

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA



**APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS PARA LA
EVALUACIÓN DE RIESGOS DE GEODINÁMICA EXTERNA EN EL ÁREA
URBANA DE HUAYCÁN - LIMA**

Tesis Presentada por la Bachiller
en Ciencias Geofísicas:

Pari Rendon, Kelly Amanda

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO GEOFÍSICO

AREQUIPA – PERÚ

2015

DEDICATORIA

*A mi padre que desde donde este, ilumina mis pasos
y sé que desde allá mira orgulloso el camino que seguí.*

A mi madre, por ser la más grande motivación.

A mis hermanos, por estar allí en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer al Instituto Geofísico del Perú, por el financiamiento de mi tesis, a la dirección de Ciencias de la Tierra Solida por la oportunidad de desarrollarme como profesional, y a todas las personas que la conforman han sido como una segunda familia para mí.

A mi asesor Dr. Hernando Tavera H. gracias por compartir conocimientos desinteresadamente, por la calidad humana que proyecta y por contagiarme su espíritu investigador, a la MSC. Isabel Bernal por sus enseñanzas, gracias por todo el apoyo.

A mi mamá por todo el apoyo brindado, por la confianza depositada, no estamos juntas pero siempre tengo una palabra de apoyo y de compañía cuando la necesito; a mi papá gracias por todo, por demostrarme que si se puede, que a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre, sé que este momento hubiera sido tan especial como lo es para mí. A mis hermanos que si no hubiera sido por ustedes se me hubiera complicado llegar hasta el final.

A mis profesores de la UNSA de la facultad de ingeniería geofísica por los conocimientos compartidos, a mis amigos a lo largo de la carrera por todos los excelentes momentos que vivimos juntos y por los que faltan, gracias por la gran amistad.

Y por último, pero más importante a Dios, gracias por poner en mi camino a todas estas personas especiales, que me han dado la fuerza y la fe con la que sabido salir a delante.

Y, en fin, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos los compañeros y amigos que de una u otra manera pusieron un granito de arena en pro del trabajo realizado. A todas las personas que de manera directa o indirecta contribuyeron con la culminación de este Trabajo especial de Grado.

INDICE

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Justificación	5
1.3. Objetivos	7
1.4. Ubicación del área de estudio.....	7
1.5. Zona urbana de Huaycan	9

CAPITULO II: CONDEPTOS GENERALES

2.1. Ondas sísmicas.....	11
2.1.1. Ondas de cuerpo.....	12
2.1.2. Ondas superficiales	14
2.2. Velocidad de grupo y de fase.....	16
2.3. Ruido sísmico.....	18

CAPITULO III: RESPUESTA DINÁMICA DE LOS SUELOS

3.1. Definición de suelo.....	22
3.2. Estudio del movimiento del suelo.....	22
3.2.1. Efectos locales	23
3.2.2. Mecanismos que contribuyen a los efectos de las ondas	25
3.2.3. Efectos inducidos	28
3.3 Zonificación sísmica	29
3.4. Condiciones mecánicas - dinámicas de los suelos	30

**CAPITULO IV :
TÉCNICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS**

4.1. Técnica de cociente espectral H/V	35
4.1.1.Método de Nakanura	35
4.1.2.Cociente espectral H/V	36
4.2. Técnicas geofísicas para el análisis de ondas superficiales	40
4.2.1.Dispersión de ondas superficiales	41
4.2.2.Técnica de arreglos sísmicos lineales (MASW).....	42
4.3. Técnicas geotécnicas.....	45
4.3.1.Clasificación de suelos	45
4.3.2.Capacidad portante.....	48

**CAPITULO V :
GEODINÁMICA EXTERNA**

5.1. Flujo de detritos.....	58
5.2. Caída de rocas	67
5.3. Zonas de alto riesgo.....	72

**CAPITULO VI :
CARACTERIZACIÓN DE SUELOS**

6.1. Características geológicas y geomorfológicas	83
6.1.1. Geología local	83
6.1.2. Tectónica.....	88
6.1.3. Geomorfoloía.....	88
6.2. Análisis geotécnico.....	92
6.2.1. Calicatas.....	92
6.2.2. Clasificación de suelos.....	98
6.2.3. Capacidad portante	102
6.2.4. Resultados.....	104
6.3. Análisis geofísico.....	105
6.3.1. Cocientes espectrales (H/V).....	105
6.3.2. Arreglos sísmicos lineales (MASW).....	127

**CAPITULO VII :
ZONIFICACIÓN SÍSMICA GEOTÉCNICA**

7.1. Análisis de resultados.....	141
7.2. Zonificación Sísmico - Geotécnica	142

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 1: Inventario de flujo de detritos

ANEXO 2: Zonas de alto riesgo

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
Figura 1.1: Ubicación de la zona de estudio, área urbana de Huaycan.	8
Figura 1.2: Distribución de las unidades comunales de vivienda y unidades de viviendas comercial en Huaycan.	10
Figura 2.1: Esquema del modo de propagación de las ondas P.	12
Figura 2.2: Esquema del modo de propagación de las ondas S.	13
Figura 2.3: Esquema del modo de propagación de las ondas Rayleigh.	15
Figura 2.4: Esquemas del modo de propagación de las ondas Love.	16
Figura 2.5: Una sola onda progresiva con frecuencia = 1 (Izquierda), Un grupo de ondas compuestas de dos ondas con frecuencias 1 y 1,1 (derecha).	17
Figura 2.6: Fuente y clasificación de microtemores.	19
Figura 3.1: Esquema del paso de las ondas sísmicas en terrenos con distinta composición geológica: roca y sedimento, observe la amplificación de las ondas en el suelo sedimentario.	21
Figura 3.2: Registros de movimiento y espectros de respuesta del terremoto de Loma Prieta.	25
Figura 4.1: Ensayo MASW que permite determinar las velocidades de propagación de ondas S a través de los diferentes estratos de suelos.	42
Figura 4.2: Esquema de la metodología usada en el procesamiento de los datos obtenidos en un arreglo lineal.	44
Figura 4.3: Modelo de Khristianovich.	49
Figura 4.4: Correspondencia de un cimiento con la balanza de Khristianovich.	50
Figura 4.5: Mecanismo de falla de un cimiento poco profundo según Terzaghi.	51
Figura 4.6: Equivalencia del suelo sobre el nivel del desplante de un cimiento con una sobrecarga debido a su peso.	52
Figura 5.1: Susceptibilidad de deslizamientos inducidos por sismos (Hays, 1990).	55
Figura 5.2: Flujo de detritos en la asociación de vivienda El Lúcumo en la zona urbana de Huaycan.	57
Figura 5.3: Zonas de Flujo de detritos identificados zona urbana de Huaycan.	59
Figura 5.4: Depósito de flujo de detritos en las inmediaciones de la quebrada de la Zona “Z”.	60
Figura 5.5: Depósito de flujo de detritos en las inmediaciones de las quebradas en la urbanización Horacio – Zevallos.	61
Figura 5.6: Sector de la Zona “R” en Huaycan. Se aprecian viviendas ubicadas en pleno cauce de quebrada.	62
Figura 5.7: Las líneas segmentadas de color rojo muestran las zonas con caída de rocas de 7” en los alrededores de la urbanización el Lúcumo.	67
Figura 5.8: Zonas críticas de caída de rocas evaluadas en la zona urbana de Huaycan.	68

Figura 5.9: La línea segmentada de color rojo nos muestra caída de rocas de 8” en los alrededores de la Zona H-L.	69
Figura 5.10: Zona con caída de rocas localizadas al pie del cerro Fisgón en la urbanización Luna Pizarro – Huaycan.	70
Figura 5.11: Peligro de caída de rocas en la zona “Q” del área urbana de Huaycan.	71
Figura 5.12: Efectos de la modificación de la topografía con la construcción de una carretera.	72
Figura 5.13: Deslizamientos causados por infiltración de agua causada por el hombre.	73
Figura 5.14: Deslizamientos causados por cortes y rellenos hechos en el talud.	74
Figura 5.15: Asociación de vivienda El Lúcumo, observe las pequeñas rocas que se desprenden producto del corte y del intemperismo.	75
Figura 5.16: Viviendas asentadas en las laderas de los cerros siendo declaradas como riesgo alto por ser áreas de pendientes inestables y áreas de desmonte en la Zona C.	76
Figura 5.17: Las modificaciones topográficas en la Zona C.	77
Figura 5.18: Casas de material rústico asentadas en las laderas de los cerros ubicados en la Zona “C”.	77
Figura 5.19: En la Zona Z se puede observar viviendas construidas sobre rocas sin cementar o pircas.	78
Figura 5.20: Pircas construidos a base de rocas sin cementar en la Zona “Q”	79
Figura 5.21: Construcciones de material noble en la Zona M.	80
Figura 5.22: Mapa geodinámico para la zona urbana de Huaycan. Véase flujo de detritos (coloración café), caída de rocas (coloración rosada) y zonas de alto riesgo (!).	82
Figura 6.1: Modelo digital del terreno para la zona urbana de Huaycan.	84
Figura 6.2: Mapa geológico para la zona urbana de Huaycan.	87
Figura 6.3: Mapa geomorfológico para la zona urbana de Huaycan.	91
Figura 6.4: Distribución espacial de las 15 calicatas construidas en la zona urbana de Huaycan.	93
Figura 6.5: Ejemplo del procedimiento para la descripción geológica de las 15 calicatas a) Ubicación de la calicata b) fotografía de la excavación de la calicata c) Descripción geológica en función de la profundidad.	96
Figura 6.6: Mapa de clasificación de suelos SUCS para la zona urbana de Huaycan.	101
Figura 6.7: Mapa de capacidad portante para la zona urbana de Huaycan.	103
Figura 6.8: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark.	105
Figura 6.9: Disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales.	107
Figura 6.10: Mapa del área de estudio y distribución de puntos de registro de vibración ambiental.	109
Figura 6.11: Ejemplo de la ficha H/V para el punto HUA-060 en la cual se recopila la información registrada y analizada.	110
Figura 6.12: Mapa del área de estudio y distribución espacial de frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 3.0 Hz.	112

Figura 6.13: Ejemplos de razones espectrales (H/V) con frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 3.0Hz.	113
Figura 6.14: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 0.5 y 3.0 Hz.	117
Figura 6.15: Mapa del área de estudio y distribución espacial de las frecuencias predominantes en el rango de 3.0 - 20.0 Hz.	119
Figura 6.16: Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-026, H-060 y H-083 ubicados sobre la sub-área A1.	120
Figura 6.17: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 3 y 20 Hz.	125
Figura 6.18: Mapa del área urbana de Huaycan y distribución de las líneas de MASW.	128
Figura 6.19: Imágenes de la disposición del equipo de MASW para la toma de datos.	129
Figura 6.20: Ejemplos de registros obtenidos en los 24 canales considerando el golpe de martillo en ambos extremos (a,c) y el centro del arreglo (b).	130
Figura 6.21: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR01-HUA.	132
Figura 6.22: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR02-HUA.	134
Figura 6.23: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR03-HUA.	135
Figura 6.24: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR04-HUA.	136
Figura 6.25: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR05-HUA.	137
Figura 6.26: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR06-HUA.	138
Figura 7. 1: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la zona urbana de Huaycan.	143

LISTA DE TABLAS

<i>Tablas</i>	<i>Página</i>
<i>Tabla 1: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor</i>	31
<i>Tabla 2: Parámetros del suelo</i>	32
<i>Tabla 3: Clasificación de suelos según AASHTO</i>	46
<i>Tabla 4: Símbolo de grupo según SUCS</i>	47
<i>Tabla 5: Tipología de suelos SUCS</i>	52
<i>Tabla 6: Zona de riesgo de flujo de detritos</i>	63
<i>Tabla 7: Columna litoestratigráfica para la zona urbana de Huaycan</i>	85
<i>Tabla 8: Rangos de pendientes identificados en la zona urbana de Huaycan</i>	89
<i>Tabla 9: Coordenadas UTM de las 15 calicatas construidas en la zona urbana de Huaycan</i>	92
<i>Tabla 10: Prefijos de los principales tipos de suelos.</i>	94
<i>Tabla 11: Clasificación de suelos SUCS para la zona urbana de Huaycan</i>	100
<i>Tabla 12: Valores de capacidad portante para cada calicata en la zona urbana de Huaycan</i>	102
<i>Tabla 13: Valores de capacidad de carga admisible para la zona urbana de Huaycan</i>	102
<i>Tabla 14: Velocidad de las ondas de corte según la norma E-030</i>	129
<i>Tabla 15: Variación del espesor del suelo de un punto a otro, en la zona urbana de Huaycan</i>	139

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo I: Inventario de flujo de detritos</i>	151
<i>Anexo II: Zonas de alto riesgo</i>	177

RESUMEN

Es sabido que el mayor riesgo de una ciudad es estar situada en zonas donde la ocurrencia de peligros naturales como los sismos y sus efectos secundarios (tsunamis, licuación de suelos, deslizamientos) son frecuentes. Este es el caso de la ciudad de Lima y del poblado de Huaycan dentro del distrito de Ate. De acuerdo a la historia sísmica, en la región central del Perú, todos los distritos y poblados existentes han sido afectados en diferente grado; por lo tanto, se tiene información relevante a ser utilizada en la gestión del riesgo.

Por otro lado, se sabe que a la ocurrencia de un sismo, los daños observados y la pérdida de vidas no es responsabilidad directa de los sismos, sino de la calidad de las construcciones y del suelo sobre el cual se han desarrollado. En este escenario es importante, conocer el comportamiento dinámico de los suelos de cualquier localidad y ciudad a fin de proyectar las viviendas y obras de ingeniería. Conociendo la calidad del suelo, se realiza un correcto diseño de la estructura y se reduce la vulnerabilidad. En este sentido, en el poblado de Huaycan se realiza el estudio del comportamiento dinámico de los suelos ante la sollicitación sísmica utilizando metodologías como la sísmica y geofísica, complementada con técnicas de geotecnia. Los resultados han permitido identificar en Huaycan la presencia de dos tipos de suelos, S1 y S2 sobre la actual superficie ocupada.

Huaycan representa un caso típico de poblado asentado sobre las faldas de cerros y desarrollado sobre sus quebradas; es decir, sobre áreas de riesgo por la presencia de flujos de detríticos y caída de rocas. Los trabajos in situ desarrollados entorno al poblado de Huaycan, han permitido identificar la presencia de 26 zonas críticas para el flujo de detríticos y caída de rocas que podrían afectar a un alto porcentaje de viviendas.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a su historia sísmica, el Perú ha sido afectado en diversas 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 del territorio peruano. Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones presentes en cada área urbana.

Durante un evento sísmico se originan ondas sísmicas internas y superficiales, que presentan atenuación conforme se alejan del epicentro. Sin embargo, existen casos en donde estas ondas superficiales son amplificadas por efectos geológicos, topográficos y por la calidad del suelo, particularmente en los casos en donde el terreno presenta un comportamiento dinámico distinto al del basamento rocoso, dando origen a los efectos de sitio. El daño y hasta el posible colapso de estructuras civiles diversas se debe a que el periodo natural del movimiento del suelo coincide con el periodo dominante del terreno o por la amplificación de ondas por la presencia de suelos inestables.

En este escenario, las áreas pobladas como la zona urbana de Huaycan, distrito de Ate, ha sido producto de la ola imigracionista que soportó Lima en los últimos años y debido a la falta de medidas políticas adecuadas, estas áreas han sido pobladas informalmente sin modelos de ingeniería que consideren el riesgo del lugar. Por lo tanto, se hace necesario desarrollar estudios sobre las características de los suelos y las zonas de mayor riesgo de desastre, que permita a las autoridades y pobladores conocer las condiciones y el grado de riesgo al que están expuestas sus viviendas en caso de sismo.

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica permiten conocer el comportamiento dinámico del suelo o sus características dinámicas ante la demanda sísmica. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar la construcción de estructuras adecuadas para cada tipo de suelo.

Desde el punto de vista geodinámico, el análisis in situ de los flujos de detritos y caída de rocas ha permitido evaluar el desarrollo de estos flujos en el pasado y que pueden presentarse en el futuro.

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 estudios en los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino, permitiendo completar la información para el total de los distritos que conforman el área de la ciudad de Lima Metropolitana.

A partir del año 2012 y dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú continua con la realización de los estudios de Zonificación Sísmica - Geotécnica para las áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycan y Carapongo. La autora participa en la ejecución de estos estudios.

El presente estudio denominado “Aplicación de métodos geofísicos y geotécnicos para la evaluación de riesgos de geodinámica externa en el área urbana de Huaycan” analiza el comportamiento dinámico del suelo y los riesgos geodinámicos ante la ocurrencia de un evento sísmico. Este estudio se divide en siete capítulos que se describen a continuación:

En el Capítulo I se presenta la introducción, el planteamiento del problema, los objetivos, la ubicación del área y una breve reseña histórica de la zona urbana de Huaycan. En el Capítulo II se describe, a manera general, los conceptos de ondas sísmicas, velocidad de grupo y de fase, y ruido sísmico. En el Capítulo III se define la respuesta sísmica de los suelos, características locales que dan lugar a efectos locales, los mecanismos que contribuyen a los efectos de las ondas, condiciones mecánicas y dinámicas de los suelos en el Perú, se define también los efectos inducidos y la zonificación sísmica.

En el Capítulo IV se desarrolla el fundamento teórico de las técnicas para la caracterización de los suelos, la técnica de cociente espectral H/V, técnicas geofísicas para el análisis de ondas superficiales y las técnicas geotécnicas.

En el Capítulo V se presenta la evaluación de la geodinámica externa de la zona urbana de Huaycan, análisis de las zonas con riesgo de flujo de detritos, caída de rocas, además de identificarse zonas de alto riesgo.

En el Capítulo VI se desarrolla la caracterización de sitio en el área urbana de Huaycan, características geológicas, geomorfológicas, geodinámica externa y los aspectos geotécnicos. El comportamiento dinámico es evaluado mediante la técnica de cocientes espectrales H/V, arreglos sísmicos lineales.

En el Capítulo VII se realiza el análisis e interpretación de los resultados confrontando las características geológicas, geomorfológicas, geodinámica y geotécnicas con las características dinámicas de los suelos, obteniendo de esa manera el mapa de la zonificación sísmica-geotécnica para la zona urbana de Huaycan. Finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas al concluir el estudio.

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Descripción

El departamento de Lima, por encontrarse ubicado en el borde oriental del Cinturón del Fuego del Océano Pacífico, está expuesto a eventos sísmicos de gran magnitud, los cuales históricamente han producido daños cuantiosos ya sean materiales o pérdidas de vidas humanas.

El sismo más trascendental ocurrió el 28 de octubre de 1746 (magnitud ~ 9 Mw) quedando la población de Lima, de ese entonces, diezmada, debido a la destrucción de viviendas y posterior tsunami que arrasó con el Callao. Pero este no es el único sismo registrado por cronistas de la época, sino también otros importantes como los ocurridos en los años 1586 (magnitud ~ 8 Mw), en 1687 (magnitud ~ 8.5 Mw) y también en 1940 (magnitud ~ 8.2 Mw).

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, tsunamis y sus efectos secundarios.

A estos escenarios se suma el hecho de que en la zona de Huaycan (Ate-Lima), salvo algunas construcciones de importancia, se realizan obras civiles sin respaldo de estudios de Geofísicos, por ello el casco urbano se viene asentando de manera

desordenada debido a la falta de planificación y a un plan de ordenamiento territorial. Actualmente, se encuentran barrios completos construidos de manera inadecuada, sin respetar la norma de construcción vigente en el Perú (Norma E-030).

Asimismo, Huaycan se levanta sobre tres quebradas secas y en caso se presenten precipitaciones excepcionales existirá una amenaza importante de graves consecuencias ya que en algunos barrios, las viviendas se asientan en los causes de las quebradas, zonas de terrazas inundables, suelos potencialmente licuables y/o colapsables, sin medir su vulnerabilidad e incrementando de este modo el riesgo en dichas áreas.

Ante esta realidad se requiere entonces elaborar un mapa de zonificación sísmica – geotécnica a escala local para cada zona urbana, utilizado como herramienta de trabajo y elemento para la toma de decisiones que permita a las autoridades entre otros aspectos, modificar o alinear parámetros con respecto al crecimiento de la población. Este es el objetivo del estudio, evaluar los riesgos por dinámica de suelos y proponer el mapa de zonificación sísmica – geotécnica para la zona urbana de Huaycan – Ate (Lima).

1.2. Justificación

La zona urbana Huaycan presenta problemas críticos de carácter geofísico, ingenieril y cultural que la ponen en riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos, como consecuencia de actividades humanas no controladas, principalmente la mala práctica en el uso y manejo del suelo, así como la falta de un plan de ordenamiento territorial adecuado.

Lamentablemente, la población tampoco es consciente de la amenaza que enfrenta hasta que sufre los efectos de un fenómeno sísmico, posibles deslizamientos de grandes volúmenes de tierra y piedras, que ante la falta de previsión definitivamente desencadenará desastres mayores. Las acciones que se realizan son básicamente de reacción; una vez sucedido el desastre y/o acontecimiento, se reconstruye, pero nunca se prevé lo que pueda suceder en el futuro.

Por ello, la prevención en la planificación urbanística es esencial, por lo que es conveniente que las entidades competentes utilicen y socialicen los resultados obtenidos de este estudio.

En términos generales, la necesidad de hacer este tipo de estudios se basa en las siguientes circunstancias:

Las características geológicas y geofísicas hacen que el comportamiento del suelo ante la posible ocurrencia de un sismo genere, si es el caso, invaluable pérdidas de vidas humanas y económicas. En las laderas que rodean Huaycan se observa la presencia de bloques sueltos, producto de la erosión, que pueden ceder ante un movimiento sísmico y generar un alud y afectar a viviendas ubicadas cuesta abajo, se aprecian también viviendas ubicadas en pleno cauce de quebradas, en caso de lluvias excepcionales, serían las primeras afectadas.

Si bien se puede sostener que el origen del problema radica en el hecho de que no existe una cultura de prevención y mitigación del riesgo por parte de las autoridades ni de la población en general, para justificar esa afirmación, se debe tener una idea clara del papel y de las funciones que competen a cada uno de los involucrados en el tema, cuando no existe planificación previa, resulta imposible obtener respuestas eficientes ante la ocurrencia de una emergencia.

Así, este estudio se constituye en una herramienta básica para los planes de ordenamiento territorial y para la construcción de viviendas y/o grandes proyectos de desarrollo.

1.3. Objetivos

Objetivo general

Analizar y evaluar el riesgo de deslizamientos en las quebradas que circundan a la zona urbana de Huaycan, así como conocer aplicando una combinación de métodos geofísicos, geológicos y geotécnicos el comportamiento dinámico de los suelos provenientes de las quebradas y sobre el cual se levanta la zona urbana de Huaycan - Distrito de Ate, Provincia de Lima.

Objetivos específicos

- Conocer la geología y geomorfología local a partir de trabajos de campo.
- Analizar la geodinámica externa de las zonas propensas a deslizamientos.
- Realizar la clasificación de suelos (SUCS) y estimar la capacidad portante mediante métodos geotécnicos.
- Conocer la frecuencia fundamental del suelo mediante la aplicación de la técnica de razones espectrales H/V utilizando ruido ambiental.
- Estimar la velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s) mediante arreglos sísmicos lineales.
- Obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el Área Urbana de Huaycan, asimismo proporcionar a las autoridades un documento técnico que sea de ayuda en el desarrollo de proyectos sobre la gestión del riesgo ante sismos, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.

1.4. Ubicación del área de estudio

Huaycan es una quebrada que está ubicada en el extremo este del Distrito de Ate, en el departamento y provincia de Lima - Perú, a la altura del kilómetro 16.5 de la Carretera Central, entre las faldas de los cerros Fisgón y Huaycan, al este de los restos incaicos que llevan el mismo nombre. Huaycan presenta un área urbana de 576 696 hectáreas, además de 1332 206 hectáreas correspondientes a las faldas de los cerros circundantes dando un total de 1908 902 hectáreas.

Es la segunda zona urbana de mayor superficie y población del distrito de Ate. Limita por el Norte con Lurigancho, por el Sur con los distritos de La Molina, Cieneguilla, por el Este con el distrito de Chaclacayo y Oeste con los distritos de El Agustino, La Victoria, San Borja y Santa Anita, Huaycan está a una altitud promedio de 355-1110 msnm, Figura 1.1.

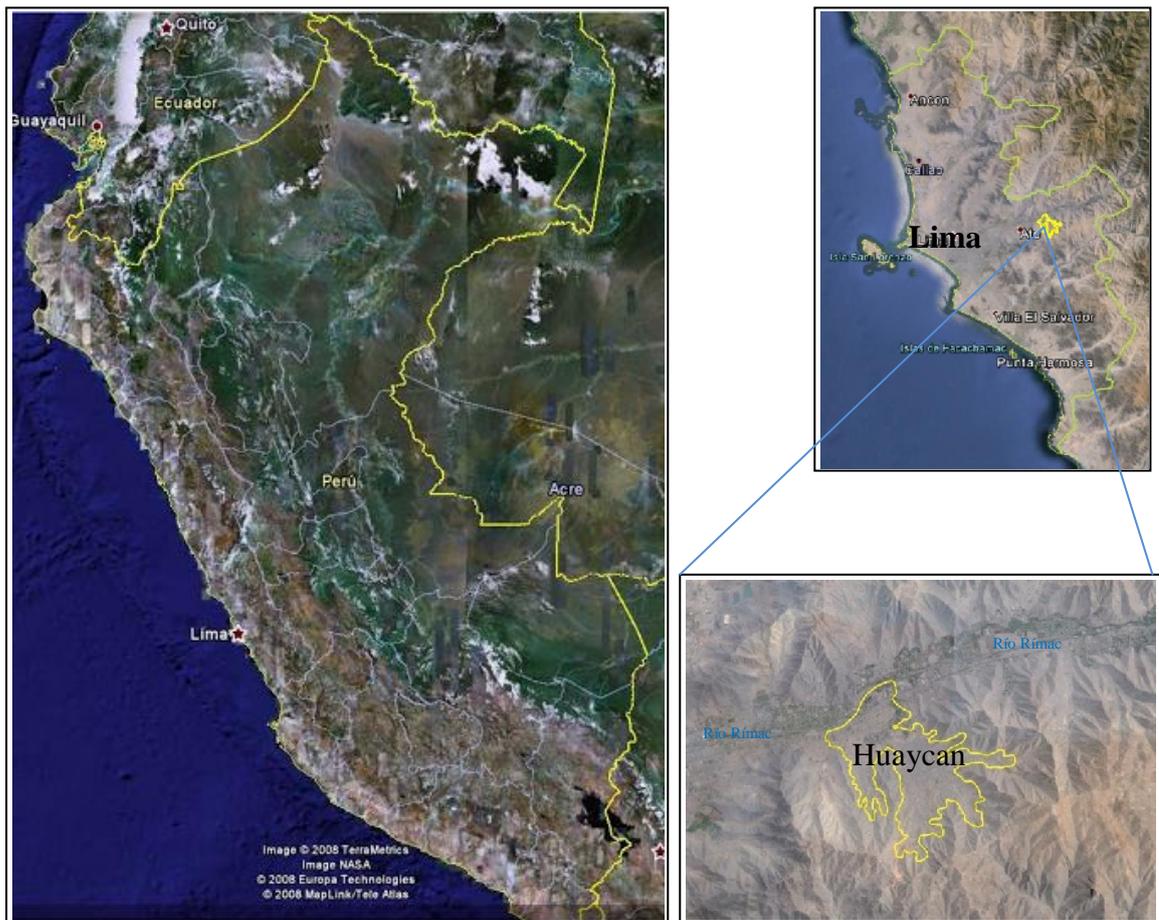


Figura 1.1: Ubicación de la zona de estudio, área urbana de Huaycan.

El acceso principal es a través de la carretera central, siendo muy concurrida en su paso hacia la ciudad de Huancayo, el clima es variado con alta humedad atmosférica y constante nubosidad durante el invierno, tiene además la particularidad de tener lluvias escasas a lo largo del año.

1.5. ZONA URBANA DE HUAYCAN

El 15 de Julio del año 1984 más de cinco mil familias de los Asentamientos Humanos “Andrés Avelino Cáceres” y “José Carlos Mariátegui”, pertenecientes al distrito de Ate Vitarte, el asentamiento humano “José Carlos Mariátegui del Agustino”, la asociación de vivienda “Las Malvinas de Ñaña” y diversos grupos humanos de Chosica, Chaclacayo y otros distritos de Lima y Callao, tomaron las tierras eriazas abandonadas para forjar el asentamiento Humano Huaycan.

El objetivo común de las familias concurrentes a este programa, prioritariamente lo constituye la imperiosa necesidad de contar con una vivienda propia. Para la materialización de dicho objetivo, el asentamiento humano Huaycan requirió de una organización que permitiese conjurar el esfuerzo individual y colectivo de las familias, con esa finalidad, los días 19, 20 y 21 de julio de 1985 los precitados asentamientos humanos constituyen la Asociación de Pobladores del Asentamiento Humano de Huaycan, con el objetivo de unificarse en uno solo y afrontar en forma conjunta el saneamiento físico y legal de las tierras adjudicadas para contribuir solidariamente a formar una sociedad justa.

Los primeros pobladores de Huaycan eran en su mayoría hijos de migrantes cuya socialización primaria ocurrió en la ciudad, habían participado en los procesos electorales, en la renovación de sus dirigencias vecinales, en acciones sindicales, en paros nacionales y en las luchas barriales por terrenos y servicios. El primer Congreso Ordinario de pobladores dio como resultado unánime la aprobación de la fundación de la Asociación de Pobladores del Asentamiento Humano Huaycan, denominada hoy, comunidad autogestionaria. Es un pueblo que luchó para lograr consolidarse como tal, a base de sacrificios y marchas e incluso con la muerte de un poblador. Hubo muchas marchas cuya finalidad fue la de solicitar los servicios de agua, desagüe, electricidad y título de propiedad. Actualmente, tiene más de 160 mil habitantes divididos en zonas desde la letra A hasta la Z, cada una se subdivide en unidades comunales de vivienda (UCV) y unidades de vivienda comercial (UVC), Figura 1.2.

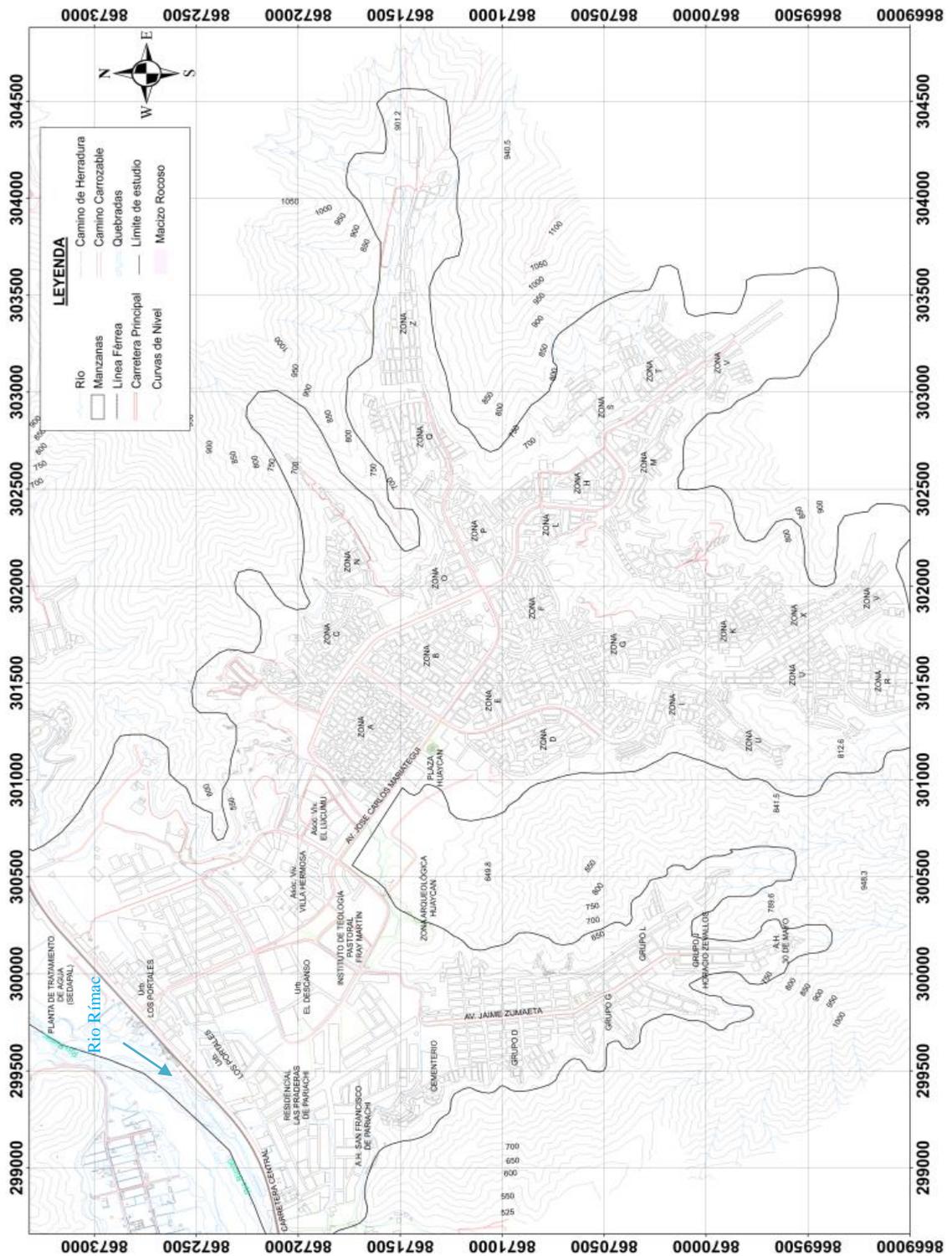


Figura 1.2: Distribución de las unidades comunales de vivienda y unidades de vivienda comercial en Huaycan.

CAPITULO II

CONCEPTOS GENERALES

2.1. Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son un tipo de onda elástica consistentes en la propagación de perturbaciones temporales del campo de tensiones que generan movimientos en un medio. Los modos de propagación de ondas mecánicas más usados en los ensayos in situ son dos: las ondas de cuerpo (ondas P y ondas S) y las ondas superficiales de tipo Rayleigh.

La energía liberada en forma de ondas sísmicas durante el sismo se propaga a través del medio sólido de la tierra causando vibración y muchas veces destrucción en superficie. Las ondas sísmicas aumentan y cambian notablemente sus velocidades y direcciones al atravesar la Tierra variando de acuerdo al medio por donde avanzan. La densidad y la elasticidad del medio son las propiedades físicas que determinan las características del movimiento de las ondas. La llegada y el movimiento producido por las ondas sísmicas son registradas en los sismógrafos en función del tiempo y tipo de movimiento. Los registros de los sismógrafos se utilizan para estimar con mayor precisión los parámetros sismológicos que definen un evento sísmico, tales como:

- La ubicación del foco, latitud, longitud y profundidad (punto donde se originan las primeras ondas sísmicas).
- La ubicación del epicentro (proyección del foco en la superficie), latitud y longitud.
- La distancia hipocentral (distancia que existe entre el foco y el sismógrafo).
- La distancia epicentral (distancia entre el epicentro y el sismógrafo).
- La magnitud.

2.1.1. Ondas de cuerpo

a) Ondas Primarias

Las ondas P son ondas longitudinales o compresionales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación Figura 2.1. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material líquido o sólido. Sus velocidades típicas oscilan entre 1450 m/s en el agua y cerca de 5000m/s en un material sólido como el granito.

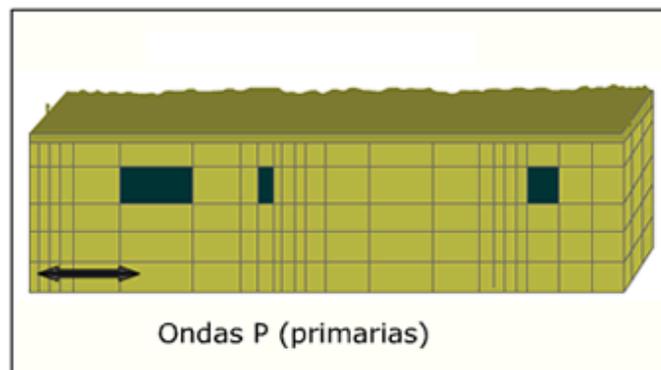


Figura 2.1: Esquema del modo de propagación de las ondas P.

En un medio isótropo y homogéneo la velocidad de propagación de las ondas P es:

$$v_p = \sqrt{\frac{k + (3/4)\mu}{\rho}}$$

Donde, K es el módulo de incompresibilidad, μ es el módulo de corte o rigidez y ρ la densidad del material a través del cual se propaga la onda mecánica. De estos tres parámetros, la densidad es la que presenta menor variación por lo que la velocidad está principalmente determinada por K y μ .

b) Ondas secundarias

Las ondas S son ondas en las cuales el desplazamiento es transversal a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia otro, Figura 2.2. Pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido, debido a ello éstas aparecen en el terreno algo después que las primeras. Usualmente, la onda S tiene mayor amplitud que la onda P y se siente más fuerte que ésta. Estas ondas son las que generan las oscilaciones durante el movimiento sísmico y las que producen la mayor parte de los daños. La velocidad de propagación de las ondas S en medios isótropos y homogéneos depende del módulo de corte μ y de la densidad ρ del material.

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

- La densidad aumenta con la profundidad, pero la compresibilidad aumenta en mayor medida.
- La densidad y la velocidad de propagación son inversamente proporcionales.
- Los materiales más densos requieren más energía para vibrar y por tanto, frenan mucho más las ondas y su velocidad disminuye.

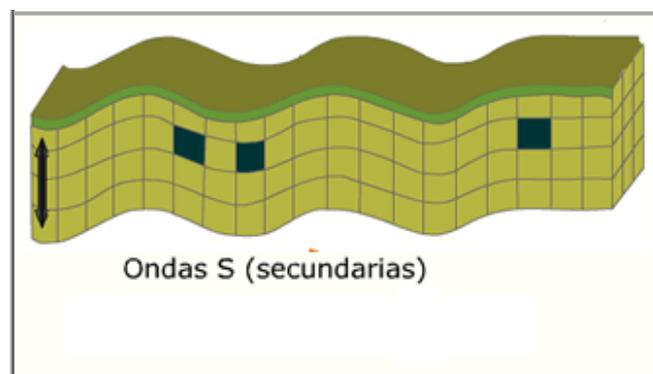


Figura 2.2: Esquema del modo de propagación de las ondas S.

Por su parte, los medios más rígidos vibran con más eficacia, por lo que la transmisión de las ondas a través de ellos es muy rápida; mientras que, en los líquidos cuya rigidez es nula, la inexistencia de posiciones fijas para las partículas dificulta las vibraciones. Por ello, las ondas sísmicas secundarias que se transmiten mediante vibraciones de las partículas respecto a posiciones fijas, no se transmiten en líquidos; las primarias, en las que la vibración es más simple (cada partícula empuja a la siguiente) si lo hacen, aunque a velocidad reducida.

2.1.2. Ondas superficiales

Son ondas que solo se propagan por las capas más superficiales de la Tierra generando el movimiento de estas, permitiendo que su amplitud en la superficie sea máxima y nula en grandes profundidades. Estas ondas pueden explicarse como causadas por la interferencia de las ondas de cuerpo (interacción de muchas de estas ondas que viajan en diferentes direcciones), es por ello que se propaga a menor velocidad.

Las ondas superficiales son análogas a las ondas de agua y viajan sobre la superficie de la Tierra, desplazándose a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Debido a su baja frecuencia provocan resonancia en edificios con mayor facilidad que las ondas de cuerpo y son por ende, las ondas sísmicas más destructivas. Se puede distinguir dos tipos de ondas superficiales:

a) Ondas Rayleigh.

Las ondas Rayleigh también denominadas “ground roll”, son ondas superficiales que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo, Figura 2.3. Son ondas cuya velocidad de propagación es casi un 70% de la velocidad de las ondas S. Como las propiedades de las ondas Rayleigh son dependientes de la frecuencia en medios verticalmente homogéneos, estos tipos de ondas son utilizados para representar y caracterizar el suelo superficial. Estas ondas viajan a lo largo de una superficie “libre” tal como las interfaces tierra-aire o tierra-agua. Las ondas Rayleigh se caracterizan por tener relativamente baja velocidad, baja frecuencia y gran amplitud.

Las ondas Rayleigh son el resultado de la interferencia de ondas P y ondas SV (ondas de cizalla vertical). El “ground roll” es un tipo particular de las ondas Rayleigh y viaja a lo largo o cerca de la superficie del suelo, aunque es considerado ruido en estudios de ondas corporales (métodos de reflexión y refracción), sus propiedades dispersivas son utilizadas para inferir propiedades elásticas cercanas a la superficie.

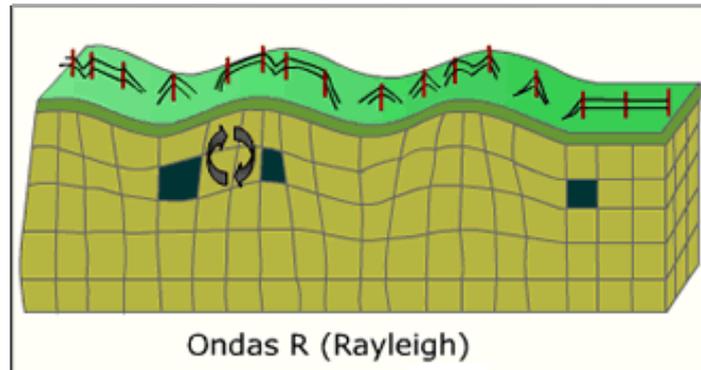


Figura 2.3: Esquema del modo de propagación de las ondas Rayleigh.

b) Ondas Love.

Las ondas Love son ondas superficiales que producen un movimiento horizontal de corte en superficie. La velocidad de las ondas Love es un 90% de la velocidad de las ondas S y es ligeramente superior a la velocidad de las ondas Rayleigh. Estas ondas solo se propagan por las superficies.

Las ondas Love se originan en la interface de dos medios con propiedades mecánicas diferentes, estas ondas requieren de la existencia de una capa superficial de menor velocidad en comparación a las formaciones subyacentes; es decir, un gradiente de velocidad positivo, la velocidad se incrementa con la profundidad. Se generan sólo cuando un medio elástico se encuentra estratificado, situación que se cumple en nuestro planeta pues el suelo se encuentra formado por capas de diferentes características físicas y químicas.

Las ondas Love se propagan con un movimiento de las partículas, perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S, sólo que polarizadas en el plano de la superficie de la Tierra, es decir sólo poseen la componente horizontal a superficie y pueden considerarse como ondas S "atrapadas" en la superficie.

