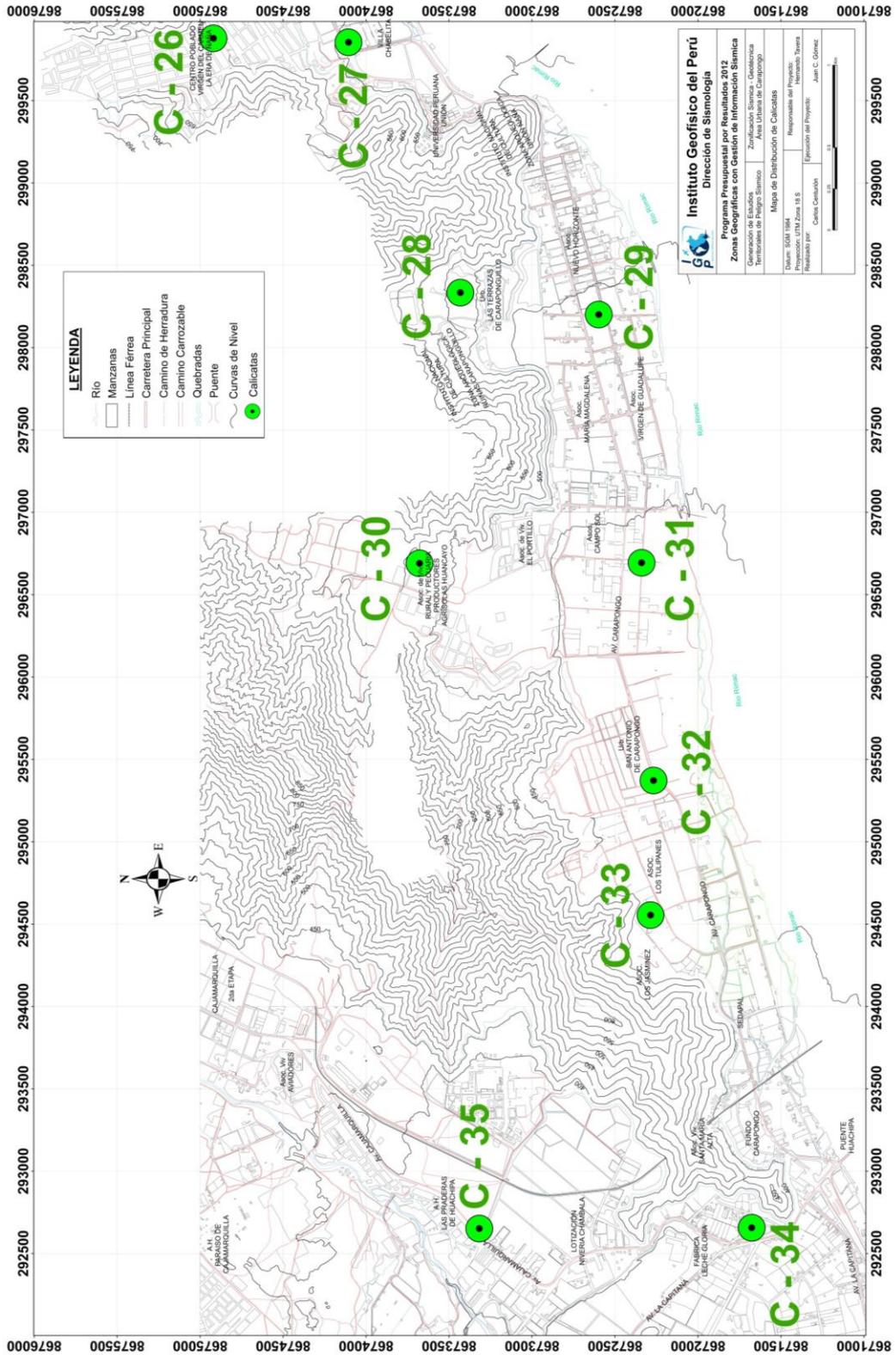


Figura 20: Distribución espacial de las 10 calicatas construidas en el área de Carapongo

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

CALICATAS	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)
C-26	8674920	299878	606
C-27	8674106	299854	542
C-28	8673432	298334	530
C-29	8672598	298201	492
C-30	8673678	296691	523
C-31	8672340	296694	463
C-32	8672268	295372	441
C-33	8672286	294555	430
C-34	8671676	292657	399
C-35	8673318	292652	407

- **Suelo tipo GP:** corresponde a gravas arenosas pobremente gradadas con rocas sub-redondeadas. El contenido de humedad es de 2.30%, no presentan plasticidad y que se encuentran en la asociación los Jasminez y Los Tulipanes.
- **Suelo tipo GP-GM:** corresponde a gravas arenosas mal gradadas con finos limosos- arcillosos y gravas sub redondeadas. Presenta mala compactación. El contenido de humedad varía de 1.33% a 3.54%, no presentan plasticidad y se encuentran en la Urb. San Antonio de Carapongo, Asociación Aviadores y C.P. Virgen del Carmen.
- **Suelo tipo SP:** corresponde a arenas pobremente gradadas con poco finos y con rocas sub angulosas. El contenido de humedad es de 0.32%, no presentan plasticidad y se encuentra como un lente en el AA.HH. Las Praderas de Huachipa.
- **Suelo tipo SM:** corresponde a arenas medias a finas pobremente gradadas con gravas angulosas. El contenido de humedad es de 3.21%, no presentan plasticidad y se encuentra en la Urb. Las Terrazas de Caraponguillo.

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

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-26	2.50	74.0	20.0	6.0	72.69	4.29	NT	NP	-	3.54	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-27	2.70	0.0	1.0	99.0	-	-	36.77	31.54	5.23	24.81	ML	Limos organicos
C-28	2.25	24.0	62.0	14.0	-	-	NT	NP	-	3.21	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-29	2.50	56.0	43.0	1.0	28.79	1.64	NT	NP	-	1.91	GW con arena	Grava bien Gradada
C-30	2.30	50.0	45.0	5.0	31.83	6.44	NT	NP	-	1.33	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-31	2.60	59.0	36.0	5.0	91.23	1.20	NT	NP	-	8.87	GW-GM con arena	Grava reg. Gradada con finos
C-32	2.40	52.0	43.0	5.0	26.25	3.32	NT	NP	-	2.67	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-33	2.40	81.0	18.0	1.0	7.09	0.69	NT	NP	-	2.30	GP con arena	Grava mal gradada
C-34	2.50	66.0	31.0	3.0	65.86	2.47	NT	NP	-	5.60	GW con arena	Grava bien Gradada
C-35	2.70	4.0	95.0	1.0	3.45	1.03	NT	NP	-	0.32	SP	Arena pob. Gradada

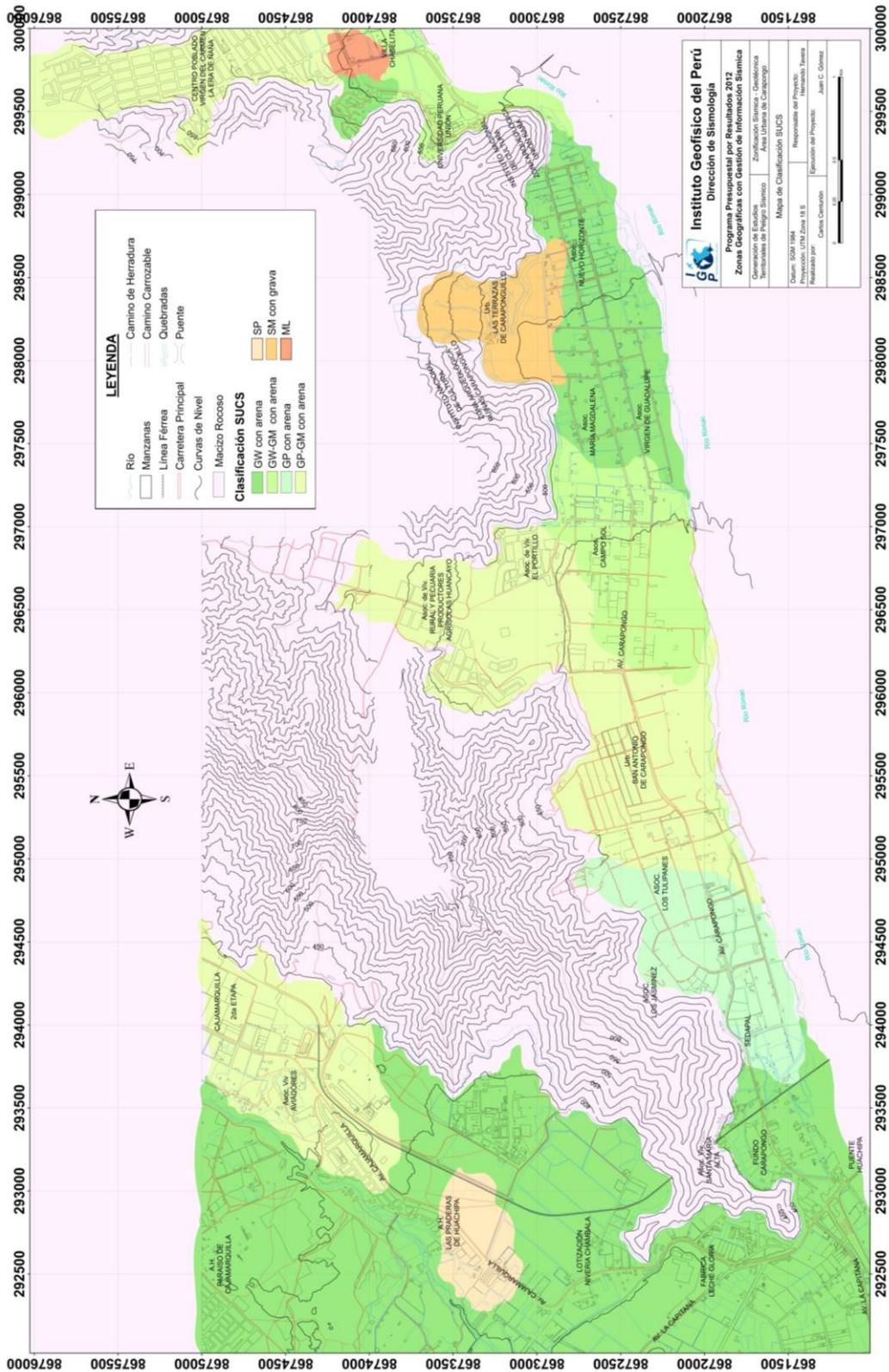


Figura 21: Mapa de clasificación de suelos SUCS para el área urbana de Carapongo

- **Suelo tipo ML:** corresponde a limos inorgánicos, arenas muy finas medianamente compacto. El contenido de humedad es de 24.81%, presenta plasticidad de 5.23% y se encuentra como un lente en la Villa Migdal Shalom.

Finalmente, se realizaron los ensayos de corte directo para determinar la resistencia del terreno y/o la capacidad portante de los suelos para los 10 puntos analizados en este estudio y los resultados se presentan en la Tabla 6 y Figura 22.

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

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-26	31.04	0.02	1.76	3.54	2.08
C-27	17.10	0.12	1.41	24.81	1.06
C-28	27.67	0.03	1.66	3.21	1.64
C-29	29.96	0.01	1.71	1.91	1.57
C-30	30.10	0.01	1.78	1.33	1.81
C-31	29.10	0.03	1.57	1.33	1.40
C-32	29.10	0.03	1.67	2.67	1.49
C-33	30.74	0.00	1.69	2.3	1.87
C-34	31.03	0.00	1.60	5.6	1.84
C-35	28.21	0.00	1.68	0.32	1.34