La amplitud de estas ondas decrece rápidamente con la profundidad. Son polarizadas horizontalmente (como las ondas de cizalla horizontal SH); por lo tanto no se registran en los sensores verticales. Aunque más lentas que las ondas de cuerpo, las ondas de Love tienen velocidades de 1 a 4.5 km/s y son más veloces que las de Rayleigh, Figura 2.4.

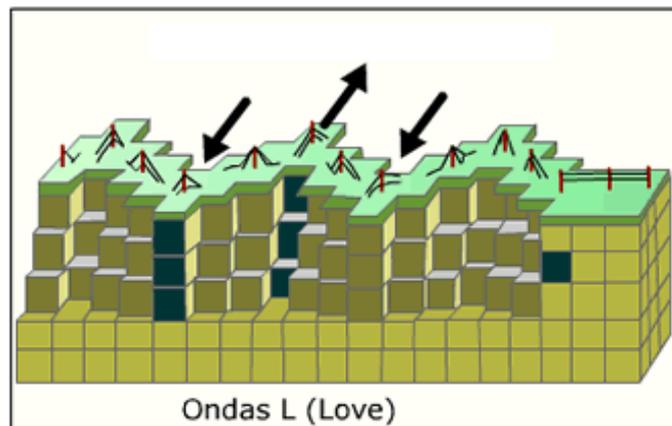


Figura 2.4: Esquemas del modo de propagación de las ondas Love.

2.2. Velocidad de grupo y fase

Para entender la diferencia entre velocidad de las ondas de fase y de grupo, se considera la siguiente analogía. Un grupo de personas, corredores de una maratón, comienzan a partir de la puesta en marcha al mismo tiempo. Inicialmente parece que todos ellos están corriendo a la misma velocidad. A medida que pasa el tiempo, el grupo se expande (dispersa), simplemente porque cada corredor en el grupo está corriendo con diferente velocidad. Si pensamos en la velocidad de fase debe ser como la velocidad del corredor individual, entonces la velocidad de grupo es la velocidad de todo el grupo en su conjunto. Obviamente y más a menudo, los corredores individuales pueden correr más rápido que el grupo como un todo.

Se sabe que la velocidad de fase de las ondas es típicamente más grande que la velocidad de grupo. Sin embargo, esto realmente depende de las propiedades del medio.

a) Velocidad de grupo

La velocidad de grupo es la rapidez en la cual la superficie y la energía de una onda, viaja en una dirección dada radialmente hacia afuera, desde una fuente puntual en un medio homogéneo. Si el medio es atenuante la velocidad varía con la frecuencia debido a que la atenuación implica dispersión de frecuencia; si es anisotrópico varía con la dirección. En ambos casos, las expresiones teóricas para la velocidad de grupo son obtenidas diferenciando la frecuencia con respecto al vector de onda. La velocidad de grupo se puede obtener a partir de una fuente puntual (Winterstein, 1990). Por otro lado, esta velocidad se refiere a un grupo compuesto de las ondas dentro de una banda de frecuencia, es la velocidad con la que todo el grupo de ondas viajan.

b) Velocidad de fase

La velocidad de fase es la rapidez de una onda plana que viaja en la misma dirección en el medio de propagación. Si el medio es anisotrópico la velocidad de la fase está sujeta a la dispersión angular; es decir, la rapidez varía con el ángulo. En un medio atenuante, la velocidad de fase está sujeta a la dispersión de la frecuencia, es decir, la rapidez varia con la frecuencia. La velocidad de fase, a diferencia que la velocidad de grupo, no se puede obtener directamente de mediciones de ondas, dividiendo la distancia recorrida en un tiempo, a menos que la fuente genere ondas planas, (Winterstein, 1990), Figura 2.5.

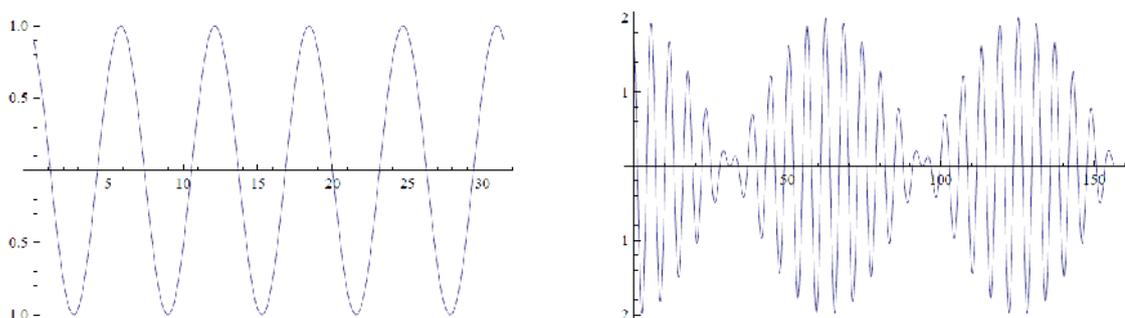


Figura 2.5: Una sola onda progresiva con frecuencia = 1 (Izquierda), Un grupo de ondas compuestas de dos ondas con frecuencias 1 y 1,1 (derecha).

2.3. Ruido sísmico

Se define al ruido sísmico como el movimiento del suelo originado por fuentes no sismogénicas, como las producidas en fuentes naturales como las olas y el viento y además las fuentes ligadas a la actividad humana como tráfico vehicular, maquinaria pesada, etc.

Es parte del registro y trae consigo información, tanto de la fuente que lo genera, así como del medio por el que se propaga. El ruido sísmico se caracteriza por tener baja amplitud y un amplio rango de frecuencias.

Dependiendo del estudio que se realice, el ruido se convierte en parte importante de la investigación o también en una señal que puede enmascarar la energía de interés. Si se toma un registro de manera aleatoria en un determinado tiempo, lo más probable es que se encuentre ruido sísmico, ya que el ruido es un proceso estocástico (impredicible). A pesar de esto un determinado sitio de medida (estación sísmica) debe tener su propio ruido sísmico que lo caracteriza.

Fuentes generadoras de ruido sísmico

El ruido sísmico ocurre en intervalos de frecuencia de 0.01 a 30 Hz; sin embargo, en la exploración geofísica solo interesa la banda de 0.1 a 10 Hz ya que en esta banda parte de la energía se transmite como ondas superficiales del tipo Rayleigh cuyos modos y velocidades de propagación se pueden estimar y medir con arreglos instrumentales para obtener información sobre las características de los parámetros elásticos de la corteza terrestre (Flores et al. 2004). En cuanto a las fuentes que producen se puede indicar los siguientes (Bard, 1998), Figura 2.6:

- En periodos largos (por debajo de 0.3-0.5Hz): son causados por ondas oceánicas generadas a grandes distancias. La amplitud espectral es generalmente estable por unas pocas horas y muy bien correlacionadas a gran escala con las condiciones meteorológicas del océano.

- En periodos intermedios (entre 0.5 y 1 Hz): son generados principalmente tanto por ondas del mar cercanas a la costa como por el viento, este último posee una estabilidad mucho menor.
- En periodos cortos (entre 1-30 Hz): estas ondas están vinculadas a la actividad humana tales como las oscilaciones de los árboles, automóviles, motores, etc. dentro de un radio de ~25 km.

La distinción entre ruido sísmico de periodo largo ($T > 1$ seg) y de periodo corto ($T < 1$ seg) corresponde a la distinción entre microtemblores de origen artificial y microsismos con origen natural (Bard, 1998).

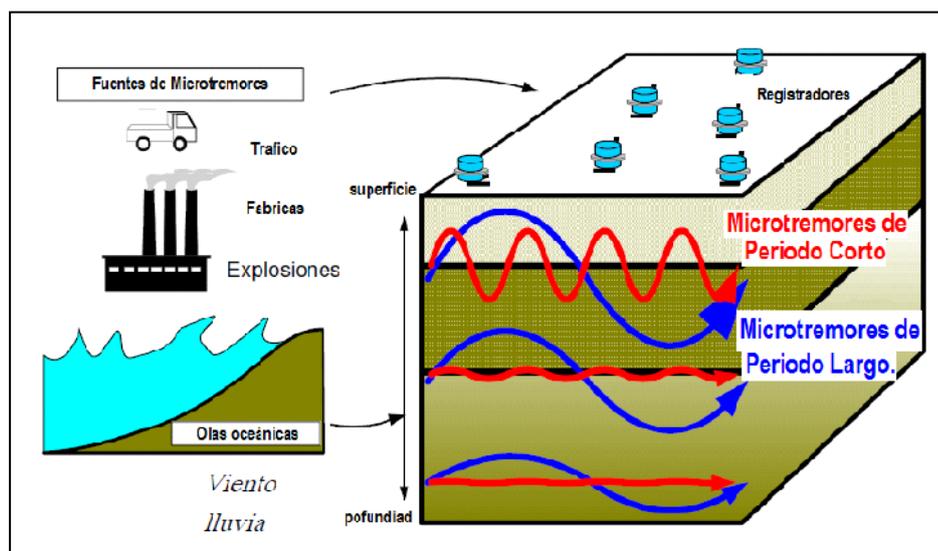


Figura 2.6: Fuente y clasificación de microtemblores.

El uso de ruido sísmico para la evaluación de la respuesta dinámica de los suelos es muy atractivo, debido a su bajo costo y a la facilidad y rapidez para obtener la información.

CAPITULO III

RESPUESTA DINÁMICA DE LOS SUELOS

Cuando se produce una sacudida sísmica, esta libera súbitamente la energía de deformación almacenada. Esta energía se transmite por el interior de la Tierra en forma de ondas sísmicas que normalmente se atenúan con la distancia y el tiempo. Sin embargo, cuando las ondas atraviesan determinados tipos de terrenos (por ejemplo suelos blandos no consolidados), el movimiento o la señal de entrada se amplifica de forma muy relevante.

Se ha observado que los depósitos de suelos amplifican el movimiento o señal de entrada cuando las frecuencias predominantes son bajas (períodos altos). Este fenómeno se produce especialmente en materiales blandos caracterizados por las velocidades bajas de las ondas sísmicas de cizalla. Además, en estos tipos de material se observan fenómenos de mayor duración de la señal sísmica.

La amplificación debida a un movimiento fuerte del suelo, después de un sismo importante, el gran rango de frecuencias y las amplificaciones causan el aumento de los daños observados en edificios y otras estructuras cuyos terrenos de cimentación corresponden a suelos blandos o poco consolidados.

La naturaleza y la distribución de los daños que se pueden producir en las infraestructuras con la ocurrencia de un sismo, está muy influenciada por la respuesta del terreno frente a cargas cíclicas y como consecuencia se producen modificaciones en el tren de ondas de la señal sísmica (Aki, 1988; Seed et al. 1997).

La modificación de la señal sísmica es debida a la influencia de las condiciones geológicas y topográficas, y es conocido como “efecto de sitio”, consiste en la amplificación de dicha señal en varios órdenes de magnitud, Figura 3.1. Pero además, si las frecuencias predominantes del suelo y de la estructura son similares el fenómeno de amplificación toma mayor relevancia. Las roturas de taludes, caída de rocas, o fenómenos de licuefacción durante o después de la sacudida sísmica son otros efectos inducidos que deben considerarse porque también provocan daños potenciales en las estructuras. Por lo tanto, el estudio de la respuesta sísmica del suelo, la identificación de las frecuencias predominantes del suelo y la cuantificación de la amplificación de la señal sísmica constituyen uno de los principales intereses en ingeniería sísmica.

La susceptibilidad de un depósito de suelo para amplificar el movimiento depende de sus propiedades dinámicas, siendo el módulo de corte (G) y el de amortiguamiento (δ) los principales parámetros para moldear una respuesta sísmica. Estos parámetros se relacionan con otras propiedades del suelo de carácter más físico como, por ejemplo el índice de poros, la densidad relativa y la velocidad de las ondas de corte.

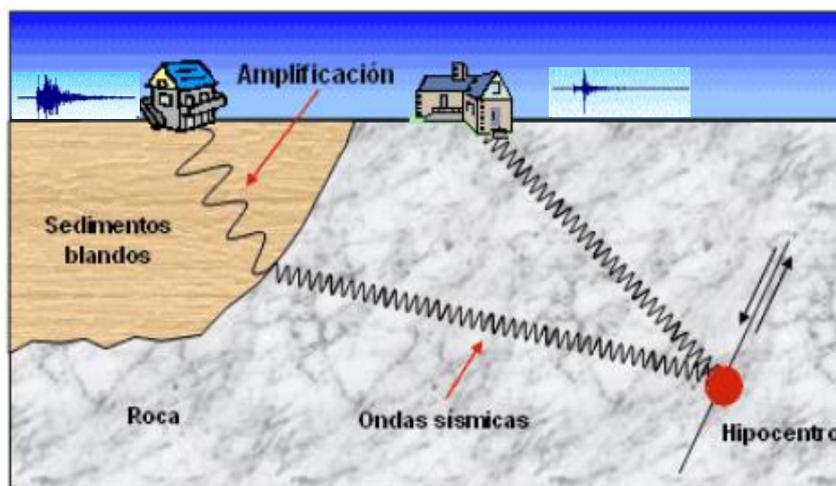


Figura 3.1: Esquema del paso de las ondas sísmicas en terrenos con distinta composición geológica: roca y sedimento. Obsérvese la amplificación de las ondas en el suelo sedimentario.

3.1. Definición de suelo

Desde el punto de vista ingenieril, el suelo es definido como un agregado natural no cementado de granos minerales y materia orgánica en descomposición, con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas que lo constituyen y que pueden separarse mediante medios mecánicos. El ingeniero considera al suelo como un material de construcción que tiene importante influencia en el diseño y construcción de una obra de ingeniería (Das, 1999).

El suelo, al igual que otros materiales, posee propiedades ingenieriles, que dependen del tamaño de sus partículas y de la forma en que estas interactúan entre sí. Los suelos por lo general, son materiales heterogéneos y anisotrópicos, por lo que no están compuestos de un mismo material en toda su masa, además son materiales no conservativos; es decir, que la masa de suelo al deformarse no recupera su forma original.

Para el geólogo, el suelo describe capas de material suelto sin consolidar que se extienden desde la superficie hasta la roca sólida que se ha formado por meteorización y por desintegración de las propias rocas. La geología permite conocer el origen del suelo, clasificar las rocas y comprender las transformaciones que tienen en su ciclo (Whitlow, 1994).

Es este estudio, se considera el concepto de suelo desde el punto de vista de la ingeniería civil y se utiliza el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para su determinación y clasificación.

3.2. Estudio del movimiento del suelo

Hoy en día se sabe que la magnitud de los daños producidos por un sismo, es el resultado de la combinación de tres factores: proceso de ruptura del sismo en la fuente, propagación de las ondas a través del medio y el efecto del suelo en el emplazamiento. De todos estos factores, las condiciones locales del suelo son las que pueden afectar a las características dinámicas de respuesta del sitio durante la excitación del terreno no provocado por los sismos.

Si se considera la geología local, se distinguen dos fenómenos que normalmente dan lugar a la amplificación del movimiento del suelo y por tanto, son agentes importantes que contribuyen los daños a presentarse en obras civiles. El efecto más conocido está asociado a la interacción de la onda sísmica y la estructura del subsuelo; o sea la amplificación por resonancia que aparece en medios estratificados con rigidez creciente con la profundidad y por la superposición de múltiples reflexiones dentro de los estratos de baja velocidad próximos a la superficie, su efecto depende fundamentalmente de la frecuencia.

El segundo tipo de amplificación no requiere de las discontinuidades bruscas donde tienen lugar los fenómenos de reflexión, se trata de un efecto debido a la baja impedancia de los materiales próximos. Este efecto de amplificación se compensa en parte con la atenuación, donde los materiales con baja velocidad y baja impedancia tienden a tener también valores pequeños de atenuación (Joyner y Boore, 1988).

3.2.1. Efectos locales

Se define como la modificación de la señal sísmica debida a la influencia de las condiciones geológicas y topográficas del suelo durante o después de un sismo. Esta modificación consiste en la amplificación fuerte de la señal, así como una mayor duración de la misma y la modificación de sus contenido frecuencial. Estos fenómenos están restringidos a las geometrías geológicas típicas caracterizadas por sus dimensiones y parámetros mecánicos o dinámicos (velocidades de las ondas P o S, densidad, amortiguamiento, etc.) existen dos tipos: aquéllos que están provocados por la topografía superficial y los provocados por depósitos de suelos blandos en superficie.

a) Efectos locales provocados por la topografía

Existen evidencias in situ, instrumentales y teóricas de los efectos locales provocados por la topografía. Durante terremotos destructivos se ha comprobado que los edificios ubicados en la parte superior de montañas o laderas sufren daños estructurales mayores que aquéllos situados en las zonas más bajas.

En otras ocasiones, la forma del basamento rocoso en los valles puede hacer efecto de lente, enfocando las ondas sísmicas en determinados puntos o líneas hacia donde llegará, gran cantidad de energía. Los modelos numéricos y teóricos predicen la amplificación del movimiento en crestas y topografías convexas, en cambio se produce desamplificación en zonas de superficie topográfica cóncava, como por ejemplo valles.

Boore (1972) realizó estudios numéricos de la respuesta sísmica de los taludes de gran altura y concluyó que el movimiento en el talud consistía en tres fases: una onda directa, una onda reflejada, y una onda difractada. El resultado mostró que había una amplificación importante en la parte alta del talud y que a lo largo de los lados del talud podría ocurrir amplificación y atenuación dependiendo en la geometría del talud y la frecuencia del movimiento. La amplificación tenía un valor hasta del 100% y disminuía con el ángulo del talud y la longitud de onda.

Sitar y Clough (1983) encontraron que las aceleraciones tienden a amplificarse en la cercanía de la cara del talud y esta amplificación topográfica varía entre 40% y 76%. La mayor amplificación ocurre en la cresta del talud cuando la frecuencia del sismo está cercana a la frecuencia natural de la topografía del terreno.

b) Efectos locales provocados por suelos blandos

La amplificación del movimiento del suelo es la responsable del daño en áreas extensas constituidas por depósitos blandos de gran potencia poco compactados. La amplificación es típicamente mayor para terremotos de magnitud pequeña en áreas a cierta distancia epicentral donde sería esperable que las ondas sísmicas redujesen la amplitud debido a los efectos de atenuación en la propagación de la señal sísmica.

Por ejemplo, durante el terremoto de Pisco de 1989, en el área de la bahía, un viaducto situado sobre este material arcilloso colapsó; mientras, que la zona sur del mismo, situado sobre material más rígido (roca) se mantuvo en pie, Figura 3.2.

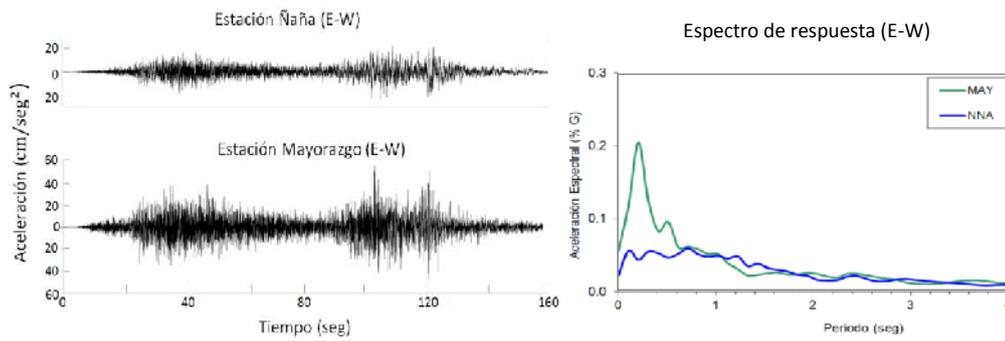


Figura 3.2: Registros de movimiento y espectros de respuesta del terremoto de Pisco, 2007. Mayorazgo corresponde a suelos blandos; mientras que, Ñaña corresponde a roca.

3.2.2. Mecanismos que contribuyen a los efectos de ondas

a) Amplificación geométrica

La amplificación geométrica corresponde a efectos debidos al contraste de impedancias entre dos medios en contacto. Para sedimentos el contraste de impedancias se expresa como:

$$I_C = \frac{\rho_b \cdot v_b}{\rho_s \cdot v_s} \text{ con } V_b > V_s \quad (3.1)$$

Donde, el subíndice b indica el término inglés “bedrock” o substrato rocoso y s se refiere al nivel sedimentario, ρ es la densidad y v la velocidad de las ondas sísmicas.

El contraste de impedancias es mayor en materiales más jóvenes y menos consolidados, lo provoca mayor nivel de amplificación en la señal sísmica. Asimismo, provoca el atrapamiento de las ondas sísmicas dentro de un nivel con baja impedancia para producir la amplificación de algunas frecuencias características. La velocidad de las ondas sísmicas S en el suelo decrece, particularmente cuando el depósito sedimentario está situado sobre un sustrato rocoso duro y cristalino, aumentando así el contraste de impedancias.

Como se ha comentado, los depósitos del suelo se comportan como filtros para la energía de alta frecuencia (o corto período), pero la amplificación de las bajas frecuencias puede causar daño potencial a estructuras que tienen frecuencias naturales bajas, como por ejemplo edificios altos y puentes.

b) Amplificación dinámica

La amplificación dinámica también se conoce como efecto de resonancia y fue estudiada por primera vez en los años 30. El efecto de resonancia considera la diferencia entre la frecuencia de las ondas sísmicas y la frecuencia natural del depósito sedimentario; es decir, depende de la velocidad de las ondas sísmicas S y del espesor del sedimento H .

Una estimación de la frecuencia natural del depósito es:

$$F_n = \frac{V_s}{4H} \quad (3.2)$$

Donde, V_s es la velocidad de la onda sísmica S en m/s, H el espesor del sedimento en m y f_n es la frecuencia natural del depósito sedimentario en Hz.

Por ejemplo, un depósito con una velocidad de 340 m/s y un espesor de 30 m, tiene una frecuencia natural de 2.83 Hz; mientras que, para un depósito con 100 m de espesor la frecuencia natural es de 0.85 Hz. Si la frecuencia de la onda sísmica es aproximadamente igual a la frecuencia natural del depósito se produce amplificación incrementándose la amplitud del movimiento del suelo significativamente. Así, los fenómenos que contribuyen a la amplificación de la señal sísmica están relacionados directamente con la velocidad de las ondas sísmicas de cizalla (V_S) en el depósito.

Entonces, la frecuencia fundamental de un depósito de suelo de espesor H y velocidad V_S será:

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = V_S/(4H) \quad (3.3)$$

y en un medio de varias capas:

$$f_0 = \frac{1}{4 \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{s_i}}} \quad (3.4)$$

Donde, h_i es el espesor de cada estrato y v_{si} la velocidad de la onda cortante en cada estrato.

Si existen dos estratos consecutivos de suelo 1 y 2 con densidades ρ_1 y ρ_2 y velocidad de onda cortante V_{s1} y V_{s2} respectivamente, la impedancia α entre ellos se define como:

$$\alpha = \frac{\rho_1 V_{s1}}{\rho_2 V_{s2}} \quad (3.5)$$

Por otro lado, cuando una onda elástica se propaga a través de un material, el flujo de energía transmitida, está definida por:

$$\rho V_s \mu^2 \quad (3.6)$$

Donde, ρ es la densidad del material V_s es la velocidad de la onda S y μ la velocidad de la partícula.

Así pues, los fenómenos que contribuyen a la amplificación de la señal sísmica están relacionados directamente con la velocidad de las ondas sísmicas de cizalla (secundarias, S) en el depósito. Este flujo de energía permanece constante y en consecuencia, las amplitudes del movimiento del suelo en materiales con baja velocidad de propagación son mayores, dado que la velocidad de la partícula μ , y V_s son inversamente proporcionales. Como consecuencia, materiales como las arenas sueltas o las arcillas blandas amplifican el movimiento del suelo significativamente. Por lo tanto, para el diseño de estructuras sismoresistentes es muy importante considerar qué regiones se caracterizan por velocidades bajas y depósitos sedimentarios. La identificación de los suelos susceptibles de amplificar la señal sísmica se logra conociendo la geología, las medidas in situ de las propiedades dinámicas de los suelos y los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G).

3.2.3. Efectos inducidos

Las roturas de taludes, caídas de rocas y otros deslizamientos, así como la licuefacción son efectos inducidos, sea por la ocurrencia de sismos y/o precipitaciones. Algunos autores consideran a estos fenómenos como una parte de los efectos locales, pero en general se estudian aisladamente. Un terremoto induce en el suelo condiciones no drenadas; es decir, debido a la aplicación de la carga cíclica y rápida como la que constituye un sismo, se produce en el terreno el incremento de la presión en los poros entre las partículas y ello puede provocar que las tensiones efectivas tiendan a cero; es decir, se produce una pérdida de la tensión en el contacto entre partículas.

Esta situación provoca una transformación en el estado del suelo, ya que adquiere la forma de una suspensión. Este fenómeno se llama *licuefacción* y se produce principalmente en suelos arenosos saturados. También se ha observado este fenómeno en suelos cohesivos, pero requiere de una mayor energía para producirse, gracias a que la cohesión los previene frente a la licuefacción.

El potencial de licuefacción depende de dos factores: la naturaleza de la sacudida (intensidad y duración del terremoto) y de la susceptibilidad del material a licuefactar. Este fenómeno induce daños severos en estructuras, edificios y líneas viales (infraestructuras de transporte de personas, distribución de mercancías y telecomunicaciones). Por lo tanto, la zonación de la licuefacción es uno de los aspectos vitales para la reducción del daño sísmico.

Los eventos sísmicos pueden producir, grandes deformaciones y roturas en el terreno, como los deslizamientos y desprendimientos de tierra y/o roca. Éstos están relacionados con el comportamiento geológico y geotécnico del terreno. Cuando el suelo está saturado de agua y ocurren movimientos en masas, el suelo no se comporta como una avalancha de escombros que comienza a moverse por gravedad, sino como un flujo de lodo, porque el suelo está saturado y existe abundante agua entre los granos de las rocas lo cual provoca una mayor movilidad. El análisis de los efectos inducidos no forma parte de los objetivos del presente estudio.

3.3. Zonificación sísmica

La zonificación sísmica consiste en establecer zonas de suelos con comportamiento dinámico similar durante un sismo, de manera que puedan definirse allí recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismoresistentes. Para cada una de las zonas, además de especificarse la fuerza sísmica posible, debe identificarse los tipos de fenómenos asociados que pueden desencadenarse a raíz del sismo, como son los deslizamientos, la amplificación exagerada del movimiento, tsunamis o la posibilidad de la licuación del suelo.

La definición de estas zonas se hace con base en criterios topográficos, estratigráficos, geológicos, espesores y rigidez relativa de los materiales, entre otras características de los suelos.

Por ejemplo, en las zonas montañosas las consecuencias más importantes son los deslizamientos y avalanchas, además de la amplificación de las ondas por efectos topográficos. En los sitios donde la topografía es plana y con suelos relativamente blandos, existe la posibilidad de grandes amplificaciones del movimiento sísmico dependiendo de las características del sismo. En los depósitos conformados principalmente por materiales arenosos, especialmente cuando se trata de arenas limpias, sueltas ubicadas menos de 15 metros de profundidad y con niveles freáticos altos, existe la posibilidad de que se presente el fenómeno llamado licuación, en el cual se pierde toda la capacidad de soporte del suelo presentándose grandes asentamientos del terreno y generando volcancitos de arena y hundimiento de las edificaciones que estén localizadas sobre estos.

Entonces, la zonificación sísmica consiste en la aplicación de metodologías multidisciplinarias con combinaciones de geología, geotecnia, ingeniería sísmica y otros que se realiza a escala nacional, regional o urbana dependiendo de las aplicaciones particulares consideradas. Se espera que los elementos en riesgo en una determinada zona experimenten el efecto del terreno con la misma severidad durante un periodo de exposición dado. Sin embargo, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de los diferentes elementos individuales de una zona pueden variar ampliamente.

3.4. Condiciones mecánicas – dinámicas de los suelos

La construcción de obras de cualquier envergadura en el Perú se basa en la norma de diseño sísmoresistente E-030 (2003), la cual clasifica a los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor del estrato, periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte.

Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, a la evaluación y reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resulten dañadas por acción de los sismos. Para efectos de esta norma los suelos son de cuatro tipos.

a) Roca o suelos muy rígidos (Tipo S_1)

A este tipo corresponden las rocas y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de ondas de corte similar al de una roca, en los que el periodo fundamental para vibraciones de baja amplitud no excede de 0.25 s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 KPa (5 kg/cm^2).
- 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/cm^2), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.
- Grava arenosa densa.
- 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.

b) Suelos intermedios (Tipo S_2)

Se clasifican como de este tipo los sitios con características intermedias entre las indicadas para los perfiles S_1 y S_3 .

c) Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S_3)

Corresponden a este tipo de suelos flexibles o estratos de gran espesor en los que periodo fundamental para vibraciones de baja amplitud es mayor que 0.6 s, incluyéndose los casos en los que el espesor del estrato del suelo excede los valores siguientes, ver Tabla 1:

Tabla 1: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor

Suelos Cohesivos	Resistencia al Corte típica en condición no drenada (kPa)	Espesor del estrato (m) (*)
Blandos	< 25	20
Medianamente compactos	25 - 50	25
Compactos	50 - 100	40
Muy compactos	100 - 200	60
Suelos Granulares	Valores N típicos en ensayos De penetración estándar (SPT)	Espesor del estrato (m) (*)
Sueltos	4 - 10	40
Medianamente densos	10 - 30	45
Densos	Mayor que 30	100

(*) Suelo con velocidad de onda de corte menor que el de una roca.

d) Condiciones excepcionales (Tipo S_4)

A este tipo corresponden los suelos excepcionales flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas sean particularmente desfavorables. Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores de T_p y del factor de amplificación del suelo S_n dados en la Tabla 2.

En los sitios donde las propiedades del suelo son poco conocidas se podrán usar los valores correspondientes al perfil tipo S_3 . Solo será necesario considerar un perfil tipo S_4 cuando los estudios geotécnicos así lo determinen.

Tabla 2: Parámetros del suelo que describen las condiciones locales.

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 estarán establecidos por un especialista.

Para la obtención del mapa de zonificación sísmica–geotécnica se procede a delimitar zonas que clasifican el comportamiento del terreno conforme a la norma de diseño sismoresistente E- 030. 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).

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 Sismoresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (Norma E-030, 2003), se ha definido las siguientes zonas sísmicas - geotécnicas:

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 sismoresistente.

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 sismoresistente.

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 sismoresistente, 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 sismoresistente, asignándoles un factor de amplificación sísmica de $S=1.6$ y periodo natural de $T_s=1.2$ s (Según la Norma E030, 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 con 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.

CAPITULO IV

TÉCNICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

La evaluación de los efectos de sitio asociados a las condiciones geológicas, geofísicas, geotécnicas y dinámicas del subsuelo representan una parte muy importante de los estudios de riesgo sísmico, debido a que por medio de ellos se evidencian las modificaciones significativas que puedan sufrir las ondas sísmicas al propagarse por las distintas capas del subsuelo que yacen sobre el basamento rocoso hasta llegar a la superficie donde se desarrollan la mayor parte de las actividades del hombre.

Los estudios orientados a la identificación de estos efectos son muy importantes a fin de lograr diseños sismoresistentes cada vez más eficientes y para el establecimiento de criterios que permitan mejorar la planificación del territorio. Para su estudio, existe gran variedad de técnicas más o menos accesibles de acuerdo al costo y el tiempo que se emplea para la obtención de los datos y resultados.

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

Del mismo modo estas técnicas deben ser complementadas con otras que derivan de la geología y geotecnia.

4.1. Técnica de cocientes espectrales H/V

4.1.1. Método de Nakamura

La técnica H/V o de Nakamura ha ganado popularidad en los últimos años por ser un procedimiento económico y de fácil aplicación, obteniéndose los valores de frecuencia y periodo fundamental de un sitio, parámetros claves a la hora de realizar una caracterización de sitio.

Las edificaciones son dañadas en mayor medida por los movimientos sísmicos cuando su periodo fundamental es similar o igual al periodo dominante del movimiento del suelo donde se encuentran emplazados, para incrementar la seguridad de los diseños sismoresistentes de estructuras nuevas o de reforzamientos de estructuras ya existentes, resulta primordial la elaboración de mapas de zonificación del periodo dominante, tanto en las zonas urbanas como en aquellas áreas con altas posibilidades de desarrollo urbano.

Esta metodología emplea mediciones de ruido ambiental producidos por la interacción del viento - estructuras, mareas, tráfico y varias formas de actividad humana (Lermo y Chávez-García, 1994). Puede considerarse que, en suma estas fuentes generadoras de vibraciones, producen una excitación dinámica aleatoria que permite, a un depósito de suelos, vibrar preponderadamente de acuerdo a su periodo fundamental.

Teniendo en consideración, que al realizar mediciones de vibraciones en afloramientos rocosos o en suelos muy rígidos, se presentan respuestas muy similares en las componentes horizontales y verticales, entonces se puede decir, que no existe una dirección predominante de movimiento y que cualquier amplificación, debido a suelos más blandos debe ser producida por las capas de depósitos de sedimentos blandos.

Se ha demostrado que el cociente espectral entre las componentes horizontales y verticales, de estas mediciones, ofrece un buen estimado de la frecuencia fundamental para los depósitos sedimentarios sueltos y en cierta forma su factor de amplificación.

El uso extensivo del método permite el mapeo rápido y detallado de estas frecuencias en áreas urbanas, de este modo al combinar informaciones sobre la respuesta del suelo y vulnerabilidad, se pueden anticipar los efectos potenciales de un sismo a edificios y estructuras viales.

El método de Nakamura se basa en la relación entre los espectros de Fourier de las componentes horizontal y vertical de registro de microsismos en superficie. Este método ha sido ampliamente difundido en los últimos años y utilizado por la fiabilidad de sus resultados, acompañado de rapidez y economía en su ejecución.

Este método para estimar la respuesta empírica de las capas superficiales del suelo supone que el ruido de los microtemores está compuesto por varios tipos de ondas. Este método pretende eliminar el efecto de las ondas superficiales de tipo Rayleigh. Se considera que las componentes horizontal y vertical del registro son similares en la base rocosa. Dichos registros son amplificados por las capas de suelo blando que yacen sobre el sustrato rocoso, se considera además que las componentes horizontales se amplifican debido a multireflexiones de la onda S, en tanto que los microtemores verticales lo hacen por multireflexiones de la onda P.

4.1.2. Cociente espectral H/V

Nakamura (1989) da una definición teórica de la técnica H/V para refracciones múltiples de las ondas HS y otros investigadores, han tratado de explicar el “pico” resultante en la obtención de la relación H/V mediante ondas superficiales. Un microtemor consiste de muchos tipos de ondas y bajo esta afirmación, Brad (1999) explica que muchos investigadores comparten las siguientes dos aseveraciones.

- En primer lugar, la relación H/V está básicamente relacionada a la elipticidad de las ondas superficiales debido a la predominancia de estas ondas en la componente vertical.
- En segundo lugar, esta elipticidad es dependiente de la frecuencia y exhibe una forma de pico alrededor de la frecuencia fundamental para sitios que contienen un alto contraste de impedancia entre las superficies y los materiales más profundos.

Aproximación a la función de transferencia

La función de transferencia S_T de estratos superficiales se define de la siguiente forma:

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (4.1)$$

Donde, S_{HS} corresponden a los espectros de amplitud de Fourier de las componentes horizontales del movimiento en superficie y S_{HB} el espectro de amplitud de Fourier en la componente horizontal en el basamento rocoso.

Como el ruido ambiental se propaga principalmente como ondas superficiales, es esperable que el espectro S_{HS} sea afectado por ese tipo de ondas, así como también el espectro de amplitudes de la componente vertical del movimiento en la superficie en la superficie S_{VS} .

Además, es posible que el ruido ambiental no afecte significativamente el espectro de la componente vertical del movimiento en la base S_{VB} . Por otra parte, suponiendo que la componente vertical del movimiento no es amplificada por las capas del suelo, la función de transferencia es definida en la ecuación 4.2 y representaría principalmente el efecto de la onda superficial en la componente vertical del movimiento.

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (4.2)$$

Suponiendo, además que el efecto de las ondas superficiales es aproximadamente similar en la componente horizontal que en la vertical, resulta útil definir la función de transferencia S_{TT} como:

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} \quad (4.3)$$

La ecuación 4.3 es considerada como una función de transferencia más confiable, ya que ha logrado eliminar el efecto de las ondas superficiales.

Definiendo:

$$R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad \text{y} \quad R_B = \frac{S_{HB}}{S_{VB}} \quad (4.4)$$

La función de transferencia S_{TT} se puede reescribir como la Ec. 4.5.

$$S_{TT} = \frac{R_S}{R_B} \quad (4.5)$$

Dónde:

R_S Representa la división de los espectros H y V en superficie (S).

R_B Representa la división de los espectros H y V en el basamento (B).

Considerando que en la base el movimiento es igual en todas las direcciones, entonces el espectro de la componente horizontal del movimiento y el espectro de la componente vertical del movimiento son aproximadamente iguales, por lo que R_B alcanza valores en torno a la unidad.

Por lo tanto:

$$S_{TT} = R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (4.6)$$

Esto significa que la función de transferencia asociada a la propagación vertical de ondas de corte de un depósito de suelos, puede ser estimada simplemente a partir del movimiento medido en superficie (Verdugo et al. 2005).

El método de Nakamura descrito permitirá obtener la función de transferencia completa del suelo en periodo y amplificación. Sin embargo, se ha comprobado empíricamente que la principal utilidad está en la determinación del periodo fundamental del suelo (Bonilla et al. 1997).

Nakamura desarrollo la técnica basada en tres hipótesis principales:

- El ruido ambiental es generado por la reflexión y refracción de ondas de corte al interior de capas de suelo superficiales y por ondas de superficie.
- Fuentes superficiales locales de ruido no afectan el ruido ambiental en la base de la estructura no consolidada.
- Capas de suelo blando no amplifican la componente vertical del ruido ambiental.

Las funciones S_E y A_S que representan la respuesta sísmica intrínseca del sitio y el efecto singular de la onda superficial pueden ser definidos como:

$$S_E = \frac{H_S}{H_B} \quad A_S = \frac{V_S}{V_B} \quad (4.7)$$

Donde, H y V representan respectivamente los espectros de las componentes horizontales y verticales en superficie (S) o en el basamento (B). La respuesta sísmica del sitio que no incluye la contribución de la fuente son definidas por SM como:

$$S_M = \frac{S_E}{A_S} \quad S_M = \frac{H_S}{V_S} \frac{V_B}{H_B} \quad (4.8)$$

Nakamura (1986) y Theodulidis et al. (1996), demostraron que el espectro de las componentes vertical (VB) y horizontal (HB) son equivalentes a la base de la estructura.

$$\text{Si } \frac{H_B}{V_B} \equiv 1 \text{ entonces } S_M = \frac{H_S}{V_S} \quad (4.9)$$

Por lo tanto, la respuesta sísmica del sitio S_M puede ser expresada como el cociente espectral de las componentes horizontal y vertical del ruido ambiental en superficie:

Resumiendo, esta descripción teórica implica que un estimado práctico de la respuesta de sitio puede ser obtenido registrando el ruido ambiental con un sismógrafo sencillo de 3 componentes (NS-EO-Z).

Los pasos para la aplicación de esta técnica son:

- Adquisición de datos de ruido ambiental, comprende todo el procedimiento y consideraciones que se deben tener al momento de registrar la data en el terreno.
- Cálculos de las razones espectrales.
- Obtención de la frecuencia y/o periodo fundamental suelo.

4.2. Técnicas geofísicas para el análisis de ondas superficiales

El estudio de ondas superficiales ha sido utilizado en sismología para la caracterización del interior de la tierra desde la década de los años 1920, y su uso generalizado se inició durante la década de los años 1950 y 1960 gracias al aumento de las posibilidades de análisis numérico y a las mejoras en la instrumentación para el registro de eventos sísmicos asociados a terremotos (Dziewonski y Hales, 1972; Aky y Richards, 1980; Ben-Menhaem y Sigh, 2000).

La aplicación de la sismología en la ingeniería civil comenzó en la década de 1950 con el método *Steady State Rayleigh* (Jones, 1958), pero su uso frecuente comenzó en las últimas dos décadas, primero con la introducción del método SASW (Análisis espectral de ondas superficiales, Stokoe et al. 1994) y luego con la difusión del método MASW (Análisis multicanal de ondas superficiales, Park et al. 1999; Foti, 2000) y los arreglos sísmicos (Ohrnberger, 2006; Wathelet, 2005).

Estos métodos se basan en el análisis de los principios básicos de la dispersión geométrica de ondas, a través de la cual se obtiene un modelo de velocidad de ondas de corte a partir de la solución de un problema inverso basado en la propagación y dispersión de las ondas superficiales en medios verticalmente heterogéneos.

Las altas frecuencias (longitud de onda corta) de las ondas superficiales proveen información de estratos superficiales; mientras que las bajas frecuencias (longitudes de onda larga) proporcionan información de estratos más profundos. El método de las ondas superficiales utiliza estas propiedades para caracterizar materiales en una escala muy amplia de metros a kilómetros. Las diferencias principales entre las aplicaciones están dadas por la gama de frecuencia de interés y el muestreo espacial.

4.2.1. Dispersión de ondas superficiales

En análisis de ondas superficiales está relacionado con la caracterización de sitio en términos de perfiles de velocidad de ondas de corte (V_s) de interés primordial para la respuesta sísmica del sitio, la vibración de los cimientos y la transmisión de la vibración en el suelo. Otras aplicaciones están relacionadas con la predicción de asentamiento del terreno y a la interacción suelo – estructura.

La confiabilidad de los resultados obtenidos mediante las técnicas de análisis multicanal de ondas superficiales (SASW y MASW) ha sido objeto de múltiples investigaciones y experimentos y luego comparando los resultados con los estudios y pruebas de perforación de pozo (Cross hole). Ambas técnicas muestran la fiabilidad de los resultados obtenidos.

El procedimiento estándar para el análisis de ondas superficiales se desarrolla en tres pasos:

- Adquisición de datos, comprende todo el procedimiento y consideraciones que se deben tener al momento de registrar la data en el terreno.
- Procesamiento de la señal para obtener la curva de dispersión experimental en términos de velocidad de fase en función de la frecuencia.
- Proceso de inversión para estimar el perfil de la velocidad de las ondas de corte.

4.2.2. Técnica de arreglos sísmicos lineales (MASW)

El ensayo MASW o Análisis multicanal de Ondas Superficiales es un método de exploración geofísica que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades físicas de los materiales que la conforman.

Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas tipo Rayleigh) registradas en un arreglo multicanal a distancias predeterminadas a lo largo de un eje y. El perfil de velocidad de ondas de corte (V_s) para el punto central de dicha línea, tal como se muestra en la Figura 4.1.