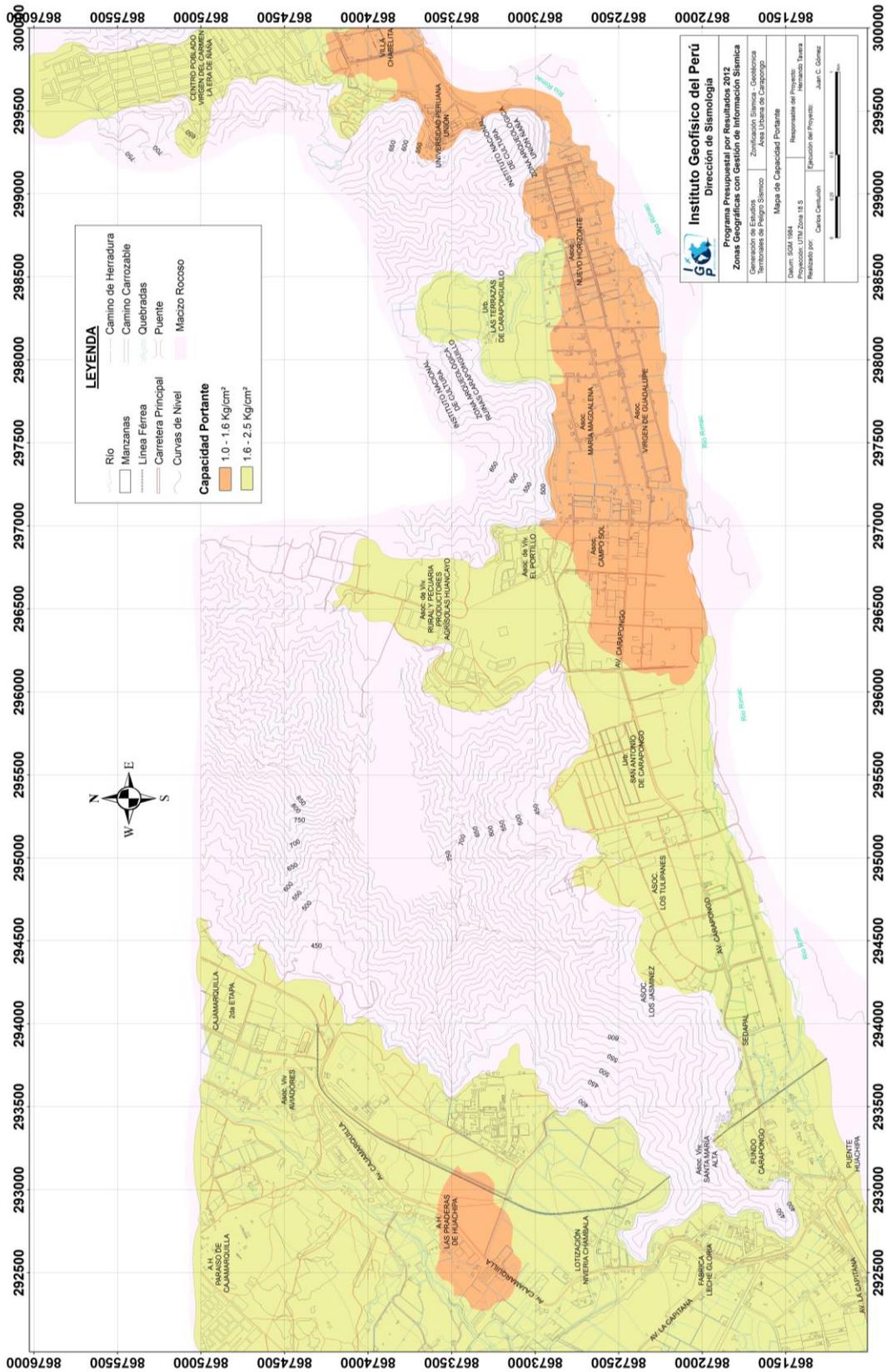


Figura 22: Mapa de capacidad portante para el área urbana de Carapongo

Para el área urbana de Carapongo, 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/cm²)	Denominación
1.0 – 1.5	BAJA
1.5 – 2.5	MEDIA

Los suelos ubicados en el extremo Oeste, Asociación de Vivienda El Portillo, Urb. Las Terrazas de Caraponguillo, Asociación María Magdalena, Asociación Nuevo Horizonte y C.P. Virgen del Carmen presentan capacidad media en un 70% del área total. En el A.H. Las Praderas de Huachipa, Urb. San Antonio de Carapongo, Asociación Campo Sol, Universidad Peruana Unión y en la Villa Chabelita, los suelos presentan valores de capacidad baja.

9.3.- Cuantificación de Eventos Extremos

Para la cuantificación de eventos extremos recientes en la zona urbana de huaycan, 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 el área de Carapongo, 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 23):

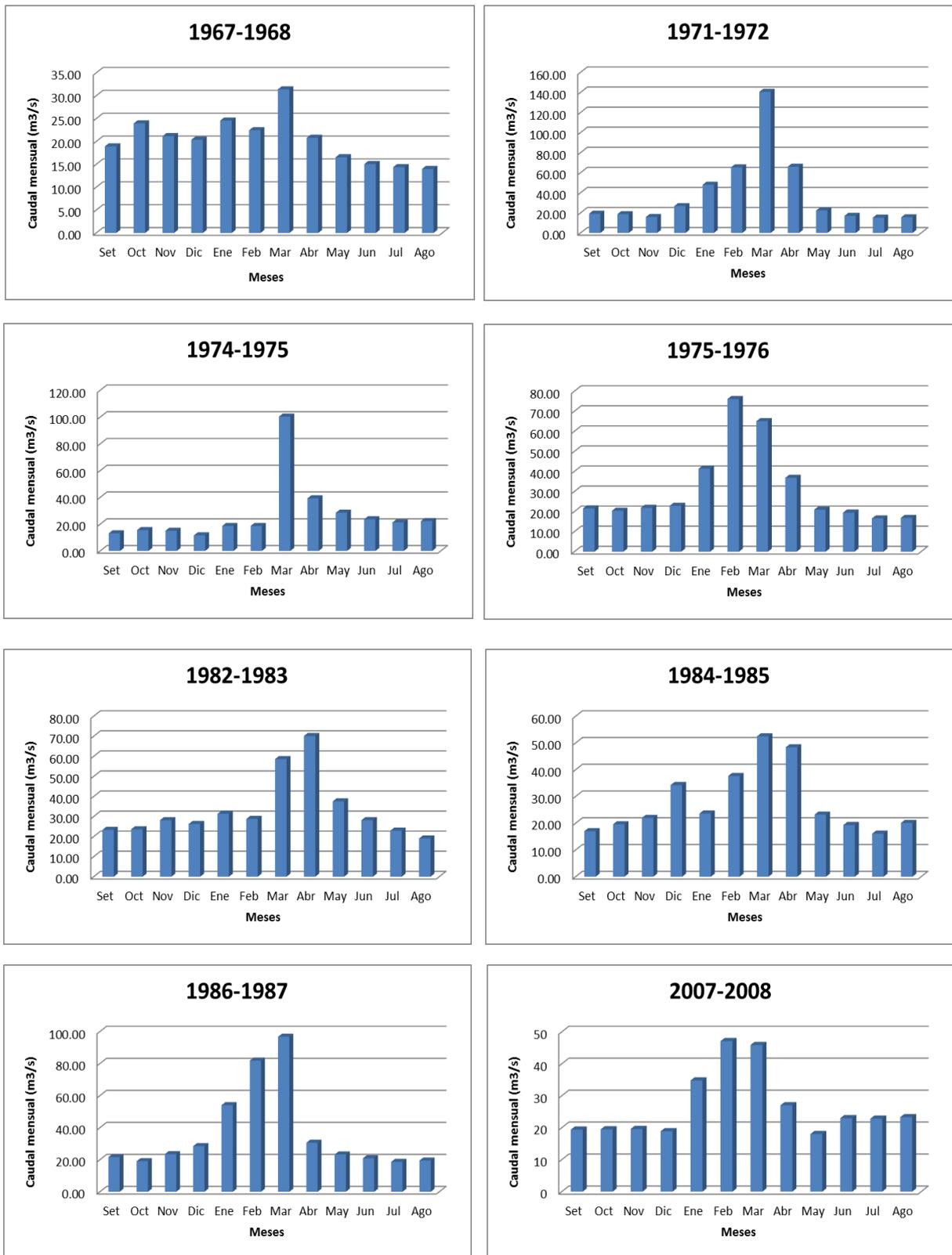


Figura 23: Histogramas de caudales para 8 periodos de datos de la estación meteorológica Chosica

- 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 Carapongo (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			
PARÁMETRO: 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 24.

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			

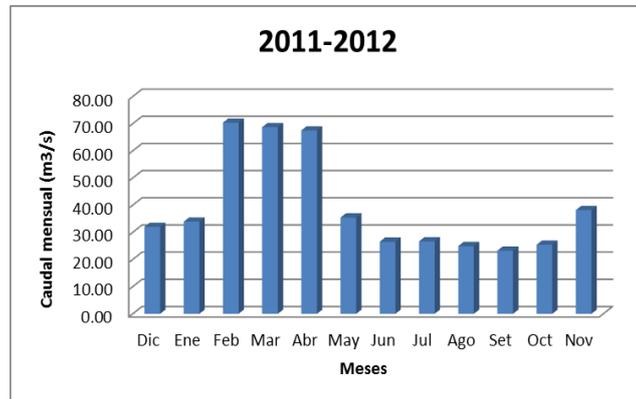


Figura 24: Histograma de caudal para el periodo 2011-2012, estación meteorológica de Chosica.

9.3.2.- Inundaciones: En el área de Carapongo, el río Rímac cruza desde el sector denominado Pariachi (altura a la entrada a Huaycán) hasta el puente tipo Bayli en Santa Clara con un desnivel de 100 m aproximadamente. En este tramo existe una distancia de 6 km aproximadamente y en él se ha delimitado 3 zonas críticas, que por factores naturales y/o antrópicos, presentan algún grado de peligro de inundación que podría afectar a las viviendas asentadas en las zonas ribereñas del área de Carapongo. Estas zonas presentan las siguientes características.

En la zona **R.CARAP.01** (Figura 25), se observa que el cauce del río Rímac se acorta en el sector denominado Pariachi, ampliándose gradualmente hacia aguas abajo del mencionado sector. En esta zona se puede observar varios cambios en la dirección de flujo del río, lo que ha dado paso a la formación de incipientes terrazas de inundación. Peligro de inundación alto.

En la zona **R.CARAP.02** (Figura 26), se observa que el cauce del río se muestra amplio hasta con 120 m aproximadamente, aguas arriba del Puente Bayli, para luego acortarse aguas abajo, hasta 40 m aproximadamente. Este escenario permite observar en el primer sector, la presencia de terrazas amplias de inundación, las cuales desaparecen gradualmente en el segundo sector. Peligro de inundación moderado.



Figura 25: Obsérvese las terrazas de inundación conformadas por material fluvial redondeados, encontrándose desde arena gruesa hasta grandes bloques, lo cual indica el cambio del régimen del caudal del río. Margen izquierdo del río presenta alto peligro de inundación.



Figura 26: En la imagen se diferencian dos sectores, aguas arriba y aguas abajo del puente tipo Bayli. El primero presenta un cauce amplio; mientras que, el segundo el cauce es estrecho. Este último, por su morfología considerada a un área susceptible al desbordamiento del río.

En la zona **R.CARAP.03** (Figura 27), se muestra, que a la altura de la Urb. San Antonio de Carapongo, la ribera del margen derecho del río Rímac está conformada por terrenos agrícolas y de presentarse el desborde del río no representaría peligro alguno. Contrariamente, aguas abajo de dicha zona, la ribera del margen izquierdo ha sido ocupada por viviendas, convirtiéndose en un área altamente susceptible a inundaciones.



Figura 27: Obsérvese que la Urb. San Antonio de Carapongo se asienta a 150 m del lecho del río. Por otro lado, aguas abajo se observa que las viviendas han sido construidas a escasos 30 m del lecho, siendo estas últimas más susceptibles a peligros de inundación que las viviendas asentadas en la urbanización antes indicada.

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

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) y arreglos lineales. Todos tienen como principal objetivo conocer las propiedades físicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, 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 Carapongo 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 28 se muestra la distribución de los 166 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), determinar las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes de la vibración natural del subsuelo y en algunos casos, su amplificación sísmica relativa. Por ejemplo, en la Figura 29 se presenta el análisis realizado para el punto CAR-001, obteniéndose como resultado la presencia de una frecuencia predominante de 1.9Hz con amplificaciones relativas de hasta 4 veces con respecto al nivel de referencia. Asimismo, en la figura se presenta su espectrograma para evaluar la variación azimutal de la amplitud de la energía a diferentes rangos de frecuencias. Este tipo de información se obtiene de cada punto de medición y en conjunto, permiten analizar las propiedades físicas del suelo en el área urbana de Carapongo.

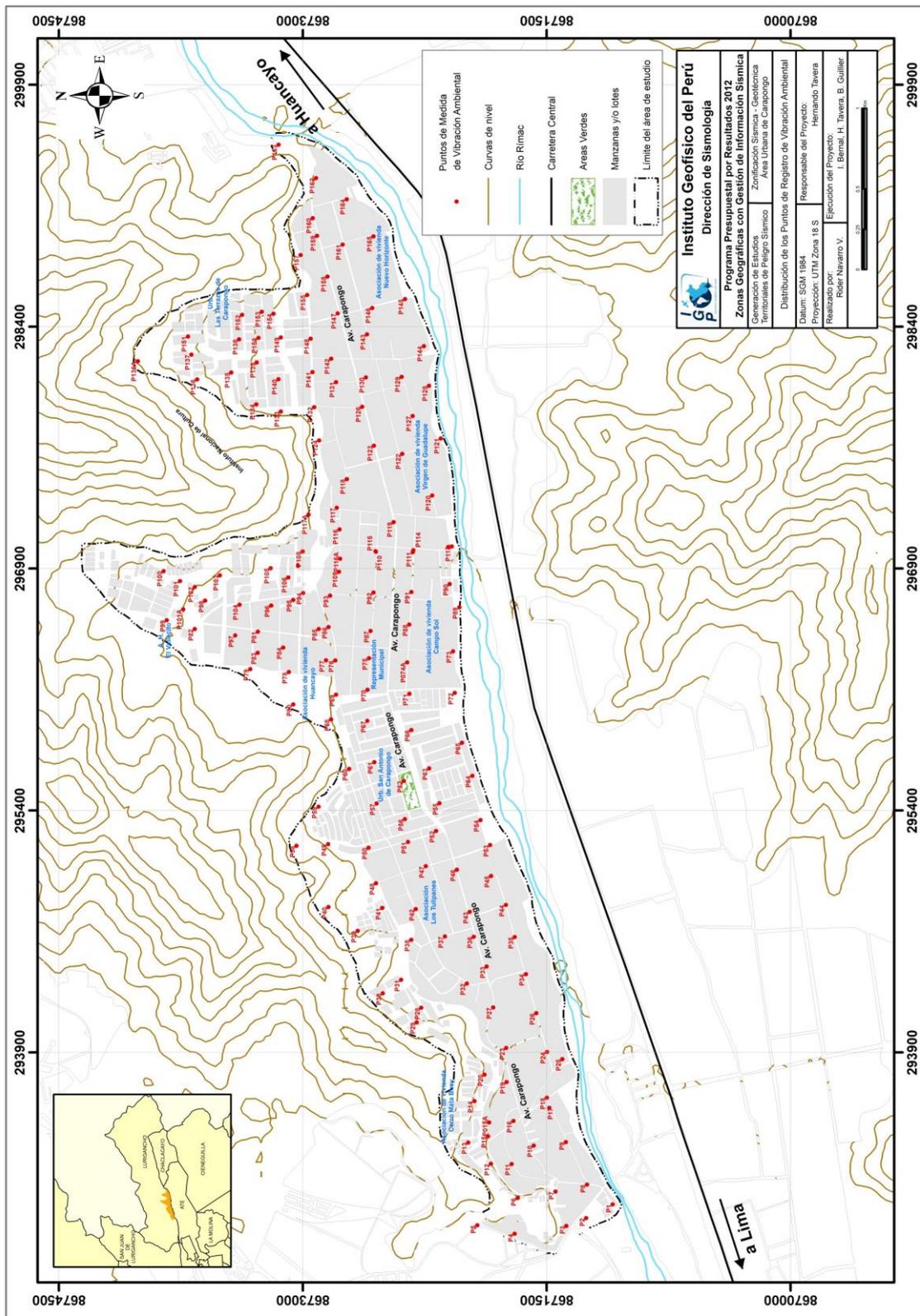


Figura 28: Mapa del área de estudio y distribución de puntos de registro de vibración ambiental