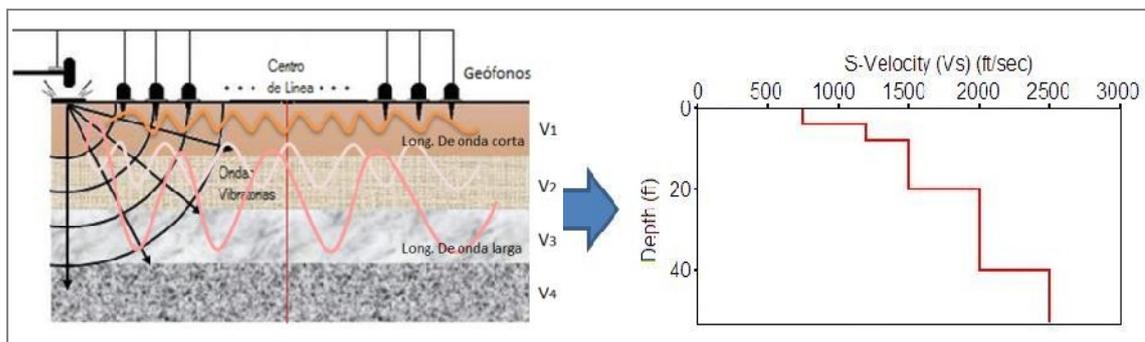


Figura 4.1: Ensayo MASW que permite determinar las velocidades de propagación de ondas S a través de los diferentes estratos de suelos.

La interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (un trazado de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales, ya que son estas las que predominan en el grupo de ondas, alrededor del 70% de la energía del tren de ondas. Además, la velocidad de fase de estas ondas tiene un valor que varía entre el 90% al 95% de la velocidad de propagación de las ondas S (V_s).

Luego mediante el procedimiento de cálculo inverso iterativo y a partir de la curva de dispersión calculada, se obtiene el perfil sísmico del terreno en función de V_s para cada punto de estudio.

Tselentis y Delis (1998) mostraron que el espectro de las ondas de superficie F-K en medios estratificados se puede escribir como la siguiente suma de las combinaciones de modos de transporte:

$$F(f, k) = \sum_m S_m(f) \cdot \left[\sum_{n=1}^N e^{-a_m(f) \cdot x_n} \cdot e^{i(k - k_m(f)) \cdot x_n} \right] \quad (4.10)$$

Dónde:

S_m Es una función de fuente, x_n es la distancia desde la fuente al receptor, n^{th} , a_m y k_m son la atenuación y número de ondas para el modo m^{th} .

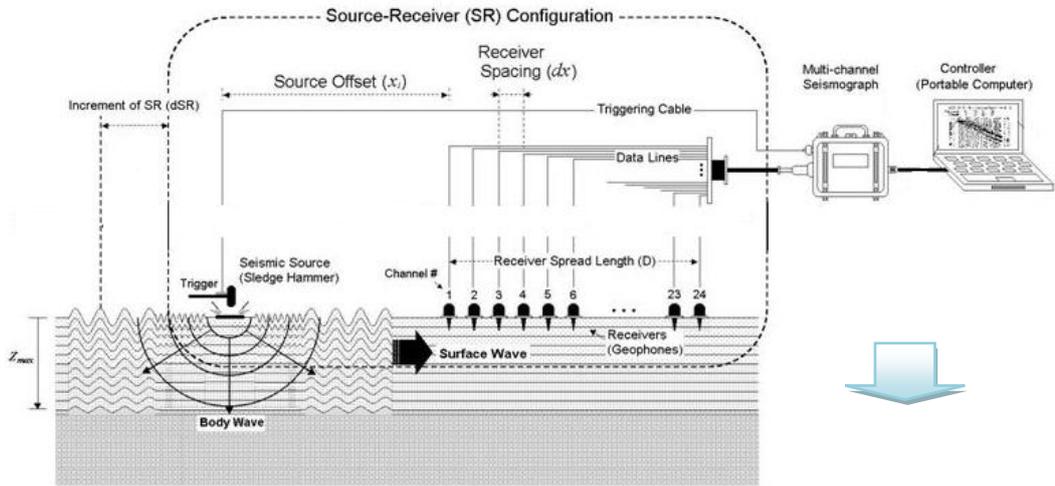
En teoría, los métodos basados en la transformada de Fourier, permiten la identificación de varios modos distintos de ondas superficiales. La ecuación anterior no está condicionada por la atenuación del material. El espaciamiento entre receptores y la longitud total del arreglo influye en la resolución del dominio de número de onda, de modo que si se buscan componentes de alta frecuencia, el espaciamiento entre receptores deberá ser pequeño.

El número de receptores utilizados influye en la estimación del espectro F-K, si el número de receptores es grande, la resolución de los picos de energía será bien definida, pero si el número de receptores es menor la resolución será pobre.

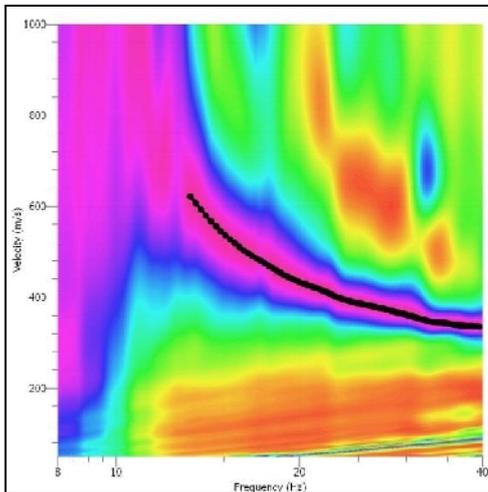
Esta técnica consiste en: (1) adquisición de ondas superficiales de alta frecuencia (ground roll, también denominadas ondas Rayleigh) utilizando un sistema de registro multicanal de banda ancha; (2) creación de algoritmos organizados, eficaces y precisos en una sencilla secuencia de procesamiento de datos diseñada para extraer y analizar la curva de dispersión de las ondas superficiales de tipo Rayleigh; y (3) el desarrollo de algoritmos de inversión estables y eficientes para obtener los perfiles de la velocidad de la onda S.

La Figura 4.2 muestra el esquema para la metodología del procesamiento de los datos obtenidos en un arreglo lineal.

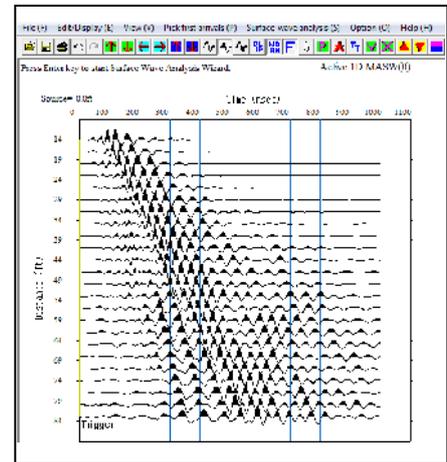
Recolección de datos



Curva de dispersión



Sismograma



Modelo de velocidad

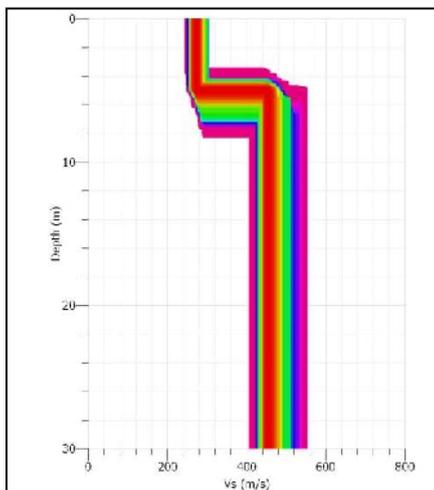


Figura 4.2: Esquema de la metodología usada en el procesamiento de los datos obtenidos en un arreglo lineal.

Esta técnica se ha venido utilizando con bastante frecuencia en la exploración geotécnica como un método indirecto para la cimentación de puentes, presas de tierra, presas de relaves y pads de lixiviación (identificación de estratos en el subsuelo), obteniéndose buenas correlaciones con los perfiles estratigráficos del suelo en los casos donde se han realizado perforaciones diamantinas, así como con los resultados de los ensayos SPT, por lo que tiene una buena confiabilidad y constituye una alternativa económica.

4.3. Técnicas geotécnicas

4.3.1. Clasificación de suelos

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada.

Actualmente, dos sistemas de clasificación son usados comúnmente, estos son el sistema de clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ambos métodos se basan en la determinación granulométrica del suelo y de los límites de Atterberg de la fracción fina de los mismos. Para el presente estudio se ha hecho uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

a) Sistema de clasificación AASHTO

Este sistema de clasificación fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System (Sistema de clasificación de la oficina de caminos públicos). Ha sufrido varias revisiones, con la versión actual propuesta por el comité para la clasificación de materiales para subrasante y caminos tipo granulares del consejo de investigaciones carreteras, en 1945 (prueba D-3282 de la ASTM; método AASHTO M145).

El sistema de clasificación AASHTO actualmente en uso se muestra en la Tabla 3, de acuerdo con esta tabla el suelo se clasifica en siete grupos mayores; A-1 al A-7.

Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz No 200.

Los suelos de los que más del 35% pasan por el tamiz No 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, la mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla.

Tabla 3: Clasificación de suelos según AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
% que pasa el Tamiz:											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación entre lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)
 Si el LP \geq 30, la clasificación es A-7-6
 Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

b) Sistema Unificado de clasificación de suelos SUCS

La forma original de este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de pistas de aterrizaje emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial.

Diez años más tarde, y vista la gran utilidad de este sistema en ingeniería civil, fue ligeramente modificada por el *Bureau of reclamation*, naciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados, hoy en día, es ampliamente usado (Prueba D-2487 de la ASTM).

Esta clasificación se vale de símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades, en las Tablas 4 y 5 se muestran dichos símbolos y su significado.

Tabla 4: Símbolo de grupo según SUCS

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liq. Alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite liq. Bajo (<50)	H

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo.

Tabla 5: Tipología de suelos SUCS

Símbolo	Características Generales		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien graduados
GP			Pobrementemente graduados
GM		Con finos (Finos >12%)	Componente limoso
GC			Componente Arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien graduadas
SP			Pobrementemente Graduadas
SM		Con finos (Finos >12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH	ORGANICOS	Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Como puede deducirse de la anterior tabla, existe una clara distinción entre tres grandes grupos de suelos:

- Suelos de grano grueso (G y S): Formados por gravas y arenas con menos del 50% de contenido de finos, empleando el tamiz 0.080 UNE (#200 ASTM).
- Suelos de grano fino (M y C): Formados por limos y arcillas con más del 50% de contenido pasando por la malla #200.
- Suelos orgánicos (O, Pt): Constituidos fundamentalmente por materia orgánica, son inservibles como terrenos de cimentación.

Asimismo, dentro de una tipología expuesta pueden existir casos intermedios, empleándose una doble nomenclatura; por ejemplo, una grava bien graduada que contenga entre un 5% y un 12% de finos se clasificara como GW-GM.

4.3.2. Capacidad portante de los suelos

La capacidad de carga de los suelos es tal vez el más importante de todos los temas de la ingeniería del suelo. Los suelos se comportan de una manera compleja cuando se cargan, entonces es importante conocer la capacidad de carga. El suelo cuando está tensionado debido a la carga, tiende a deformarse, la resistencia a la deformación del suelo depende de factores como el contenido de agua, densidad aparente, ángulo de fricción interna y la manera en que se aplica la carga sobre el suelo. La carga máxima por unidad de área que el suelo o la roca pueden llevar sin ceder o tener un desplazamiento, se denomina capacidad portante de los suelos.

La intensidad de carga que provoca la rotura del suelo y el desplazamiento lateral que resulta en un rápido hundimiento de la zona de carga en el suelo se denomina como la capacidad de carga máxima de los suelos. A menudo una estructura falla debido al asentamiento desigual o asentamientos diferenciales. Esto ocurre cuando una parte del edificio se basa en el estrato compresible y la parte restante se basa en estratos de suelo firme. Así, la parte del edificio en suelo compresible se asienta a un ritmo muy por encima de la parte de la construcción en suelo firme que conduce al asentamiento diferencial.

Para visualizar objetivamente el problema de la capacidad portante de los suelos resulta útil el análisis del modelo mecánico de Khristianovich.

Consideramos una balanza ordinaria, cuyo desplazamiento está restringido por fricción en las guías de los platillos, tal como se ve en la Figura 4.3.

Si un peso suficientemente pequeño se coloca en un platillo, la balanza permanece en equilibrio, pues la fricción en las guías puede neutralizarlo; en cambio si el peso colocado es mayor que la capacidad de las guías para desarrollar fricción, se requerirá para el equilibrio un peso suplementario en el otro platillo.

En el platillo derecho existe P , y quiere conocer Q , que debe colocarse en el platillo izquierdo, para tener la balanza en equilibrio crítico. Es evidente que el problema tiene dos soluciones: una corresponde a un $Q < P$ y la otra por el contrario a un $Q > P$. Las alternativas de este equilibrio en estos dos casos ocurren con movimientos diferentes, ilustrados en los casos a) y b).

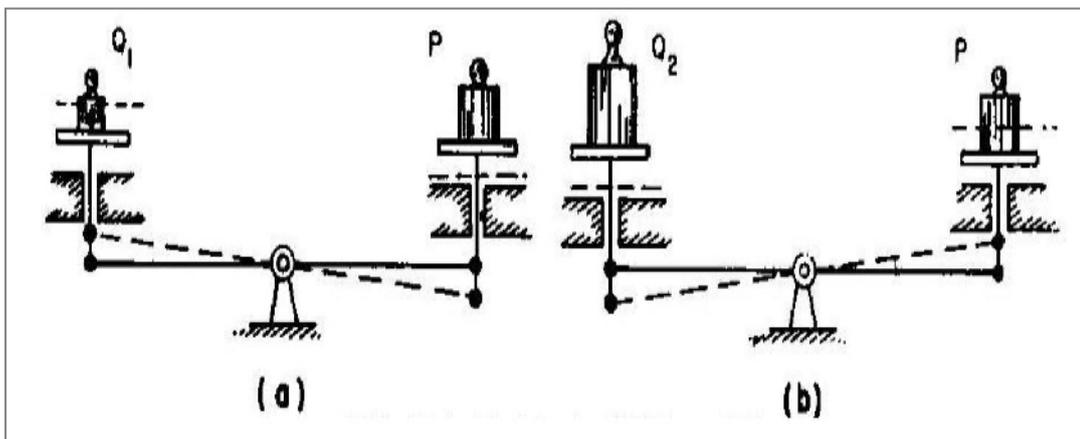


Figura 4.3: Modelo de Khristianovich.

El problema de una cimentación sería encontrar la carga q máxima, que pueda ponerse en el cimiento, sin que se pierda la estabilidad del conjunto. La correspondencia con la balanza puede visualizarse haciendo coincidir un platillo con el cimiento tal como se ve en la Figura 4.4, y el otro platillo en el terreno natural.

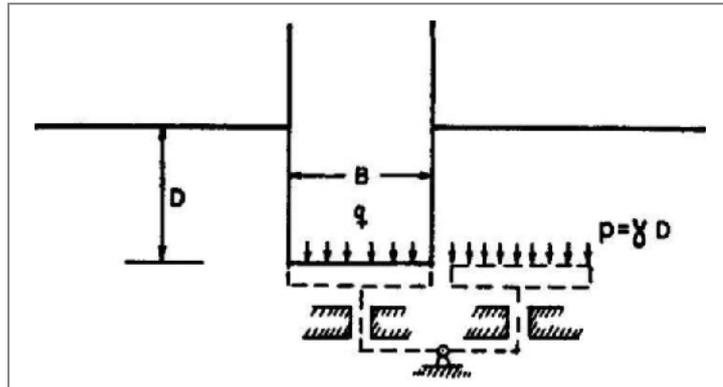


Figura 4.4: Correspondencia de un cimiento con la balanza de Khristianovich.

En el caso a) de la Figura 4.3, en el que $Q < P$, corresponden al de una excavación. Ahora que es nulo, pero conforme se profundiza la excavación las cosas suceden como si se bajase el nivel de la balanza de la Figura 4.4, con la consecuencia del aumento de la presión ρ . Es evidente que existirá una profundidad crítica tal que, al tratar de aumentar la excavación, el fondo de esta se levantara, como el platillo de la balanza lo haría, este es el fenómeno de la falla de fondo, frecuentemente reportado en las obras.

En general conviene reducir el problema a dos casos: la Capacidad portante de los suelos puramente “cohesivos” ($c \neq 0; \phi = 0$) y la de los suelos puramente “friccionantes” ($c = 0; \phi \neq 0$).

La teoría de elasticidad permite establecer la solución para estados de esfuerzo en un medio semi-infinito, homogéneo, isótropo y linealmente elástico, cuando sobre él actúa una carga uniformemente distribuida. Una de las teorías más utilizadas para el cálculo de capacidad portante en proyectos prácticos, especialmente en cimientos poco profundos es la Teoría de Terzaghi.

La teoría de Terzaghi

Terzaghi (1943), fue el primero en presentar una teoría completa, para evaluar la capacidad de carga última de las cimentaciones superficiales. La teoría cubre el caso más general de suelos con “cohesión y fricción”. Esta es posiblemente la teoría más usada para el cálculo de la capacidad portante en el caso de cimentación superficial.

De acuerdo con esta, una cimentación es superficial si la profundidad, D_f (*profundidad de desplante*) de la cimentación es menor o igual que el ancho de la misma, Figura 4.6. Sin embargo, posteriores investigadores sugieren que cimentaciones con D_f igual a 3 o 4 veces el ancho de la cimentación pueden ser definidas como cimentaciones superficiales.

Terzaghi propuso el mecanismo de falla que se muestra en la Figura 4.5, para un cimiento poco profundo y de longitud infinita.

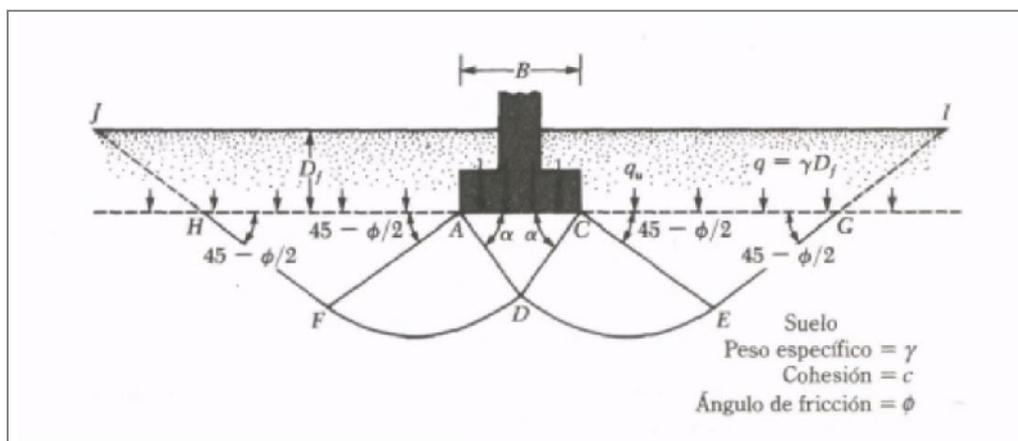


Figura 4.5: Mecanismo de falla de un cimiento poco profundo según Terzaghi.

De manera general la ecuación para obtener la capacidad de carga última de cimentaciones cuadradas o circulares son las siguientes:

$$q_u = 1.3 * c * N_c + q * N_q + 0.4 * \gamma * B * N_\gamma \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

$$q_u = 1.3 * c * N_c + q * N_q + 0.3 * \gamma * B * N_\gamma \quad (\text{Cimentación circular})$$

Dónde:

q_u : es la capacidad de carga última del cimentado.

c : es la cohesión del suelo de soporte.

γ : es el peso específico del suelo.

D_f : es la profundidad de desplante, medida verticalmente desde la superficie del terreno natural a la base del cimentado.

B : es el ancho del cimentado.

N_c , N_q y N_γ son coeficientes adimensionales que dependen solo del ángulo de fricción interna ϕ del suelo y se denominan “factores de capacidad de carga”, debidos a la cohesión, a la sobrecarga y al peso del suelo respectivamente.

Terzaghi despreció la resistencia al esfuerzo cortante arriba del nivel de desplante del cimentado, considerando sólo de dicho nivel hacia abajo. El terreno sobre la base del cimentado se supone que solo produce el efecto que puede representarse por una sobrecarga, $q = \gamma D_f$ actuante, precisamente en un plano horizontal que pase por la base del cimentado, en donde γ es el peso específico del suelo. Ver Figura 4.6.

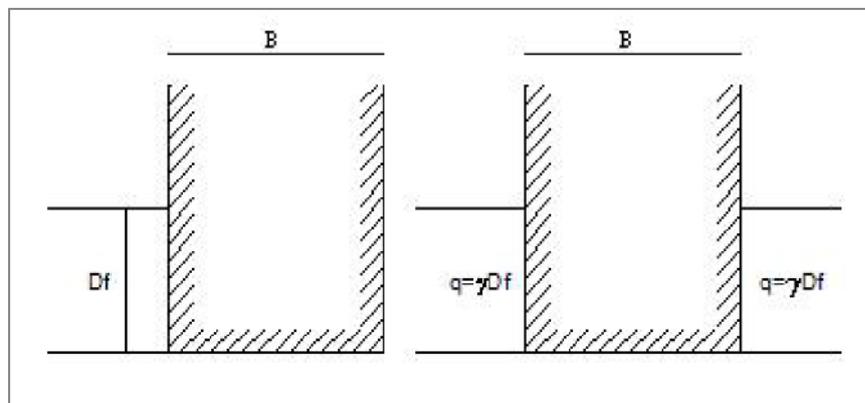


Figura 4.6: Equivalencia del suelo sobre el nivel del desplante de un cimentado con una sobrecarga debido a su peso.

Definiciones:

Capacidad de carga límite (q_d): Máxima presión que se puede aplicar a la cimentación, sin que esta penetre al suelo.

Capacidad de carga admisible (q_{adm}): Es la carga límite dividida entre un factor de seguridad. A este esfuerzo se le llama capacidad portante.

$$q_{adm} = \frac{q_d}{F_s}$$

Terzaghi recomienda que F_s no sea menor que 3.

Esfuerzo neto (q_{neto}): Es el esfuerzo útil, que queda para la superestructura, después de quitarle el esfuerzo que va a utilizar el peso del relleno y la sobrecarga de piso.

$$q_{neto} = q_{adm} - \gamma * D_f - \text{sobrecarga de piso}$$

Dónde:

γ = peso específico del relleno

D_f = profundidad de la cimentación

Sobrecarga del piso = 500 kg/m²

CAPITULO V

GEODINÁMICA EXTERNA

Lima Metropolitana posee un índice alto de ocurrencia de eventos desastrosos en el período histórico o reciente, concretamente descritos en crónicas antiguas o recientes publicaciones. Por ejemplo, se conoce que en los siglos XVI, XVII, XVIII, XIX y XX se presentaron terremotos destructivos que propiciaron caídas de rocas en superficies de pendiente alta en áreas costeras y alto andinas. Sin embargo, la información es escasa para la evaluación de eventos que provocarían inundaciones y erosiones fluviales detonadas por lluvias excepcionales.

A partir de los años 80, Lima Metropolitana, soporta la constante migración de población, proveniente de las provincias del interior del país y por la falta de una acertada planificación urbana y de políticas de planeamiento, la población emigrante ha ocupado las laderas inestables de los cerros que rodean a la ciudad de Lima. La construcción de viviendas en estos lugares se realiza de manera inadecuada, sin ningún criterio de ordenamiento territorial y apoyo ingenieril, lo cual incrementa su riesgo a la amenaza de sismos, tsunamis y lluvias extremas.

Los procesos de geodinámica superficial dan lugar a diversas geoformas que están sometidas a procesos de intemperismo y meteorización, que al final conducen a la ocurrencia de movimientos en masa, estos 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.

Los sismos pueden producir, además de movimiento vibratorio característico del suelo, una serie de efectos inducidos que dan lugar a grandes deformaciones y roturas en el terreno, produciendo deslizamientos y desprendimientos de rocas, que están relacionados con el comportamiento geológico y geotécnico del terreno. Así mismo, estos procesos pueden ser también generados por lluvias extremas. Los movimientos de laderas no sólo depende del sismo para su generación, sino de requiere que la intensidad sea alta para que éstos deslizamientos y desprendimientos tengan lugar. Por otro lado a menor distancia epicentral no es necesario la ocurrencia de un sismo de elevada magnitud. La Figura 5.1 muestra un esquema de los deslizamientos en función de la magnitud y la distancia de del epicentro.

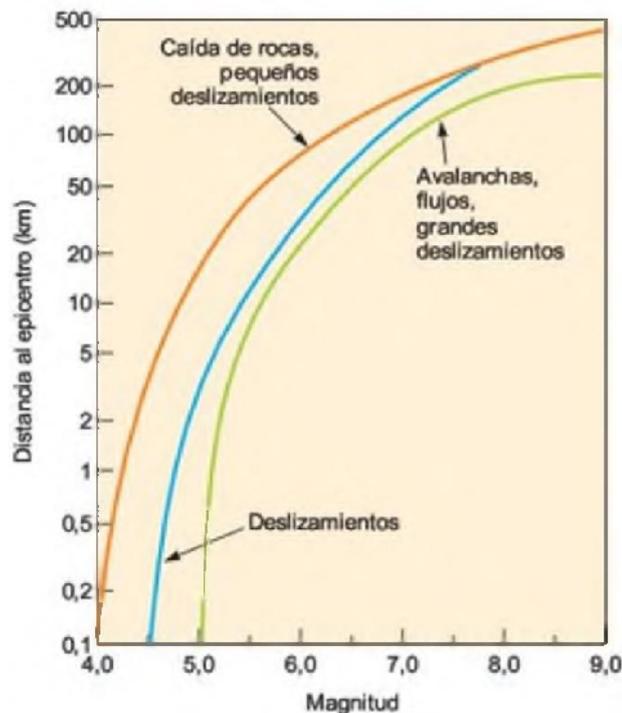


Figura 5.1: Susceptibilidad de deslizamientos inducidos por sismos (Hays, 1990).

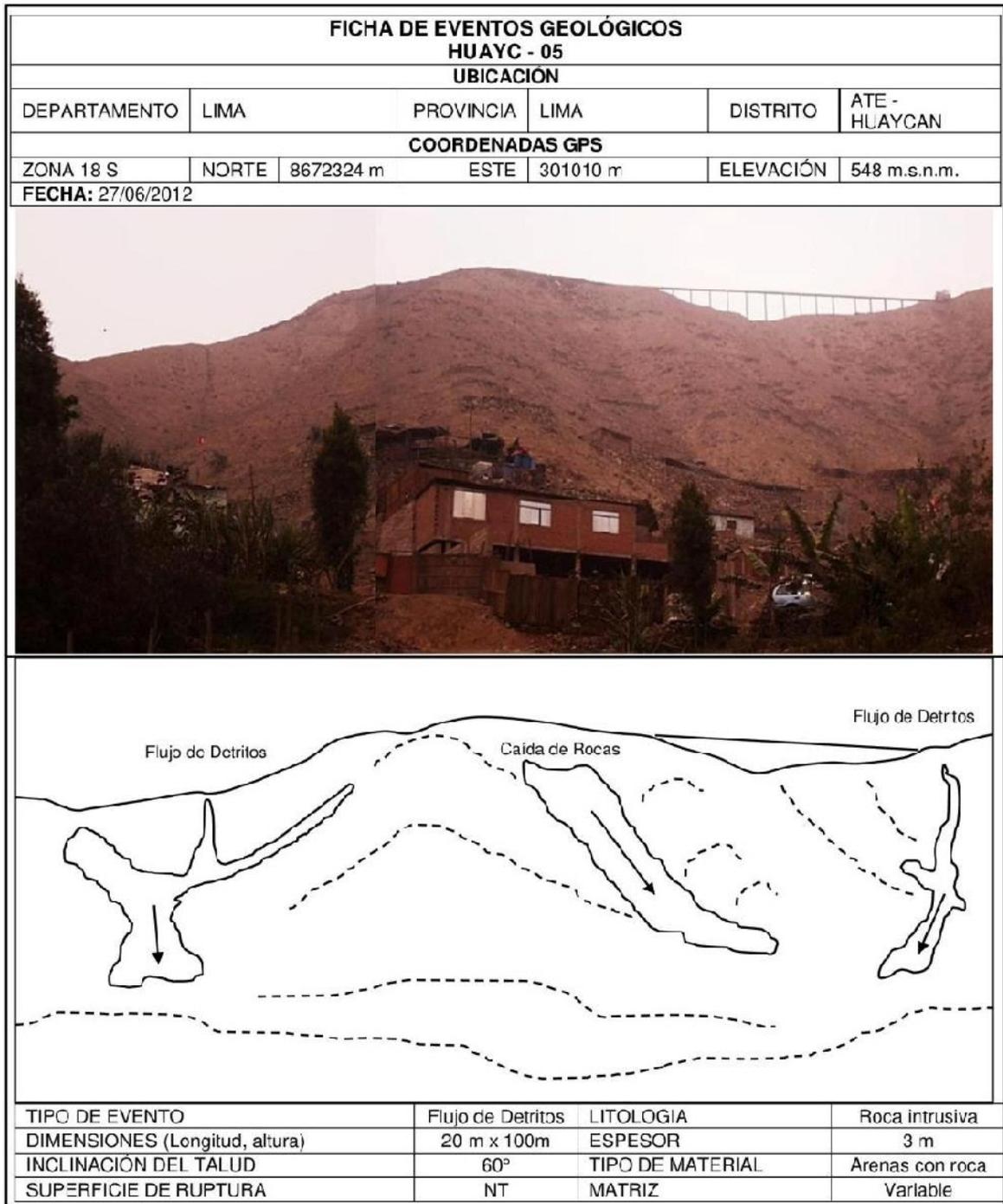
Algunos de los factores a considerar en la estimación de la susceptibilidad frente a deslizamientos por sismos son las siguientes:

- Laderas inestables o en condiciones precarias de estabilidad previas al sismo.
- Pendientes elevadas.
- Suelos de baja resistencia (arcillas rápidas, suelos colapsables, etc.)
- Escarpes rocosos con riesgo de desprendimientos.

En este estudio durante un periodo de 15 días se ha procedido a recolectar información geológica y geomorfológica de todas las quebradas que bordean al área urbana de Huaycan. El análisis de la información se ha plasmado en mapas, lo que ha permitido identificar, georreferenciar e inventariar la ocurrencia en el pasado de 26 movimientos en masa, la mayoría por flujo de detritos. Por lo tanto, el principal peligro geodinámico en la zona son los deslizamientos y posible licuación de suelos, que aunque a la fecha no se han hecho presentes, si ocurrieron en el pasado y volverán a presentarse en el futuro. Con su análisis y evaluación, se procede a cuantificar futuros escenarios de riesgo para Huaycan.

La Figura 5.2 muestra una ficha representativa del inventario realizado en campo. Se consideró datos como: ubicación del área afectada por el evento geodinámico, elevación, dimensiones, inclinación del talud, litología, tipo de material, etc. Esta ficha corresponde a la evaluación de los flujos de detritos presentes en la asociación de vivienda “El Lúcumo”. Según la interpretación realizada se observa la presencia de dos encauzamientos de material suelto (en su mayoría arena gravosa con poca cantidad de finos) sobre el área con pendiente de 60° y espesor de 3 metros. La falta de una superficie de corte sugiere que este flujo continuará ya que aún no se ha llegado al ángulo de reposo del talud.

Además, en la zona se identificó la presencia de áreas propensas a caída de rocas desde gran altura y que dependiendo de su velocidad de caída los efectos pueden ser de importancia. Ambos eventos elevan el grado de vulnerabilidad de las viviendas aledañas ubicadas al pie de la quebrada. Cabe indicar que no se observan obras de contención como diques o pantallas que pueda contribuir en la estabilidad del macizo rocoso.



OBSERVACIONES:

Pendiente bien pronunciada, Muros de contención (Pircas sin cementar) que actúan como barrera ante caída de rocas.

NT = No tiene

Figura 5.2: Flujo de detritos en la asociación de vivienda El Lúcumo en la zona urbana de Huaycan

5.1 Flujo de detritos

Son flujos masivos o canalizados de fragmentos y escombros de regular magnitud y que frecuentemente ocurren en laderas de fuerte pendiente. Los flujos se forman por efecto combinado de la gravedad y las lluvias que ocasionan la pérdida de cohesión interna del suelo, conduciéndolo de estado plástico a líquido y haciendo que este se desplace y se deposite en forma de abanico o mantos en la parte baja de las laderas o cauces de quebradas, donde alcanzan mayores velocidades y por tanto, mayor fuerza de arrastre.

Históricamente el hombre ha sido un permanente modificador de los elementos que conforman la superficie de la tierra y el efecto sobre los taludes, ha sido el de agente desestabilizador. Esto indica que un área urbana es más susceptible a sufrir deslizamientos que un área no urbana. En las zonas identificadas con mayor susceptibilidad se observa modificaciones en las condiciones naturales de los taludes, negligencia en su manejo asociado a cortes indiscriminados que terminan desestabilizando las laderas.

En Huaycan se ha inventariado la presencia de 22 flujos de detritos, que asociados a lluvias intensas propias de la zona interandina, pueden provocar la reactivación de las quebradas. Estos flujos están circunscritos en tres quebradas de relieve accidentado y pendiente pronunciada con abundante material deslizado en el pasado y que conforman la cuenca del río Rímac.

La totalidad de los flujos de detritos identificados y evaluados en la zona urbana de Huaycan han sido localizados en la Figura 5.3. Estos flujos están presentes en la quebrada “Este” sobre las áreas pobladas conocidas como Zonas P, Q y Z, quebrada “Sur” formada por las Zonas H, L, M, S y T, quebrada “Oeste” formada por las zonas I, J, R, U y V, las zonas C y N y en las urbanizaciones Villa Tusan, Lúcumo y Horacio Zevallos. Las fichas elaboradas para cada uno de los escenarios identificados se presentan en el Anexo 1, aquí se describe las tres principales zonas.

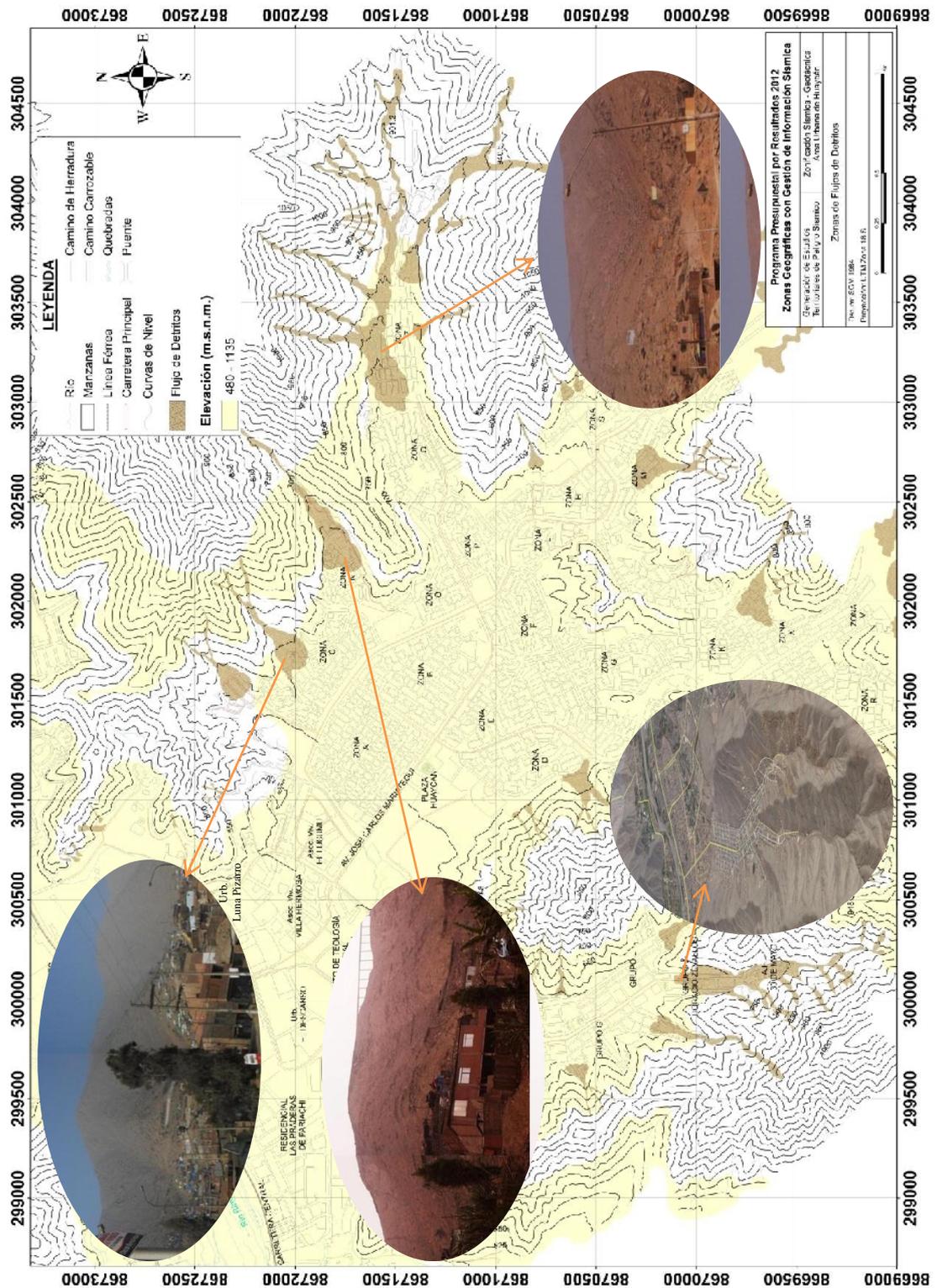


Figura 5.3: Zonas de Flujo de detritos identificados zona urbana de Huaycan.

En la Figura 5.4 se observa los flujos de detritos en inmediaciones de la quebrada Este sobre la Zona Z, que asociados a lluvias excepcionales podrían constituir un alto riesgo para estos habitantes. En esta quebrada se identificó la presencia de 4 zonas de flujo de detritos que provocarían la caída de rocas, que afectarían a las viviendas situadas en el área involucrada.

Los taludes en esta zona tienen pendientes de alrededor de 60° y elevaciones hasta los 788 msnm con suelos compuestos principalmente de material coluvial y de matriz variable, sobre una estructura de rocas intrusivas. En la quebrada Este los flujos de detritos presentan mayor susceptibilidad y por lo tanto, pueden causar desastres, incrementando el riesgo en esta zona.



Figura 5.4: Depósito de flujo de detritos en las inmediaciones de la quebrada de la Zona "Z".

Así mismo, en la Figura 5.5 se muestra como la población ha venido asentándose sobre los depósitos de detritos y terraplenes presentes en la asociación Horacio Zevallos y en el Asentamiento Humano 30 de Mayo, aquí los taludes tienen elevaciones hasta 833 msnm, pendientes promedio de 50°, todas compuestas principalmente de material coluvial de matriz variable. En esta zona crítica se ha construido viviendas de material rustico, en base de pircas o terraplenes pobremente compactados, susceptibles a ser afectadas por caída de rocas y huaycos en caso de lluvias excepcionales.

Es importante anotar que la modificación de la topografía del terreno mediante cortes o rellenos puede producir la activación de un deslizamiento debido a los cambios de esfuerzos. Además, en caso de lluvias cuando el suelo está saturado de agua y ocurren movimientos en masa, el suelo no se comporta como una avalancha de escombros que comienza a moverse por gravedad, si no como un flujo de lodos, ya que la abundante cantidad de agua entre los granos de las rocas provoca mayor movilidad. La ubicación de la urbanización Horacio Zevallos puede consultarse en la Figura 5.3.



Figura 5.5: Depósito de flujo de detritos en las inmediaciones de las quebradas en la urbanización Horacio - Zevallos.

En la Figura 5.6 se muestra una vista de la quebrada del cerro Fisgón, presente en la Zona “R”, con viviendas ubicadas en pleno cauce de la quebrada, que en caso de lluvias excepcionales se activarían generando flujo de lodos o detritos y estas serían las primeras en ser afectadas. Así mismo, hacia las laderas se aprecia la presencia de bloques sueltos que pueden ceder ante un eventual movimiento sísmico y afectar a las viviendas ubicadas cuesta abajo.

Esta quebrada presenta flujos de detritos que en la actualidad han sido removidos para construir viviendas, lo que conlleva a que este sector presente un alto grado de vulnerabilidad. El talud presenta una inclinación de aproximadamente 40°, con elevaciones de hasta 763 msnm y está compuesto de material coluvial de matriz variable. En la Figura 5.3 se muestra la ubicación de la Zona R.



Figura 5.6: Sector de la Zona “R” en Huaycan. Se aprecian viviendas ubicadas en pleno cauce de quebrada.

En la Tabla 6 se muestra un resumen de todas las zonas con riesgo de flujo de detritos, su vulnerabilidad y/o probables daños ocasionados.

Tabla 6: Zonas con riesgo de flujo de detritos.

ZONAS CON RIESGO DE FLUJO DE DETRITOS		
SECTOR / ZONA	DESCRIPCION	POSIBLES IMPACTOS
1*. Praderas de Pariachi I etapa.	Se caracterizan por tener material suelto en su cauce, proveniente de antiguas caídas de rocas. Los depósitos generados por los flujos de detritos poseen una forma de tipo abanico.	Afectaría a las zonas de cultivo y también al sistema de irrigación ubicados en el cauce natural del flujo.
2. Praderas de Pariachi I etapa.	Material suelto en el cauce de las quebradas.	Puede afectar directamente a zonas de cultivo y viviendas urbanas o rurales ubicadas en el cauce.
3. Praderas de Pariachi I etapa.	El cauce del flujo de detritos posee mayores dimensiones (mayor volumen) y alta pendiente (>50°).	Una porción importante de las instalaciones del centro campestre “Villa Tusan” se encuentran ubicados en el cauce natural del flujo de detritos, el cual en este caso posee mayor volumen y energía acumulada.
7. Urbanización El Lúcumo.	Laderas muy erosionadas con alta pendiente (50°) con presencia de quebradas secas, sin ningún tipo de protección ya sea natural o artificial y con gran cantidad de viviendas en sus faldas.	Viviendas construidas en la falda de las laderas.
8. Zona C	Laderas de roca intrusiva alterada con alta pendiente (50°) con presencia de quebradas secas, sin ningún tipo de protección ya sea natural o artificial.	Viviendas emplazadas en la quebrada con alto grado de susceptibilidad a flujo de detritos y caída de rocas. Además, el colegio “Fe y Alegría” se encuentra en el posible cauce natural del flujo.
9. Zona Z	Quebradas secas con material suelto en su cauce y muy erosionadas. Además, la corona de la ladera es utilizada como cantera cuyo proceso extractivo utiliza explosivos lo cual ha fracturado el macizo rocoso.	Viviendas rústicas construidas en el cauce de las quebradas y en partes muy altas de la ladera.