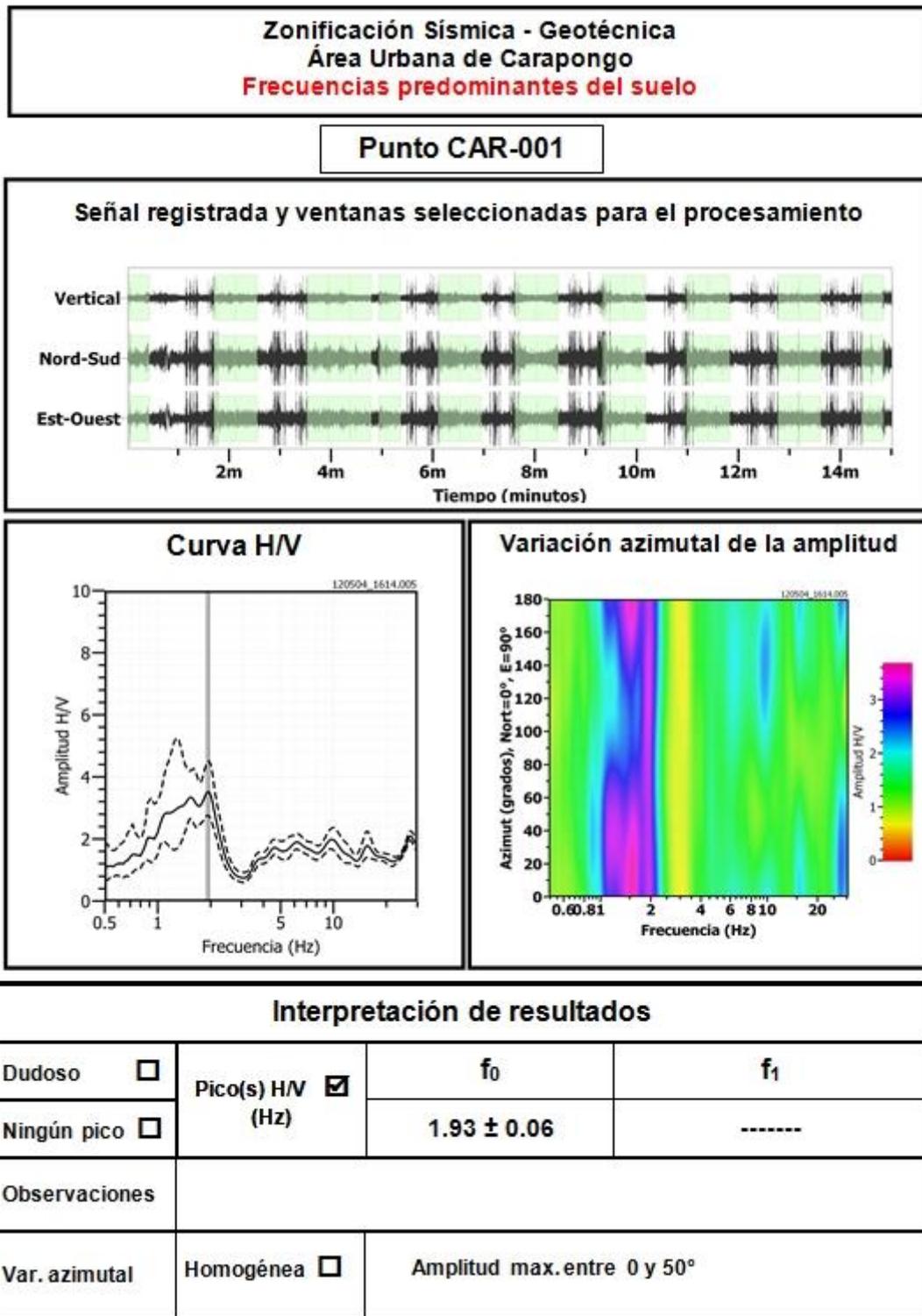


Figura 29: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CAR-001 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio, razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Espectrograma y Abajo: resultados.

.- Distribución de Frecuencias Dominantes: A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes considerando diferentes rangos: entre 0.5 y 2.0 Hz; y entre 2.0 y 20 Hz. Esta clasificación se hace en razón que varios puntos de medición presentan entre uno y dos picos de frecuencias predominantes, además de amplificaciones de hasta 3 veces, los cuales 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 – 2.0Hz: En la Figura 30, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes para el rango de 0.5 –2.0 Hz, observándose que dichos valores se distribuyen sobre toda el área de estudio, sobresaliendo frecuencias entre 1.0 a 2.0 Hz. En esta misma figura, los puntos que no presentan valores, indica que no se identificó frecuencias predominantes para este rango de interés, estando todos ubicados en el extremo norte del área de estudio (cerca de los cerros). En la Figura 31, se presenta como ejemplo la razón espectral obtenida para los puntos CAR-017, CAR-041, CAR-054, CAR-095, CAR-130, CAR-162, observándose en todos que la función H/V presenta entre uno y dos picos de frecuencias predominantes, los mismos que son analizados a continuación.

En la Figura 32 se presenta la distribución espacial de 6 razones espectrales representativas para este rango de frecuencias a fin de buscar evidenciar su relación con los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos de la zona. Los espectros correspondientes a puntos ubicados en las proximidades del río Rímac definen la existencia de un solo pico de frecuencias que fluctúan entre 1.0 y 2.0 Hz con amplificaciones relativas de hasta 8 veces (CAR-017, CAR-054 y CAR-130); mientras que, en los puntos ubicados próximos a los cerros sobresalen dos

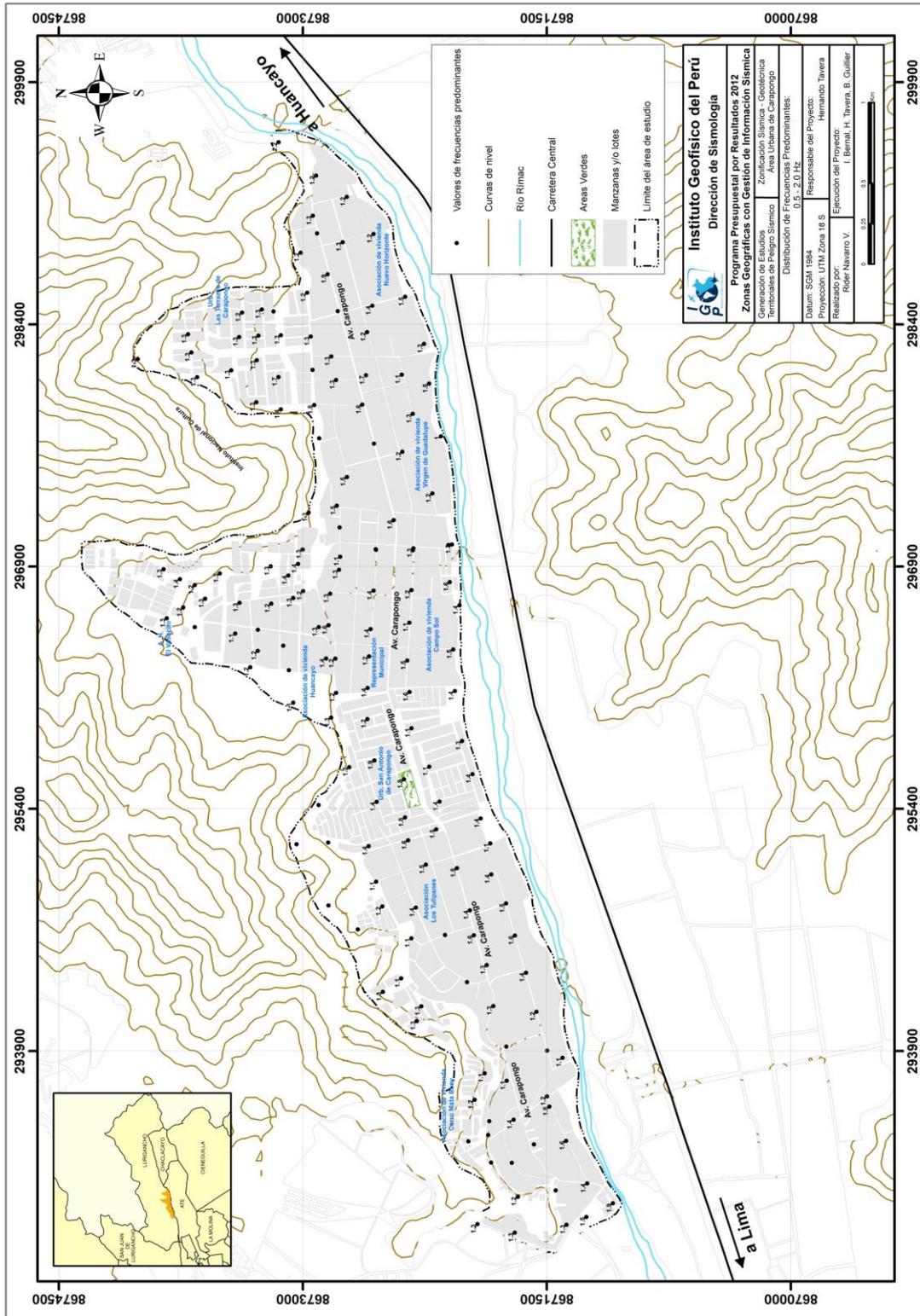


Figura 30: Mapa del área de estudio y distribución espacial de frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 2.0 Hz. Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango.

picos, uno entre 1.0 a 2.0 Hz y otro entre, 2.0 y 20.0 Hz con variedad de amplificaciones (CAR-041 y CAR-162). En algunos casos, estas frecuencias se encuentran muy próximas, pero pueden ser fácilmente identificadas, tal como se observa en CAR-095.

De acuerdo a la complejidad de las formas de las funciones H/V obtenidas para este rango de frecuencias, es importante realizar un mayor análisis a fin de evaluar la influencia de la cuenca del río Rímac, caso contrario, se tendría que considerar que la respuesta del suelo sugiere, que ante la ocurrencia de un sismo, podrían ser afectadas las viviendas con más de 5 pisos por presentarse efectos de resonancia.

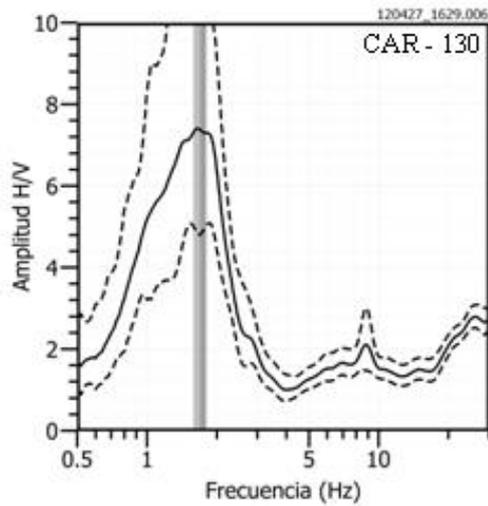
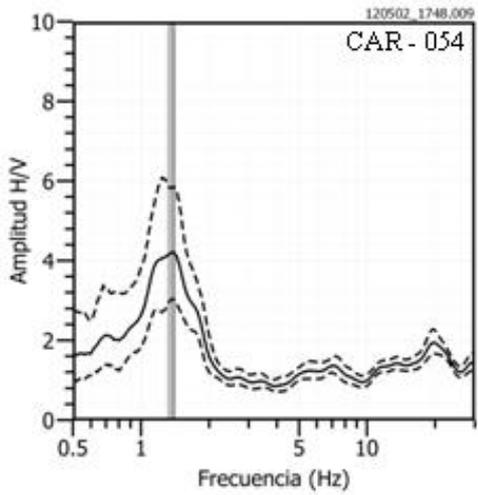
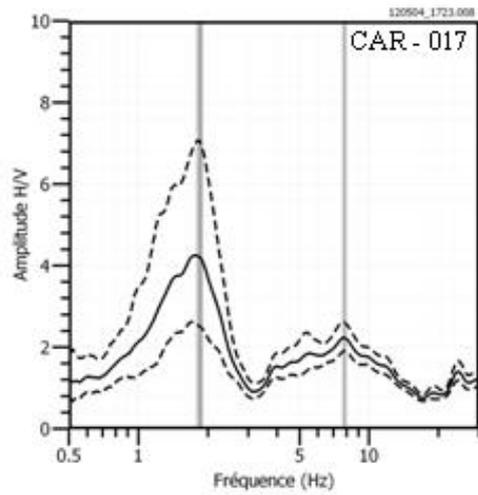