10. Zona Z	<p>El cauce de la quebrada presenta bloques sueltos de grandes dimensiones.</p> <p>En las laderas se observa bloques sueltos producto de la erosión</p>	<p>Un probable evento sísmico podría causar la caída de los bloques sueltos sobre las viviendas construidas al pie de las laderas</p>
11. Zona Z	<p>Quebrada de grandes dimensiones con pendientes mayores a 45°. Se aprecian viviendas construidas sobre pircas.</p>	<p>El cementerio de las Zona Z, y viviendas asentadas en el cauce y laderas de la quebrada se verían muy afectados en épocas de lluvia.</p>
12. Zona Z	<p>Laderas con inclinaciones de 50° a más, conformados por material coluvial.</p>	<p>Asentamientos humanos emplazados en cauces de quebradas y depósitos de flujo de detritos. En estos casos hay mayor vulnerabilidad.</p>
13. Zona Z	<p>La zona se encuentra emplazada en medio de 2 laderas con alta pendiente (35° a 40°) y muy intemperizadas en cuyas cimas existen bloques sueltos.</p>	<p>Las viviendas ubicadas en esta zona se encuentran bajo doble riesgo de ser afectadas por probables flujo de detritos provenientes de las 2 laderas que la rodean.</p>
14. Zona Q	<p>Laderas con pendientes de 60° en promedio y con gran cantidad de bloques sueltos.</p>	<p>Probable caída de bloques sueltos y flujo de detritos en caso de lluvias excepcionales.</p>
15 Zona Q	<p>Dos quebradas de gran pendiente con material coluvial suelto y residuos sólidos en su cauce.</p>	<p>Pueden ser afectadas las viviendas localizadas en el cauce de la quebrada.</p>
18. Zona T	<p>Laderas de gran altitud (400m en promedio) con inclinaciones mayores a 50°, en la zona existen tres quebradas con material suelto en sus cauces.</p>	<p>Viviendas y vías de transporte situadas en laderas inestables y en el cauce natural de la quebrada.</p>
19. Zona H	<p>La matriz rocosa que conforma la ladera tiene buenas características mecánicas (roca intrusiva) y posee gran potencia. Pero, el afloramiento se encuentra muy intemperizado y fracturado.</p>	<p>La zona se encuentra densamente poblada, con viviendas de albañilería y concreto armado y gran cantidad de negocios.</p>

20. Zona H	Existen 4 cauces de flujos de detritos diferenciados que se unen cerca al pie de la ladera.	Viviendas y vías de comunicación en la parte baja de la ladera serían afectadas por los flujos de detritos.
21. Zona X	En esta zona se generan 3 grandes cauces de flujos de detritos. Existen tres quebradas las cuales han sido invadidas.	Las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros podrían ser afectadas por flujo de detritos y podrían colapsar en caso de un evento sísmico.
22. Zona V	Zona con presencia a flujo de detritos y posibles desprendimientos de roca.	Viviendas construidas sobre el cauce natural de las quebradas y a gran altitud de la ladera.
23. Zona R	Presencia de 5 flujos de detritos principales con alta energía potencial debido a su altura (600 m en promedio) y pendiente ($>45^\circ$).	La zona se encuentra altamente poblada y se ubica en el cauce natural de los flujos de detritos.
24. Zona I	Existen 4 flujos de detritos cuyos volúmenes se unen en uno sólo cerca al pie de la ladera. Además, se realizaron cortes para la construcción de viviendas, los cuales no poseen ningún tipo de medida de estabilización.	Se aprecia viviendas en zonas inestables. En caso de un sismo estas viviendas podrían colapsar.
25 Zona D	Se puede apreciar 3 flujos de detritos claramente diferenciados con alta pendiente ($>60^\circ$).	Existe una vía de transporte principal que es vulnerable a probables flujo de detritos y caída de rocas.
26. Asentamiento humano 30 de Mayo.	Las viviendas se emplazaron sobre superficies formadas por caída de rocas. Además, la ladera se ve afectada por la ejecución de cortes para construcción de viviendas sin medidas de estabilización.	Los taludes existentes debido al corte de la ladera pueden fallar en caso de un evento sísmico ya que no se utilizaron soluciones geotécnicas para su estabilización.

* El número correlativo de cada sector corresponde al número de ficha del evento geodinámico ubicados en el anexo I.

Discusión:

En la tabla 6 se detalla por sector su riesgo a la presencia de flujo de detritos y de su descripción se puede observar y cuantificar los siguientes escenarios:

En la Zona Z de Huaycan (ver Figura 5.3) se ha llegado a identificar la presencia de hasta 11 quebradas con riesgo de presentar flujo de detritos. En la parte baja de las quebradas, los asentamientos humanos están ubicados en pleno cause de las quebradas y en laderas inestables, lo que hace que esta zona sea una de las más críticas.

Así mismo, se ha identificado que en la urbanización Horacio Zevallos y el Asentamiento Humano 30 de Mayo, existe una quebrada de gran dimensión que genera flujo de detritos que la identifica como zona de alto riesgo. También existen viviendas localizadas al pie de los cerros, en causes de las quebradas, que en caso de un evento sísmico o lluvias excepcionales, los habitantes de estas urbanizaciones se encontrarían en alto grado de vulnerabilidad.

Por otro lado, la Zona N está asentada sobre un gran flujo de detritos, lo que convierte a este lugar en crítico, además que las viviendas están construidas de material rustico sobre rellenos y sin un criterio ingenieril. Estos suelos son susceptibles a agrietarse al momento de ocurrir un sismo o a deformaciones verticales y horizontales, que provocarían asentamientos diferenciales.

La Zona C es otra en la cual el riesgo es alto, ya que se presenta los mismos problemas geodinámicos, sumados al hacinamiento y desorden con el cual se ha incrementado el número de viviendas. En este lugar se encuentra el colegio de menores Fe y Alegría muy cerca de un área con clara evidencia de ser afectado por caída de rocas.

Finalmente, existen otras áreas vulnerables al riesgo de desastres debido a su ubicación en lugares de alto riesgo, y estas son: la Zonas M, X, T, D y U que deberían tomarse en cuenta para la gestión de riesgos en esta zona urbana.

5.2 Caída de rocas

La caída de rocas es el desprendimiento del material que conforma una ladera, puede ser roca, suelo o ambos y cuyas causas principales son: la gravedad terrestre, lluvias torrenciales, movimientos sísmicos y las características geomecánicas que posee el substrato rocoso. Estos fenómenos se presentan en cuencas y están asociados principalmente a los cortes de talud para la construcción de obras civiles. Por lo general ocurren en zonas de altas pendientes y están asociados al fracturamiento, al grado de meteorización y la alteración de los macizos rocosos.

En los cerros que rodean al área urbana de Huaycan se ha inventariado la presencia de 4 zonas con pendientes, que en caso de un evento sísmico o lluvias excepcionales pueden desencadenar posibles caídas de rocas, que afectarían a la Urb. Luna Pizarro, la asociación de vivienda El Lúcumo y a las Zonas Q, H y L.

La Figura 5.7 muestra los alrededores de la urbanización El Lúcumo que está asentada al pie del cerro “Huaycan”, con construcciones debajo de bloques sueltos de piedras de gran dimensión. La ladera presenta una pendiente que supera los 30° , y ante un eventual movimiento sísmico, los habitantes de este lugar serían afectados. En el mapa de la Figura 5.8 se observa la ubicación de esta urbanización.



Figura 5.7: Las líneas segmentadas de color rojo muestran las zonas con caída de rocas de 7” en los alrededores de la urbanización el Lúcumo.

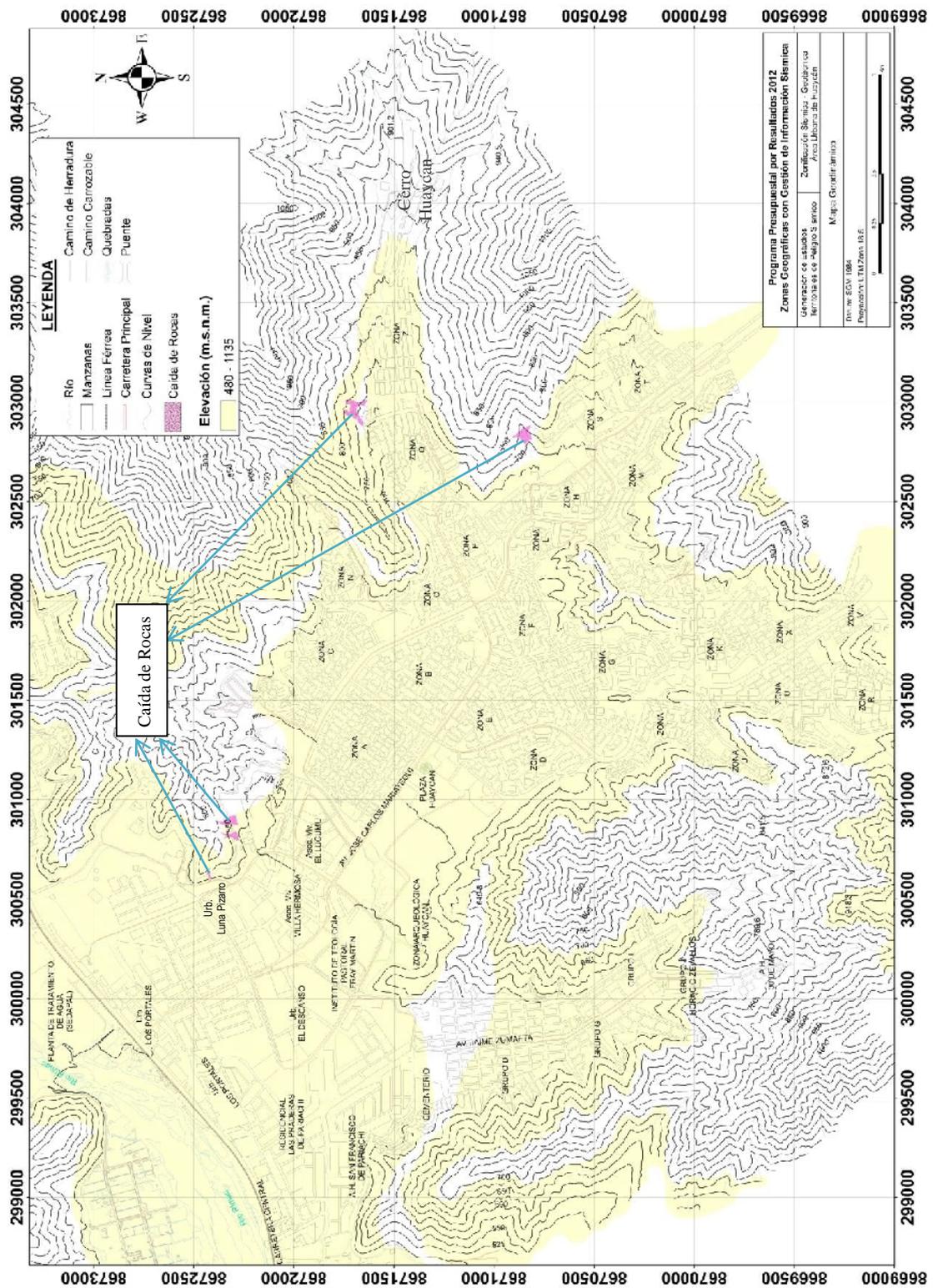


Figura 5.8: Áreas críticas de caída de rocas evaluadas en la zona urbana de Huaycan.

Otro ejemplo se puede observar en la Figura 5.9, donde la quebrada muestra taludes con presencia de rocas sueltas que pueden desprenderse y afectar a los asentamientos humanos que se encuentran emplazados debajo de estos, lo cual constituye áreas de alto grado de riesgo. Los cerros presentan inclinaciones mayores a los 50° , y suelos compuestos de material coluvial de matriz variable, todos emplazados sobre roca intrusiva.

Estos taludes pertenecen a la parte baja del cerro “Huaycan” correspondientes a las inmediaciones de las Zonas “H” y “L”. Según la figura, el área de posible caída de rocas se encuentra cerca de las viviendas y se observa vestigios de antiguos desprendimientos que son indicados en el esquema inferior.

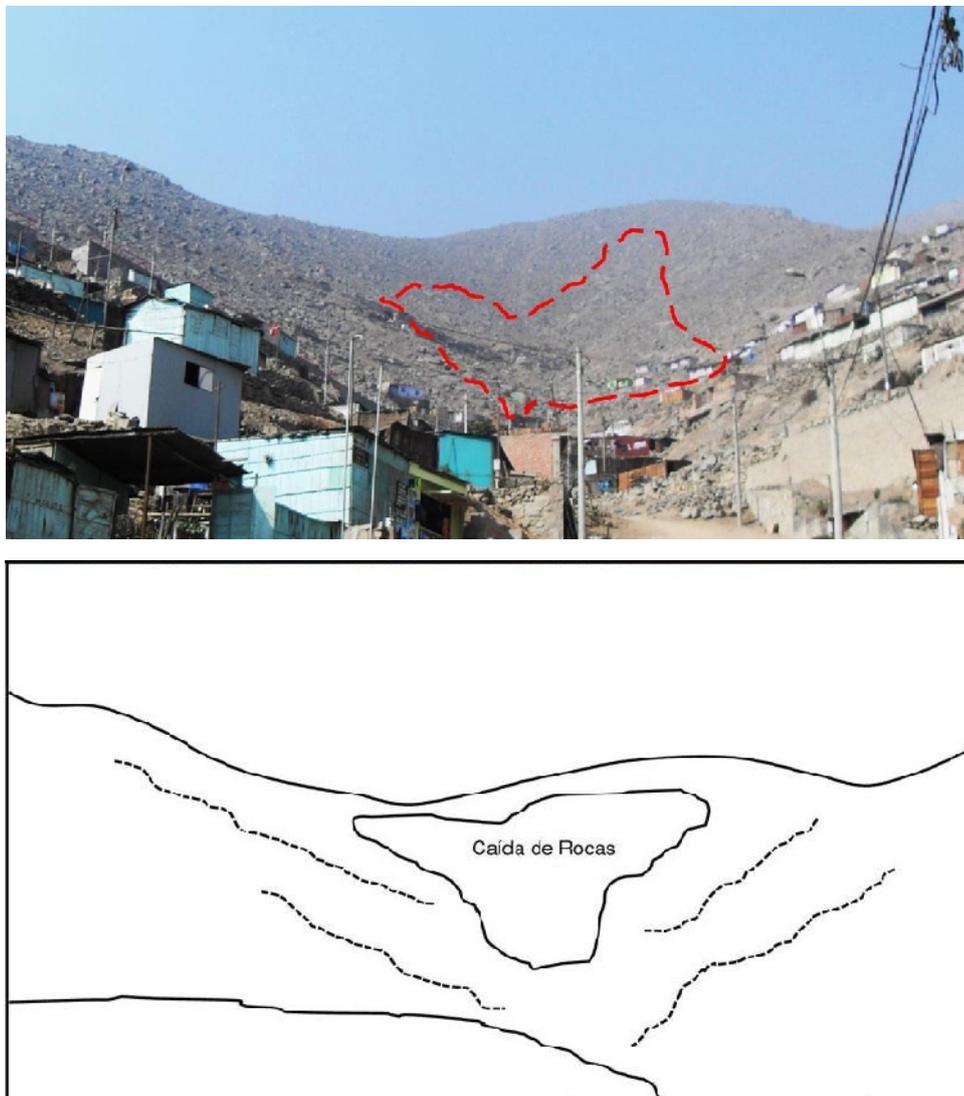


Figura 5.9: La línea segmentada de color rojo muestra caída de rocas de 8” en los alrededores de la Zona H-L.

Del mismo modo en la Figura 5.10 se muestra procesos erosivos, caídas de rocas y áreas inestables del cerro Huaycan, que pueden afectar directamente a las viviendas urbanas o rurales asentadas en los alrededores de la urbanización Luna Pizarro.

El talud tiene una inclinación mayor a 40° , está compuesto de material coluvial y matriz variable, sobre el cual se ha construido viviendas con materiales rústicos, las bases de las viviendas están construidas sobre terraplenes pobremente compactados y/o pircas. Para una mejor visualización se presenta un esquema del evento geodinámico presente en la zona y en él se ve a detalle que el área más inestable se encuentra en la parte baja, aunque el material no es de gran volumen, la influencia es importante y se debe tener en cuenta. Para su ubicación en el mapa ver Figura 5.8.



Figura 5.10: Áreas con caída de rocas ubicadas al pie del cerro Fisgón, urbanización Luna Pizarro – Huaycan.

En la Figura 5.11 se observa que las laderas del cerro Huaycan han sido invadidos por asentamientos humanos que sin prever el riesgo, han construido sus viviendas en zonas inestables y con peligro de caída de rocas. El área crítica se ubica en la Zona Q, muy cerca de la Zona Z donde se tiene gran cantidad de flujo de detritos. Para una mejor visualización se presenta el esquema del evento geodinámico, en el cual se observa un área considerable de caída de rocas que afectaría a gran parte de la zona Q. El talud tiene una elevación de 739 msnm, una inclinación de 30° y está compuesto de material coluvial y matriz variable. Para identificar la zona, ver el mapa de la Figura 5.8.

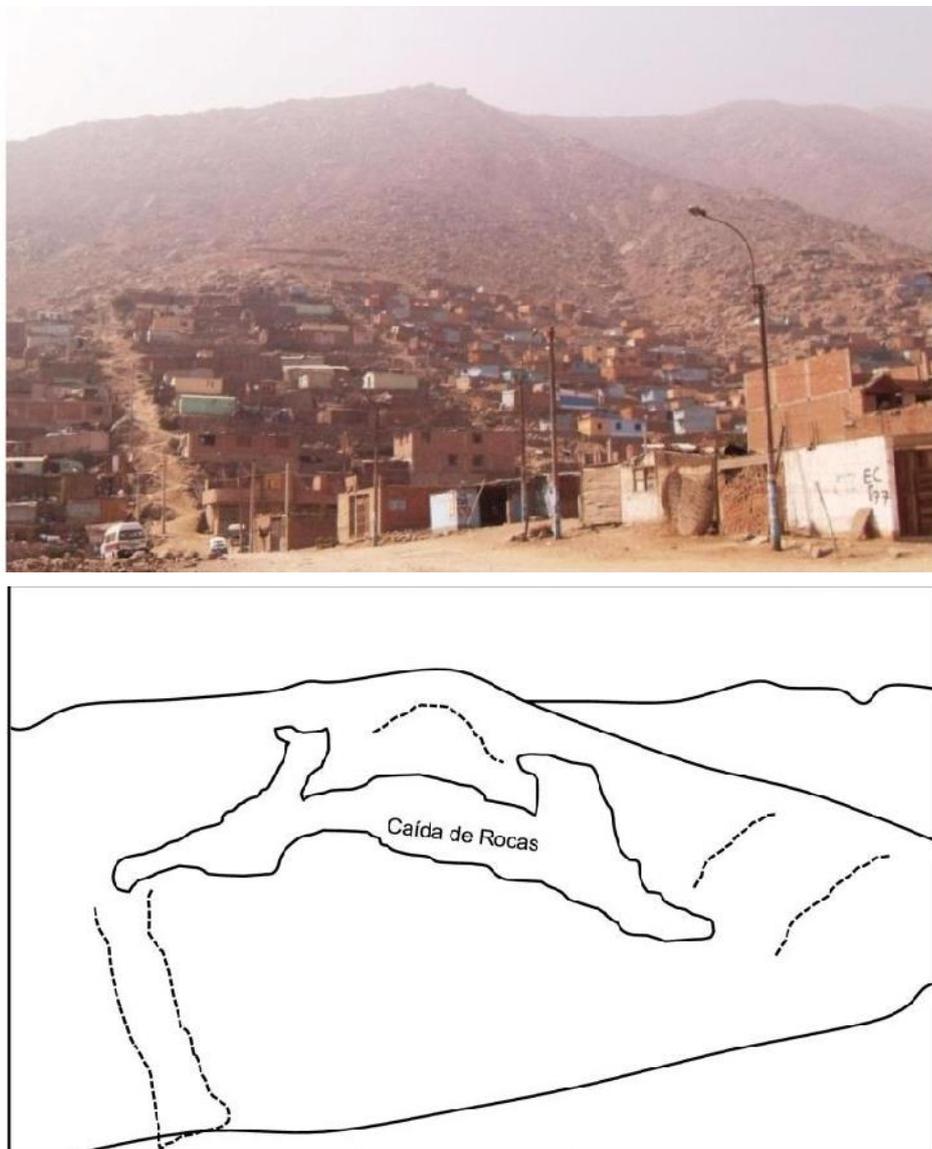


Figura 5.11: Peligro de caída de rocas en la zona “Q” del área urbana de Huaycan.

5.3 Zonas de alto riesgo

La rapidez de los procesos urbanísticos es proporcional a la ocurrencia de deslizamientos, especialmente en áreas susceptibles y con desarrollo desordenado, por actividades como: cortes, rellenos, concentración de aguas de lluvias y/o servidas, etc. El riesgo crece al aumentar los elementos afectables expuestos dentro de una zona de amenaza, entonces al existir mayor población o bienes susceptibles de daño, la vulnerabilidad es mayor y por lo tanto, el riesgo aumenta.

Las principales modificaciones causadas por el hombre y que afectan en forma importante la estabilidad de los taludes son:

a) Cambios en la topografía y cargas del talud

La modificación de la topografía del terreno mediante cortes o rellenos puede producir la activación de un deslizamiento. Un corte en un talud produce varios cambios sustanciales en el estado de la formación residual. La Figura 5.12 muestra los efectos de la modificación de la topografía.

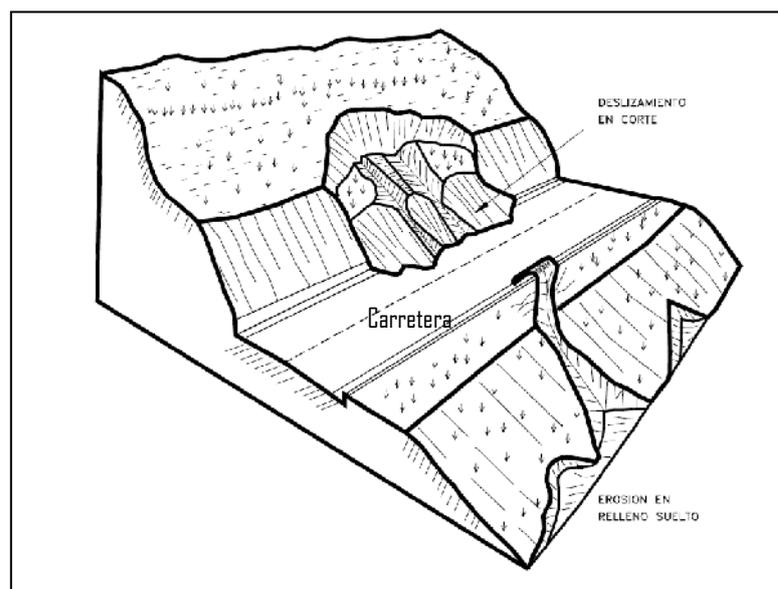


Figura 5.12: Efectos de la modificación de la topografía con la construcción de una carretera (Suarez, 1998).

b) Cambios en las condiciones de humedad

Otros factores importantes son el manejo inadecuado de las corrientes de agua de lluvia o servida recolectadas en el área urbana, la cual puede producir focos de erosión, la infiltración en zanjas no revestidas al igual que la existencia de pozos sépticos o de infiltración, como también pueden afectar la construcción de reservorios o presas. En la Figura 5.13 se puede ver un talud natural y luego el mismo talud fallado debido a los cambios de esfuerzos y a la infiltración de agua.

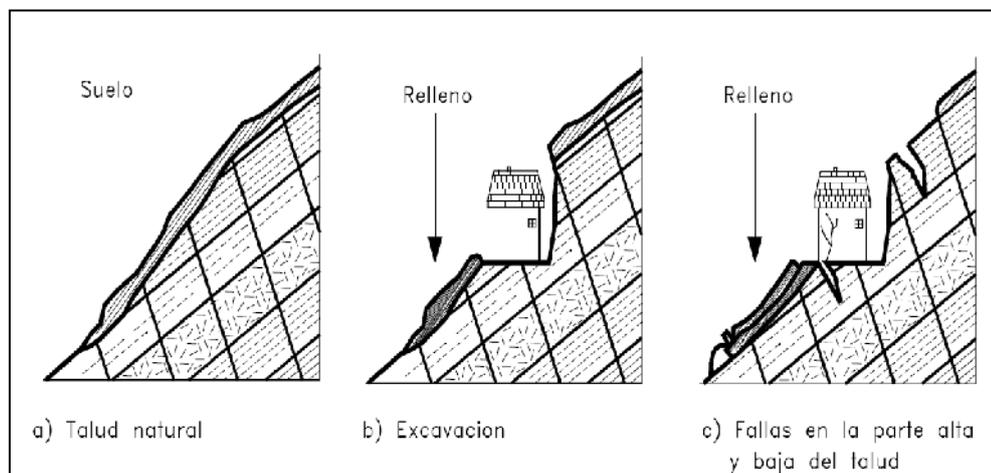


Figura 5.13: Deslizamientos causados por infiltración de agua causada por el hombre (Suarez, 1998).

c) Presencia de Vibraciones, algunas como los producidos por:

Vibraciones de máquinas

Vías de comunicación

Explosivos

Efectos de la construcción de obras (especialmente el movimiento de maquinaria).

d) Cambios en la cobertura vegetal.

En general los cambios de la estructura y condiciones de la capa superficial de suelo por prácticas de agricultura, pastoreo, tala de bosques, etc. también modifican el suelo y la generación de escenarios de riesgo.

- e) Otros factores antrópicos como la negligencia en el manejo de los taludes, cortes, rellenos, etc. también contribuyen en la generación de escenarios de alto riesgo.

La colocación de rellenos, directamente sobre los taludes y generalmente sin compactación o compactados inadecuadamente, permiten la sobrecarga de las laderas y la saturación y colapso de los suelos sueltos, facilitando los escurrimientos de suelo y formación de cárcavas por erosión.

Así mismo los rellenos son menos cementados y su estructura más susceptible a deterioro o colapso por eventos sísmicos. En general al contacto entre el suelo natural y el relleno constituye una superficie de debilidad en la cual se concentran los flujos de agua y se generan agrietamientos por diferencia en las características de deformación y comportamiento sísmico. La mayoría de los deslizamientos en rellenos, ocurre a lo largo del contacto corte – relleno, tal como se muestra en la Figura 5.14.

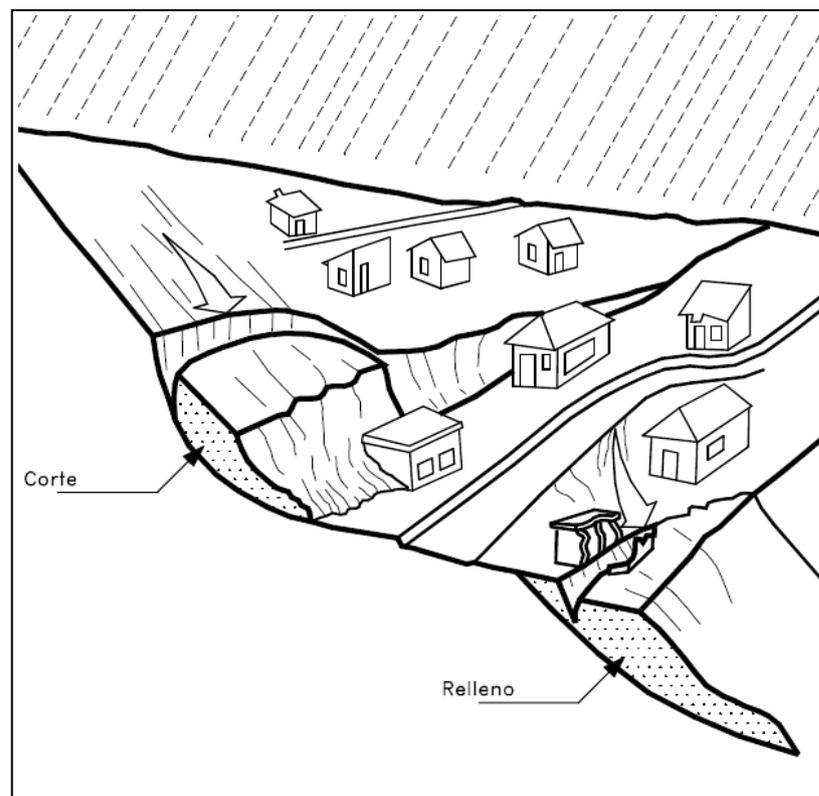


Figura 5.14: Deslizamientos causados por cortes y rellenos hechos en el talud (Suarez, 1998).

En la zona urbana de Huaycan se ha identificado varias de estas actividades (cambios en la topografía, cortes, rellenos, condiciones de humedad, etc.), y todas consideradas como zonas de alto riesgo, principalmente por la presencia de asentamientos humanos que han ocupado áreas susceptibles a diversos eventos geodinámicos y/o modificado de manera negligente los taludes.

En la Figura 5.15 se muestra parte del cerro Huaycan, Asociación de Vivienda El Lúcumo, el cual ha sido cortado para construir acceso a la parte alta y generar mayor área para la construcción de viviendas. Sin embargo, no se realizó ningún tipo de estudios para determinar un ángulo de corte adecuado ni medidas para la estabilización del talud resultante.

Además, se puede observar que las edificaciones construidas (de albañilería como de material rústico), no respetan la distancia mínima con respecto al borde del talud que se indica en el Reglamento Nacional de Edificaciones (1.80 m aproximadamente). Por lo tanto, los habitantes de esta zona se encuentran en alto grado de vulnerabilidad ante la ocurrencia de un evento sísmico.



Norte	Este	Elevación
8672060 m	301152 m	556 m.s.n.m.

Figura 5.15: Asociación de vivienda El Lúcumo, observe las pequeñas rocas que se desprenden producto del corte y del intemperismo.

La Figura 5.16 muestra viviendas en la Zona C, asentadas en las laderas de los cerros con pendientes inestables y áreas de cortes y rellenos. Obsérvese la presencia de viviendas precarias en las laderas, todas construidas en cortes del talud y en forma indebida. Un sismo de gran magnitud afectaría directamente a las viviendas inestables y muchos de los bloques sueltos pueden desprenderse y caer cuesta abajo.



Norte	Este	Elevación
8672136 m	301447 m	571 m.s.n.m.

Figura 5.16: Viviendas asentadas en las laderas de los cerros, todas consideradas como áreas de pendientes inestables y de desmonte en la Zona C.

En la Figura 5.17 se observa las modificaciones topográficas que se han realizado en esta zona, las que producen en ocasiones, movimientos diferenciales y concentración de esfuerzos en la estructura de los conductos que conducen a su rotura; en diversas áreas de la Zona C, parte del cerro han sido cortados para construir sus viviendas, desestabilizando así los taludes y generando más zonas con riesgo de desastres.



Norte	Este	Elevación
8672210 m	301531 m	592 m.s.n.m.

Figura 5.17: Las modificaciones topográficas en la Zona C.

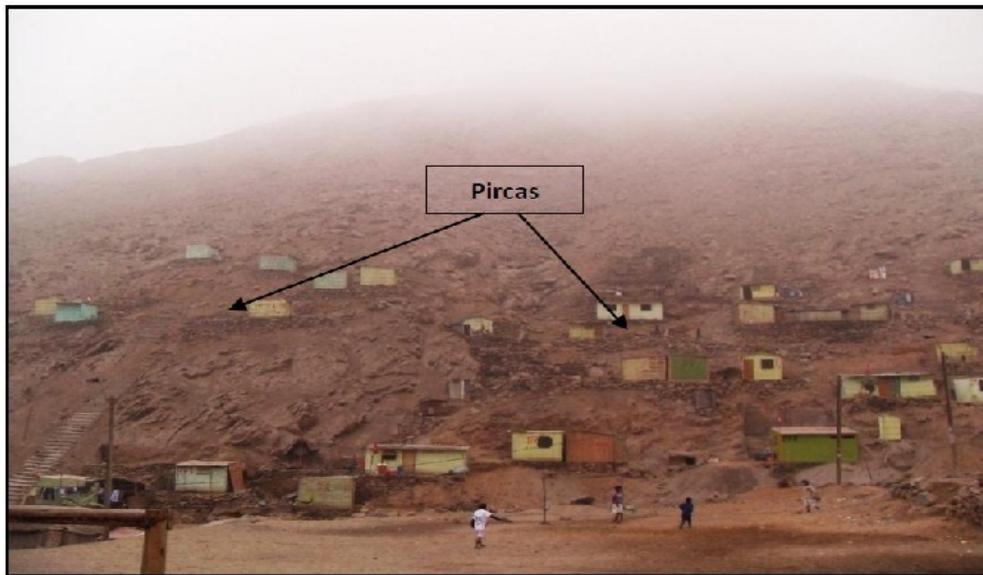
En la Figura 5.18 se muestra parte de la Zona C y salta a la vista la desorganización en cuanto a la utilización del terreno, lo cual se traduce en el inadecuado tratamiento del suelo de cimentación, pobres técnicas constructivas y emplazamiento en los bordes de taludes sin ningún tipo de medida de estabilización.



Norte	Este	Elevación
8672070 m	301820 m	614 m.s.n.m.

Figura 5.18: Casas de material rústico asentadas en las laderas de los cerros ubicados en la Zona “C”.

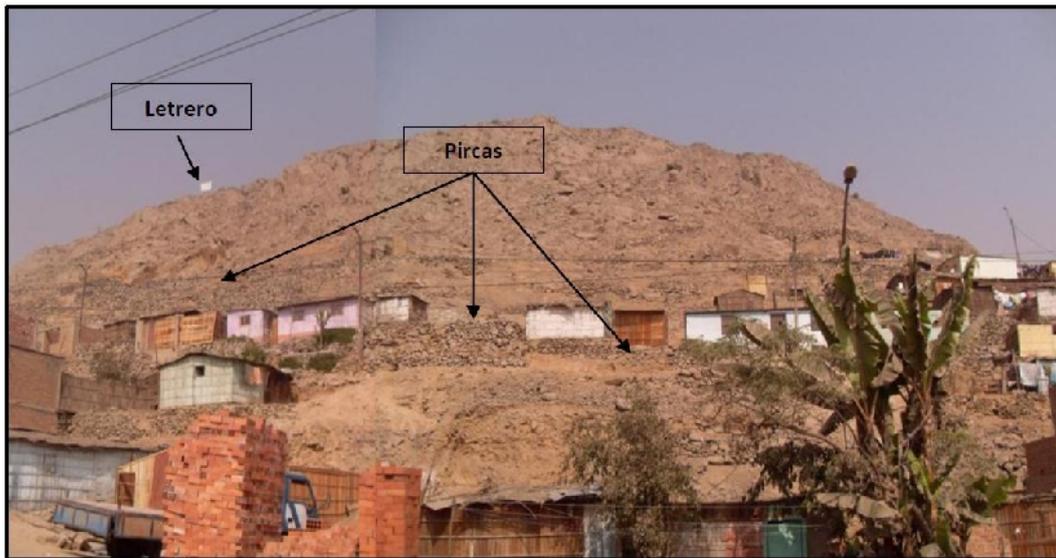
En la Figura 5.19 se muestra una fracción de la Zona Z, en la cual se observa que la gran mayoría de viviendas se construyen sobre pircas, las cuales son una opción que se utiliza para proveer una superficie uniforme sobre la cual construir. Pero, esta tecnología constructiva no es adecuada debido a su falta de confinamiento lateral y su pobre desempeño como estructura de cimentación (no distribuye uniformemente las cargas hacia el terreno), lo cual genera riesgos de volcamiento en caso de un evento sísmico.



Norte	Este	Elevación
8671850 m	302434 m	679 m.s.n.m.

Figura 5.19: En la Zona Z se puede observar viviendas construidas sobre pircas y/o rocas sin cementar.

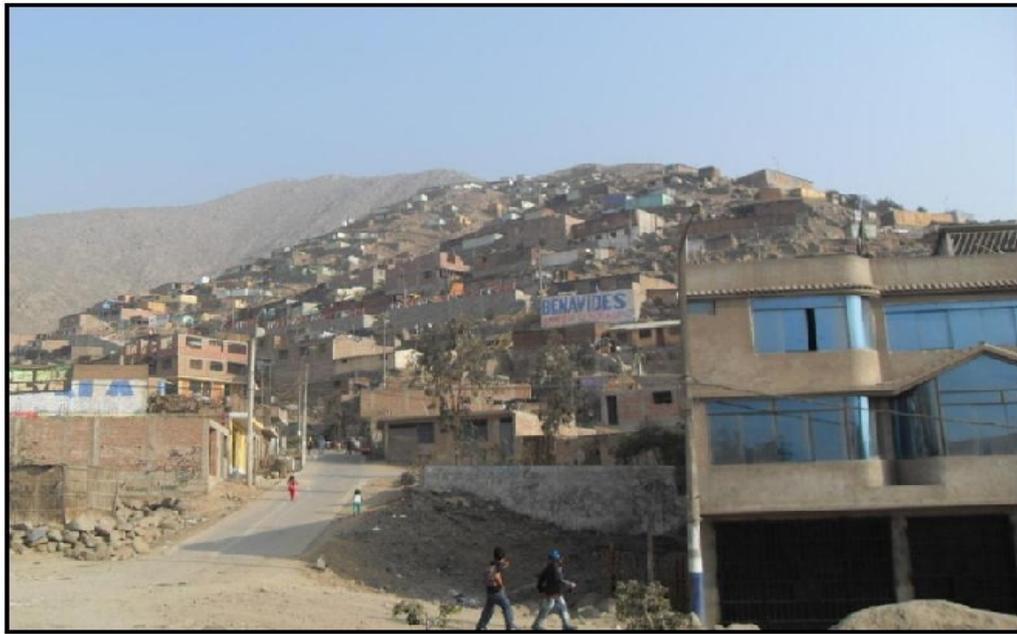
En la Figura 5.20 se muestra parte de la Zona Q donde, a diferencia de la figura anterior, se puede apreciar mejor distribución de viviendas; es decir siguen una configuración horizontal dependiendo de la cota. Sin embargo, las viviendas siguen apoyándose sobre pircas y no se visualizan esfuerzos para estabilizar los taludes de corte por debajo de dichas viviendas. Si se añaden los efectos de erosión e intemperismo de la zona, se puede estimar que la vulnerabilidad de esta zona urbana es alta.



Norte	Este	Elevación
8671302 m	302735 m	709 m.s.n.m.

Figura 5.20: Pircas contruidos a base de rocas sin cementar en la Zona “Q”.

La Figura 5.21 muestra parte de la Zona M, donde existen estructuras de concreto y albañilería de hasta 3 pisos. A pesar de la mayor calidad de los materiales usados para su construcción, la vulnerabilidad en viviendas sigue siendo alta debido a que la gran mayoría fue autoconstruida, por lo que es lógico suponer que no se realizó ninguna clase de estudios para el diseño y construcción de las cimentaciones. Factores como la capacidad portante del suelo, asentamientos a corto y largo plazo, existencia de suelos especiales y fenómenos inducidos por sismos (licuación y amplificación), pueden generar escenarios de riesgo si no son tomados en cuenta. (Véase las fichas de cada Zona en el Anexo 2).



Norte	Este	Elevación
8670107 m	303025 m	770 m.s.n.m.

Figura 5.21: Construcciones de material noble en la Zona M.

Discusión:

Los deslizamientos en áreas urbanas son desencadenados por elementos propios del proceso de urbanización y el manejo inapropiado del ambiente. Los casos más graves ocurren en áreas geotécnicamente susceptibles y con desarrollo urbano rápido y desordenado. Las diversas intervenciones del hombre en actividades de corte, relleno, deforestación, concentración de aguas de lluvias y servidas, etc., aceleran en buena cantidad la ocurrencia de deslizamientos.

El proceso de ocupación desordenada de áreas urbanas tiene importancia directa sobre la ocurrencia de deslizamientos. En Brasil, Amaral (1996) realizó y demostró estadísticamente que existe una relación directa entre el número de deslizamientos y la localización de asentamientos humanos desordenados (favelas), cerca del 60% de los deslizamientos afectan asentamientos desordenados, asociados con los cortes indiscriminados, rellenos sobre laderas de alta pendiente y lluvias.

La Figura 5.22 muestra la ubicación del total de los eventos geodinámicos identificados en la zona urbana de Huaycan, áreas de caída de rocas y flujos de detritos, siendo las más críticas las Zonas Z, la urbanización Horacio Zevallos, la Zona N y C, debido que afectaría a la mayor cantidad de población. Además, gran parte de estas áreas están emplazadas sobre cauces existentes de flujos de detritos y sobre terraplenes pobremente compactados y en donde la susceptibilidad es cada día mayor; así mismo, muchas viviendas están ubicadas en laderas de quebradas. A esto se le puede sumar el hecho que en las partes altas se extraen materiales de construcción lo cual debilita el macizo rocoso y aumenta así el riesgo en caso de un evento sísmico.

Las Zonas M, X, T, D y U también son escenarios vulnerables al riesgo de desastres ya que las viviendas están ubicadas en laderas de cerros y debajo de zonas con pendientes pronunciadas (inclinaciones mayores a 40° en promedio), especialmente para caída de rocas y el flujo de detritos.

En el mapa de la Figura 5.22 se observa que el mayor porcentaje de zonas de alto riesgo (!), se encuentran en las mismas zonas en las cuales se identificó la presencia de flujos de detritos y caída de rocas; por lo tanto, esas áreas tienen gran potencial de desastre en caso de un evento sísmico o lluvias excepcionales.

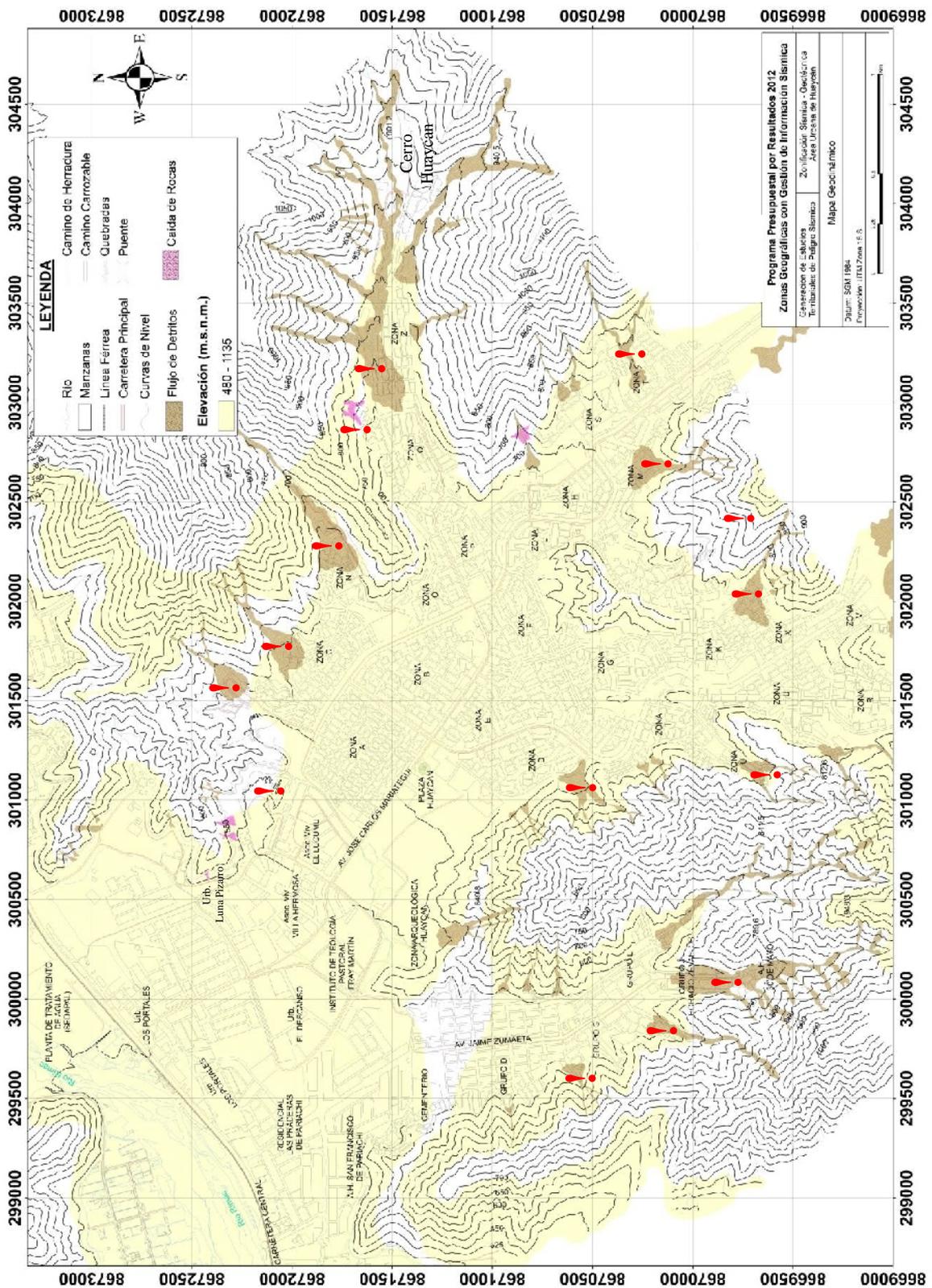


Figura 5.22: Mapa geodinámico para la zona urbana de Huaycan. Véase flujo de detritos (coloración café), caída de rocas (coloración rosada) y zonas de alto riesgo (!).

CAPITULO VI

CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

6.1. Características geológicas y geomorfológicas

Para los estudios geológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geotécnicos, se ha hecho uso de la base topográfica digital a escala 1/5,000 adquiridos del Instituto Geográfico Militar (IGN). Del mismo modo, para las coberturas temáticas se ha 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 6.1. A partir de este modelo digital se ha generado rangos de pendientes muy variables, información básica para evaluar el efecto local en el movimiento del suelo.

6.1.1 Geología local

Según el Cuadrángulo Geológico de Chosica Boletín N°43 – Hoja: 25-j a escala 1/100,000 (INGEMMET), la zona de estudio se emplaza sobre el Volcánico Quilmaná constituido por derrames andesíticos e intruidas por afloramientos ígneos del grupo Santa Rosa constituidos por cuerpos tonalíticos-granodioríticos del Cretáceo Superior de gran extensión dentro del Batolito de la Costa.

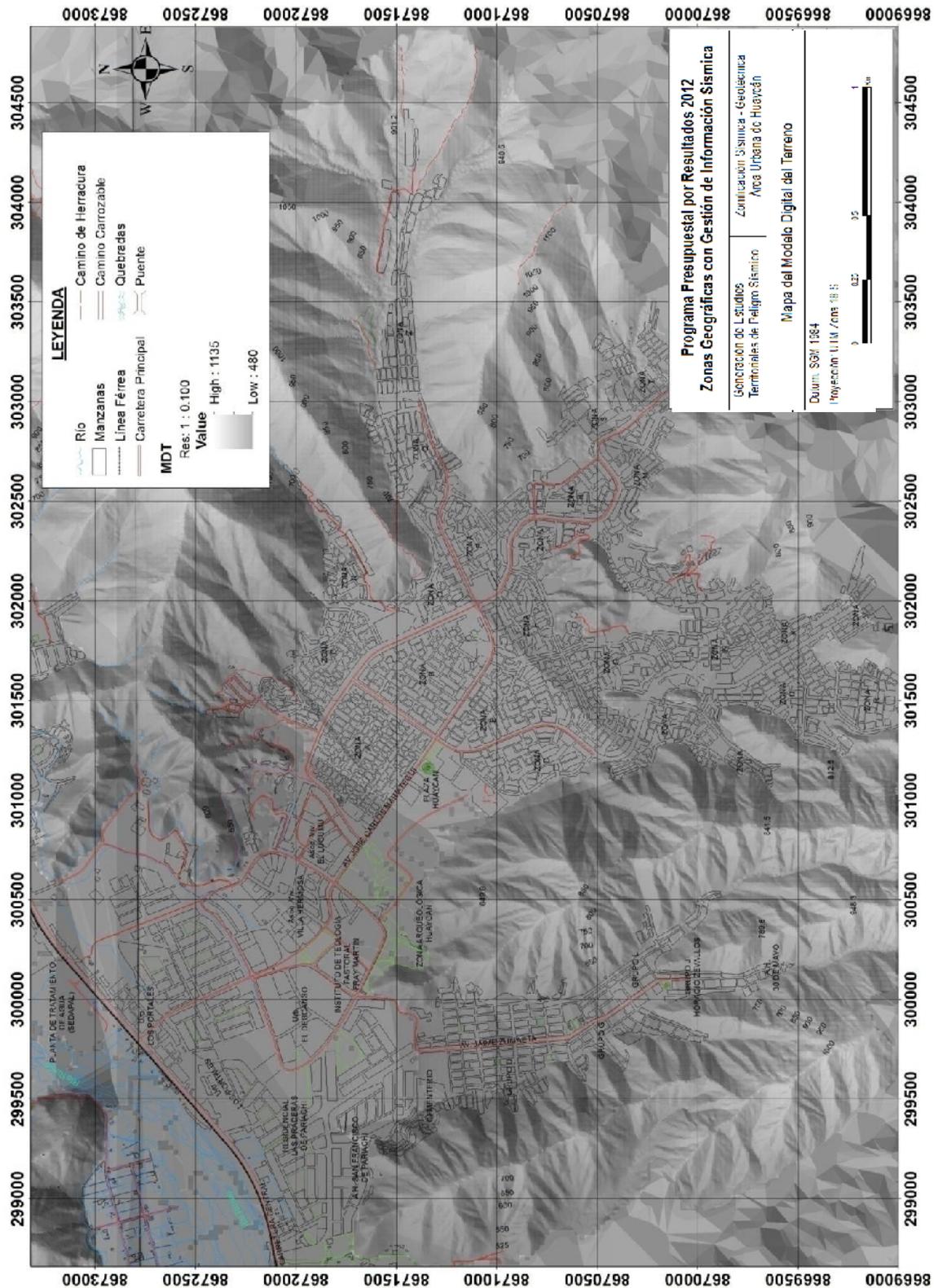


Figura 6.1: Modelo digital del terreno para la zona urbana de Huaycan.

Estos cuerpos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales del Cuaternario Pleistoceno (Qp-al) y al Cuaternario Reciente (Qr-al), ver Figura 6.2. 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 se describe en la Tabla 7.

Tabla 7: Columna litoestratigráfica de la zona urbana de Huaycan

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

Unidades Estratigráficas

a) Grupo Casma

En el área de Lima, el grupo Casma también ha sido dividido en unidades litoestratigráficas definidas por una secuencia volcánico-sedimentaria en la parte inferior y en la parte superior netamente volcánicas. Así al norte del valle del Chillón, sector del borde occidental andino sobre la formación Atocongo se ha diferenciado la unidad volcánico-clástica denominada formación Huarangal, mientras que al sur (sector costanero del cuadrángulo de Lurín) se reconoce como su equivalencia a la formación Chilca, sobreyaciendo concordantemente una serie volcánica masiva que se conoce como Volcánico Quimaná prolongándose estas unidades a la hoja de Chosica.

Volcánico Quilmaná: Litológicamente constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados de textura porfirítica, destacando los fenos de plagioclasas en una pasta fina o microclina de coloración gris a gris verdosa, se encuentran en el extremo Oeste del área de estudio (sector de Horacio Zevallos).

b) Rocas Intrusivas

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

Tonalitas-dioritas (Santa Rosa oscuro): Estos cuerpos se presentan constituyendo la parte central de esta súper familia, con un marcado color oscuro. Constituyen el pluton principal en los cerros que bordean Manchay, La Molina y el valle del río Rímac desde Vitarte hasta Chosica, siendo intruida por la subunidad Santa Rosa claro, las rocas presentan en muestra en mano un color gris oscuro, textura holocristalina de grano medio variado a grueso y destacando las plagioclasas dentro de una masa oscura.

Tonalitas-Granodioritas (Santa Rosa claro): Se caracterizan por su marcada coloración gris clara de grano medio. Ambas sub unidades presentan el mismo emplazamiento, composición química y textural. La sub unidad Santa Rosa claro presenta mayor compacidad y resistencia que la sub unidad Santa Rosa oscuro por el contenido de cuarzo. Se presentan en todo el extremo este del área de estudio.

c) Depósitos Cuaternarios:

Estos depósitos en forma de terrazas están constituidos por materiales acarreados por los ríos y otros con material detrítico que provienen de las quebradas, estando actualmente ubicados al borde de los cerros. Estos depósitos tienen un área extensa en superficie y presentan diferencias en composición y espesor propios del origen y la magnitud del transporte del evento.

Entre estos depósitos se tiene a los Aluviales del Cuaternario, tanto de la serie Reciente en el valle del río Rímac, como de la serie Pleistocena que han sido depositados en las partes altas y bajas de las quebradas. Estos depósitos están constituidos por cantos rodados y gravas heterométricas, con matriz areno- limoso que ocupa el cauce actual del río Rímac. Todos estos materiales se encuentran intercalados formando paquetes de diferentes grosores, presentes en terrazas y antiguos conos eyectivos.

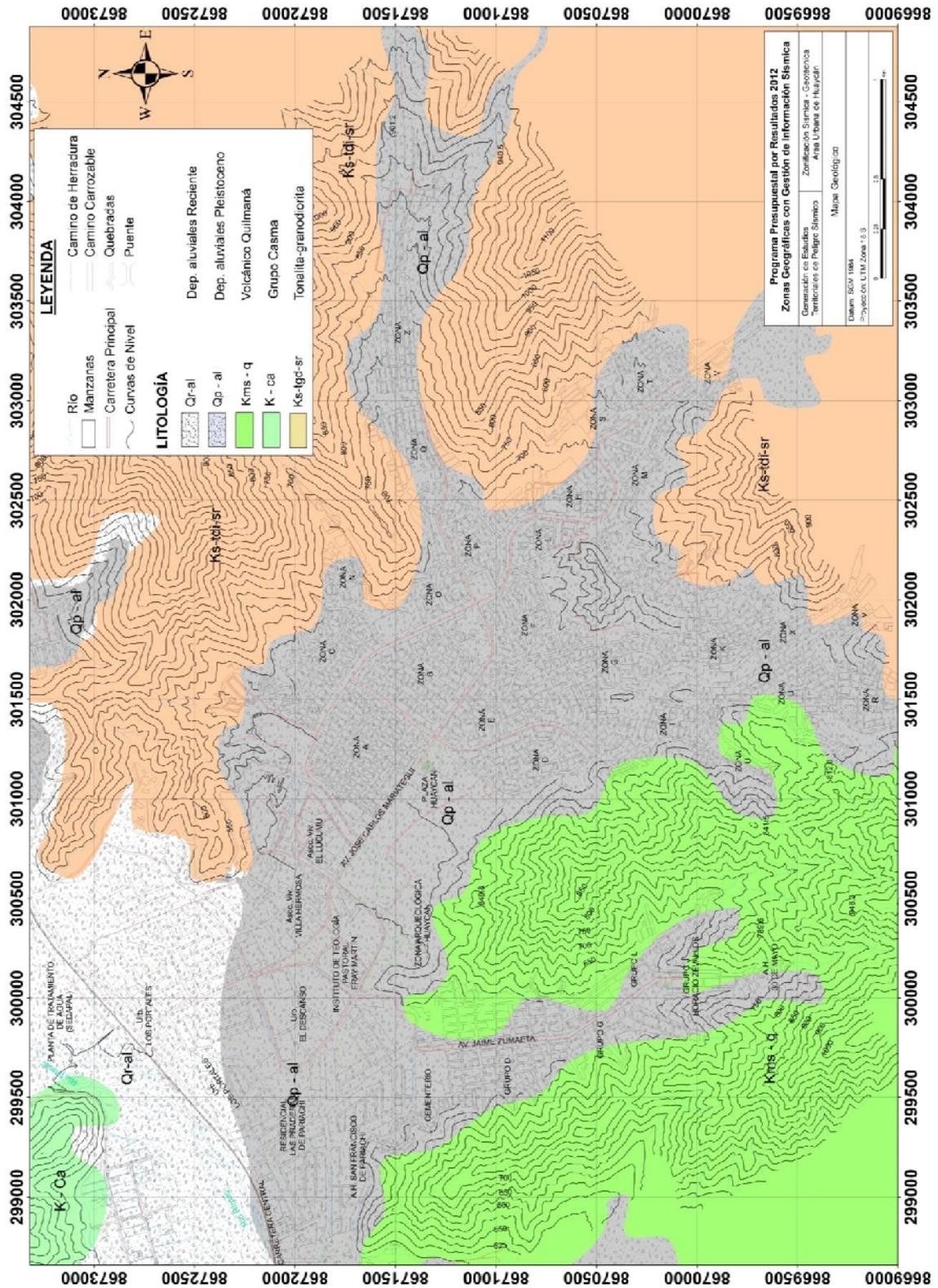


Figura 6.2: Mapa geológico para la zona urbana de Huaycan

6.1.2. Tectónica

El área de estudio se enmarca dentro del cuadro morfotectónico de la costa y del borde occidental andino, habiendo sido afectado por una tectónica polifásica desarrollada durante la orogénesis andina y que dio lugar a una deformación con plegamientos acompañados de ruptura.

La evolución tectónica del área de Lima tiene episodios que datan desde el cretáceo hasta probablemente el cuaternario. La fase intracretacea es la primera manifestación tectónica desarrollada con posterioridad a la disposición en la pila sedimentaria marina, habiéndose tenido durante el cretáceo inferior movimientos precursores oscilatorios en la cuenca, antes de llegar al levantamiento general de la región como parte de una fase tectónica de compresión, con sus ejes de acortamiento en dirección NE-SO.

El anticlinal de Lima es la estructura más importante de la zona y contemporáneo a este plegamiento, se observa la presencia de fallamientos longitudinales. Durante el cuaternario, por lo menos en el pleistoceno, ocurrieron levantamientos concomitantes con la epirogenia andina, de allí que es posible trazar terrazas fluviales levantadas de hasta 30 a 40 m. En la costa no hay evidencia directa ni visual del movimiento; sin embargo, según Tevez (1973) es probable un hundimiento subsidente al NE de Lima debido al peso de los materiales que acarrea el río Rímac. Así mismo se reporta el hallazgo de niveles marinos escalonados hasta una altura de 40 m. en la isla San Lorenzo, lo que estaría indicando la existencia de una falla geológica entre el Callao y la isla San Lorenzo; sin embargo no pasa de ser una hipótesis que requiere ser investigada.

6.1.3. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en la zona de estudio son el resultado del modelado geológico causado por eventos tectónicos y procesos de geodinámica superficial. En este estudio se utilizó la base de datos provenientes del mapa geológico publicado por el INGEMMET (1992).

En general, el relieve del área presenta la forma típica en “V” propia de cauces de ríos y un fondo angosto limitado por cadenas montañosas de moderada a fuerte pendiente, ver Figura 6.3.

En la zona de Huaycan se ha identificado la existencia de 4 unidades geomorfológicas relacionadas en el modelo de elevación digital (MDE) que fue construido utilizando el software SIG y cuyo detalle se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Rangos de pendientes identificados en la zona urbana de Huaycan

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°

Quebradas: Comprenden las quebradas ubicadas en la margen izquierda del valle del río Rímac en las Zonas U, X, M, S, T, V, Q, N y Z, entre las cotas 480 y 850 m.s.n.m. Estas quebradas permanecen secas la mayor parte del año (Mayo- Diciembre), transcurriendo agua solo en época de fuertes precipitaciones y especialmente asociados al fenómeno del niño. Presentan un clima seco y sus cauces o depresiones favorecen la acumulación de detritos y materiales de poco transporte (depósitos coluviales), provenientes de las estribaciones de la Cordillera Occidental, presentan una pendiente mayor a 20°.

Terrazas: Pertenecientes del Holoceno Reciente al Pleistoceno y que se han formado por acumulaciones de depósitos aluviales de corrientes relativamente antiguas, quedado en posiciones topográficas superiores por las deformaciones tectónicas recientes, que las han elevado con pliegues de amplio radio de curvatura. En detalle, la topografía de estas terrazas tiene ondulaciones y disecciones que afectan la superficie con pendientes máximas de 15° como rango dominante. Estas planicies, actualmente están siendo ocupadas por urbanizaciones y diversos asentamientos humanos.

Colinas: Son parte de estas unidades los cerros de poca elevación, no sobrepasan los 100 metros de altura, y se encuentran separando a las laderas de pendientes medias. Su morfología es ondulada, poco agreste y con taludes que no sobrepasan los 25°. Presentan una topografía subordinada a la litología de las unidades geológicas. Por ejemplo, cuando se trata de rocas intrusivas el relieve es abrupto y está formado por lutitas o limolitas de formas redondeadas, y cuando se trata de rocas volcánicas su pendiente es empinada, estas unidades se encuentran en la zona F.

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

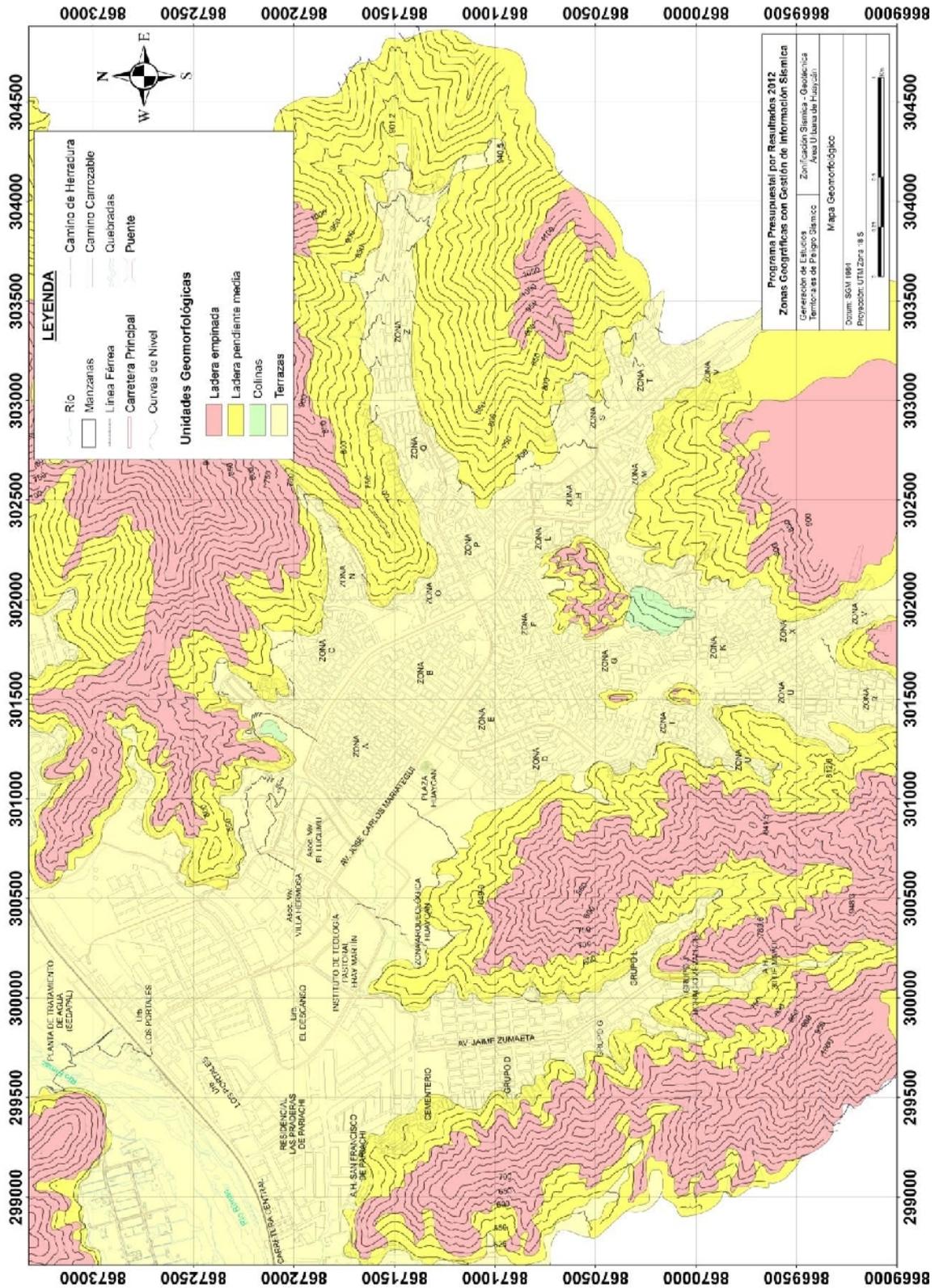


Figura 6.3: Mapa geomorfológico para la zona urbana de Huaycan.

6.2. Análisis geotécnico

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). Estos estudios hacen uso de técnicas de campo y análisis de laboratorio con la finalidad de analizar y cuantificar las características físicas y mecánicas del subsuelo.

6.2.1. Calicatas

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. Para el estudio de los suelos de Huaycan se construyeron 15 calicatas, cuya distribución espacial se muestra en la Figura 6.4, y sus coordenadas y elevación en la Tabla 9. La distribución se realizó en base a la geomorfología y la exploración sísmica evaluada para la zona.

Tabla 9: Coordenadas UTM de las 15 calicatas construidas en la zona urbana de Huaycan

CALICATAS	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACION (m.s.n.m)
C-01	8670076	300379	677
C-02	8671042	299869	560
C-03	8672012	299117	505
C-04	8672224	300096	519
C-05	8672962	300333	530
C-06	8672036	300493	540
C-07	8671713	301437	577
C-08	8671854	302432	675
C-09	8670810	301562	627
C-10	8669924	301613	690
C-11	8669150	301507	787
C-12	8670448	302261	691
C-13	8670172	302953	753
C-14	8671270	302195	396
C-15	8671460	303488	733

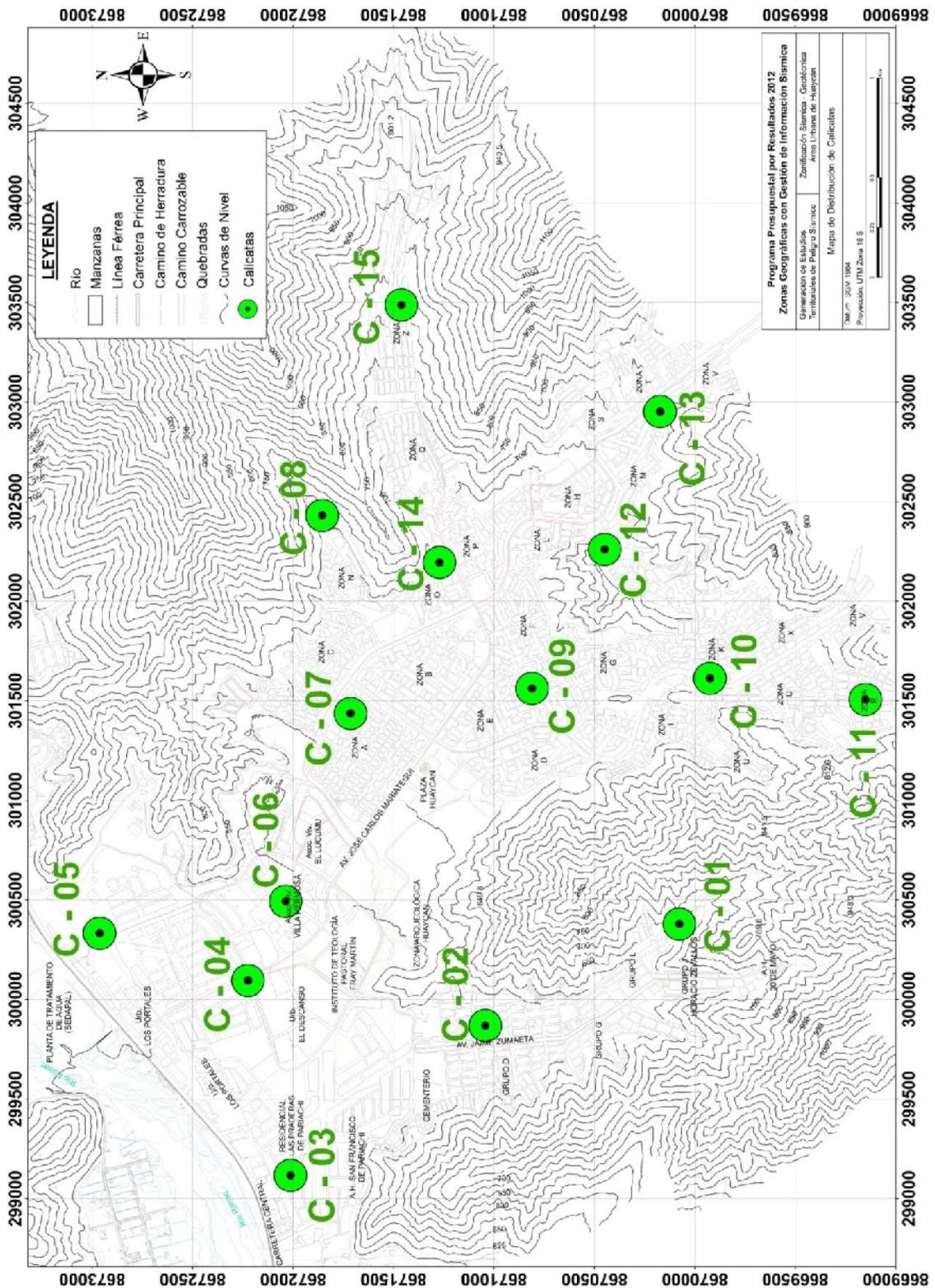


Figura 6.4: Distribución espacial de las 15 calicatas construidas en la zona urbana de Huaycan

Los análisis de laboratorio estuvieron a cargo del laboratorio de geotecnia de la Universidad Agraria La Molina, este permitió identificar las características de los suelos y su capacidad portante.

En campo se obtienen dos muestras de cada calicata, con la primera muestra se hicieron los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad, y con ello se procedió a realizar la clasificación de los suelos haciendo uso del Código SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) siendo esta, 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, Tabla 10:

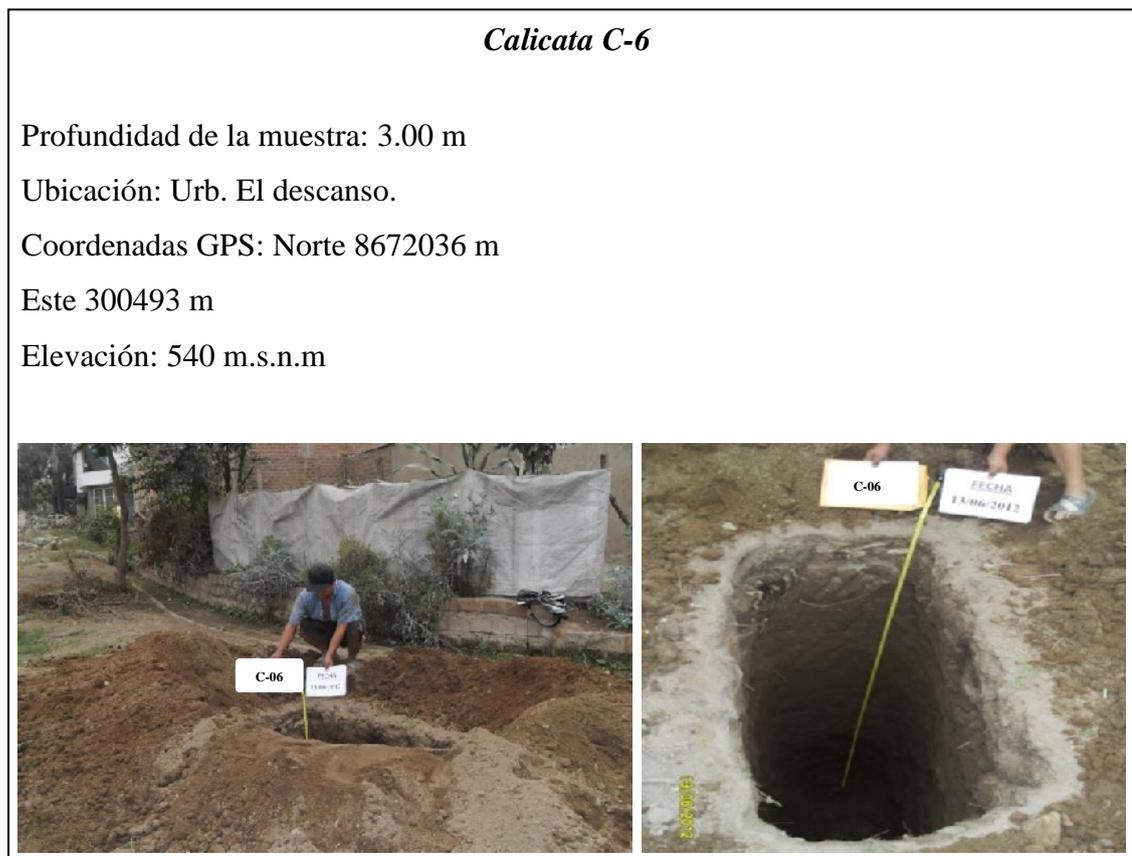
Tabla 10: Prefijos de los principales tipos de suelos.

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.

La auscultación de las calicatas y el análisis de laboratorio pretende identificar los espesores de cada estrato y su composición geológica, esta información es importante para lograr una mejor correlación con la información geofísica que será detallada en los capítulos siguientes.

En la Figura 6.5 se muestra un ejemplo de la recolección de datos y resultados del análisis de las calicatas.



a)

Ubicación: Distrito de Ate - Lima

Coordenadas:

Norte 8672036 m

Este 300493 m

Elevación: 540 m.s.n.m.

Calicata: C-6

Profundidad: 3.00 m

Nivel freático: N.P.

PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACION (SUCS)
0.20		Relleno de arcilla con desechos y materia orgánica con presencia de gravas y raíces.		
0.40				
0.60		Arcna gruesa limosa con gravas sub angulosas en 4%, Medianamente compacta. Color marrón.	M-06	SP con grava
0.80				
1.00				
1.20				
1.40				
1.60				
1.80				
2.00				
2.20				
2.40				
2.60				
2.80				
3.00				

b)

Figura 6.5: Ejemplo del procedimiento para la recolección de datos en campo; a) calicata ubicada en la urbanización El Descanso, b) descripción geológica de las calicatas en función de la profundidad.

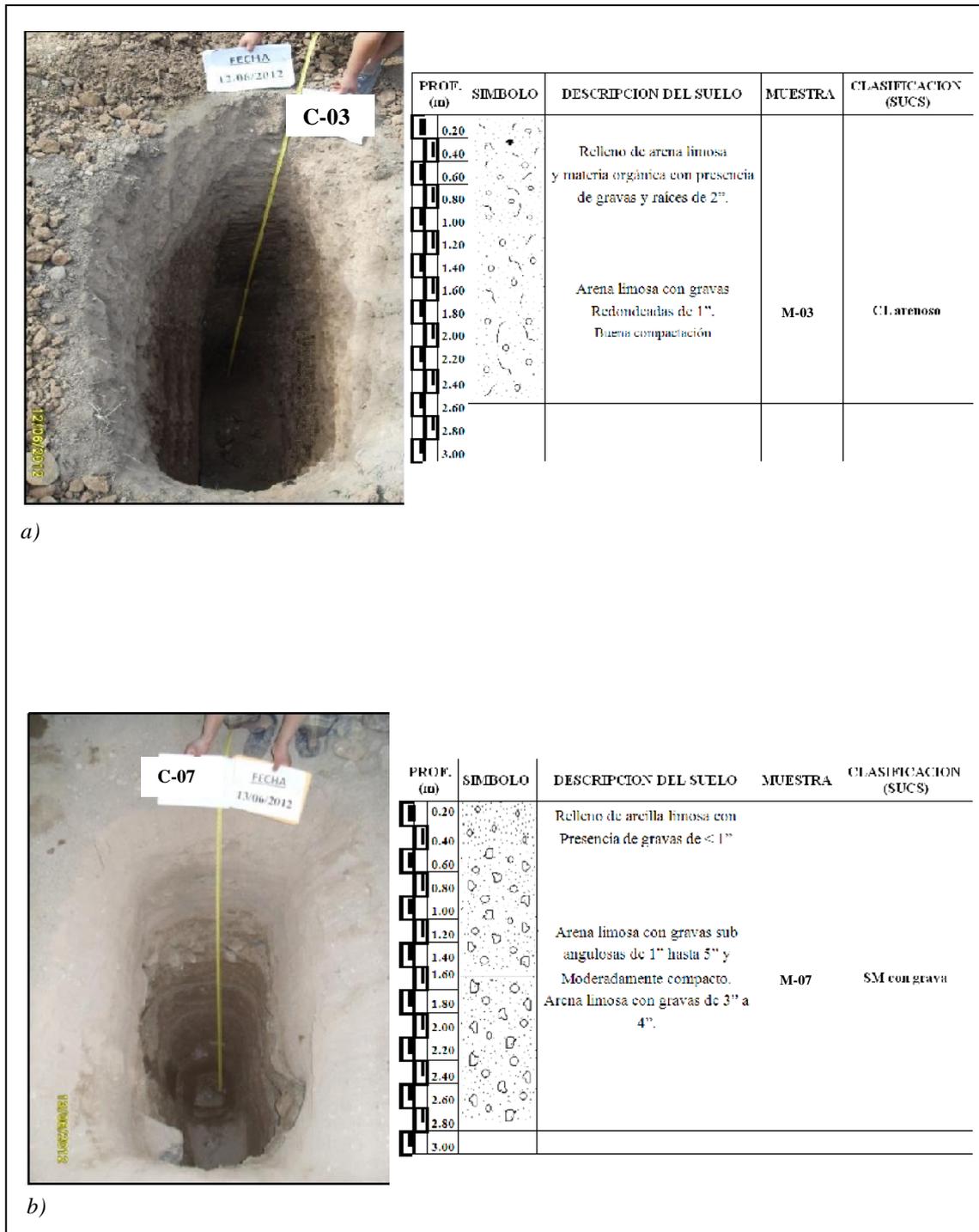


Figura 6.5: // Continuación... Ejemplo del procedimiento para la recolección de datos; descripción geológica para calicatas ubicadas en: a) Parque el triángulo - Las Praderas de Pariachi tercera etapa a 300 m de la carretera central. b) Zona destinada para un parque ubicado en la zona A.

6.2.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

El total de la información analizada permitió identificar en Huaycan, de acuerdo a la clasificación SUCS la presencia de hasta 9 tipos de suelos cuyas características se describen en la Tabla 11 y se presentan en la Figura 6.6:

- Suelos GW-GM: corresponden a gravas gradada adecuadamente con finos y gravas angulosas a sub angulosas. El contenido de humedad es de 3.43 %, no presenta plasticidad y se encuentran en la residencial las Praderas de Pariachi tercera etapa y en la Zona F, Zona E y Zona D.
- Suelos tipo GP-GM: corresponden a gravas arenosas mal gradadas con finos limosos y arcillosos, gravas angulosas a sub angulosas. El contenido de humedad es de 2.52 %, no presenta plasticidad y se encuentran en los grupos A, B, C, D, E Y F de Horacio Zevallos y parte de la Villa Tusan.
- Suelos tipo GC: corresponden a gravas arenosas gradada adecuadamente con arcillas y con rocas sub angulosas. El contenido de humedad es de 2.76 %, presenta plasticidad de 17.10% y se encuentra en la Residencial Las Praderas de Pariachi segunda etapa (Entrada principal a Huaycan), Urb. Los Portales, El Descanso, la Plaza de Huaycan, y la Zona B.
- Suelos tipo GM: corresponden a gravas medias compactas con matriz arenosa y pocos limos mal gradados y gravas sub angulosas. El contenido de humedad es de 1.27% y 1.65%, no presenta plasticidad y se encuentran en los grupos G, H, I, J, K Y L de Horacio Zevallos y en las Zonas I, K, U.
- Suelos tipo SW: corresponden a arenas bien gradadas con pocos finos y gravas redondeadas a sub redondeadas. El contenido de humedad es de 1.00%, no presenta plasticidad y se encuentran en parte de la Zona U, X, parte de la Urb Los Portales y en Las Praderas de Pariachi primera etapa.

- Suelos SW-SM: corresponden a arenas gradadas adecuadamente con gravas angulosas a sub angulosas y presenta mala compactación. El contenido de humedad es de 1.51%, no presenta plasticidad y se encuentra en la Zona V, C y N.
- Suelos tipo SP: corresponden a arenas pobremente gradadas con poco finos y con gravas sub angulosas. El contenido de humedad es de 3.36% y 6.75%, no presenta plasticidad y se encuentran en la Asoc. El Lúcumo, Villa Hermosa y la Zona M, S y T.
- Suelos tipo SM: corresponden a arenas medias a finas pobremente gradadas con gravas sub-angulosas y redondeadas. El contenido de humedad varía de 1.79% a 6.60%, no presentan plasticidad y se encuentran en la Zona A, O, P, Q, R y Z.
- Suelos tipo CL: corresponden a arcillas inorgánicas con gravas redondeadas y bien compactas. El contenido de humedad es de 8.96%, presentan plasticidad de 7.97% y se encuentran en el parque Las Praderas de Pariachi tercera etapa (Entrada a Horacio Zevallos).

Tabla 11: Clasificación de suelos SUCS para la zona urbana de Huaycan

CALICATA	Prof. (m)	Grav (>4.76mm)	Arena (>0.0074mm, <4.76mm)	Finos (<0.074mm)	Uniformidad	Curvatura	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Contenido de Humedad (%)	Clasificación SUCS	Denominación
C-01	2.40	58.0	28.0	14.0	-	-	NT	NP	1.27	GM con arena	Grava con finos mal Gradada
C-02	2.80	47.0	45.0	8.0	51.21	0.59	NT	NP	2.52	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-03	2.50	13.0	33.0	54.0	-	-	29.38	21.41	8.96	CL arenoso	Arcillas inorgánicas
C-04	2.40	51.0	22.0	27.0	-	-	37.41	20.31	2.76	GC con arena	Grava reg. Gradada con arcilla
C-05	2.50	49.0	50.0	1.0	22.70	2.78	NT	NP	1.00	SW con grava	Arena bien Gradada
C-06	3.00	15.0	84.0	1.0	11.48	0.47	NT	NP	6.75	SP con grava	Arena pob. Gradada
C-07	2.80	18.0	67.0	15.0	-	-	NT	NP	3.95	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-08	2.20	41.0	47.0	12.0	82.35	1.36	NT	NP	1.51	SW-SM con grava	Arena reg. Gradad con gravas
C-09	2.90	58.0	34.0	8.0	102.27	2.93	NT	NP	3.43	GW-GM con arena	Grava reg. Gradad con finos
C-10	2.10	54.0	32.0	14.0	-	-	NT	NP	1.65	GM con arena	Grava mal Gradad con finos
C-11	2.00	34.0	46.0	20.0	-	-	NT	NP	3.39	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-12	2.80	38.0	46.0	16.0	-	-	NT	NP	6.60	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-13	2.20	33.0	63.0	4.0	22.65	0.53	NT	NP	3.36	SP con grava	Arena pob. Gradada
C-14	2.50	0.0	66.0	34.0	-	-	NT	NP	3.61	SM	Arena limosa
C-15	2.10	26.0	58.0	16.0	-	-	NT	NP	1.79	SM con grava	Arena limosa mal Gradada

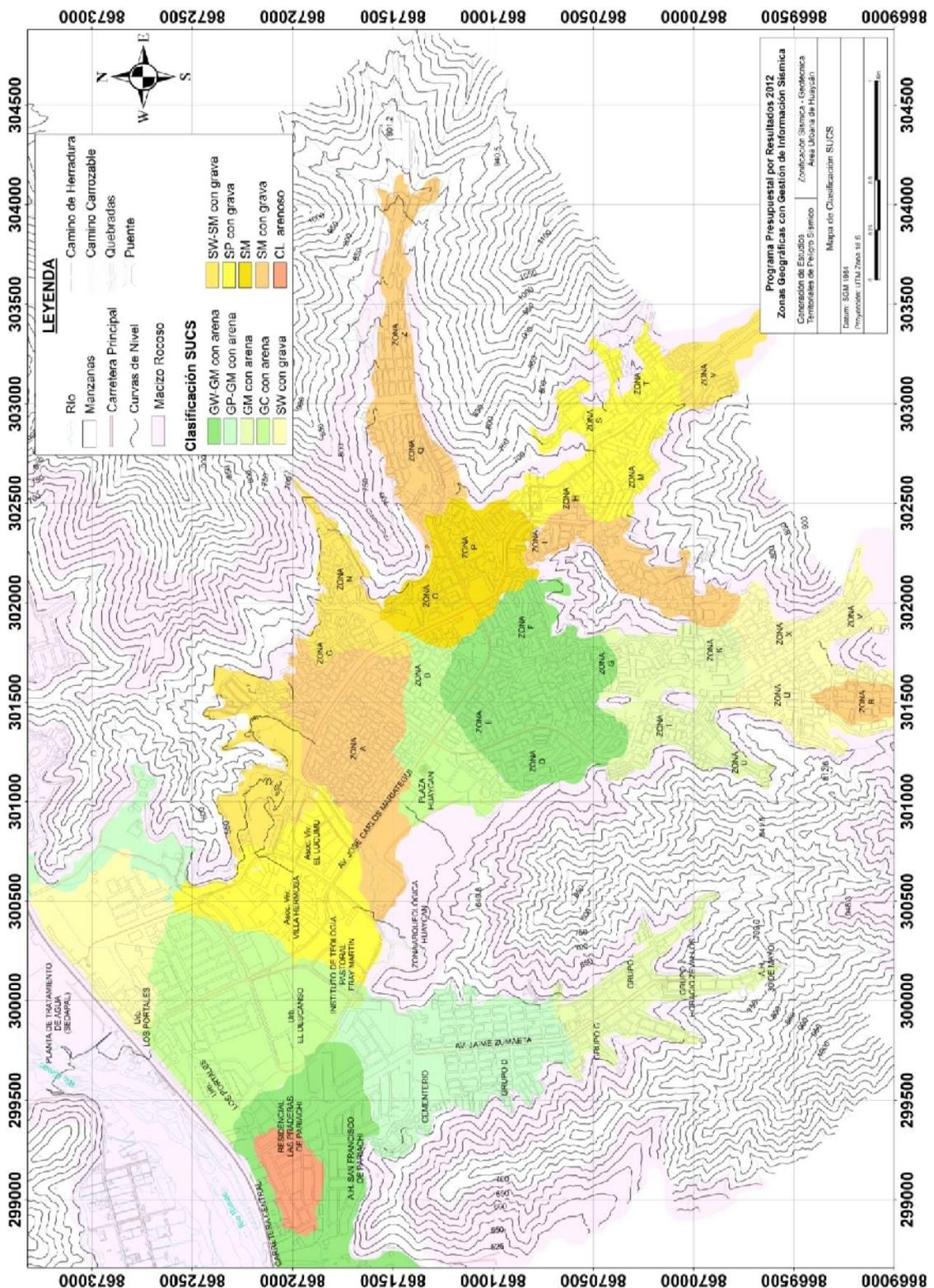


Figura 6.6: Mapa de clasificación de suelos SUCS para la zona urbana de Huaycan

6.2.3. Capacidad portante

Finalmente, se realizaron los ensayos de corte directo para determinar la resistencia del terreno y/o la capacidad portante de los suelos para los 15 puntos analizados en este estudio y los resultados se presentan en la Tabla 12 y Figura 6.7.