Figura 31: Ejemplos de razones espectrales (H/V) con frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 2.0Hz. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

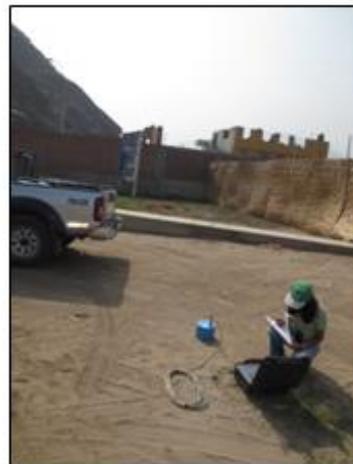
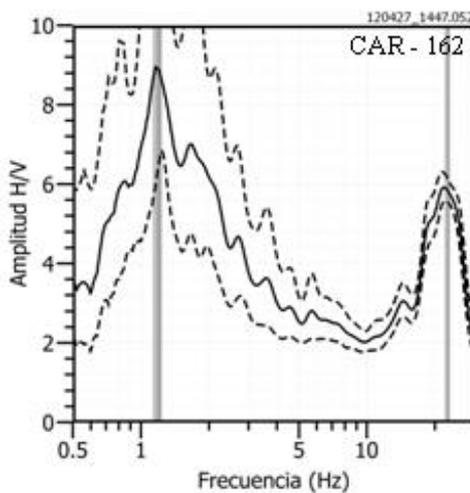
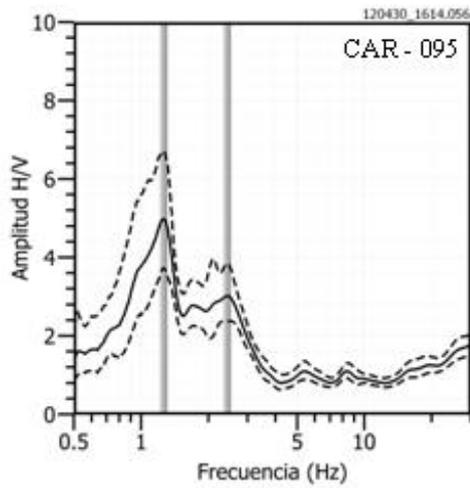
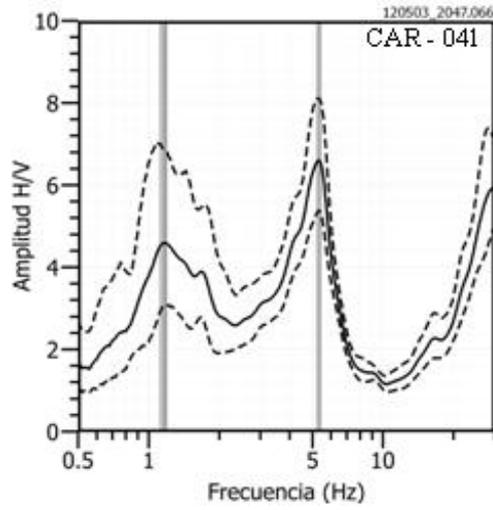


Figura 31: .../Continuación. Ejemplos de Razones espectrales (H/V) donde la frecuencia predominante sobresale en el rango de 0.5 - 2.0Hz. Las líneas continuas, representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias bajas.

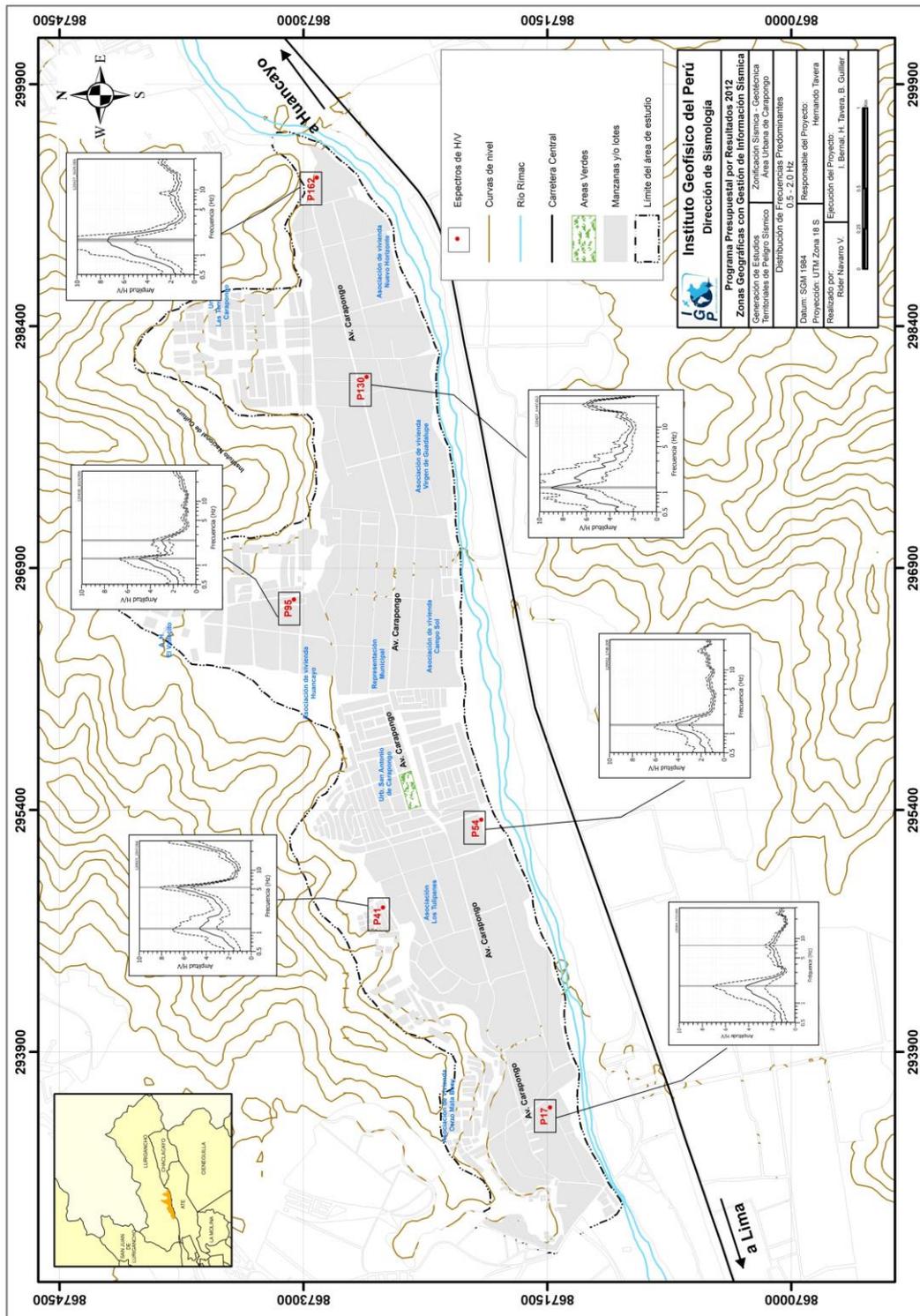


Figura 32: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 0.5 y 2.0 Hz. En las gráficas, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

Rango de frecuencias de 2.0 a 20 Hz: En la Figura 33 se presenta el mapa de distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes comprendidas entre 2 y 20 Hz, y en la Figura 34 algunos ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CAR-034, CAR-035, CAR-044, CAR-079, CAR-082, CAR-097, CAR-139, CAR-140 y CAR-149. 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 33):

Área 1: Considera los puntos donde las frecuencias predominantes tienden a valores bajos, próximos a 2.0 Hz, concentrándose principalmente en el extremo SE del área de estudio próximo al Río Rímac. Según la Figura 33, el mayor número de puntos no presentan valor debido a que las frecuencias se encuentran entre 1.5 a 2.3 Hz, pero son considerados dentro de esta Área por comprender suelos in-consolidado, de baja capacidad portante y alto nivel freático.

Área 2: Predominan frecuencias que varían entre 2.3 y 4.0 Hz, las mismas que se encuentran rodeando al Área 1, pero conforme se tiende hacia los cerros, los valores se incrementan, principalmente hacia el AA.HH. El Vallecito y la Urb. Las Terrazas de Carapongo.

Área 3: Predominan frecuencias que varían entre 4.0 a 20.0 Hz, valores que se incrementan conforme se tiende hacia los cerros. Los puntos que presentan menores amplificaciones delimitan áreas sombreadas por líneas inclinadas, las cuales están principalmente en el extremo norte de la Urb. Las Terrazas de Carapongo.

En la Figura 35 se presenta la distribución espacial de 8 razones espectrales dentro del rango de 2.0 a 20 Hz a fin de evidenciar visualmente la posible relación de sus curvas con los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos de la zona. En general, no existe tendencia clara en cuanto a la forma de las curvas H/V, pero si, cuando se analiza las amplificaciones máximas relativas, siendo mayores para los puntos ubicados en el extremo este del área de estudio, con respecto a lo observado en su extremo oeste que presentan menores amplificaciones.

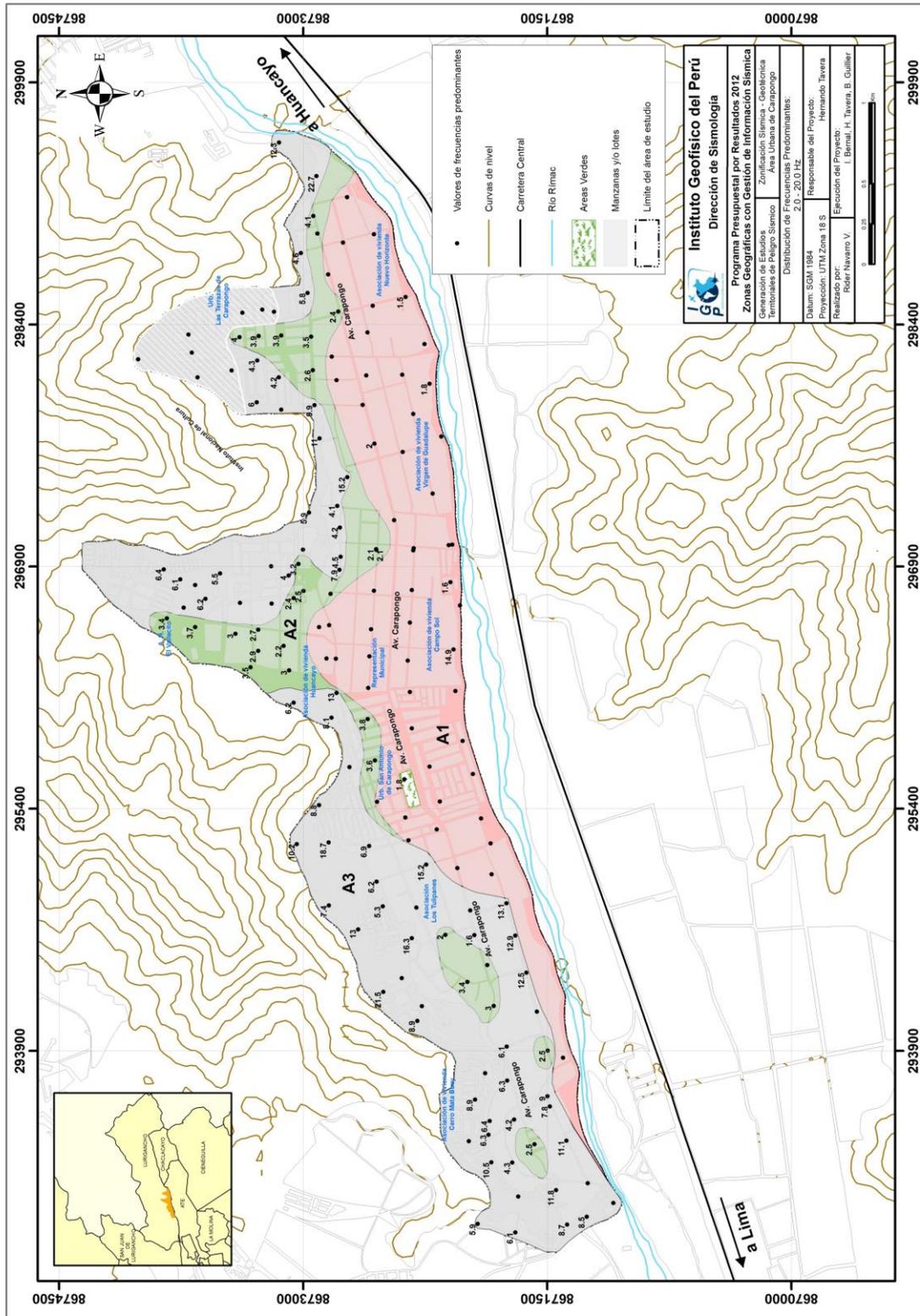


Figura 33: Mapa del área de estudio y distribución espacial de las frecuencias predominantes en el rango de 2.0 - 20.0 Hz. Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango. Para las Áreas, ver texto.