Tabla 12: Valores de capacidad portante para cada calicata en la zona urbana de Huaycan

CALICATAS	Angulo de Fricción interna del Suelo (°)	Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm ²)	Densidad seca Promedio (gr/cm ³) (< N° 4)	Humedad Natural (%)	Capacidad Carga Admisible (Kg/cm ²)
C-01	27.99	0.01	1.81	1.27	1.54
C-02	29.79	0.00	1.85	2.52	1.81
C-03	23.81	0.08	1.48	8.96	1.05
C-04	23.41	0.08	1.55	2.76	1.46
C-05	30.00	0.00	1.87	1.00	1.88
C-06	29.98	0.00	1.74	6.75	1.74
C-07	29.24	0.02	1.85	3.95	1.74
C-08	30.02	0.00	1.84	1.51	1.85
C-09	29.18	0.00	1.85	3.43	1.67
C-10	28.95	0.02	1.88	1.65	1.70
C-11	28.22	0.03	1.87	3.39	1.57
C-12	29.75	0.02	1.89	6.60	1.89
C-13	30.12	0.00	1.87	3.36	1.91
C-14	26.88	0.03	1.66	3.61	1.50
C-15	28.67	0.01	1.78	1.79	1.65

Para la zona urbana de Huaycan, la capacidad portante de suelos se ha calculado para una profundidad y ancho mínimo de cimentación de 1.00 m, que representa mejor a las edificaciones de interés social, obteniéndose valores de capacidad portante de media a baja resistencia al corte, Tabla 13:

Tabla 13: Valores de capacidad de carga admisible para la zona urbana de Huaycan

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

Fuente: IGP

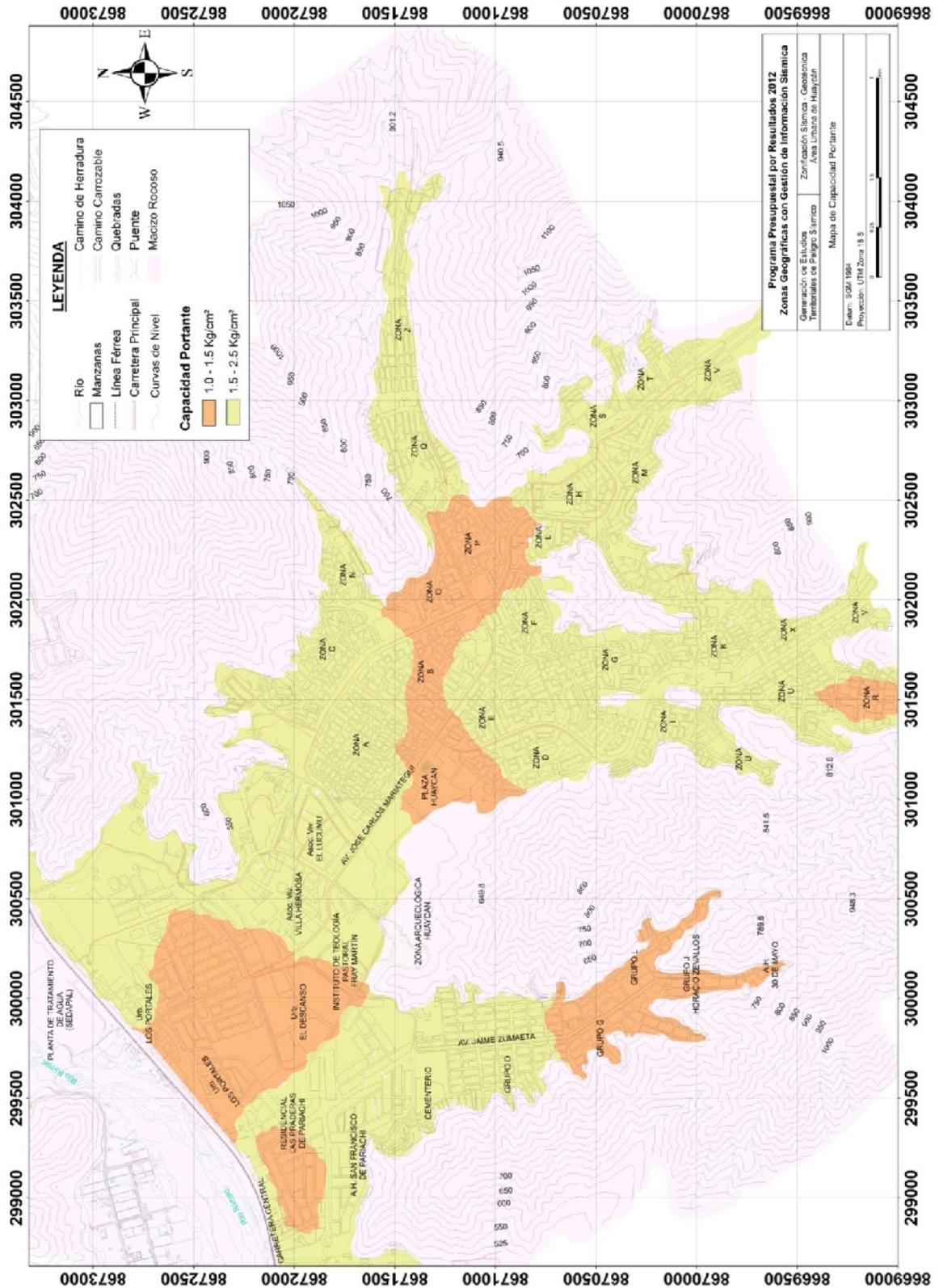


Figura 6.7 Mapa de capacidad portante para la zona urbana de Huaycan

La capacidad portante de los suelos en el sector de Horacio Zevallos parte SW del mapa presenta valores de capacidad media en un 95% del área, a excepción de un lente de suelo ubicado en la Residencial las Praderas de Pariachi tercera etapa, en donde la capacidad portante es baja.

Los suelos del extremo Noroeste y Sureste de la localidad de Huaycan presentan valores de capacidad media en un 80% del área; mientras que, los suelos en la Urb. El Descanso, Urb. Los Portales, Plaza Huaycan, Zona B, Zona O y la Zona P corresponden el 20% y con valores de capacidad portante baja.

6.2.4. Resultados de los aspectos geotécnicos

De acuerdo a la clasificación SUCS se desprende que en la Zona V de Huaycan se tiene suelos de mala compactación; esto quiere decir, que las estructuras emplazadas en estas zonas estarían expuestas a sufrir asentamientos diferenciales y probables problemas de licuación. Por otro lado, en las Zonas U y X y parte de la urb. Los Portales (Figura 6.6), los suelos están constituidos por arenas bien gradadas y corresponden a suelos que tienen mejor comportamiento mecánico, ya que se generan mayores superficies de contacto que se ven reflejadas en una mejor distribución de esfuerzos. En general, los resultados obtenidos permiten afirmar que en Huaycan los suelos son muy heterogéneos de un lugar a otro.

En cuanto a la capacidad portante, en las Urbanizaciones Los Portales, El Descanso, La Plaza de Huaycan, las Zonas B, O, P y R (Figura 6.7) tiene valores de $1.0 - 1.5 \text{ kg/cm}^2$ y el resto del área de estudio tiene valores de $1.5 - 2.5 \text{ kg/cm}^2$, en algunos casos no se deberán construir viviendas de más de tres niveles, pero esto debe ser evaluado al detalle por especialistas. Esta información es de utilidad para los ingenieros civiles y arquitectos, ya que son ellos los encargados de diseñar y construir las estructuras y obras de ingeniería.

6.3. Análisis geofísico

En este estudio se ha realizado la aplicación de las siguientes técnicas geofísicas: razones espectrales (H/V) y arreglos sísmicos lineales. Con el objetivo de conocer las propiedades físicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, etc.) a efectos de lograr su caracterización física.

6.3.1. Cocientes espectrales H/V

Esta técnica considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales o microtremores generados por la actividad humana se deben principalmente a la excitación de ondas superficiales 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 6.8).



Figura 6.8: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark.

En la Figura 6.9, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento de la toma de datos, además de ejemplos de registros de vibración ambiental. El registro HUA-155 fue tomado en una zona libre de ruidos de fondo; mientras que, en el punto HUA-061 se ha registrado ruido de mayor amplitud, lo cual sugiere que el suelo es menos compacto y muy heterogéneo.

Con la información disponible se procede a construir las razones espectrales H/V a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio, 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 deamplificación de la misma 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:

- 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.
- Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- 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. Luego se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, como condición, presentar una amplificación máxima relativa mayor a 2 veces.

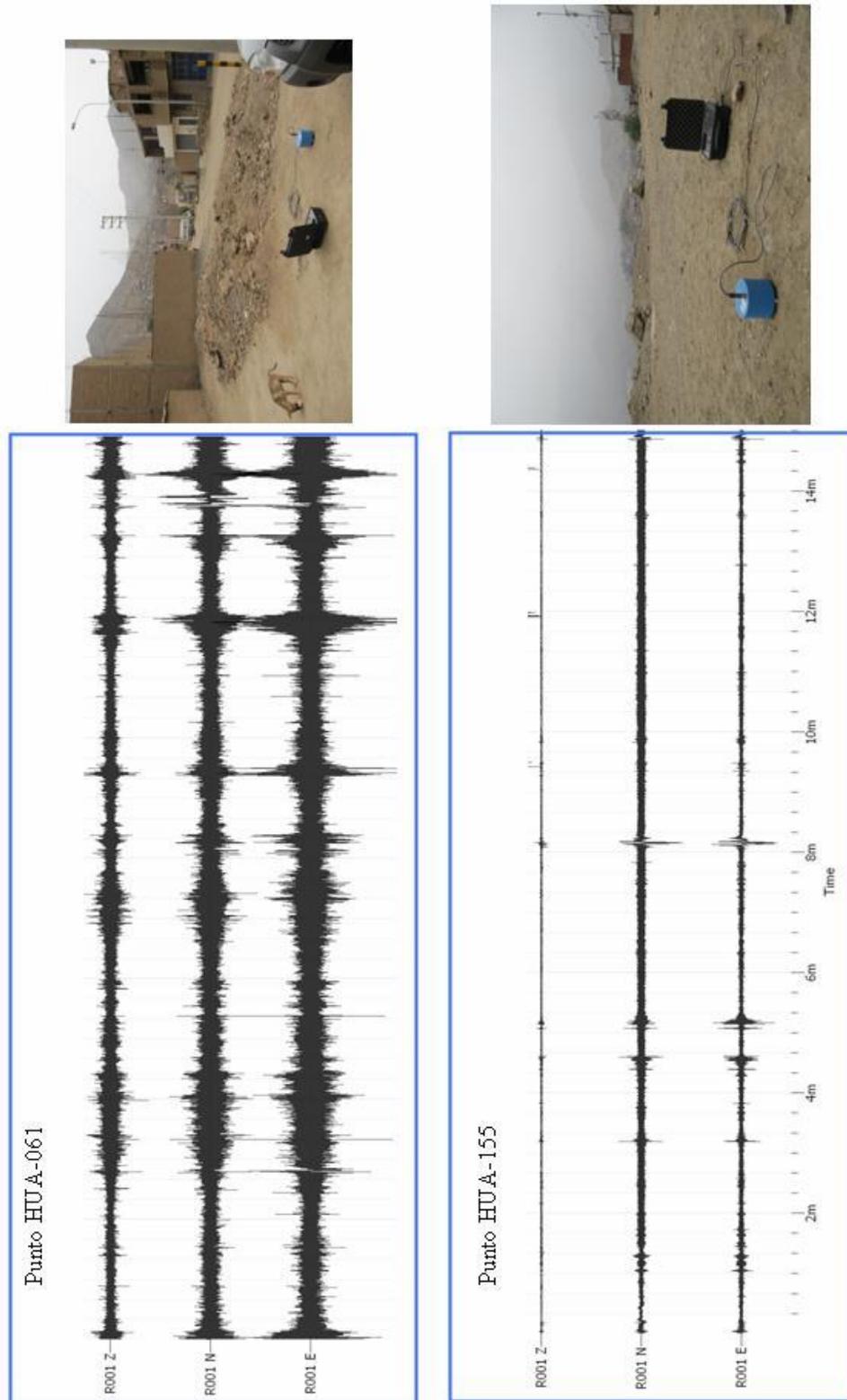


Figura 6.9: Disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona libre de ruido de fondo (HUA-155) y otro con ruido aleatorio (HUA-061). Obsérvese las diferentes amplitudes registradas en cada punto.

Al 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.

Para la aplicación de la técnica H/V se procedió a disponer del mapa catastral del área urbana de Huaycan 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 6.10 se muestra la distribución de los 310 puntos de medición de vibración ambiental y para cada uno, se ha tomado un tiempo de registro de 20 minutos, lo cual permite tener buena cantidad de información para su posterior análisis. El análisis de la información recolectada en los diferentes puntos de medida, permite obtener espectros de Fourier para sus tres componentes de registro y a partir de la razón de estos (componentes horizontales / componente vertical), se determina las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes para la vibración natural del sub-suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa.

En la Figura 6.11 se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de la información obtenida en campo. El primer recuadro presenta la selección de las ventanas de procesamiento para las tres componentes de la señal registrada (Vertical, N-S y E-O), seguidamente la curva H/V, en la cual la curva continua negra es el promedio del cociente H/V; mientras que, las curvas discontinuas son la desviación estándar, las bandas grises identifican las frecuencias principales. En el otro gráfico se presenta la variación azimutal de la amplitud, obtenida a partir de una relación H/V para cada 10° de rotación, que tiene sobre el eje de las abscisas la frecuencia y en las ordenadas la rotación, donde el color representa la amplitud de la relación, finalmente se tiene la interpretación de los resultados.

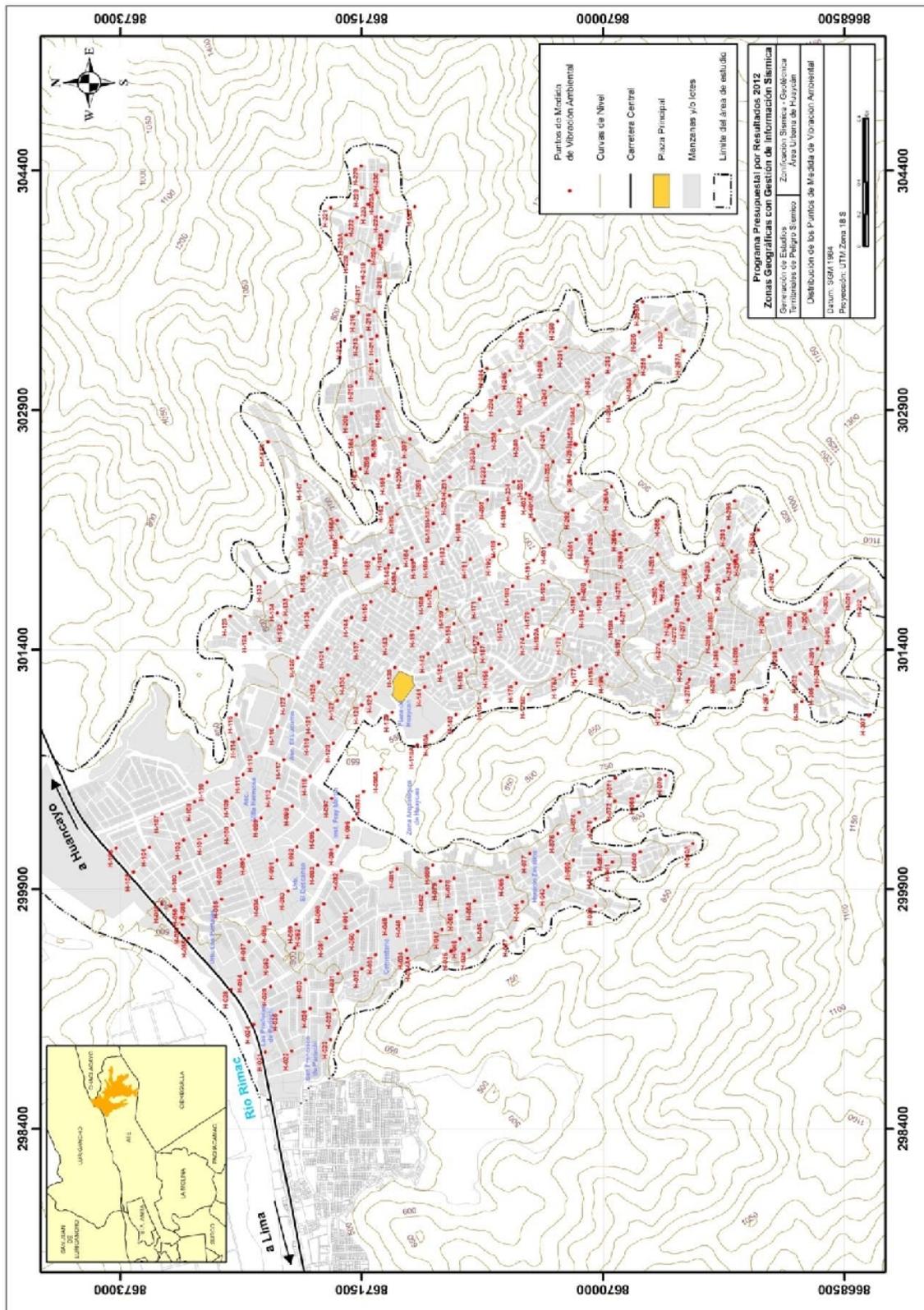


Figura 6.10: Mapa del área de estudio y distribución de puntos de registro de vibración ambiental.

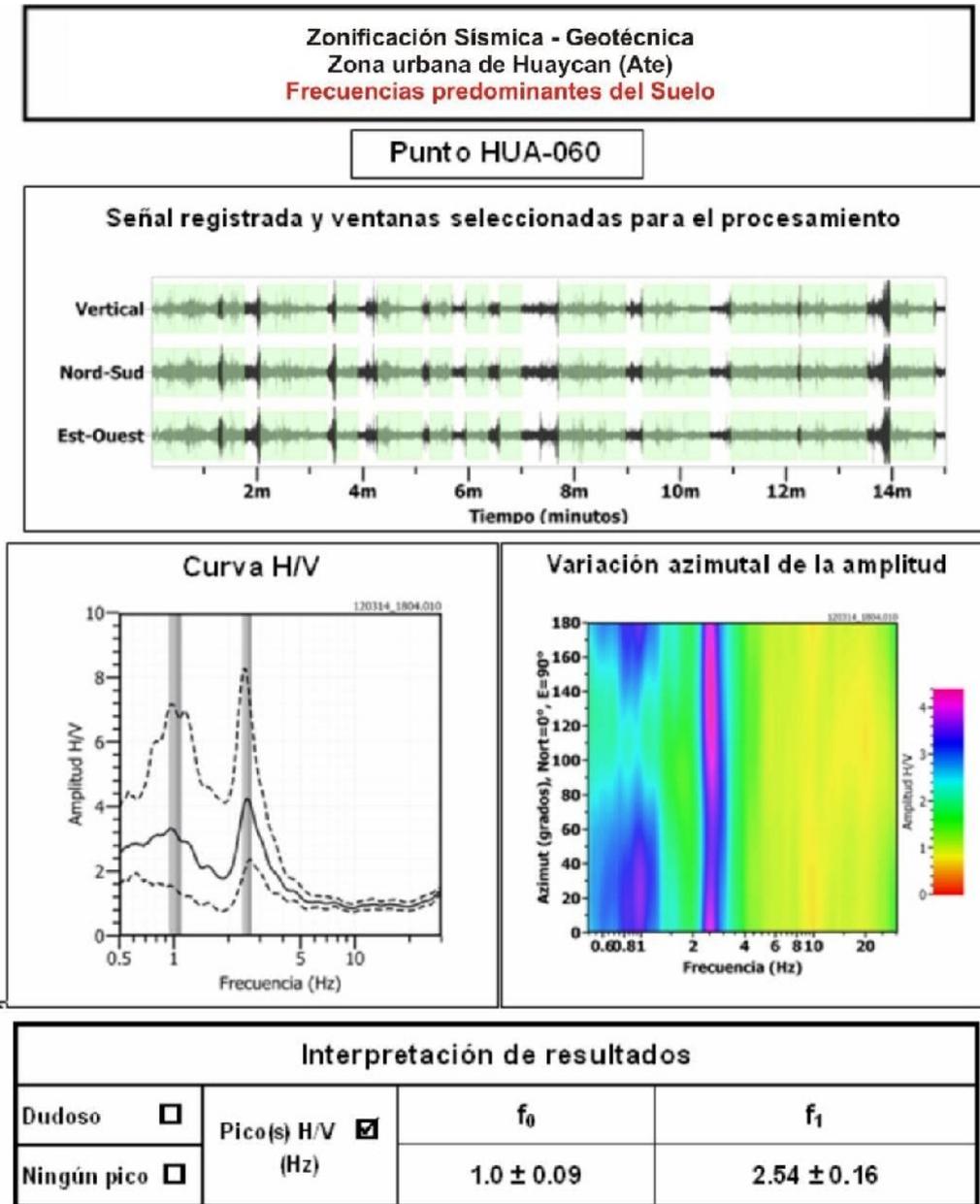


Figura 6.11: Ejemplo de la ficha H/V para el punto HUA-060 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Espectrograma y Abajo: resultados.

Distribución de frecuencias Dominantes: A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes considerando diferentes rangos: entre 0.5 y 3.0 Hz y entre 3.0 y 20 Hz. Esta clasificación se hace en razón que varios puntos de medición presentan entre uno y dos picos de frecuencias predominantes, y ambos sugieren que el suelo es bastante complejo y se requiere de análisis más detallado.

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

Rango de frecuencias entre 0.5 –3.0 Hz: En la Figura 6.12 se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes para el rango de 0.5 –3.0 Hz, observándose que dichos valores se distribuyen prácticamente sobre toda el área de estudio. En esta figura los puntos sin valor indican que no presentan frecuencias predominantes, ya sea porque la curva de la razón espectral es bastante plana o con muy poca amplificación o también porque la frecuencia predominante no está dentro del rango considerado.

En la Figura 6.13, se presenta como ejemplo la razón espectral obtenida para los puntos H-047, H-057, H-101, H-105, H-121, H-161, H-192, H-201, H-226, observándose en todos que la función H/V presenta forma de campana, cubriendo un amplio rango de frecuencias en su base y en algunos casos, un decaimiento alargado y/o irregular hacia valores altos de frecuencia. En algunos puntos esta característica enmascara los picos con frecuencias mayores a 3 Hz, lo cual sugiere la presencia de suelos heterogéneos: H-047, H-121 y H-226. En general, este rango de frecuencias predomina en la periferie de la zona de estudio pero tienen como características bajas amplificaciones.

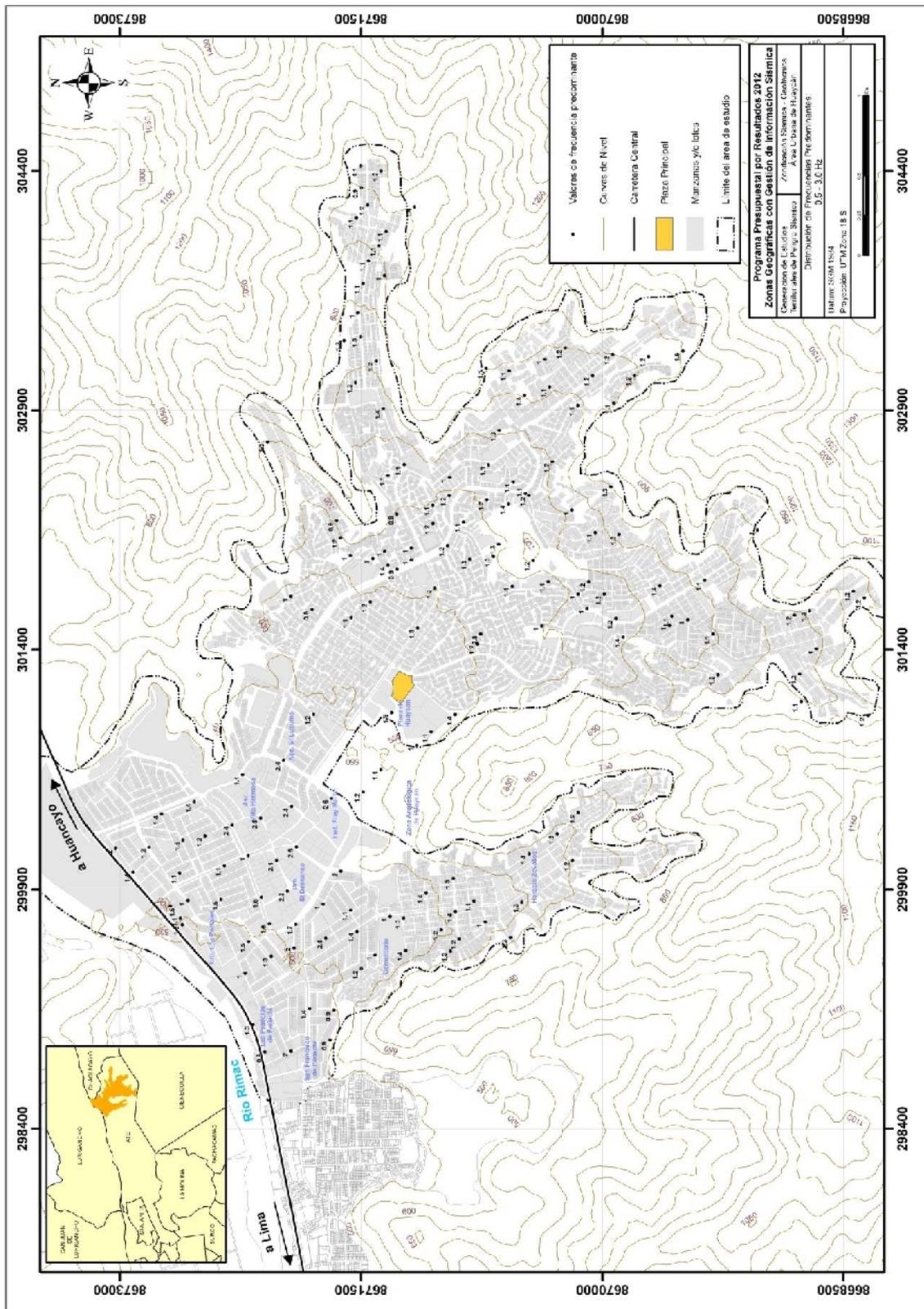


Figura 6.12: Mapa del área de estudio y distribución espacial de frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 3.0 Hz.

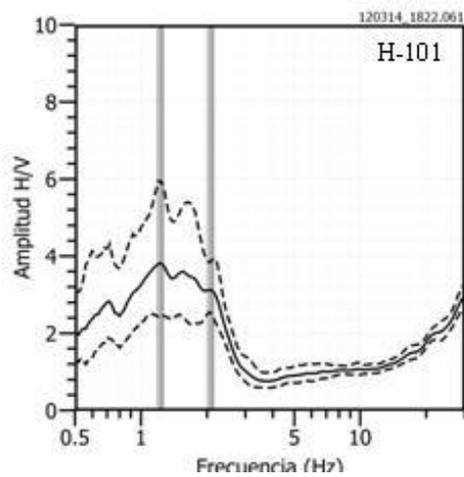
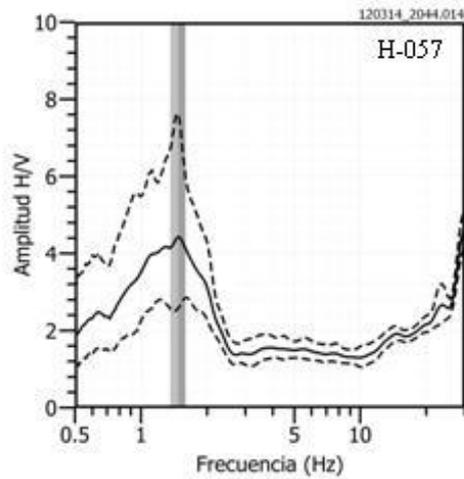
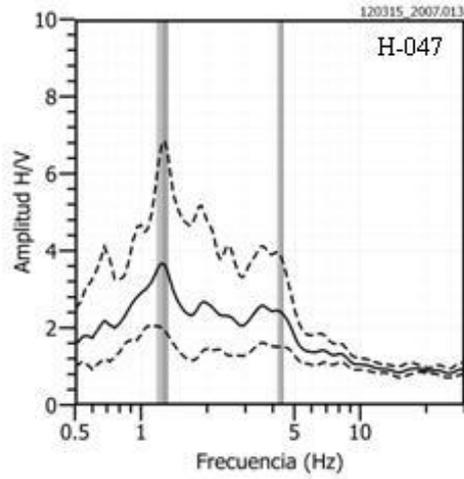


Figura 6.13: Ejemplos de razones espectrales (H/V) con frecuencias predominantes en el rango de 0.5 a 3.0Hz. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

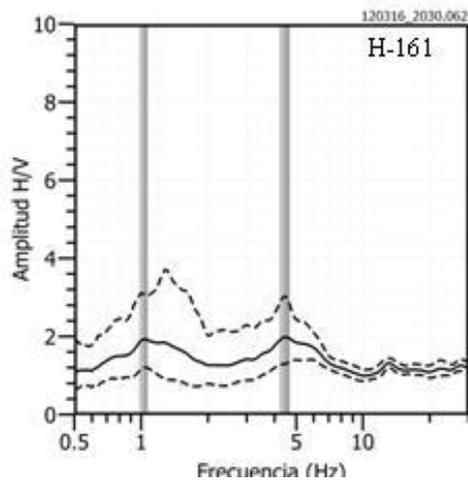
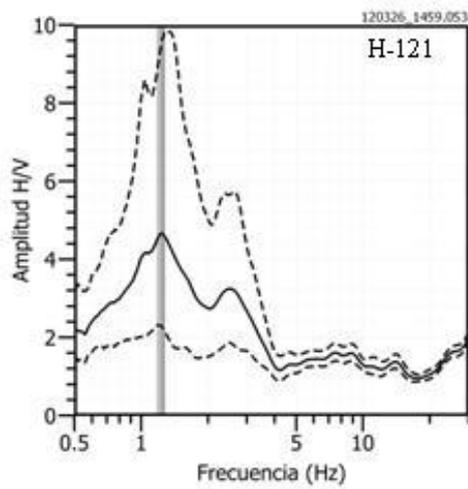
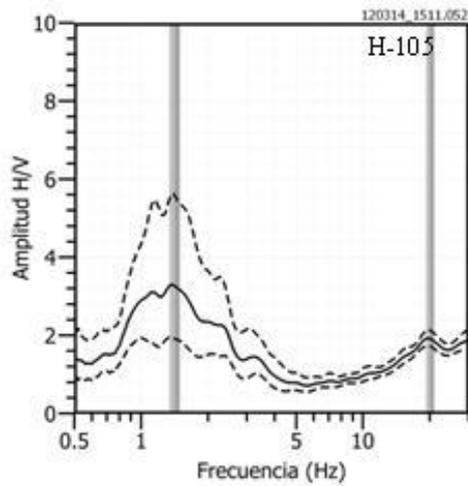


Figura 6.13: ...//Continuación. Ejemplos de Razones espectrales (H/V) donde la frecuencia predominante sobresale en el rango de 0.5 - 3.0Hz. Las líneas continuas, representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias bajas.

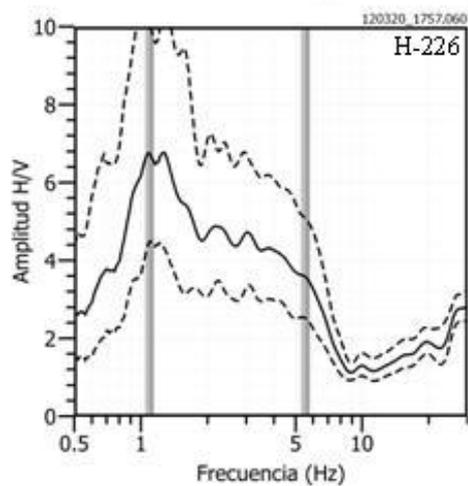
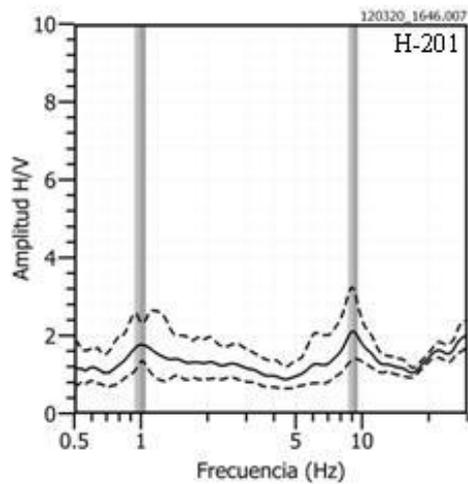
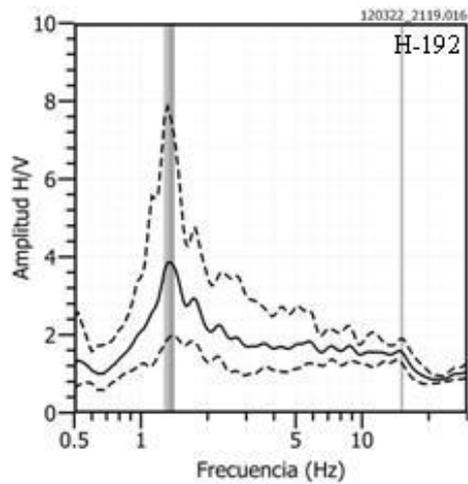


Figura 6.13: ...//Continuación. Ejemplos de Razones espectrales (H/V) donde la frecuencia predominante sobresale en el rango de 0.5 - 3.0Hz. Las líneas continuas, representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias bajas.

En la Figura 6.14 se presenta la distribución espacial de 9 razones espectrales representativas para este rango de frecuencias a fin de evidenciar su relación con los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos de la zona. Los espectros correspondientes a puntos ubicados en el extremo NE de la zona de estudio presentan mayores amplitudes y mayor irregularidad en su forma; mientras que, los que se encuentran en el extremo SO presentan menor amplitud y picos de frecuencias mejor definidos.

Los puntos H-047, H-121, H-226 sugieren la presencia de suelos heterogéneos en dichos lugares, con contenido de arena, limo y grava mal graduada. En el punto H-201 podemos observar su razón espectral con muy poca amplificación la cual podría sugerir la presencia de suelos rígidos, según su clasificación SUCS este punto estaría conformado por arena con grava bien graduada.

Por otro lado en el punto H-057 la curva espectral presenta un solo pico de frecuencia que sugiere la existencia de suelos blandos. En este punto se tiene la presencia de arcillas de baja plasticidad.

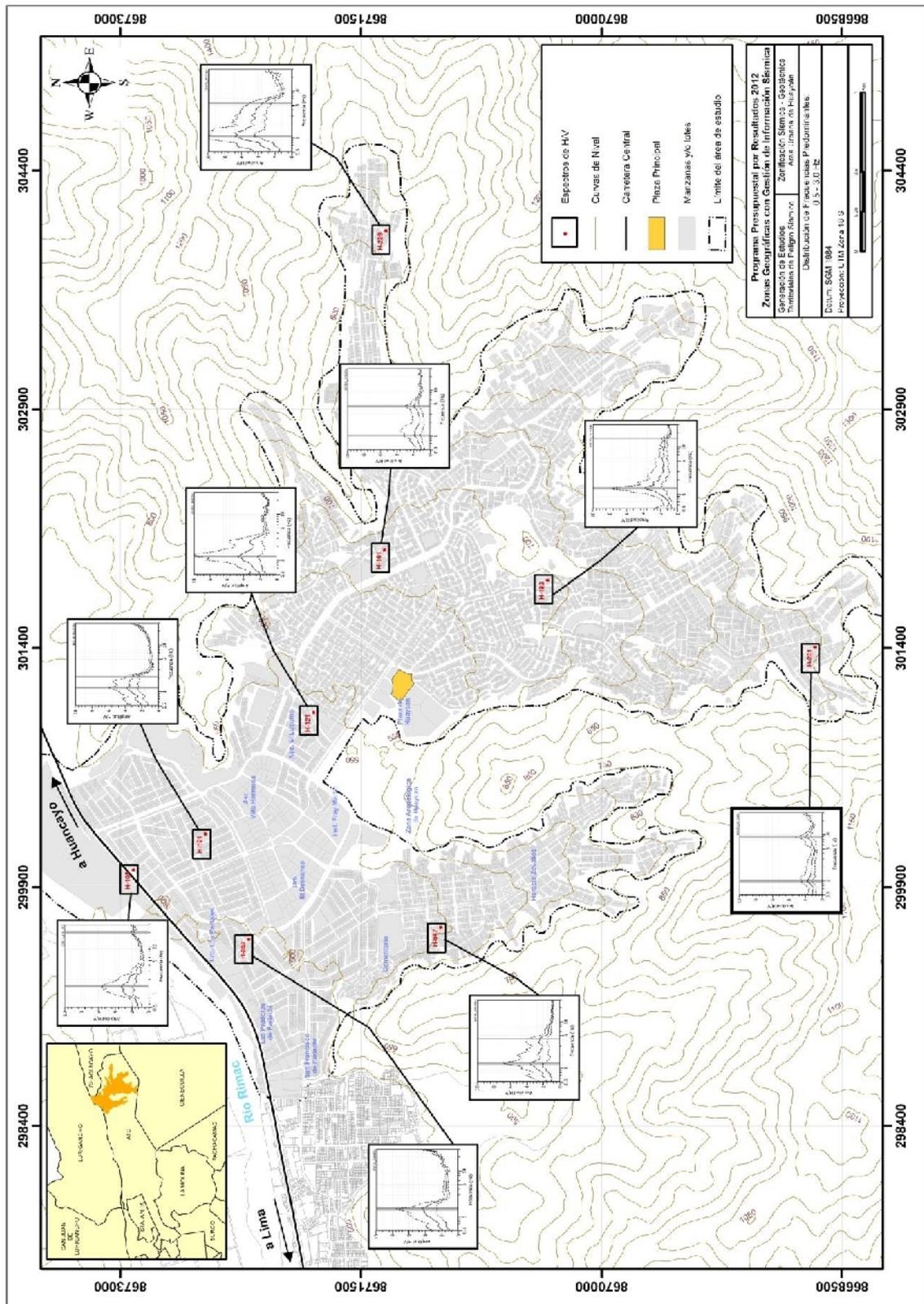


Figura 6.14: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 0.5 y 3.0 Hz. En las gráficas, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

Rango de frecuencias de 3.0 a 20 Hz: En la Figura 6.15 se presenta el mapa de distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes comprendidos entre 3 y 20 Hz, y en la Figura 6.16 algunos ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-026, H-060, H-83, H-098, H-09, H-116, H-126, H-141, H-144, H-191, H-201, H-256. 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.

Área 1: Considera los puntos donde las frecuencias predominantes varían entre 3.0 y 4.0 Hz, concentrándose sobre tres áreas de regular tamaño y otras tres de áreas pequeñas. La zona de mayor área se encuentra sobre la zona céntrica del área de estudio (Plaza Central de Huaycan) y las otras dos, sobre la Urb. El Descanso y entre las Praderas de Pariachi y San Francisco de Pariachi. Estas frecuencias se distribuyen en su mayoría hacia el centro de la terraza aluvial, cuya geomorfología tiene la forma de una cuenca con orientación perpendicular al Río Rímac. Las áreas en gris presentan amplificaciones menores a 2 veces.

Área 2: Predominan frecuencias que varían entre 4.0 y 8.0 Hz, los mismos que se encuentran principalmente en áreas que rodean al Área 1 y abarcando un 60% de la terraza aluvial sobre la cual se asienta la localidad de Huaycan. Las áreas en gris presentan amplificaciones menores a 2 veces.

Área 3: Considera las frecuencias predominantes mayores a 8.0 Hz y en su mayoría rodean a las Áreas 1 y 2. Estos valores se encuentran próximos a las laderas de los cerros y lomeríos, estando concentrados en mayor número hacia el extremo NE del área de estudio, próximo a la Carretera Central y Río Rímac. Las áreas en gris presentan amplificaciones menores a 2 veces.

En la Figura 6.15 los puntos sin valor indican que no presentan frecuencias predominantes ya que tienen un curva de razón espectral plana o con muy poca amplificación reflejando así condiciones de suelos rígidos o roca y todos ellos, se encuentran distribuidos en las partes altas de las quebradas y cerca de la Carretera Central.

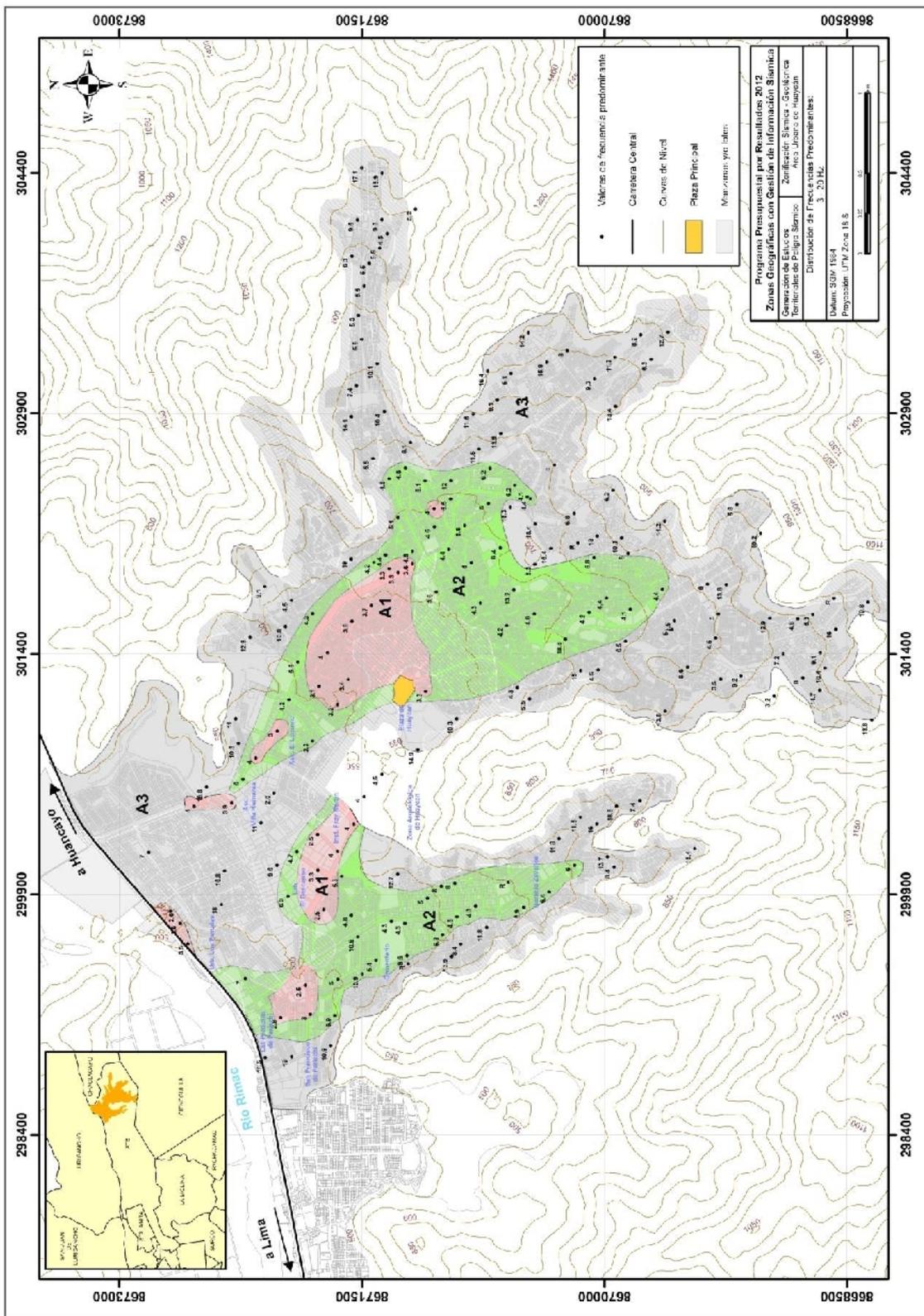


Figura 6. 15: Mapa del área de estudio y distribución espacial de las frecuencias predominantes en el rango de 3.0 - 20.0 Hz

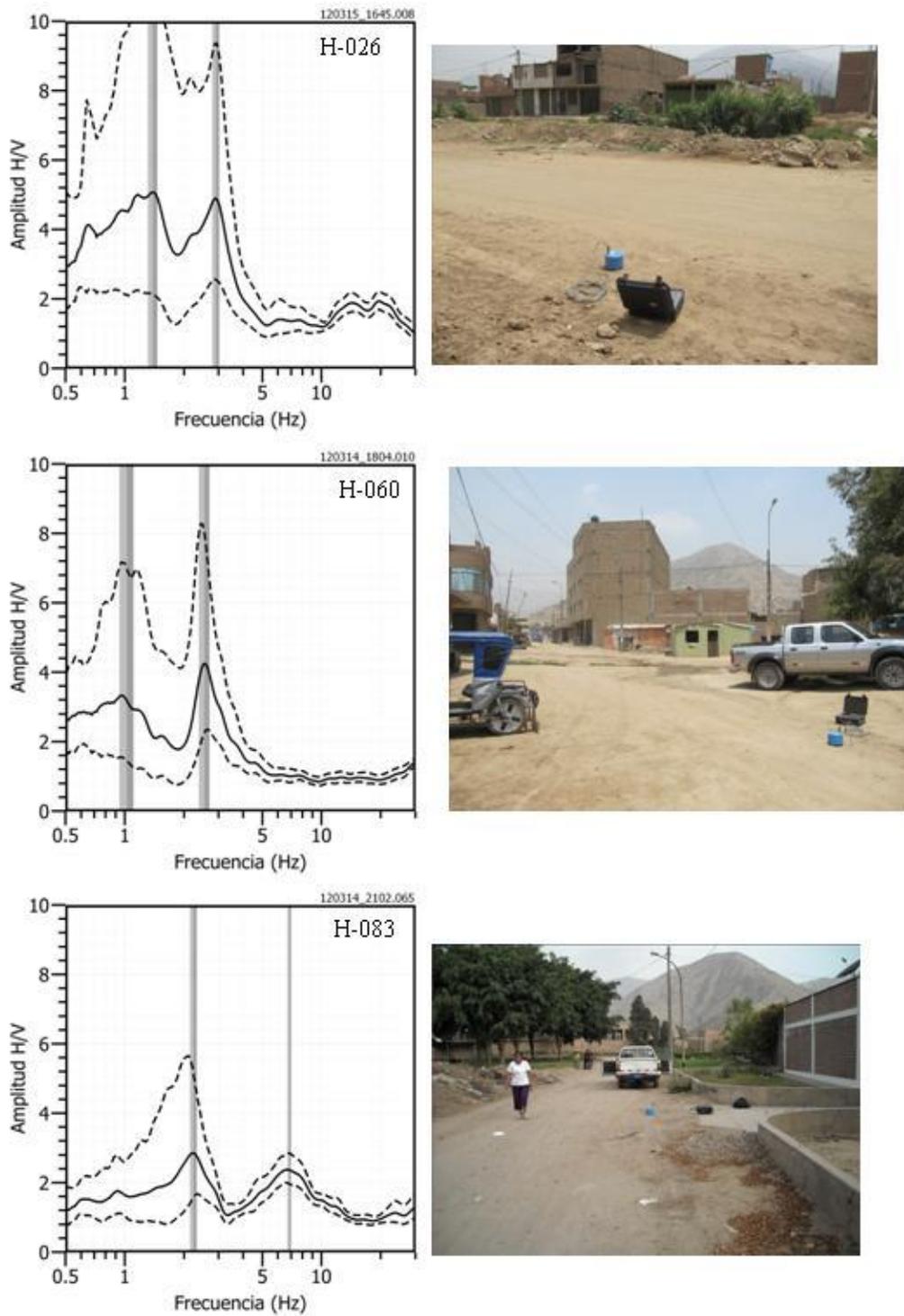


Figura 6.16: Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-026, H-060 y H-083 ubicados sobre la sub-área A1 (Figura 6.15).

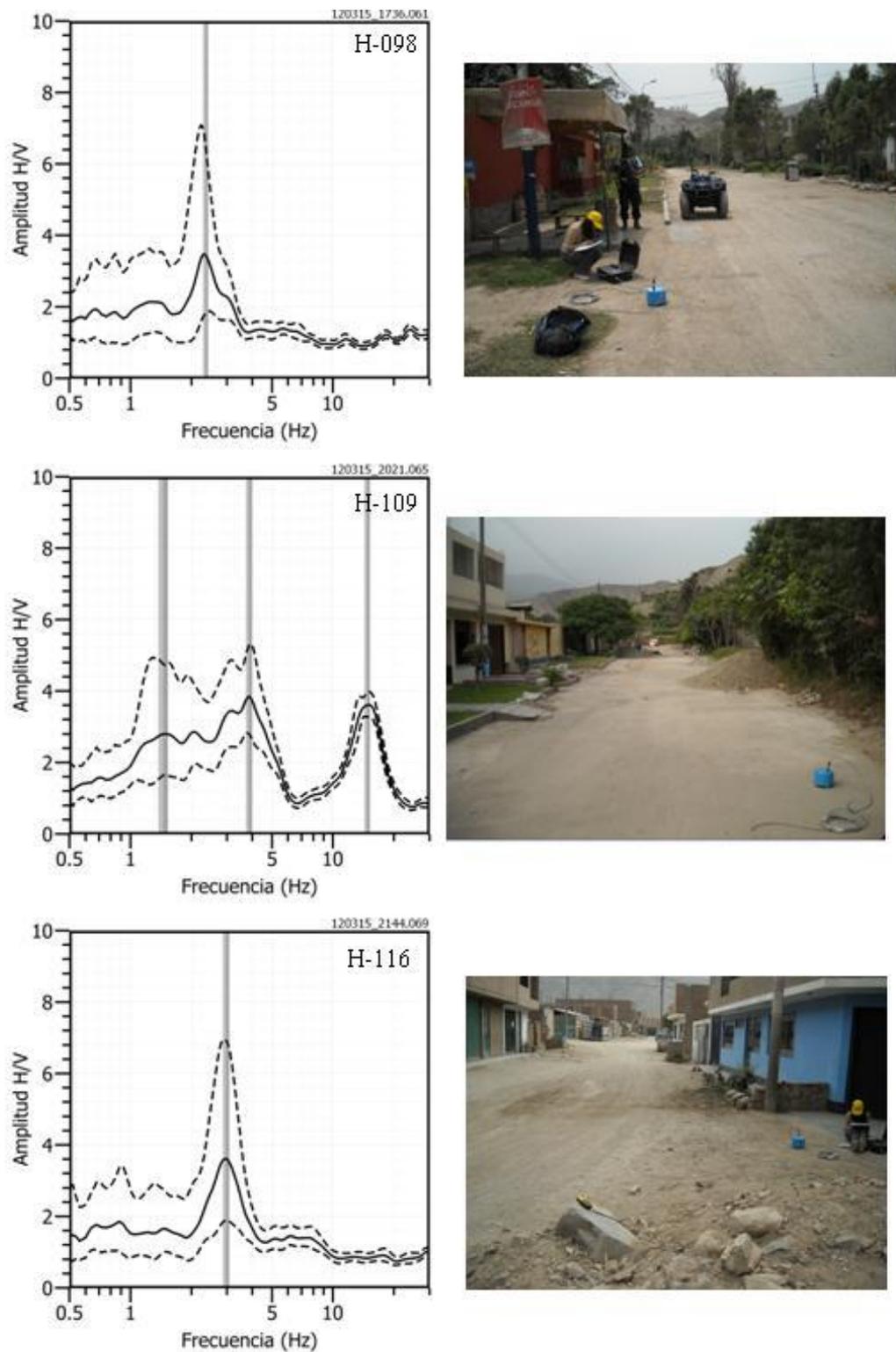


Figura 6.16: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-098, H-109 y H-116 ubicados sobre el Área A1 (Figura 6.15).

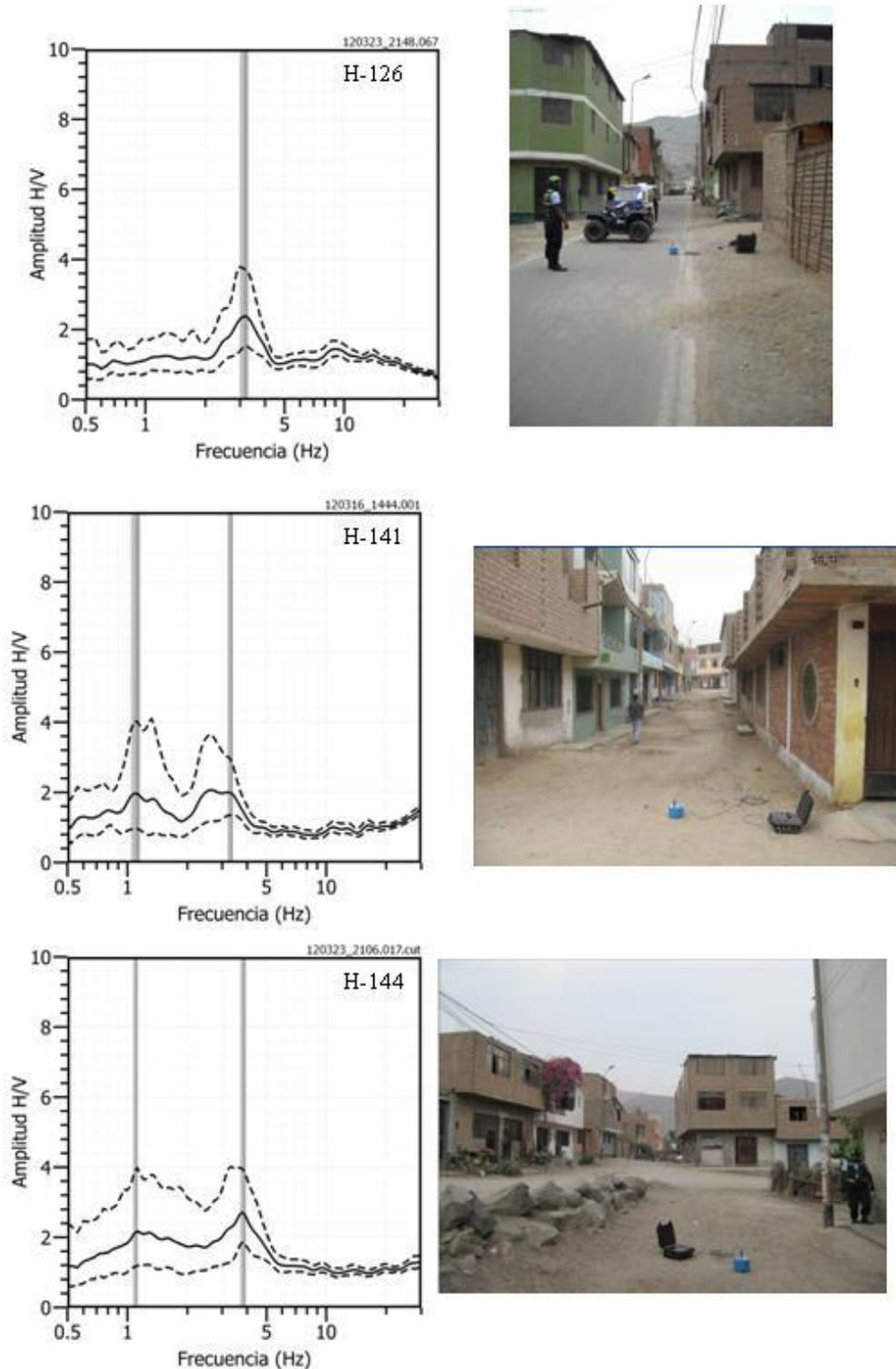


Figura 6.16: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-126, H-141 y H-144 ubicados sobre el Área A2 (Figura 6.15).

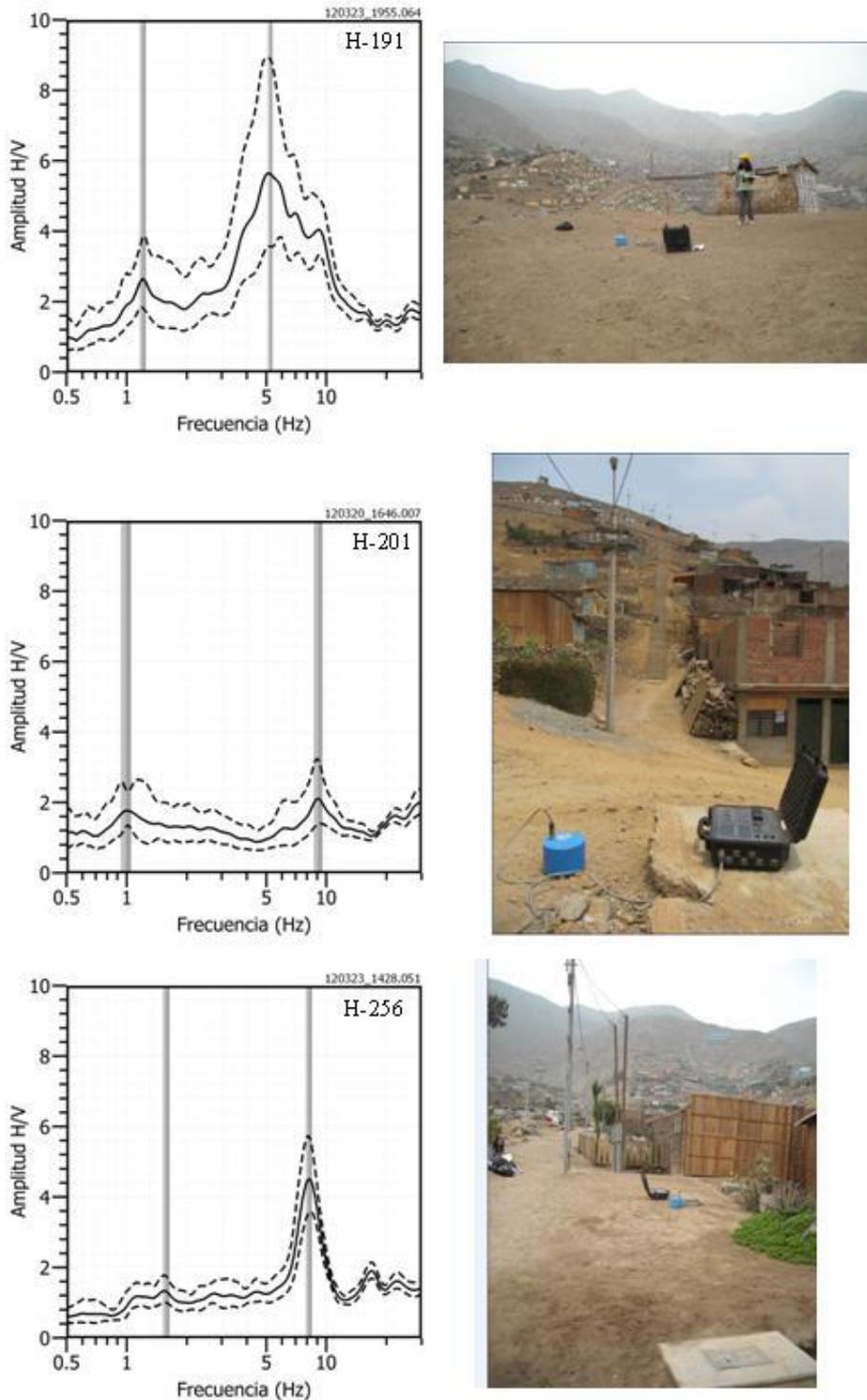


Figura 6.16: //Continuación... Ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos H-191, H-201 y H-256 ubicados sobre el Área A3 (Figura 6.15).

En la Figura 6.17 se presenta la distribución espacial de razones espectrales consideradas como ejemplo a fin de evidenciar visualmente la posible relación entre la forma de las curvas H/V y los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos del área de estudio.

En las curvas H/V para los puntos H-025, H-060, H-083, H-141 y H-144 se observa que predominan dos picos de frecuencias (1.0-1.5 Hz y 2.0-5.0 Hz) y en las curvas de los puntos H-048, H-116, H-126 y H-256, solo un pico de frecuencia (3.0 Hz); mientras que, en la curva del punto H-109, hasta tres picos de frecuencia (1.0Hz, 3.0Hz y 10Hz), lo cual evidencia la heterogeneidad y complejidad de los suelos existentes en la zona de estudio.

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

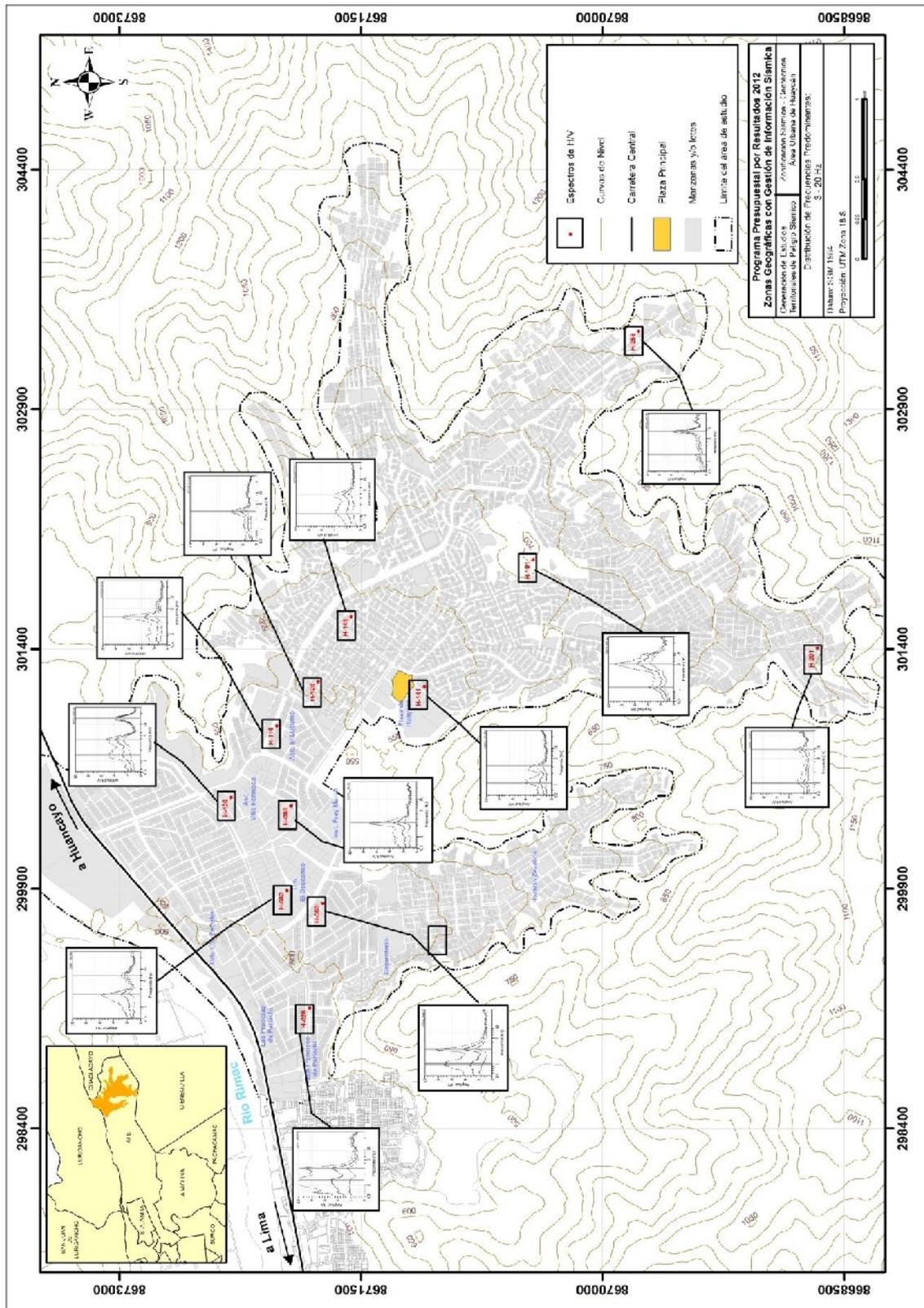


Figura 6.17: Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 3 y 20 Hz. En las gráficas, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante en este rango de frecuencias.

6.3.1.1. Discusión de resultados H/V

A partir de la aplicación de la técnica de cocientes espectrales se ha obtenido la distribución de frecuencias predominantes para el área estudiada, considerando dos rangos de frecuencias. El primer rango es de 0.5 Hz y 3.0Hz y el segundo rango de 3.0 Hz a 20.0 Hz que a su vez este se divide en tres sub áreas. La primera con valores de 3.0 Hz a 4.0 Hz, la segunda con valores de 4.0 Hz a 8.0 Hz y la tercera con valores mayores a 8.0 Hz.

En el primer rango, las relaciones espectrales H/V compuestas por valores de bajas frecuencias, están relacionadas a capas sedimentarias blandas de mayor espesor, estas frecuencias se encuentran distribuidas en toda el área y en menor medida en el centro de la zona de estudio.

En el segundo rango, hay valores de frecuencias predominantes mayores, que están asociados a la presencia de superficies blandas de menor espesor, esto se puede observar en los resultados obtenidos; conforme aumentan los valores de frecuencia estos se van extendiendo hacia los extremos, hacia las laderas y lomeríos de los cerros, concentrándose en su mayoría al NE del área de estudio.

De acuerdo a los resultados, en la zona Z, Asociación El Lúcumo y Asociación Paraíso nos sugieren la presencia de suelos heterogéneos, ya que tenemos espectros de más de un pico, evidenciando la heterogeneidad y complejidad de los suelos y de acuerdo a la clasificación SUCS, estos suelos presentan contenidos de arena, limo y grava mal graduada.

Mientras los que se encuentran hacia el sur, por la Zona U y X presentan muy poca amplificación, esto nos sugiere la presencia de suelos rígidos, según nuestra clasificación SUCS estos lugares están conformados por arena con grava bien graduada.

Asimismo, se observa la presencia de una capa en la zona central principalmente Asc. El Lúcumo, Asc. Villa Hermosa y dos capas de suelo hacia los alrededores de la Zona A, Plaza de Huaycan, Urb. el Descanso, entre otros.

6.3.2. Arreglos sísmicos lineales (MASW)

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 110 dB. 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 6.18 se presenta el mapa del área urbana de Huaycan con la ubicación espacial de las 6 líneas de refracción sísmica codificadas como:

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

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 , Tabla 14. En la Figura 6.19 se presenta imágenes de la toma de datos en campo, en la Figura 6.20 ejemplos de los registros obtenidos.

Tabla 14: Velocidad de las ondas de corte según la norma E-030

DESCRIPCIÓN	V_s (m/s)
Rocas duras	> 1,500
Rocas moderadamente duras	760 a 1500
Suelo muy duro o roca blanda	360 a 760
Suelo duro	180 a 360
Suelo blando	< 180

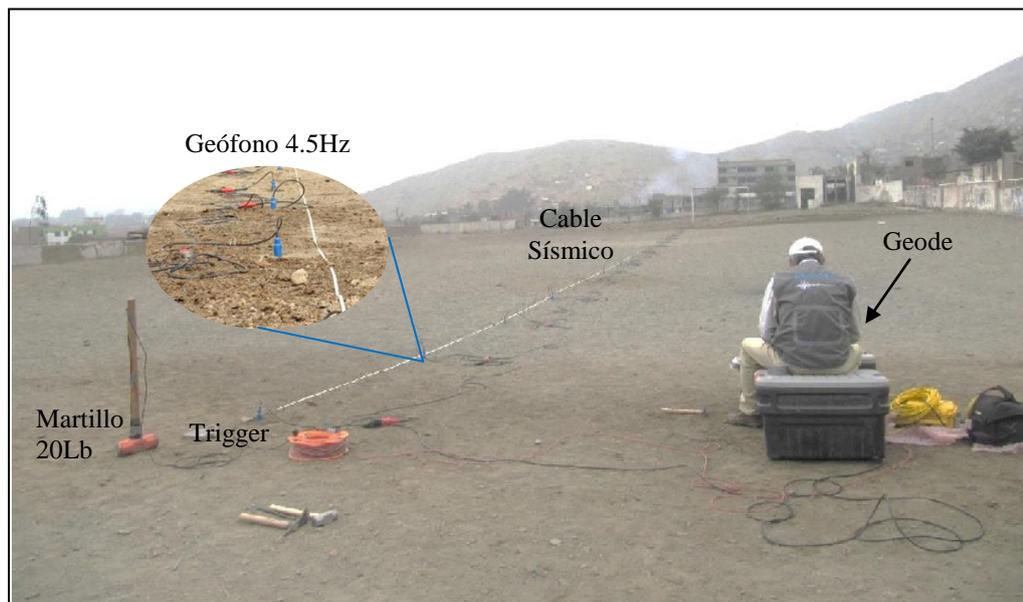


Figura 6.19: Imágenes de la disposición del equipo de MASW para la toma de datos.

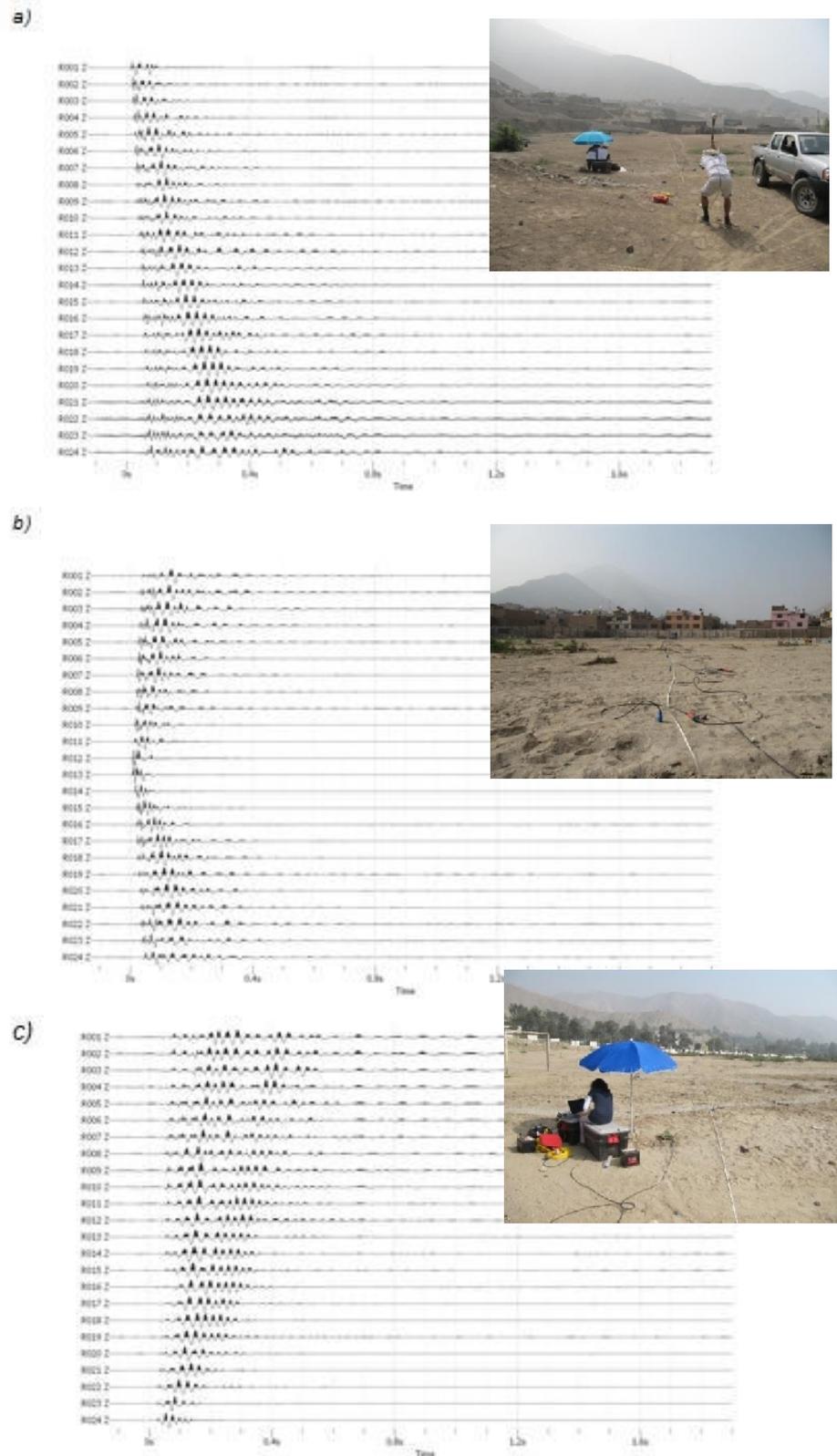


Figura 6.20: Ejemplos de registros obtenidos en los 24 canales considerando el golpe de martillo en ambos extremos (a,c) y el centro del arreglo (b).

Para el análisis de la información obtenida con el método MASW, la inversión de las curvas de dispersión permiten obtener los perfiles de velocidad de las ondas de corte (V_s) y espesores de las diferentes capas sobre el estrato rocoso.

Conocida esta información se procede a obtener una función de transferencia teórica para ser correlacionada con la empírica obtenida con la técnica H/V. Si existe correspondencia entre ambas funciones de transferencia, indica que los resultados que se obtienen son óptimos; es decir, las velocidades de ondas de corte (V_s) y espesores de las capas superficiales obtenidos son correctos.

Arreglo Lineal LR01-HUA: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo Oeste del área de estudio, próximo al Cementerio de Huaycan la Figura 6.21 muestra el procedimiento seguido para el total de los arreglos lineales obtenidos en campo, el primer recuadro muestra la imagen de dispersión del arreglo lineal LR01-HUA, a continuación la curva de dispersión seguido por el perfil del suelo obtenido para este arreglo, siendo el resultados el siguiente:

El perfil de velocidad permite identificar la presencia de tres capas, la primera con espesor de 2 a 4 m y velocidades V_s de 200 m/s correspondiente a suelos blandos a moderadamente duros. La segunda capa presente un espesor de 6 m y velocidad des V_s de 390 m/s correspondiente a suelos moderadamente duros a duros con y la tercera capa, espesores de 16 metros con velocidades V_s promedio de 500 m/s correspondiente a suelos duros a muy duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 800 m/s y corresponde a suelos muy duros.

Estos resultados son corroborados con un punto H/V más cercano a cada arreglo, obteniendo similares resultados, tal como se observa en las figuras.

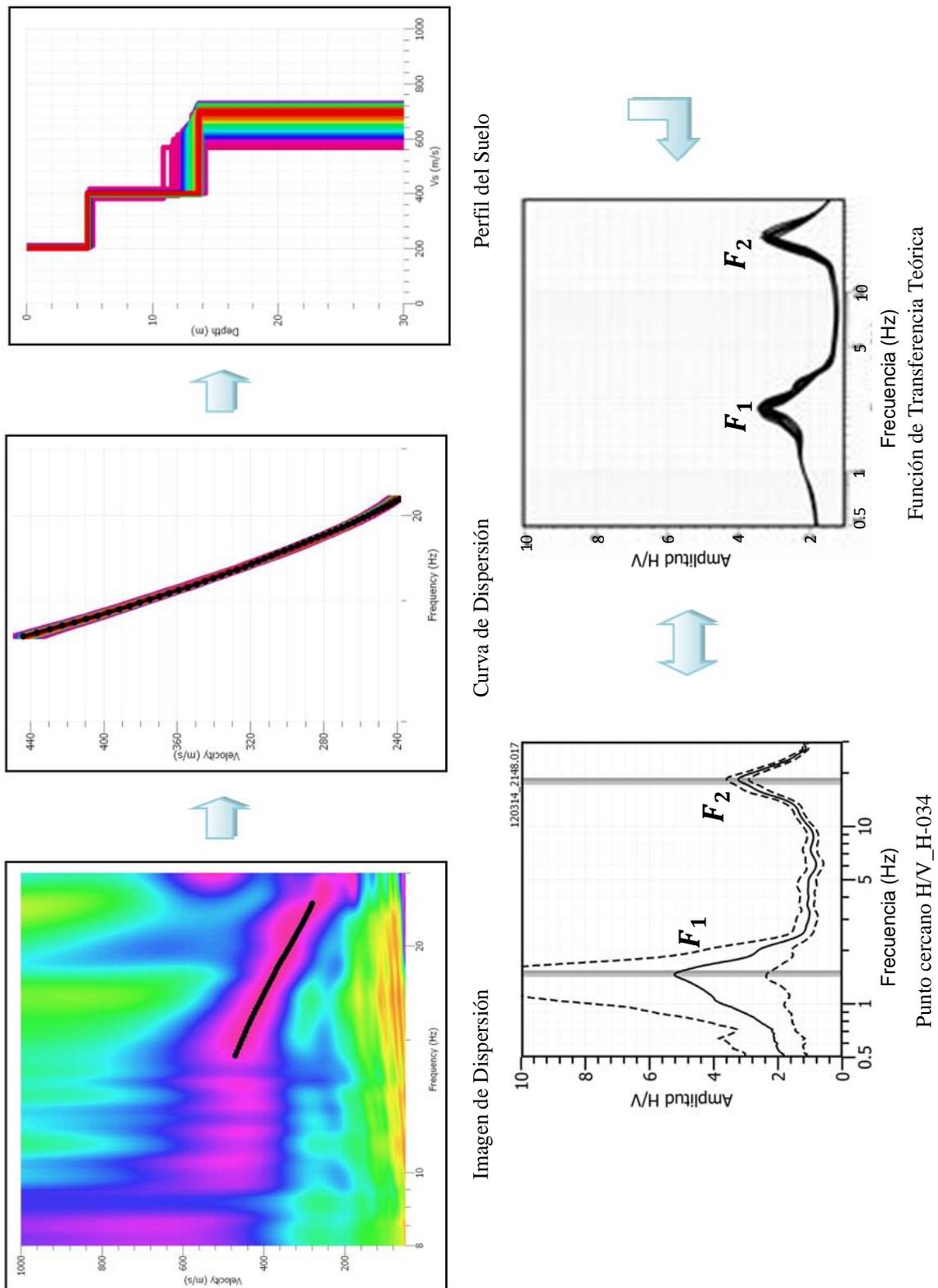


Figura 6.21: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR01-HUA (ver Figura 6.18).

Arreglo Lineal LR02-HUA: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo NO del área, en la Urb. los Portales, (Figura 6.22). El perfil de velocidad permite diferenciar la existencia de dos capas, la primera superficial de 5 a 7 metros de espesor y velocidades V_s promedio de 200 m/s correspondientes a suelos blandos a moderadamente duros. La segunda capa tiene espesores de 9 m con velocidades V_s promedio de 400 m/s debido a suelos moderadamente duros a duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 700 m/s y corresponde a suelos muy duros.

Arreglo Lineal LR03-HUA y LR04-HUA: Estos arreglos se realizaron sobre la Zona Arqueológica de Huaycan (Figuras 6.23 y 6.24). En ambos perfiles se ha identificado la presencia de una capa con espesores de 5 y 7 m velocidades V_s del orden de 280 m/s correspondiente a suelos relativamente duros. La superficie de contacto con la siguiente capa que alcanza velocidades V_s de hasta 450 m/s, la misma que aparentemente supera la profundidad de 30 metros (suelo muy duro).

Arreglo Lineal LR05-HUA: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado al NE de la Plaza Central de Huaycan (Figura 6.25). En el perfil se ha diferenciado la presencia de dos capas, la primera superficial de 2 y 4 m de espesor con velocidades V_s promedio de 230 m/s correspondiente a suelos blandos a moderadamente duros. La segunda capa de 5m de espesor y velocidades V_s promedio de 460 m/s correspondiente a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 610 m/s y corresponde a suelos muy duros.

Arreglo Lineal LR06-HUA: El arreglo permite obtener el perfil de velocidad para el punto ubicado en el extremo SE del área de estudio (Figura 6.26). Según el perfil de velocidad, en este punto se tiene tres capas, la primera superficial de 2 a 3 m de espesor y velocidades V_s promedio de 160 m/s correspondiente a suelos blandos. La segunda capa de 3 m de espesor con velocidades V_s promedio de 350 m/s correspondiente a suelos moderadamente duros y la tercera capa de 5 m de espesor y velocidades V_s promedio de 460 m/s correspondiente a suelos duros.

La superficie de contacto con la siguiente capa alcanza velocidades V_s de 700 m/s y corresponde a suelos muy duros.

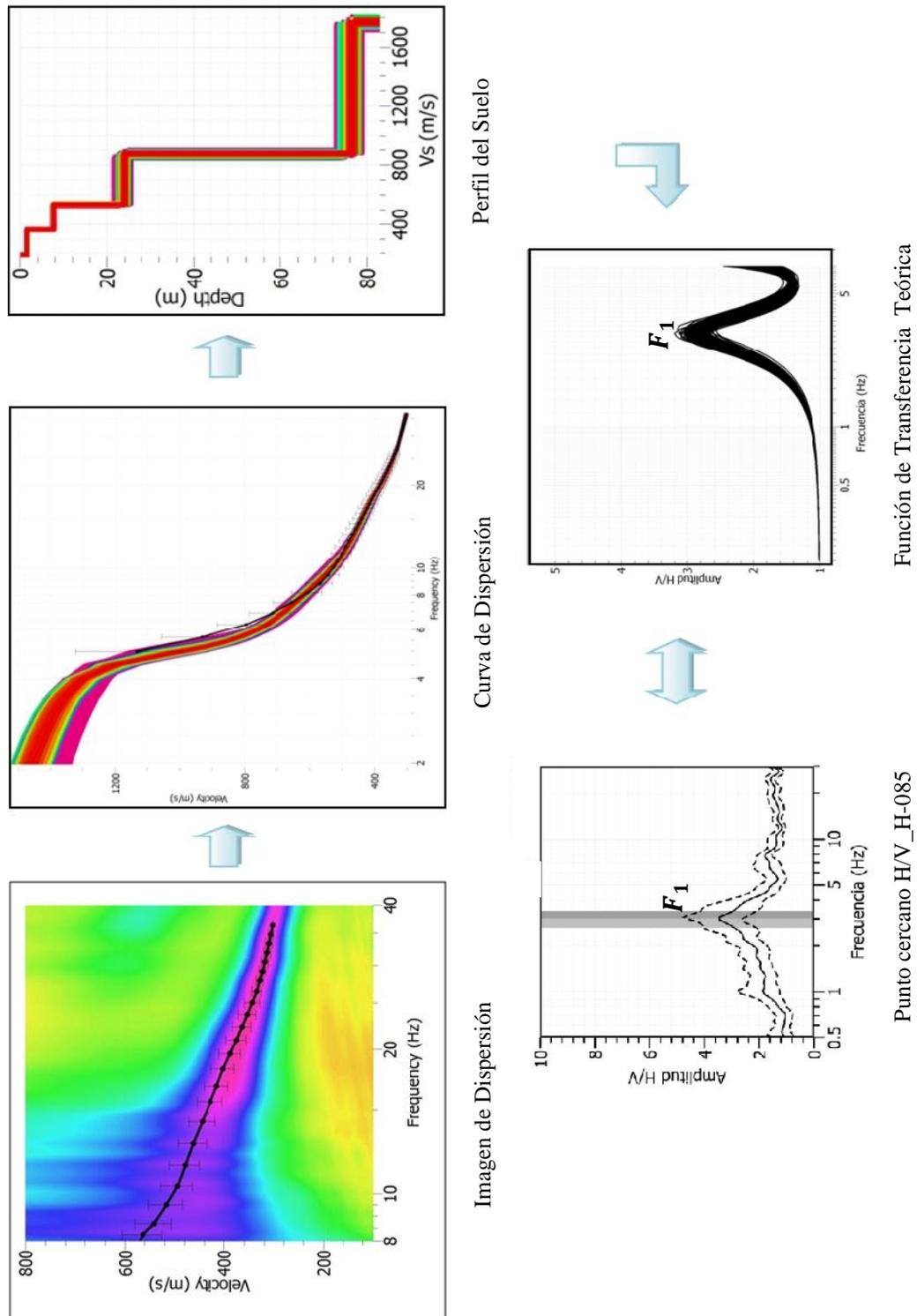


Figura 6.22: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR02-HUA (ver Figura 6.18).