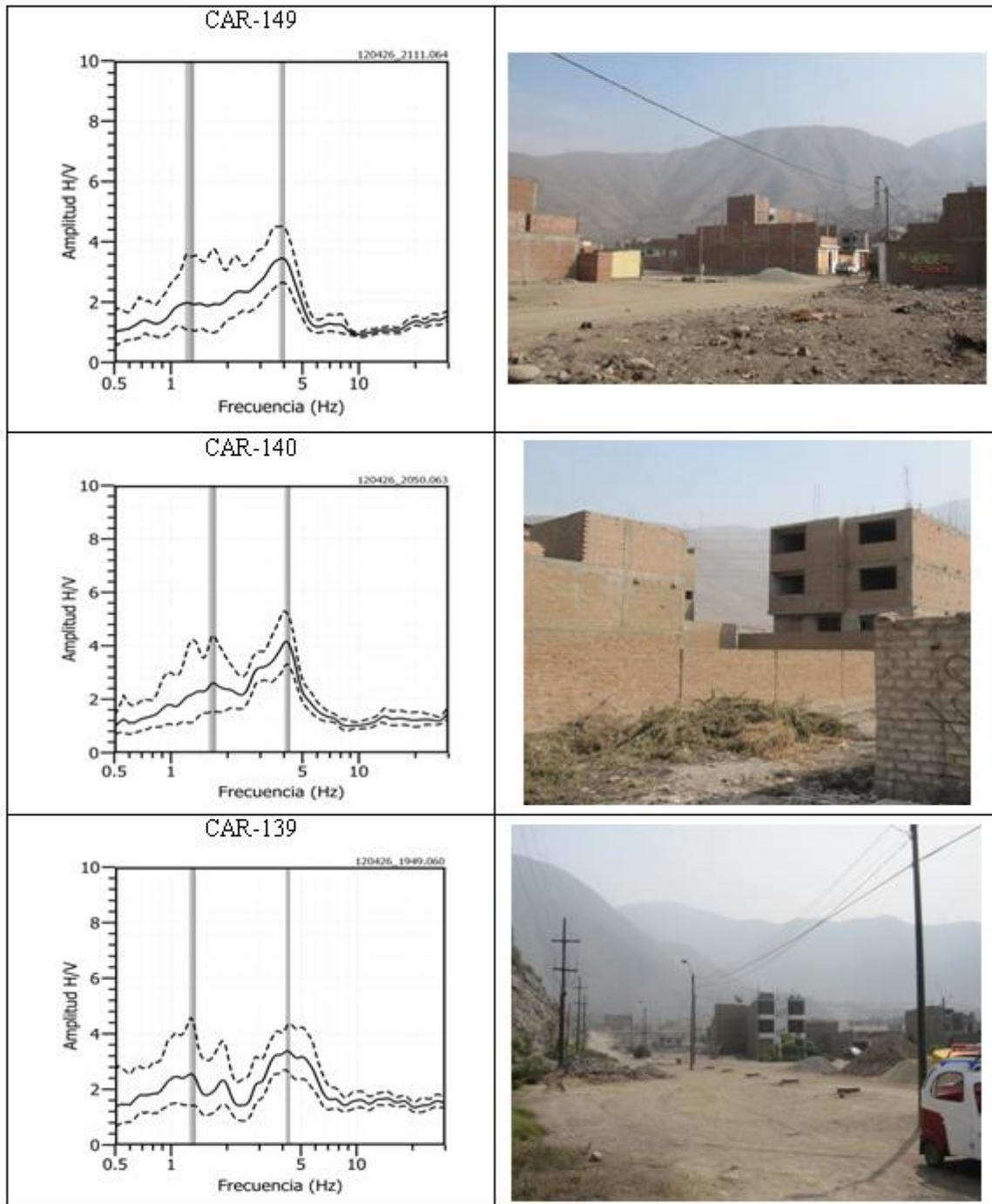


Figura 34: Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CAR-149, CAR-140 y CAR-139 ubicados en el extremo norte del área de estudio (Figura 33).

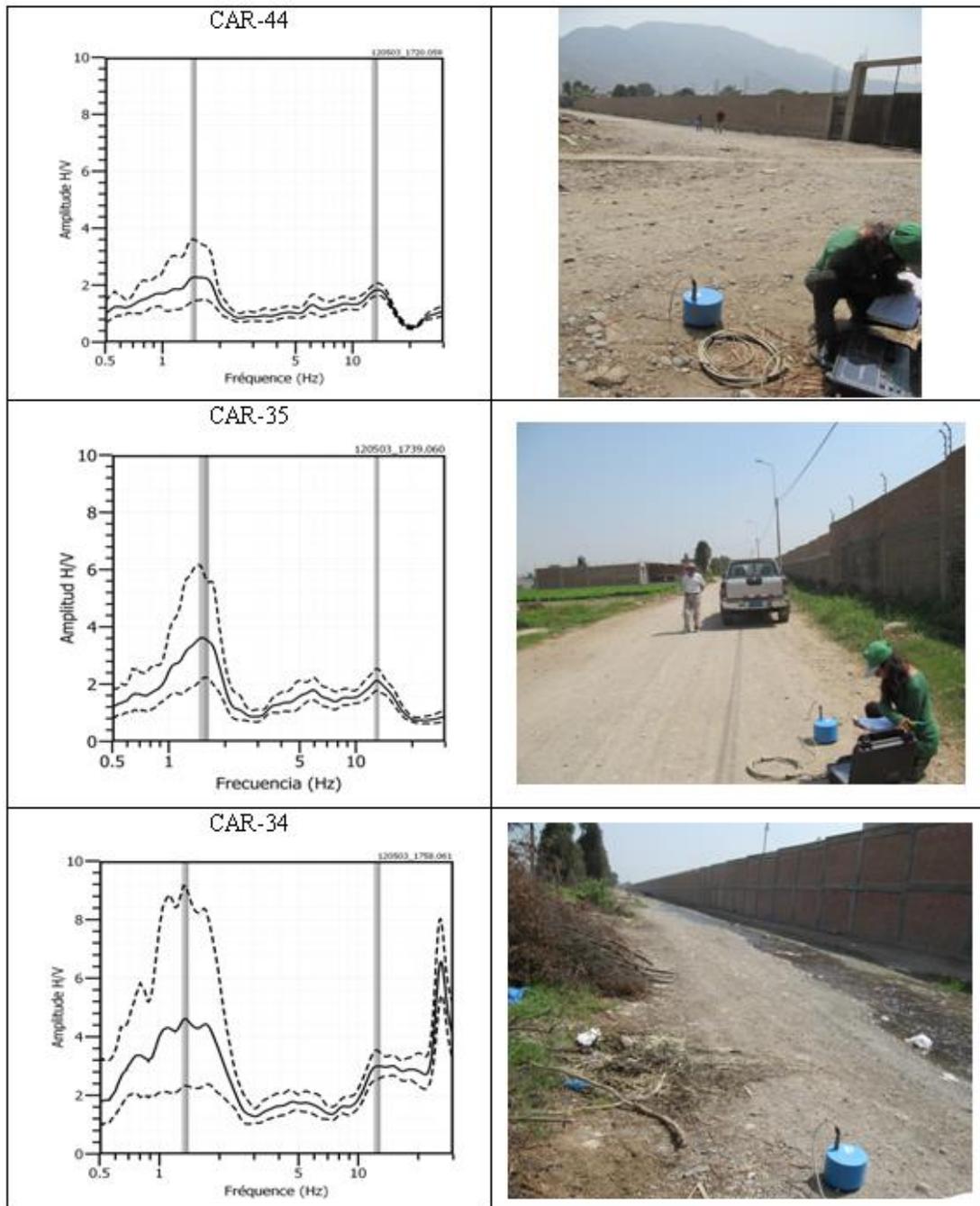


Figura 34: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CAR-44, CAR-35 y CAR-34 ubicados en el extremo sur-oeste del área de estudio (Figura 33).

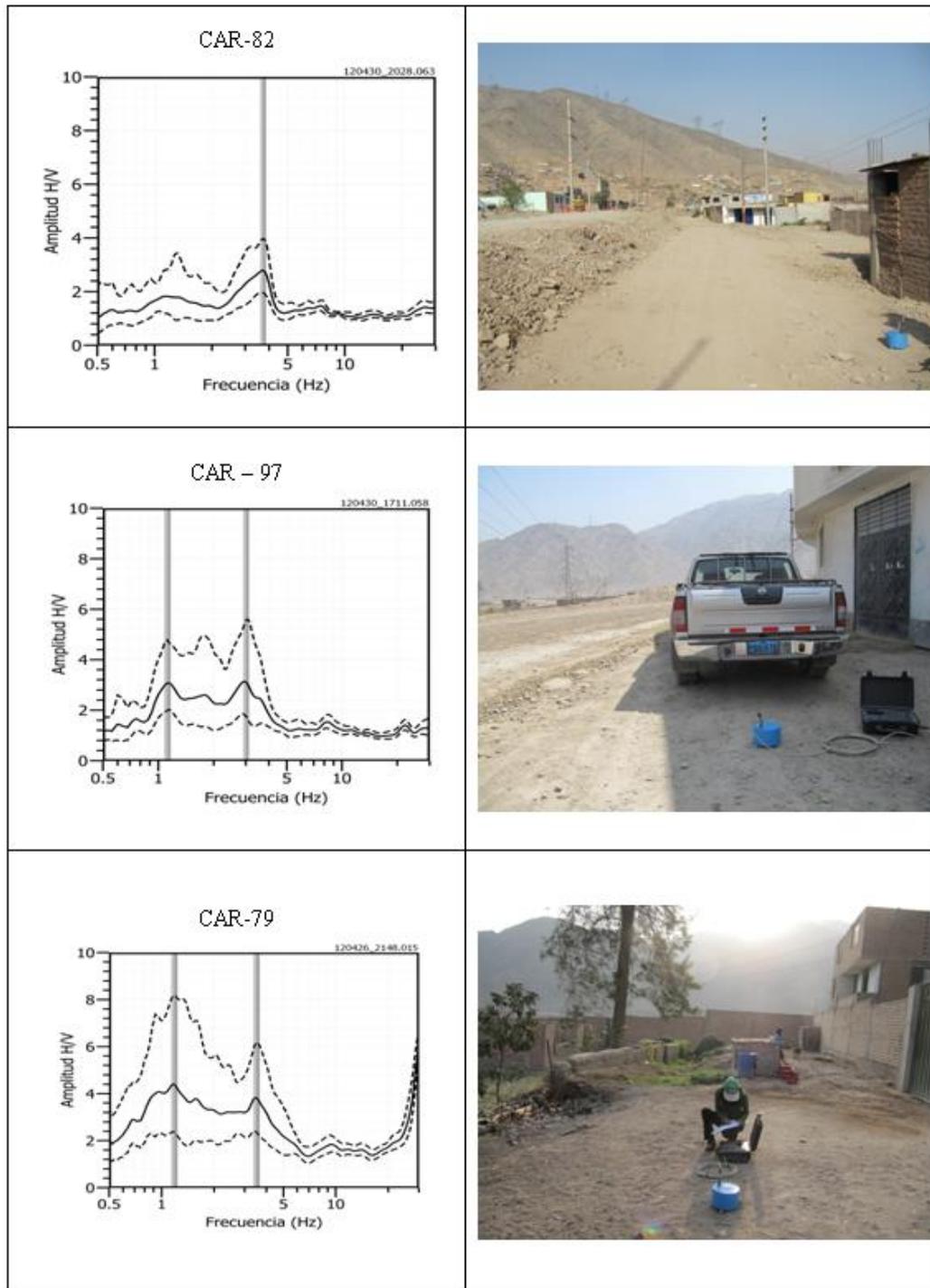


Figura 34: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos CAR-82, CAR-97 y CAR-79 ubicados sobre el AAHH El Vallecito (Figura 33).

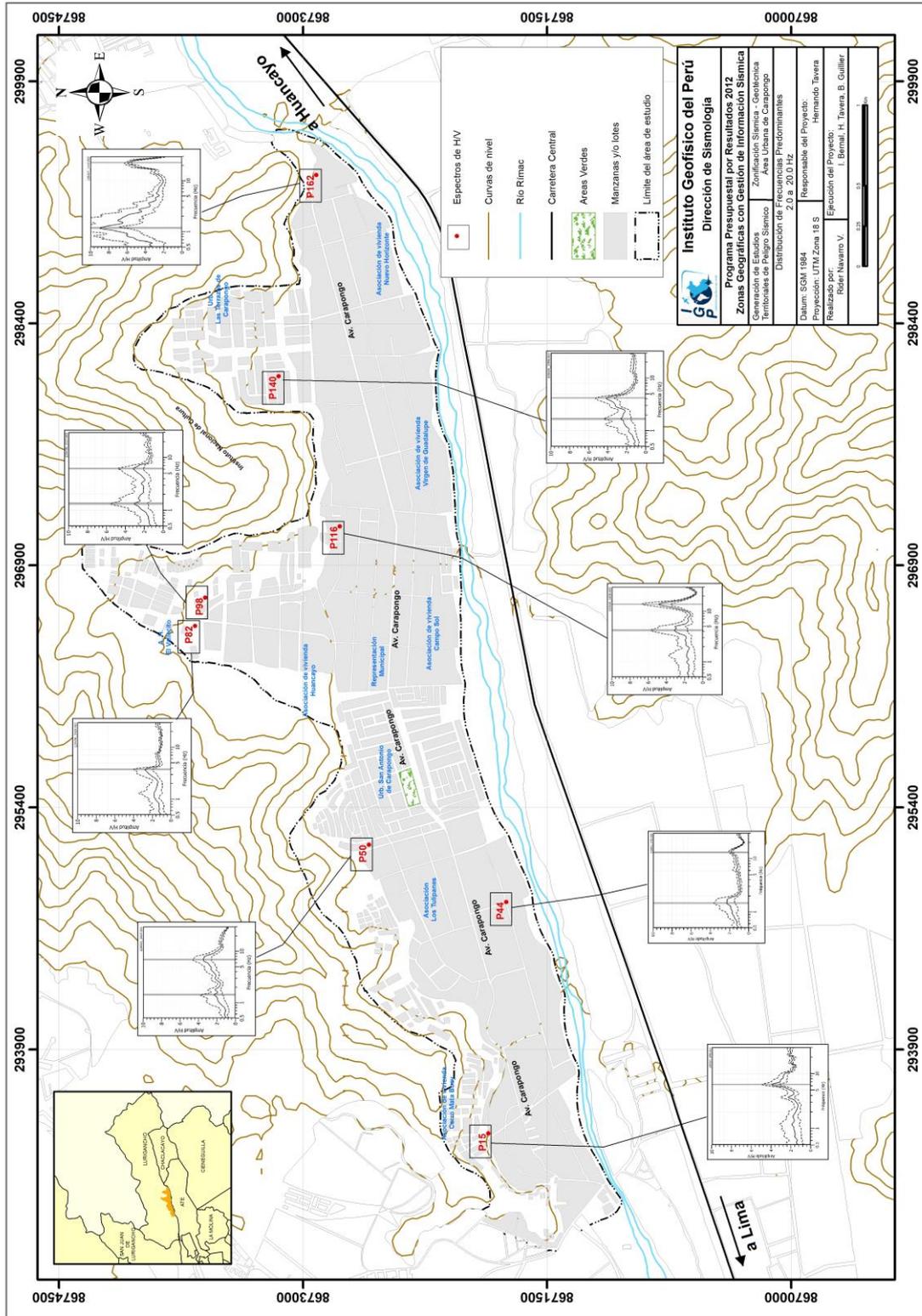


Figura 35: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 2 y 20 Hz. En las gráficas, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

Se debe entender que las frecuencias mayores a 10 Hz evidencian el espesor de la capa más superficial del área de estudio, pudiendo observarse variaciones en dimensión y espesor a cortas distancias; por lo tanto, se ha visto por conveniente no considerarla en un posible zonificación. Estas capas superficiales, para el caso del área urbana de Carapongo, se encuentran mayormente en zonas próximas al río Rímac y sobre posibles zonas de relleno antrópico

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 36, se presenta el mapa del área urbana de Carapongo con la ubicación espacial de las 5 líneas de refracción sísmica codificadas como:

- .- Líneas LR01-CAR y LR02-CAR: extremo norte, AAHH El Vallecito,
- .- Línea LR03-CAR: extremo nor-oeste de la Plaza Central de Carapongo,
- .- Línea LR04-CAR: entre la Asoc. de Vivienda Capo Sol y río Rímac,
- .- Línea LR05-CAR: extremo este del área y Asoc. Vivienda Nuevo Horizonte

En la Figura 37 de presente imágenes de la toma de datos en campo y en la Figura 38, ejemplos de los registros obtenidos con esta técnica.

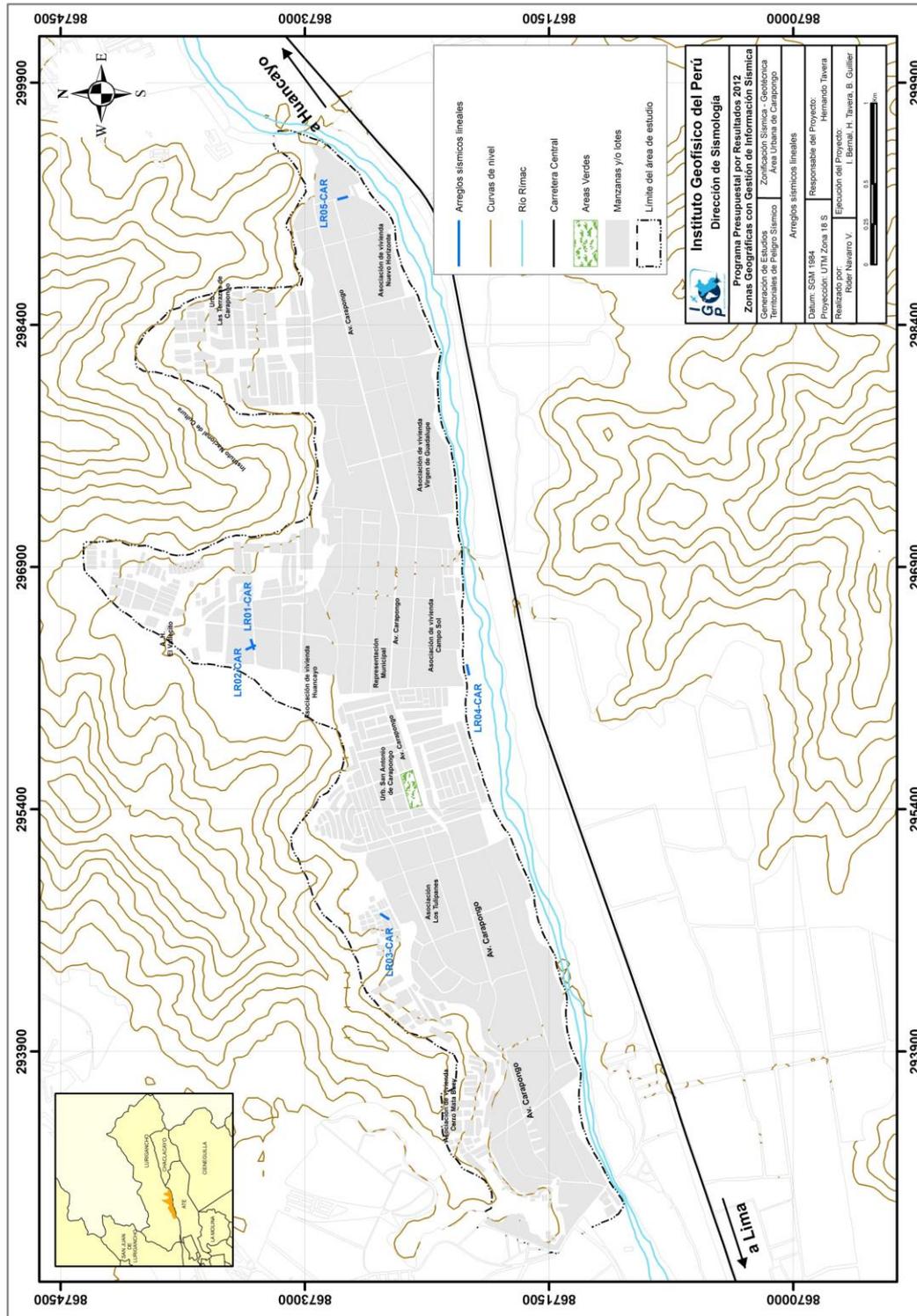


Figura 36: Distribución de las líneas de refracción sísmica en Carapongo (LR01-CAR ...LR05-CAR).

LR01-CAR



LR02-CAR



LR03-CAR



Figura 37: Imágenes de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de datos

LR04-CAR



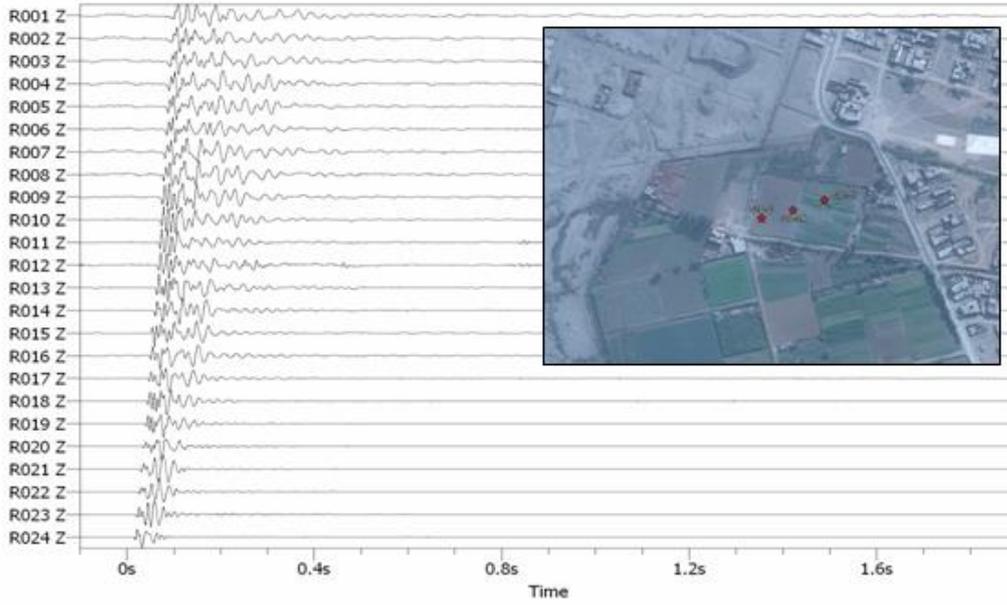
LR05-CAR



Figura 37: ///Continuación... Imágenes de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de datos

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):

LR01-CAR



LR02-CAR

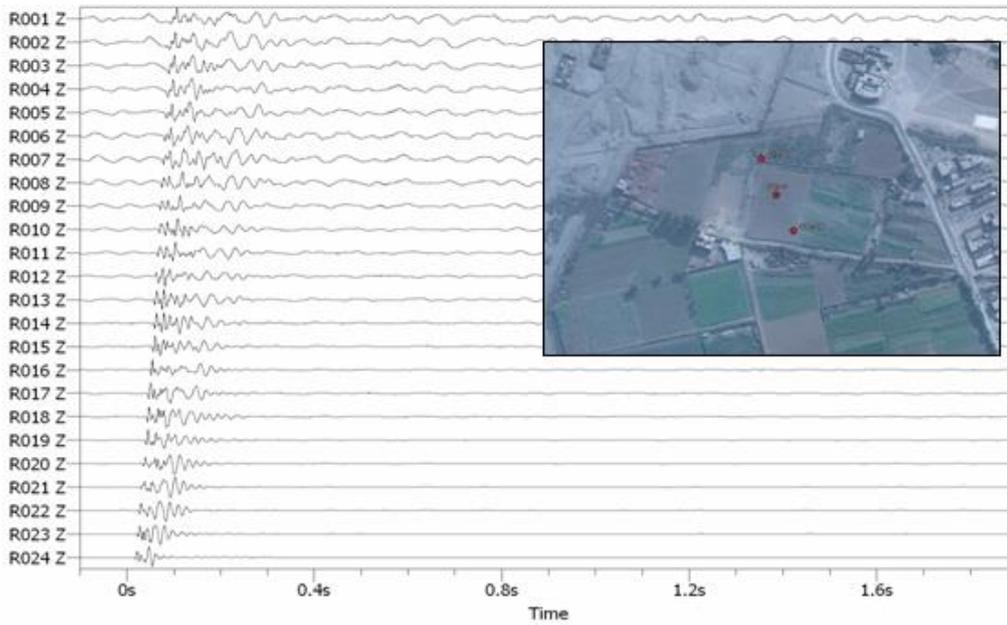


Figura 38: Ejemplos de registros obtenidos en los 24 canales para los puntos LR01-CAR y LR02-CAR

- .- 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*

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.

Arreglos Lineales LR01-CAR y LR02-CAR: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo norte del área de estudio, sobre el AAHH El Vallecito, primero con una orientación NE-SO y luego NO-SE, considerado el extremo sur del tendido como punto común. Según la Figura 39, para estos puntos se ha identificado la presencia de dos capas, la primera con espesores de 3 metros y velocidad es V_s de 220 a 290 m/s que corresponden a suelos duros, y la segunda con espesores de 8 a 12 metros y velocidades V_s de 400 m/s correspondiente a suelos muy duros y/o rocas moderadamente duras. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades de hasta 600 m/s correspondiendo a suelos compuestos por rocas moderadamente duras.

Arreglo Lineal LR03-CAR: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo norte del área, próximo a la plaza principal de Carapongo. De acuerdo a la Figura 40, el perfil de velocidad permite identificar la presencia de dos capas, la primera con espesor de 1 m y velocidades V_s de 180 m/s correspondiente a suelos blandos. La segunda capa presente un espesor de 10 m y velocidad des V_s de 280 m/s correspondiente a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 800 m/s y corresponde a suelos muy duros.

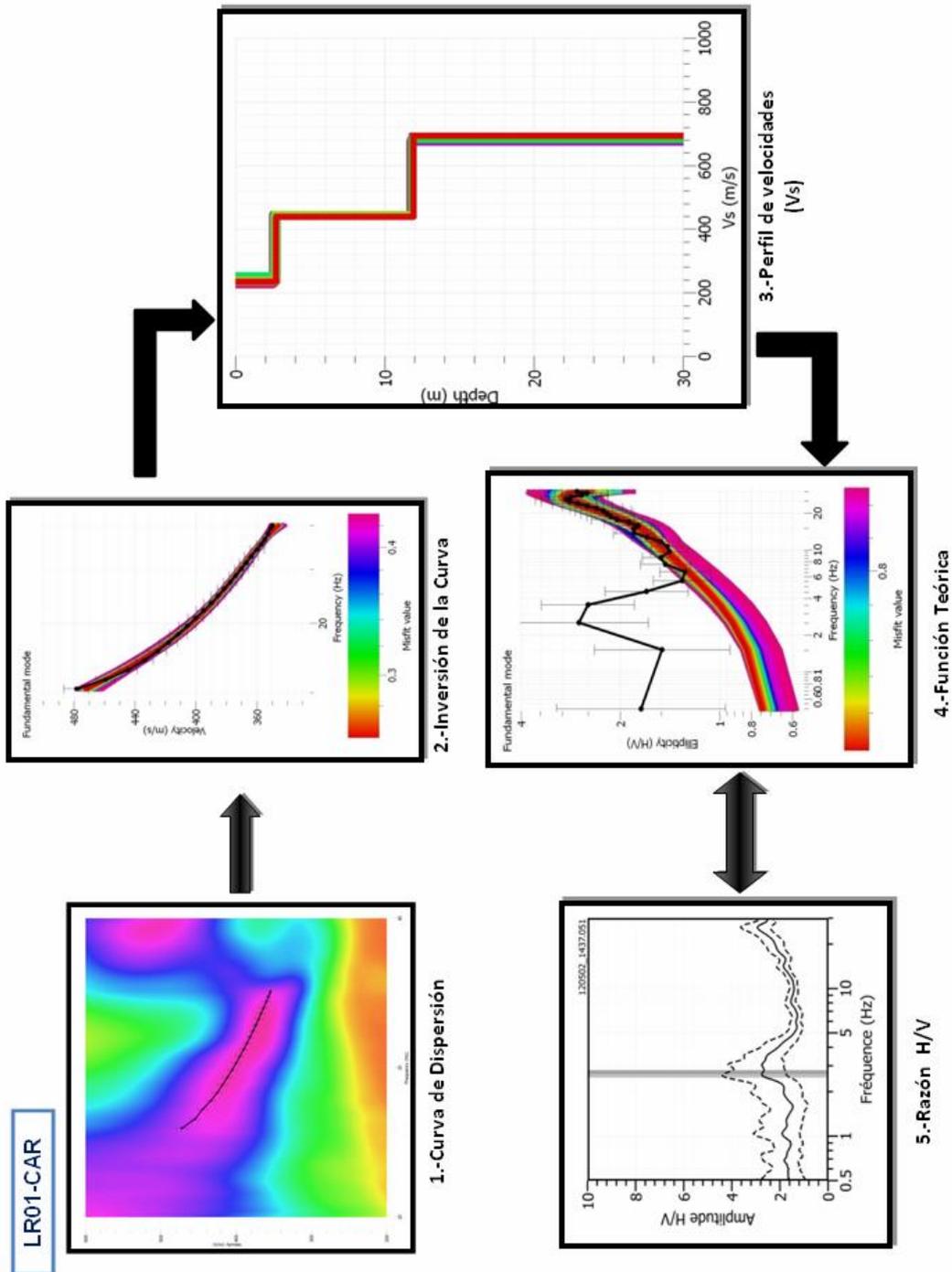


Figura 39: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR01-CAR (ver Figura 36)

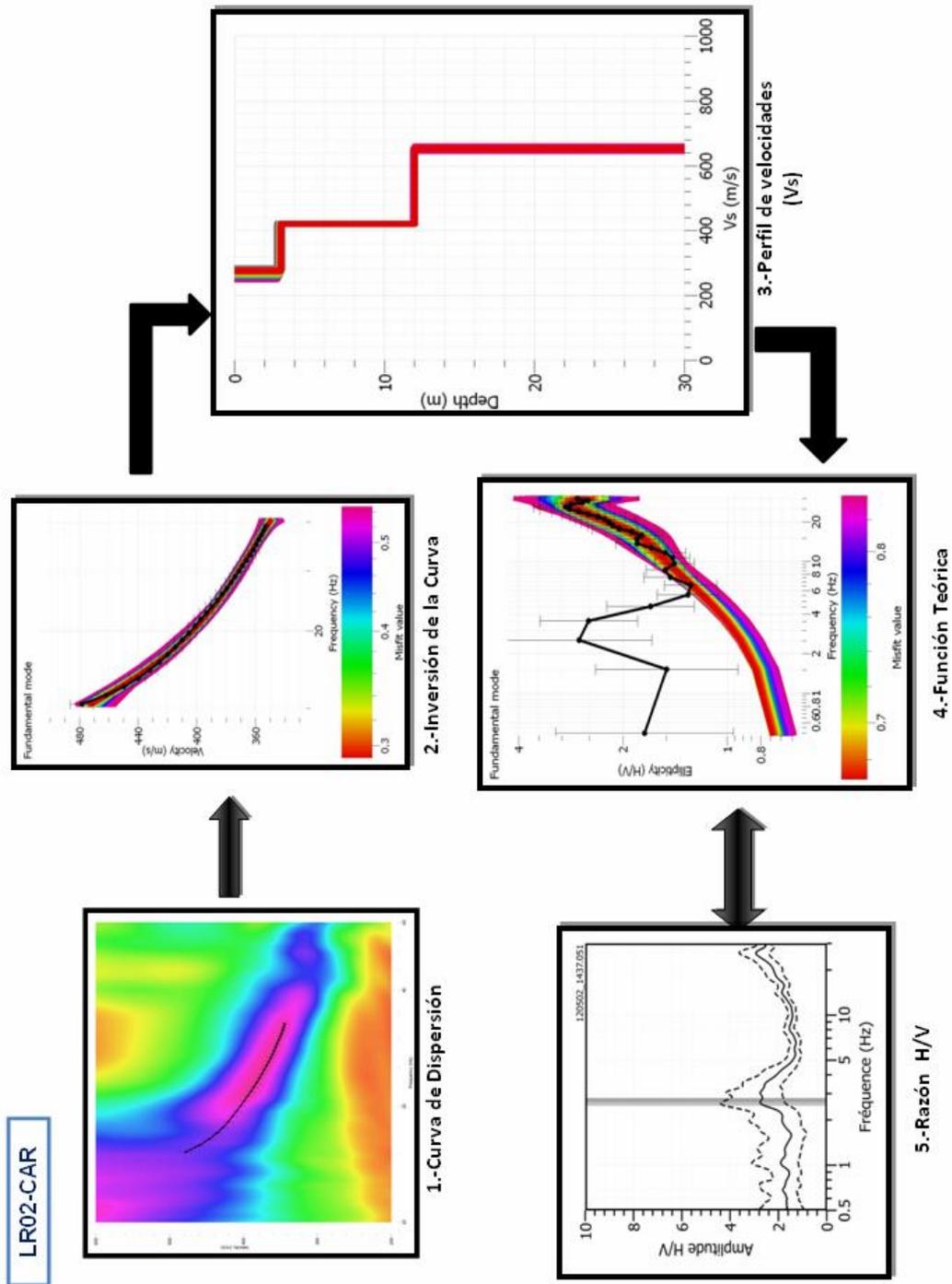


Figura 39: /// Continuación....Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR02-CAR (ver Figura 36)

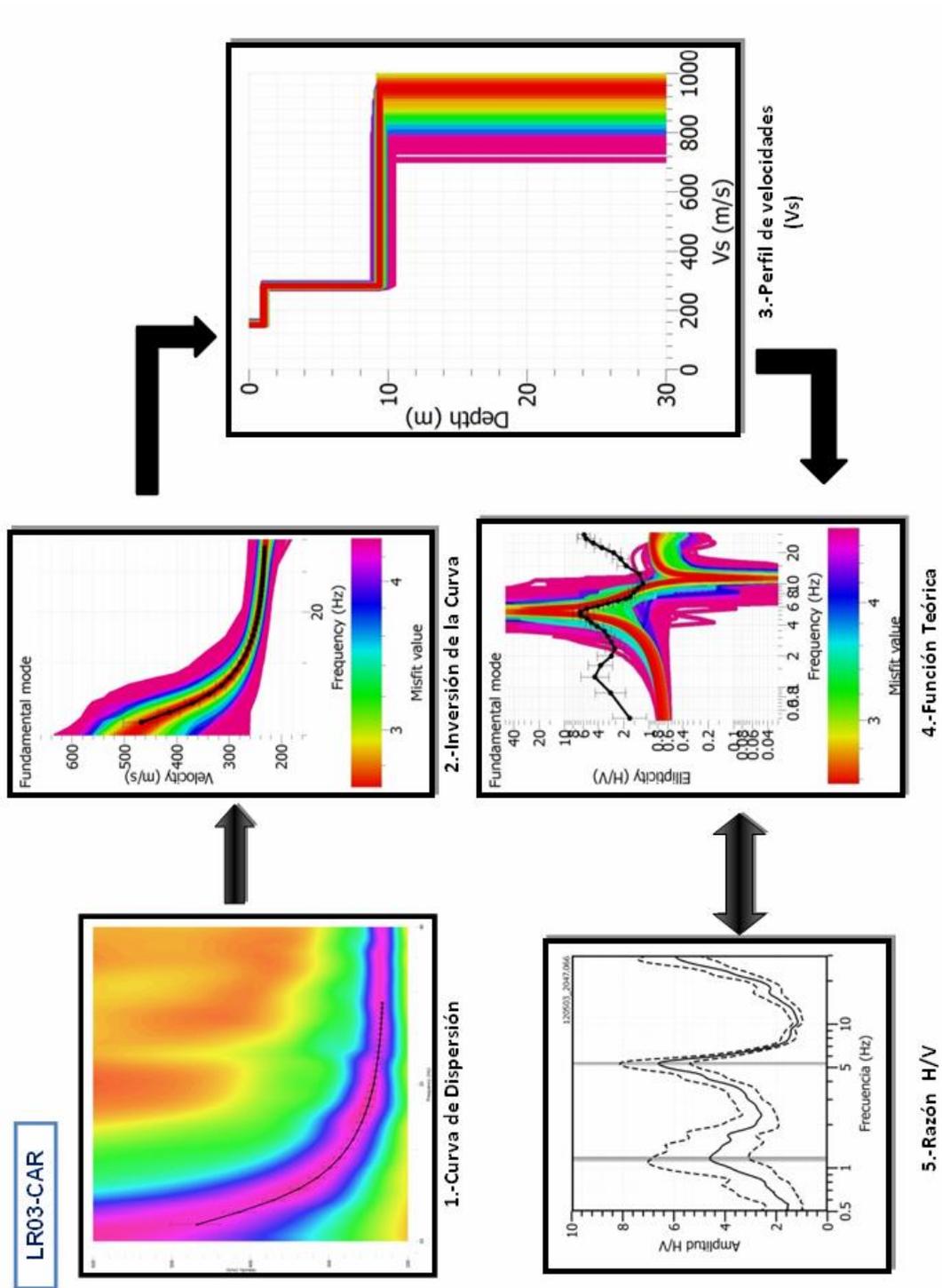


Figura 40: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR03-CAR (ver Figura 36)

Arreglo Lineal LR04-CAR: Este arreglo se realizó entre la Asociación de Vivienda Campo Sol y el río Rímac (Figura 41). En el perfil se ha identificado la presencia de dos capas, la primera con espesor de 2 m y velocidades V_s del orden de 170 m/s correspondiente a suelos blandos, y la segunda capa con espesor de 9 m y velocidades de 490 m/s correspondiente a suelos duros a muy duros. La superficie de contacto con la siguiente capa que alcanza velocidades V_s de hasta 600 m/s, la misma que corresponde a suelos muy duros.

Arreglo Lineal LR05-CAR: Este arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo este del área de estudio, Asociación de la Vivienda Nuevo Horizonte. Según la Figura 42, en el perfil de velocidad se ha diferenciado la presencia de dos capas: la primera superficial con espesor de 3 m y velocidades V_s de 200 m/s correspondiente a suelos blandos a duros. La segunda capa presenta espesor de 12 m con velocidades V_s de 500 m/s correspondiente a suelos muy duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de hasta 900 m/s correspondiente a rocas moderadamente duras.

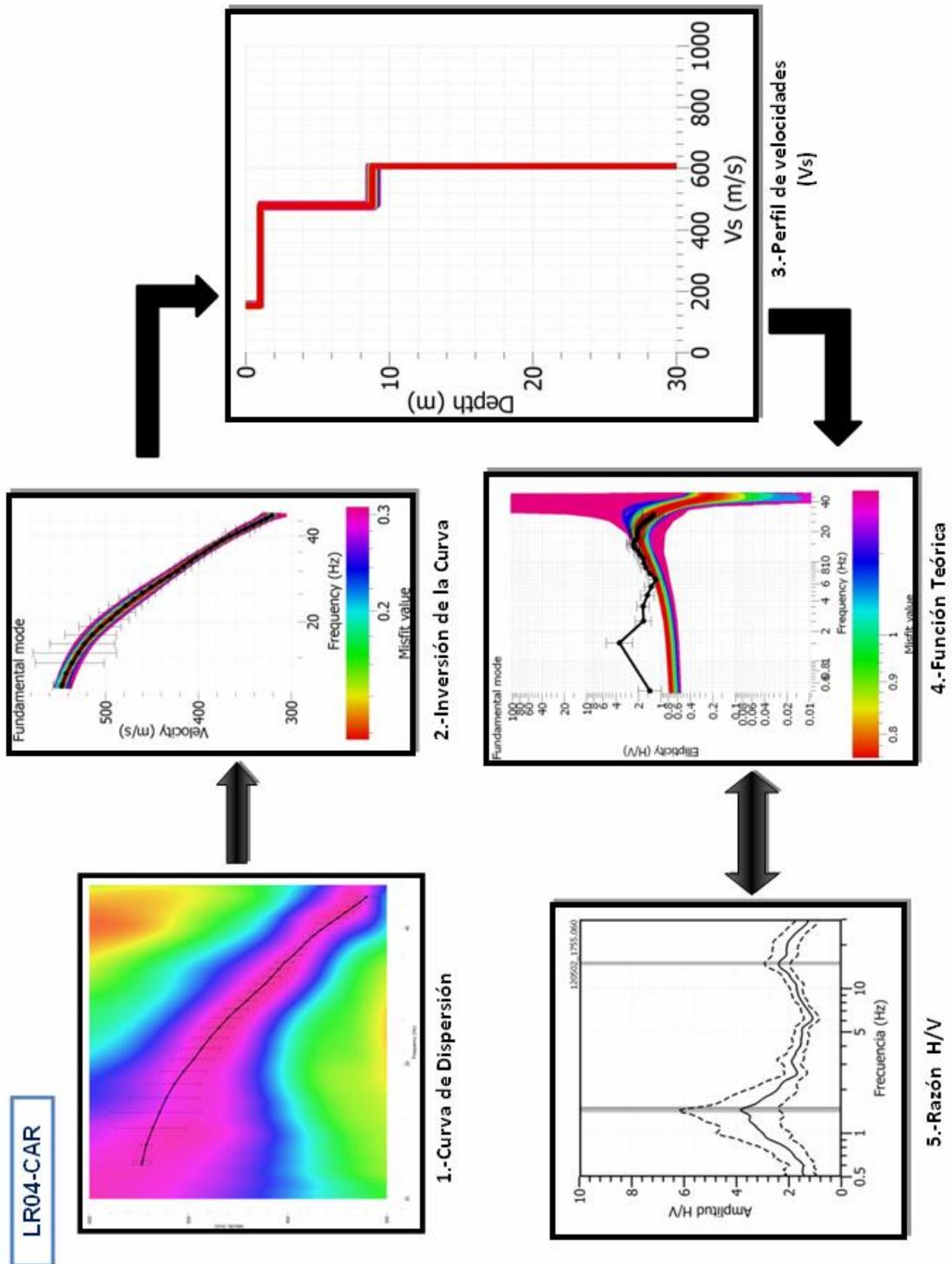


Figura 41: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR04-CAR (ver Figura 36)

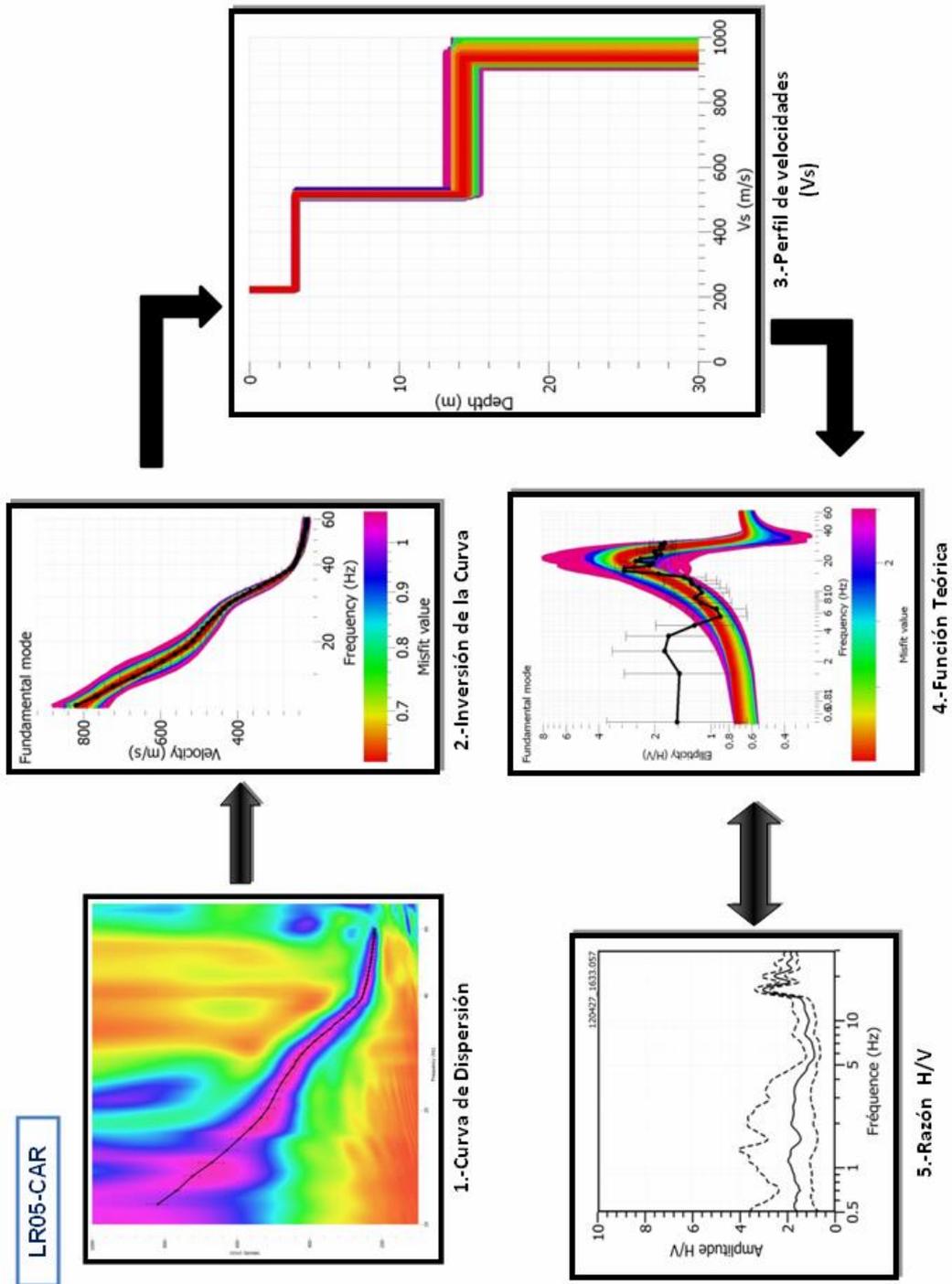


Figura 42: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR05-CAR (ver Figura 36)

9.5.- Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área urbana de Carapongo 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, S2 y S3. Finalmente, para el área urbana de Carapongo se propone la siguiente zonificación (Figura 43):

ZONA I: Zona conformada por estratos de grava coluvial-aluvial presentes a nivel superficial o cubiertos por depósitos de aluvial reciente de poco espesor. Los estratos se encuentran mayormente en los cerros y en el extremo oeste del área de estudio. El suelo tiene un comportamiento semi-rígido con periodos de vibración, determinados por las mediciones de vibración ambiental, entre 0.1 y 0.3 s; es decir, los que corresponden a suelos de Tipo S1.

ZONA II: La zona incluye las planicies aluvionales conformadas por columnas de gravas compuestas por arenas intercaladas con niveles finos de limos y arcillas, y espesores entre 6 y 10 m. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de vibración ambiental, varían entre 0.3 y 0.5 s, correspondiendo a suelos de Tipo S2. Esta zona abarca principalmente la zona céntrica del área urbana de Carapongo y el margen derecho del río Rímac. Asimismo, considera dos zonas de menor dimensión ubicadas en los extremos norte y oeste del área de estudio, sobre el AA.HH. El Vallecito y parte de la Asociación Los Tulipanes.

ZONA III: Zona conformada, en su mayor parte, por depósitos de aluviales recientes con suelos finos y arenas de gran espesor que se encuentran en estado suelto. Los periodos predominantes identificados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s; por lo que, su comportamiento dinámico es tipificado como un suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente peruana. En este estudio, la zona es considerada como especial por presentar un comportamiento dinámico complejo debido, principalmente, a la interacción de los depósitos con el alto nivel freático identificado; por lo tanto, requiere de estudios específicos.

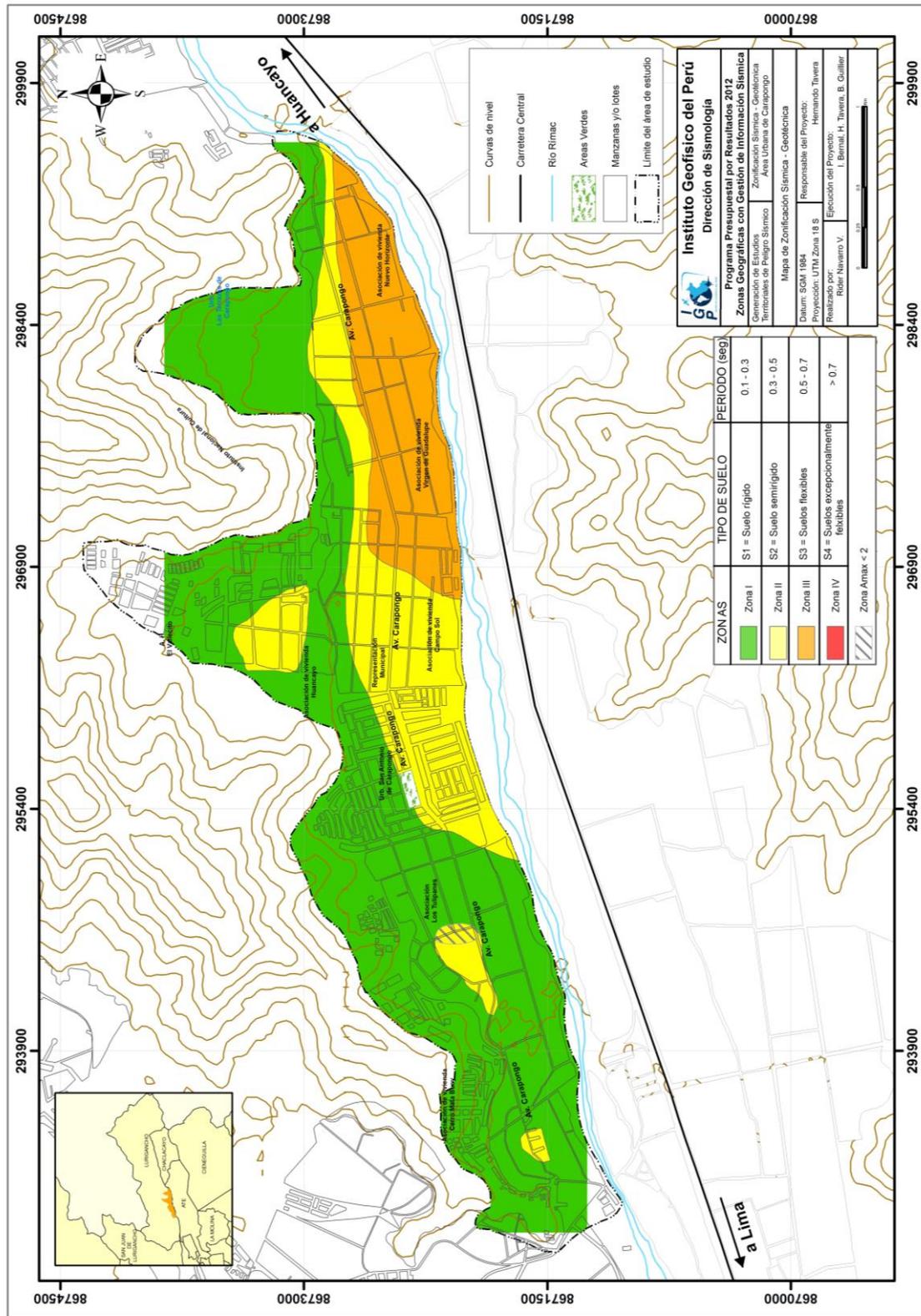


Figura 43: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el área urbana de Carapongo

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

CONCLUSIONES

Aspectos Geológicos:

El área urbana de Carapongo se emplaza sobre el grupo Casma constituido por una serie volcano-detrítica, intruídas por afloramientos ígneos del grupo Santa Rosa constituidos por cuerpos tonalítico-granodioríticos que tienen una gran extensión dentro del Batolito de la Costa y por afloramientos ígneos del grupo Patap constituidos por cuerpos gabros-dioritas del cretáceo superior. Estos cuerpos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales cuya edad geológica pertenecen al 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 Carapongo se encuentra comprendida entre las cotas de 350 a 750 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: Quebradas, Terrazas, Colinas y Laderas de pendiente media y empinada.

Aspectos Geodinámicos:

Se ha identificado e inventariado la ocurrencia de 21 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 10 calicatas y el respectivo análisis de muestras realizadas en laboratorio han permitido identificar para el área urbana de Carapongo, la presencia de hasta 7 tipos de suelos, los mismos que han sido caracterizados de acuerdo a la clasificación SUCS.

De acuerdo a su capacidad portante, los suelos existentes en la Asociación de Vivienda El Portillo, Urb. Las Terrazas de Caraponguillo, Asociación María Magdalena, Asociación Nuevo Horizonte y C.P. Virgen del Carmen presentan Capacidad Portante Media en un 70% de su área total. En el A.H. Las Praderas de Huachipa, Urb. San Antonio de Carapongo, Asociación Campo Sol, Universidad Peruana Unión y en la Villa Chabelita, los suelos presentan valores de Capacidad Portante Baja.

Aspectos Sismológicos 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 5.2 cm/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 375 a 380 cm/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 Carapongo es muy heterogéneo y por ende, complejo. El rango de frecuencias entre 2 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 170 a 220 m/s correspondiente a suelos duros con espesores de 1 a 3 metros, suelos con velocidades V_s de 280 a 500 m/s correspondiente a suelos muy duros con espesores de 9 a 12 metros. La superficie de contacto alcanza velocidades de 600 a 900 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 Carapongo de 3 zonas sísmicas - geotécnicas, las mismas que corresponden a suelos de Tipo S1, S2 y S3. Esta clasificación permite proponer, en este estudio, el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Carapongo.

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

Este documento técnico debe ser utilizado por las autoridades locales de Carapongo (Distrito de Lurigancho-Chosica) 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 Lurigancho-Chosica, área de Carapongo.

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 microtemors. 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 microtemors 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 Peru 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.