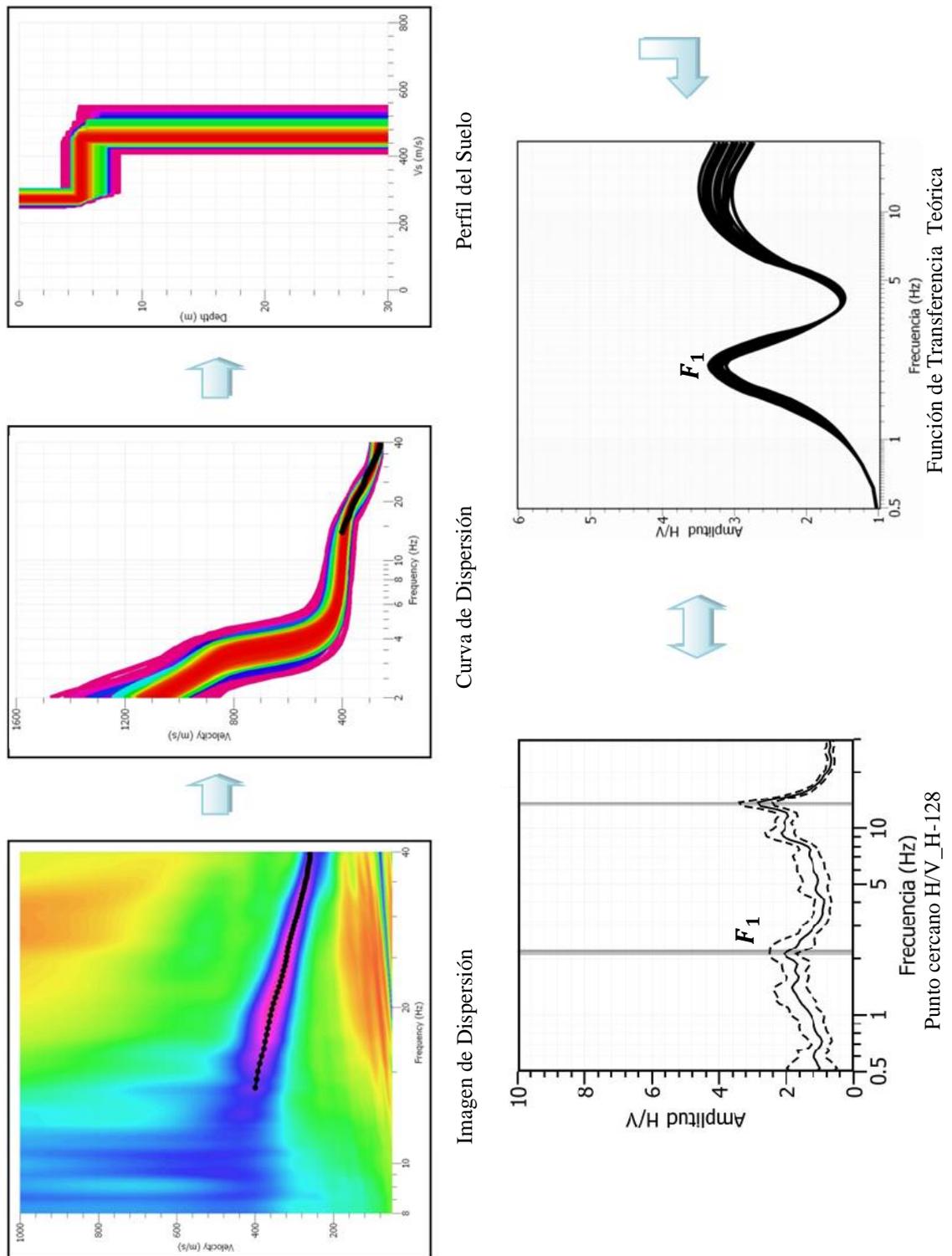


Figura 6.23: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR03-HUA (ver Figura 6.18).

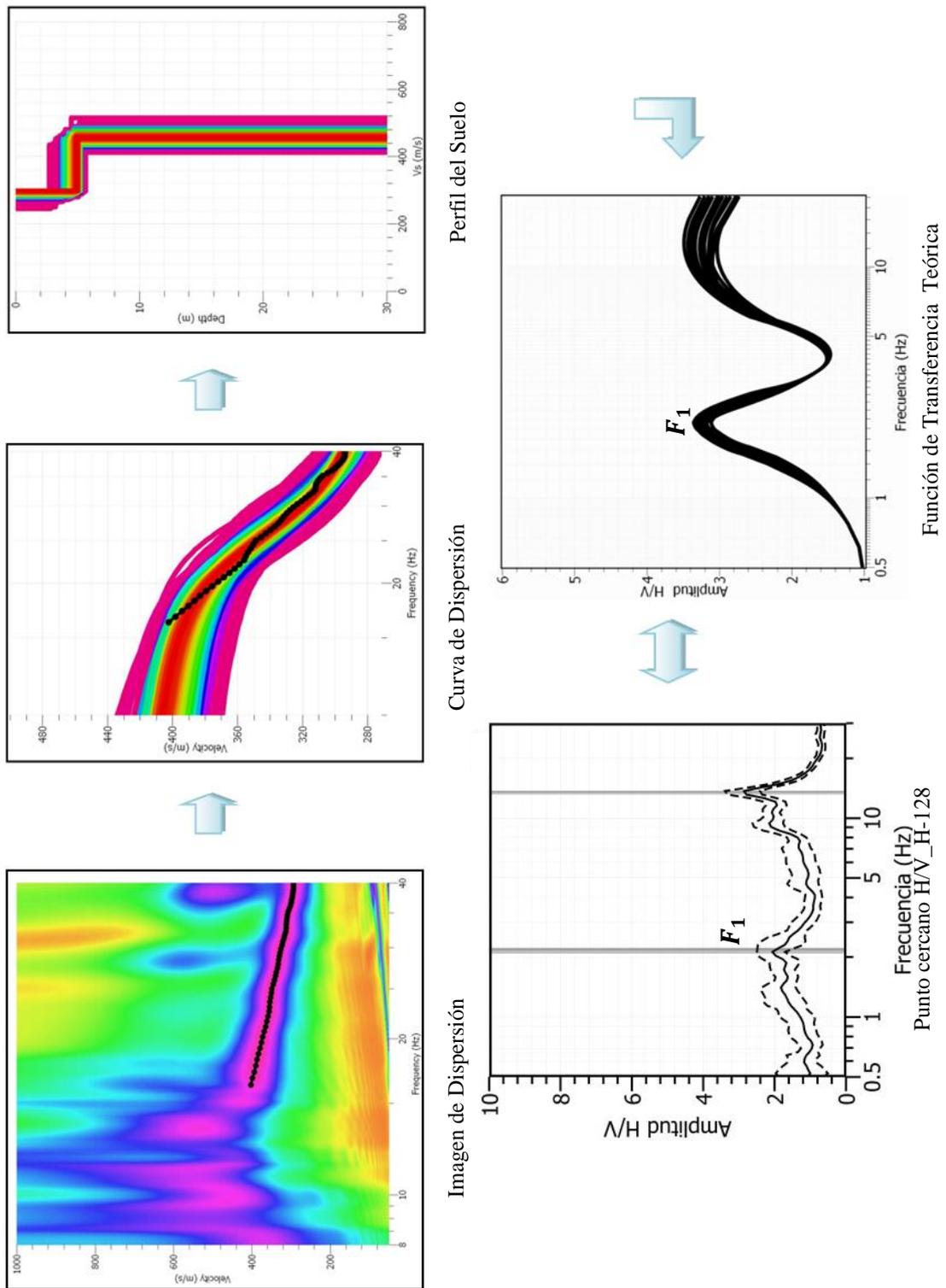


Figura 6.24: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR04-HUA (ver Figura 6.18).

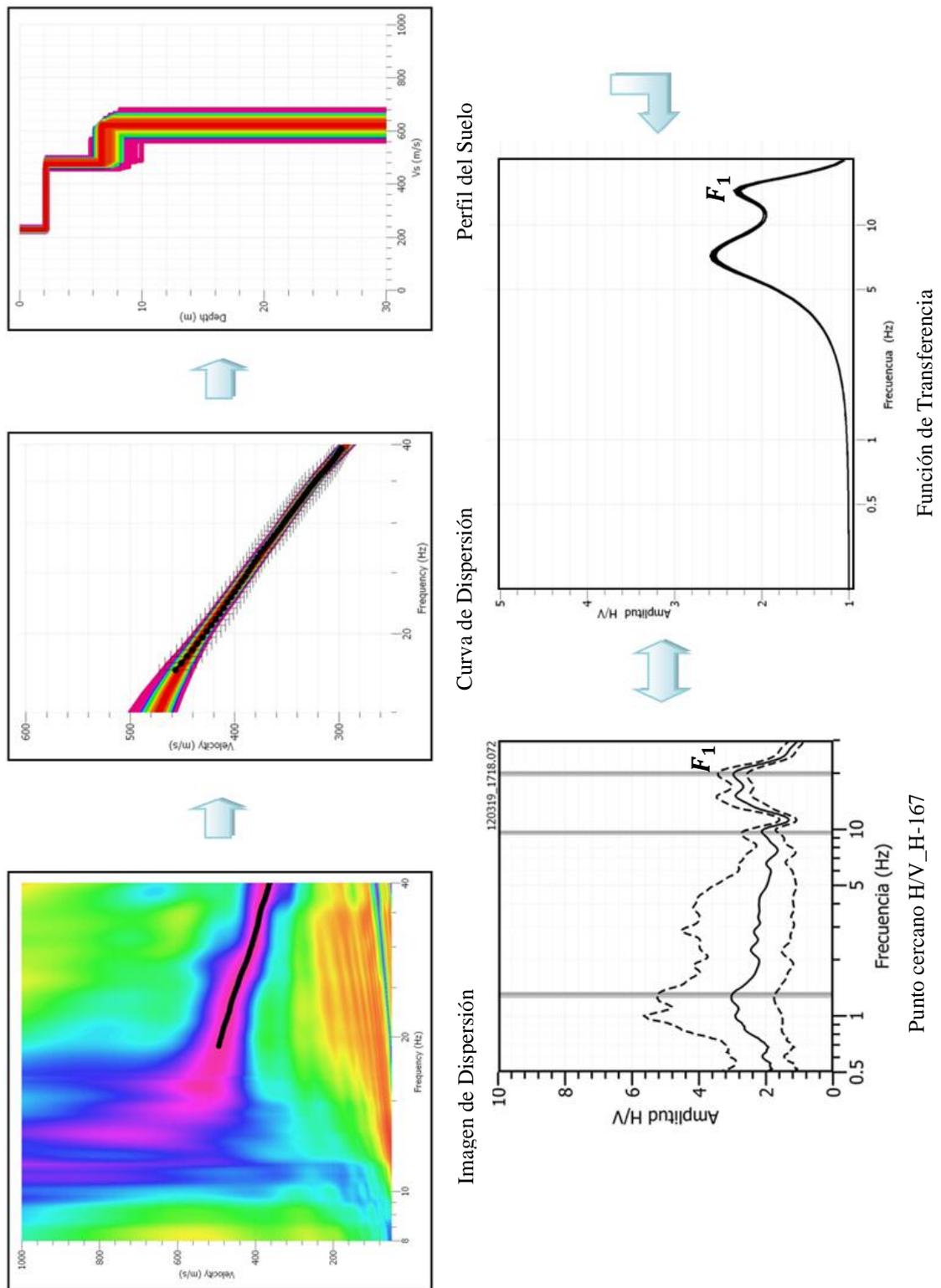


Figura 6.25: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR05-HUA (ver Figura 6.18).

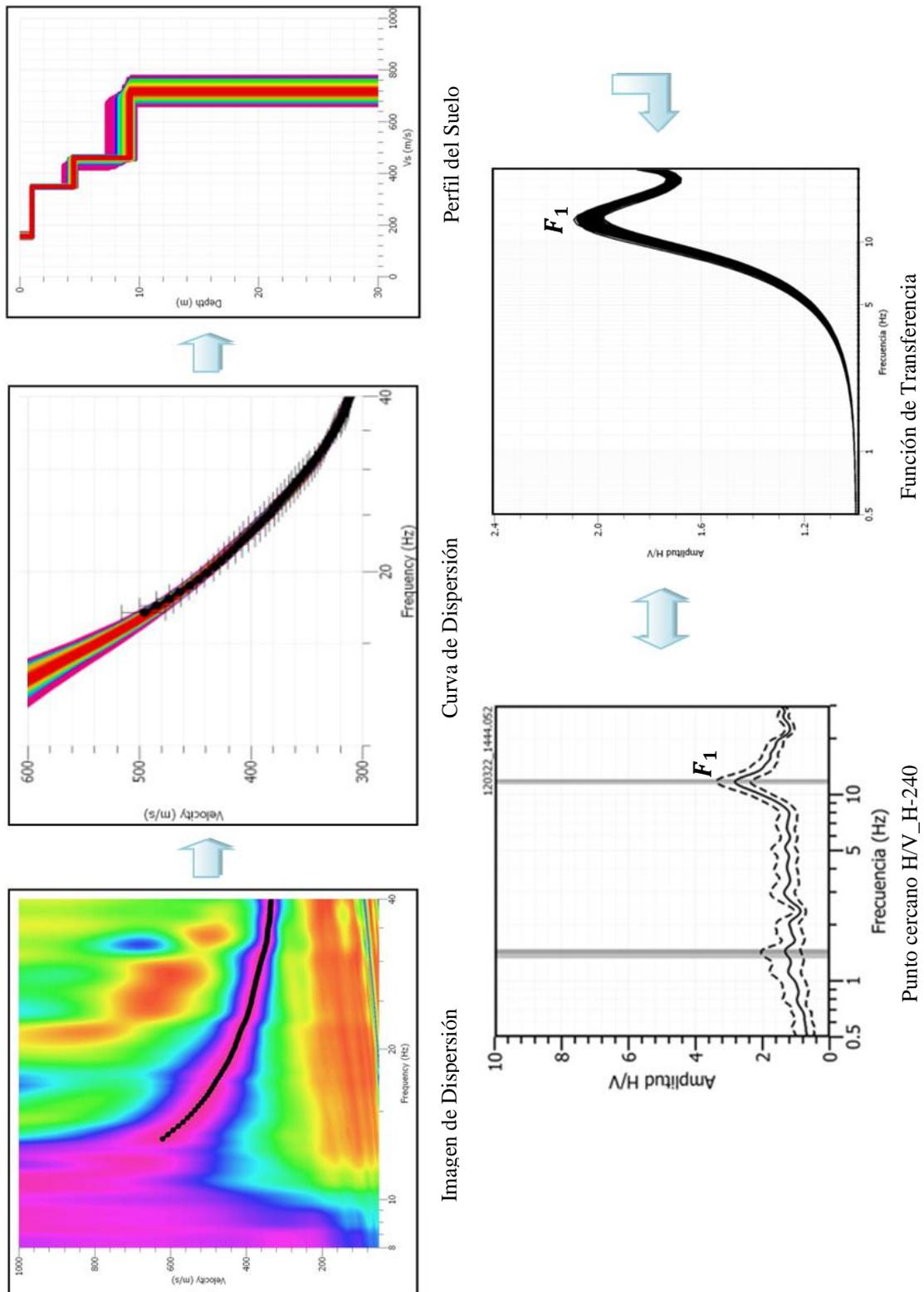


Figura 6.26: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR06-HUA (ver Figura 6.18).

6.3.2.1. Discusión de los resultados de los arreglos sísmicos lineales

Con la información obtenida de este ensayo fue posible realizar una estimación de las velocidades de propagación de las ondas de corte y los espesores de las capas del subsuelo, así también conocer indirectamente las características estratigráficas de los suelos que se encuentran a diferentes profundidades y determinar sus propiedades dinámicas, características importantes que influyen en el comportamiento dinámico del suelo.

En la Tabla 15 se muestra en resumen los resultados obtenidos con los arreglos lineales, espesor de los estratos, velocidad y descripción.

Tabla 15: Variación del espesor del suelo de un punto a otro, en el área urbana de Huaycan

Línea	Espesor (m)	Vs (m/s)	Descripción
LR01-HUA	2-4	200	Suelos blandos a moderadamente duros.
	6	390	Suelos moderadamente duros a duros.
	16	500	Suelos duros a muy duros
	-	800	Suelos muy duros
LR02-HUA	5-7	200	Suelos blandos a moderadamente duros.
	9	400	Suelos moderadamente duros a duros.
	-	700	Suelos muy duros
LR03-HUA y LR04-HUA	5-7	280	Suelos relativamente duros
	30	450	Suelos muy duros
LR05-HUA	2-4	230	Suelos blandos a moderadamente duros.
	5	460	Suelos duros
	-	610	Suelos muy duros
LR06-HUA	2-3	160	Suelos blandos
	3	350	Suelos moderadamente duros
	5	460	Suelos duros
	-	700	Suelos muy duros

A partir de los perfiles de velocidad obtenidos aplicando el método inverso iterativo, se ha obtenido frecuencias f_0 teóricas del suelo que al compararla con las obtenidas con el método H/V, correlaciona adecuadamente hasta un 90%, lo cual permite dar confiabilidad a los resultados obtenidos en este estudio.

De acuerdo a los resultados, en la línea sísmica LR01-HUA se identificó la existencia tres capas (Urb. Unión Paraíso, en los alrededores del cementerio de Huaycan) superficiales de poco espesor, coherente con los resultados de H/V y con los suelos, según la clasificación SUCS compuestos por gravas arenosas mal gradadas.

Según la línea sísmica LR02-HUA, en la Urb. Los Portales se encuentran dos capas, y de acuerdo a la clasificación SUCS estos suelos están compuestos por gravas arenosas con arcillas. Por otro lado las razones espectrales presentan uno y hasta dos picos, lo que evidencia la heterogeneidad de los suelos y la presencia de dos capas.

Las líneas LR03-HUA y LR04-HUA indican que en la zona arqueológica de Huaycan existe una capa de suelos relativamente duros y que según la clasificación SUCS están conformados por arcillas inorgánicas con gravas redondeadas bien compactadas, presenta también frecuencias predominantes bajas del orden de 1 a 1.5 Hz.

En la Zona O, la línea sísmica LR05-HUA sugiere la existencia de dos capas que según la clasificación SUCS corresponden a suelos superficiales compuestos por arenas gradadas adecuadamente con gravas mal compactadas, las frecuencias predominantes para estos suelos son altos, lo que nos confirma que en la zona existen estratos delgados.

Finalmente, la línea LR06-HUA indica que en las Zonas H y M, los suelos están compuestos por tres capas, una primera capa compuesta de suelos blandos y según la clasificación SUCS, estos suelos superficiales están compuestos por gravas y arenas pobremente gradadas y presentan valores altos de frecuencias predominantes.

CAPITULO VII

ZONIFICACIÓN SÍSMICA GEOTECNICA

7.1. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en el capítulo VI de las características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas de la zona urbana de Huaycan, han permitido delimitar la geología local, unidades geomorfológicas y diferentes movimientos en masa respectivamente. De igual manera con los resultados de los estudios geotécnicos se delimitó el área de estudio por tipos de suelos según la clasificación SUCS describiendo sus características, en este mismo capítulo, se complementó esta delimitación con el análisis de la capacidad portante del suelo, obteniendo una zonificación geotécnica del área.

Asimismo, a partir de los resultados de los estudios de dinámica de suelos (técnica de cocientes espectrales H/V y arreglos sísmicos lineales) se delimitaron zonas con características dinámicas similares.

Finalmente, los estudios anteriormente mencionados fueron integrados en un mapa en el cual se describe las características estáticas y dinámicas del suelo, así como también se proponen los parámetros sísmicos del reglamento nacional de construcciones (Norma E030) para el diseño en esta zona.

7.2. Zonificación sísmica – geotécnica

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área urbana de Huaycan considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica y geofísica, como mencionamos anteriormente. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio de acuerdo a la Norma de Construcción Sismoresistente (Norma E030), la existencia de suelos de Tipo S1 y S2.

Finalmente para el área Urbana de Huaycan (Ate) se propone la siguiente zonificación:

Zona I: Esta zona está conformada por estratos de grava con arena que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido con periodos de vibración natural, determinados por las mediciones de vibración ambiental, entre 0.1 y 0.3 s correspondientes a suelos de Tipo S1.

Zona II: En esta zona se considera a las planicies aluvionales conformadas por columnas de gravas y arenas intercaladas con niveles finos limosos y arcillosos cuyos espesores varían entre 6 y 25 m.

Los periodos dominantes del terreno determinados por las mediciones de vibración ambiental, se encuentran entre 0.3 y 0.5 s y corresponden a suelos de Tipo S2. Esta zona abarca principalmente la parte céntrica del área urbana de Huaycan.

En la Figura 7.1, las zonas sombreadas con líneas inclinadas presentan amplificaciones menores a 2 veces, correspondiendo a zonas rocosas y/o más estables.

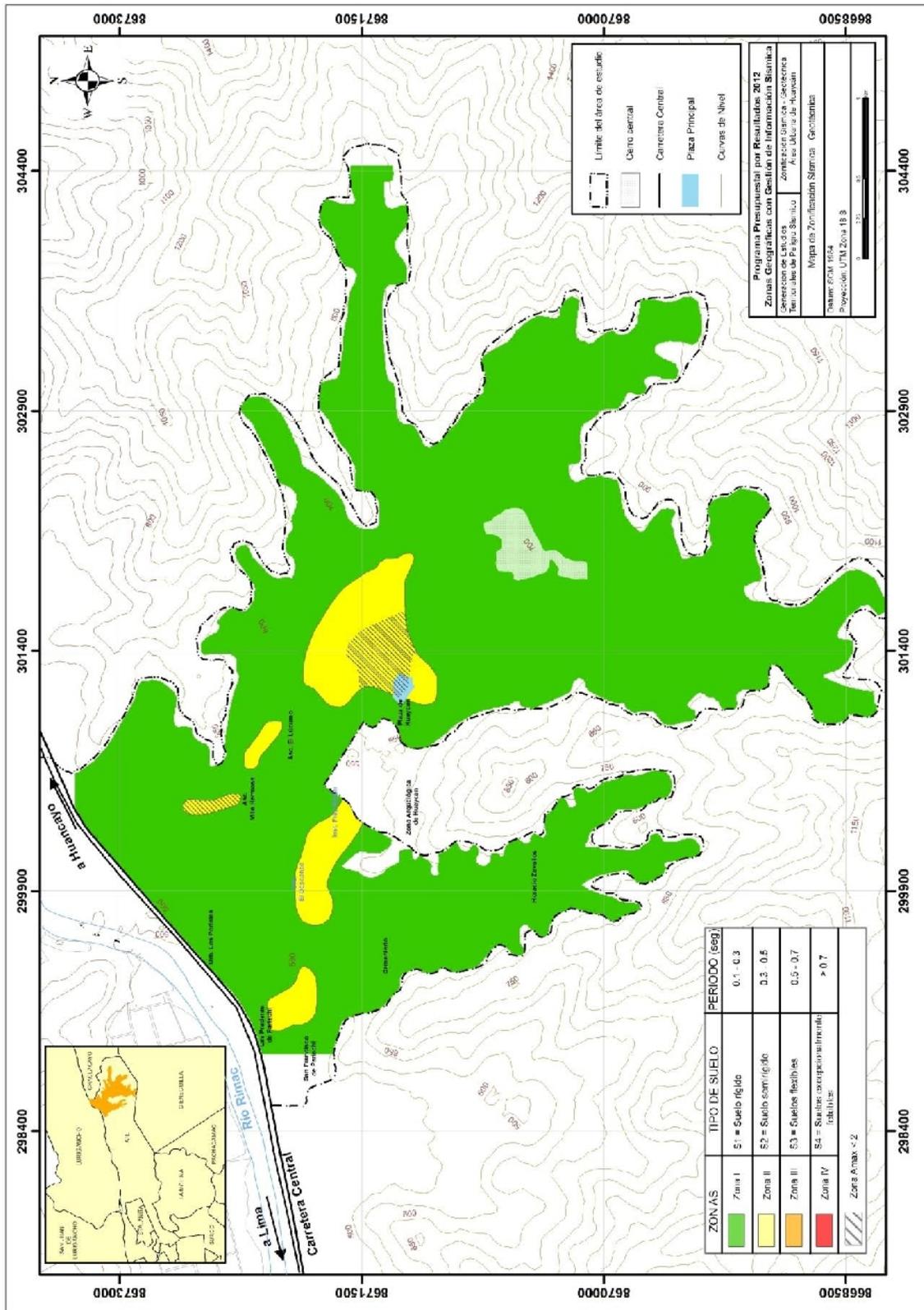


Figura 7. 1: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la zona urbana de Huaycan

De acuerdo al mapa de Zonificación Sísmica Geotécnica, Huaycan presenta un suelo con comportamiento rígido, por ejemplo en este tipo de suelo están localizados la comisaria, el Colegio Nacional Mixto de Huaycan, el Colegio Estatal N° 1248, el Colegio Técnico Parroquial San Francisco de Asís, colegio Fe y Alegría, el Hospital de Huaycan, el cementerio de Huaycan y las zonas de la B a la Z.

Por otro lado las zonas con comportamiento semirígido, comprenden la Plaza de Armas de Huaycan, parte de la Zona A, el Hospital María Auxiliadora, así mismo la urbanización Luna Pizarro, la asociación de viviendas el Lúcumo, las Praderas de Pariachi tercera etapa y parte de la urbanización el Descanso, todas ubicadas en el extremo NW de Huaycan.

CONCLUSIONES

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

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

- Se ha identificado e inventariado la ocurrencia de 26 movimientos en masa críticos 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.

Los deslizamientos en la zona urbana de Huaycan son afectados por elementos propios del proceso de urbanización y el manejo inapropiado de los taludes, los casos de alto riesgo están en áreas geotécnicamente susceptibles y con desarrollo urbano rápido y desordenado, las zonas más críticas son la Zona Z, la urbanización Horacio Zevallos, la Zona N y C, debido a que afectaría a la mayor cantidad de población, además en estos lugares la población se ha asentado en pendientes pronunciadas o sobre terraplenes. Las otras zonas con riesgo de caída de rocas y flujo de detritos son las Zonas M, X, T, D y U.

- La elaboración de 15 calicatas y el respectivo análisis de muestras realizadas en laboratorio han permitido identificar para el área urbana de Huaycan, la presencia de 9 tipos de suelos, los mismos que ha sido caracterizado de acuerdo a la clasificación SUCS, se ha encontrado suelos de menor calidad en la Zona V.

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

- 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 Huaycan es muy heterogéneo y por ende, complejo. El rango de frecuencias entre 3 y 20 Hz ha permitido identificar la presencia de tres áreas con similares valores de frecuencias, lo cual confirma la heterogeneidad del suelo.
- Los estudios con arreglos sísmicos lineales han permitido identificar la presencia de suelos con velocidades (V_s) de 160 a 280 m/s correspondiente a suelos duros con espesores de 2 a 7 metros, suelos con velocidades V_s de 350 a 490 m/s correspondiente a suelos muy duros con espesores de 3 a 9 metros.

La superficie de contacto alcanza velocidades de 450 a 800 m/s que corresponde a suelos compuesto por rocas moderadamente duras, distinguiéndose entre dos y tres capas.

- Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismoresistente (Norma E030), la existencia en el área urbana de Huaycan 2 zonas sísmicas - geotécnicas, las mismas que corresponden a suelos de Tipo S1 y S2. Esta clasificación permite proponer, en este estudio, el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del suelo) para el área urbana de Huaycan.
- Es importante que las autoridades socialicen estos resultados para que las personas que viven en estas áreas tengan conocimiento de la sobre las características de los suelos sobre las cuales están asentadas sus viviendas, así mismo los que habitan las zonas de mayor riesgo de desastre, conozcan el grado de riesgo al que están expuestas sus viviendas en caso de sismo o lluvias excepcionales, y de esa manera reducir el peligro. De tal manera que esta información puede ser utilizada para la toma de decisiones respecto al ordenamiento territorial y para las acciones de gestión de riesgos.

BIBLIOGRAFÍA

Aki, K. (1957): Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, pp. 35, 415–457.

Aki, K. (1988): American Society of Civil Engineering. *Geotechnical Special Publication*, pp. 20, 103, 155.

Álvarez, S. (1999): El Efecto Local sobre el Movimiento Sísmico del Suelo. *Fenomenología y Resultados Recientes. Física de la Tierra n° 11. Universidad complutense de Madrid*, pp. 141–173.

APESSEG (2005): Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID.

Bard, P. Y. (1995): The effects of surface Geology on Seismic Motion. Recent results and remaining issues. *Proc. 10th European Conference on Earthquake Engineering, Viena, Austria*.

Brad, P. Y. (1996): Site effects and seismic microzonation. *Recent advance, knowledge gaps and perspectives for application. 6th Forum of Seismic Zonación. Ibero–Agrebian Region Conference. Barcelona Spain*.

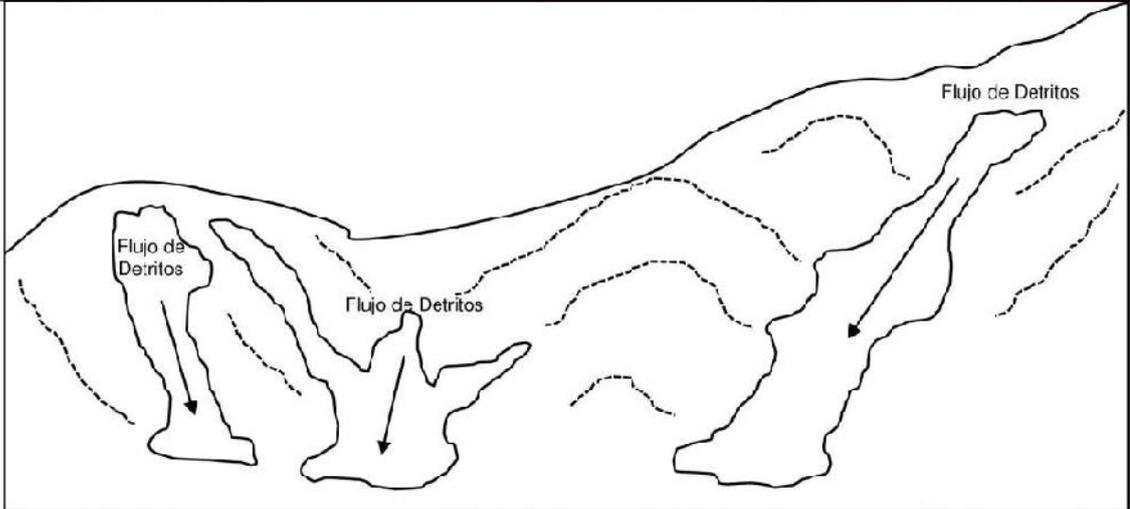
Boore, D. M. (1972): A note on the effect of simple topography on seismic SH waves. *Bull, Seism Soc. Am*, 62 pp. 275-284.

-
- Bernal, I. (2006): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala – México. *Tesis de Maestría, II-UNAM, México.*
- 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, pp. 901-991.*
- Das, Braja M. (2001): Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, pp.51-55, 207-212, 391-396.
- Dorbath, L., Cistermas, A., Dorabath, C. (1990): Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. *B.S.S.A., pp 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, pp. 7, 449-467*
- Gutierrez, C. y S.K. Singh (1992): A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of results from strong motion and microtremor data, *Bull. Seism. Soc. Am., pp. 82, 642-659, 1992.*
- INGEMMET (1999): Cuadrángulos Geológicos Digitales de la Carta Nacional 1960 - 1999. *Sector Energía y Minas.*
- Juárez, B. (1996): Mecánica de Suelos, pp. 397-410.
- Kramer S, (1996): Geotechnical earthquake Engineering, pp. 452-470.
- Lachet, C. y P. Y. Bard (1994): Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth, pp. 42, 377-397.*
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a): Are microtremors useful in site response evaluation? *Bull. Seism. Soc. Am. pp. 84, 1350-1364.*
- 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. pp.13, 413-423.*

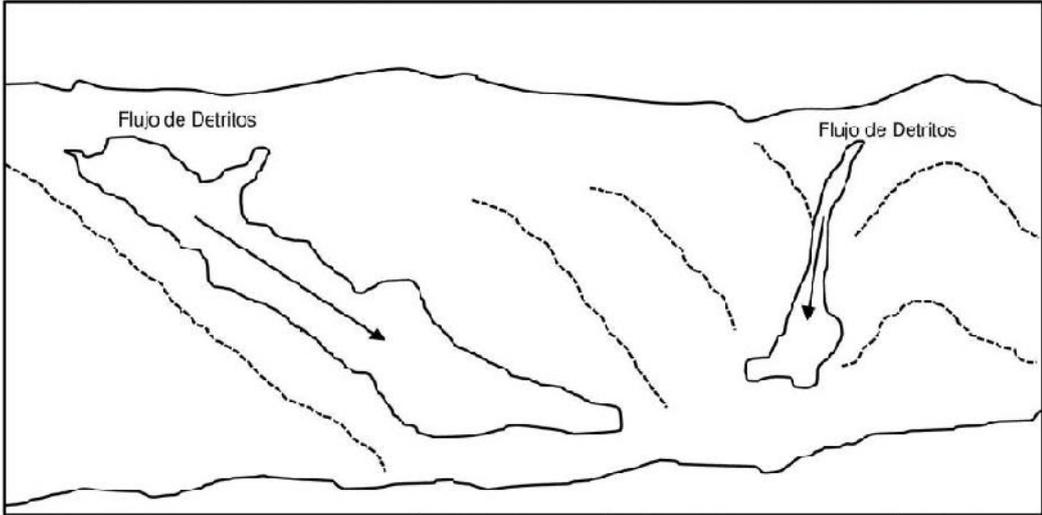
- Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, 30, No.1, pp. 25-33.
- Norma E-30 (2003): Norma Técnica E-030, Diseño Sismo Resistente. *Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento*.
- Ordaz, M., A. Aguilar, J. Arboleda (2007): Program for computing seismic hazard: CRISIS-2007 V1.1, *Institute of Engineering, UNAM, México*.
- Okada, H. (2003): The Microtremor Survey Method, Geophysical monograph series, No 12. *Society of exploration geophysicists*, pp.135.
- 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.
- SESAME, Europe Research Project, (2004): Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation.
- Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. *Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú*, pp. 56-63.
- Sitar, N. and Clough, G. W. (1983): Seismic response of steep slopes in cemented soils. *Bull of the Seismological Society of America*, vol. 87, N° 3, pp. 701-709.
- Suarez, J. (1998): Deslizamientos y Estabilidad de Taludes, pp. 335-350.
- 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*.
- Whitlow, R. (1994): Fundamentos de Mecánica de Suelos, pp. 423-429.

ANEXO 1

Inventario de Eventos Geodinámicos presentes en el Área Urbana de Huaycan – Ate

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
HUAYC - 01					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	ATE - HUAYCAN
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8672944 m	ESTE	300654 m	ELEVACIÓN
FECHA: 12/07/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos		LITOLOGÍA	Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)	8 m x 30m		ESPESOR	1.0 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable	

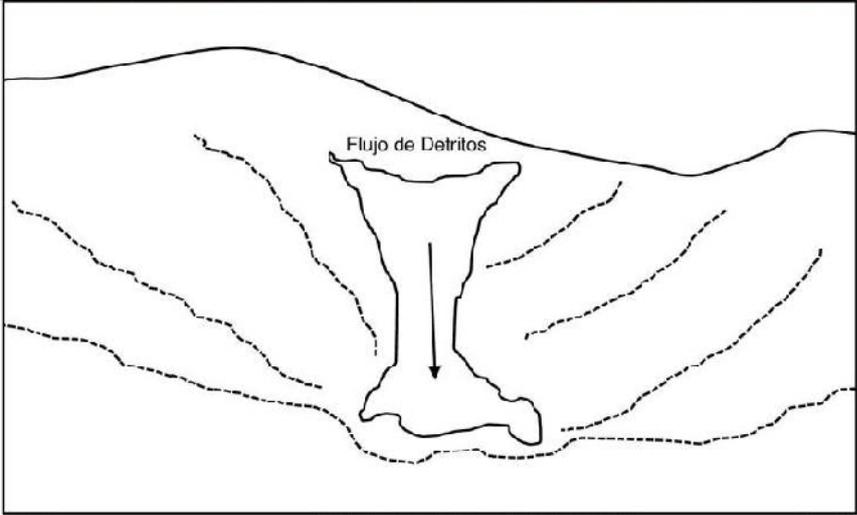
OBSERVACIONES:
Escasa vegetación, pendiente media que afecta a viviendas aledañas al cerro.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC - 02							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	ATE - HUAYCAN		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8672920 m	ESTE	300719 m	ELEVACIÓN	528 m.s.n.m.	
FECHA: 12/07/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO				Flujo de Detritos		LITOLOGIA	
DIMENSIONES (Longitud, altura)				5 m x 30m		ESPESOR	
INCLINACIÓN DEL TALUD				> 45°		TIPO DE MATERIAL	
SUPERFICIE DE RUPTURA				N.T		MATRIZ	
						Roca intrusiva	
						1.5 m	
						Coluvial	
						Variable	

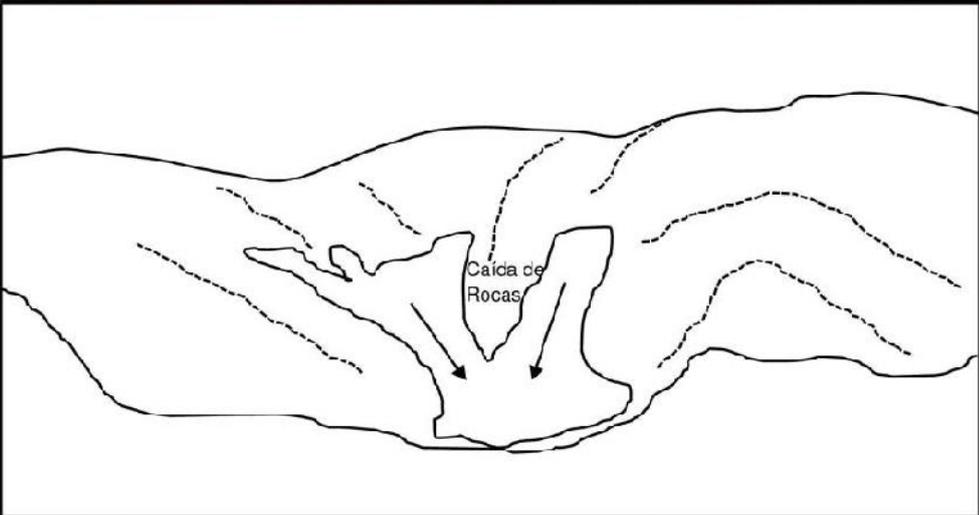
OBSERVACIONES.

Asociado a de rocas de 20" aprox. en la parte baja. Vegetación alrededor del cerro.

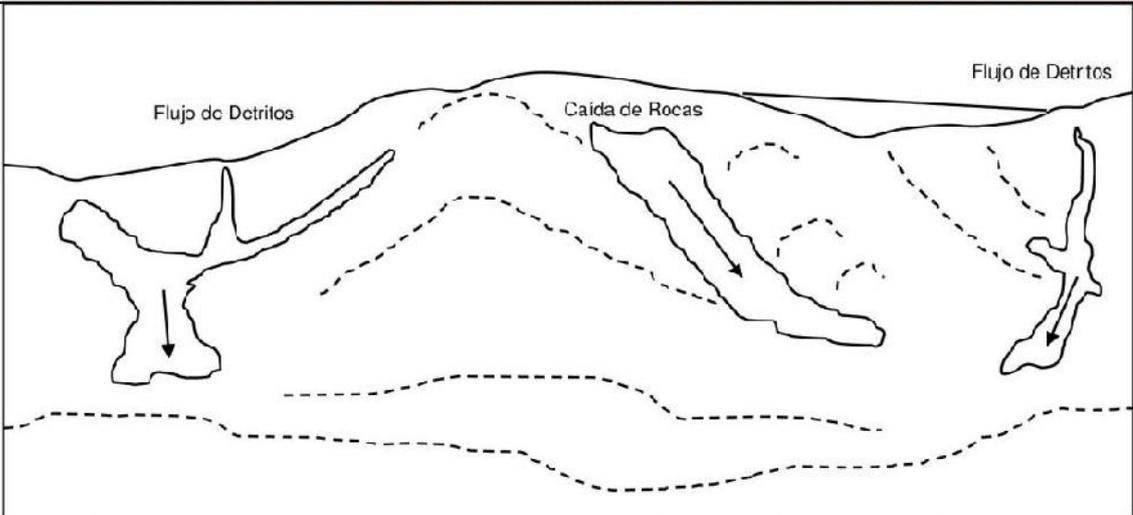
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
HUAYC - 03						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	ATE - HUAYCAN
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8672730 m	ESTE	300624 m	ELEVACIÓN	531 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos		LITOLOGIA	Roca intrusiva		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	50 m x 100m		ESPESOR	2 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	> 50°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		

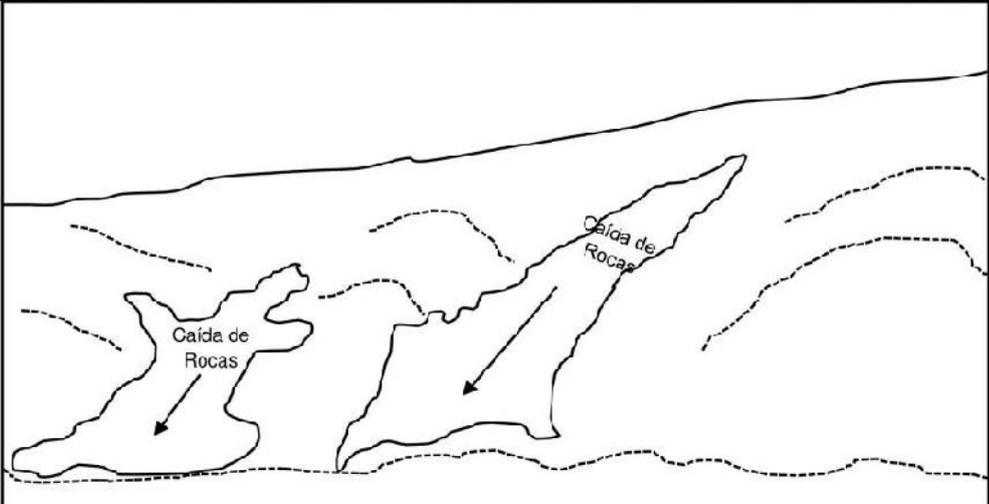
OBSERVACIONES:
Cerro colindante a la carretera camino a villa Tusan.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC - 04							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	ATE - HUAYCAN		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8672394 m	ESTE	300540 m	ELEVACIÓN	531 m.s.n.m.	
FECHA: 27/06/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO		Caída de Rocas		LITOLOGIA		Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)		20 m x 100m		ESPESOR		2 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD		>40°		TIPO DE MATERIAL		Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA		NT		MATRIZ		Variable	

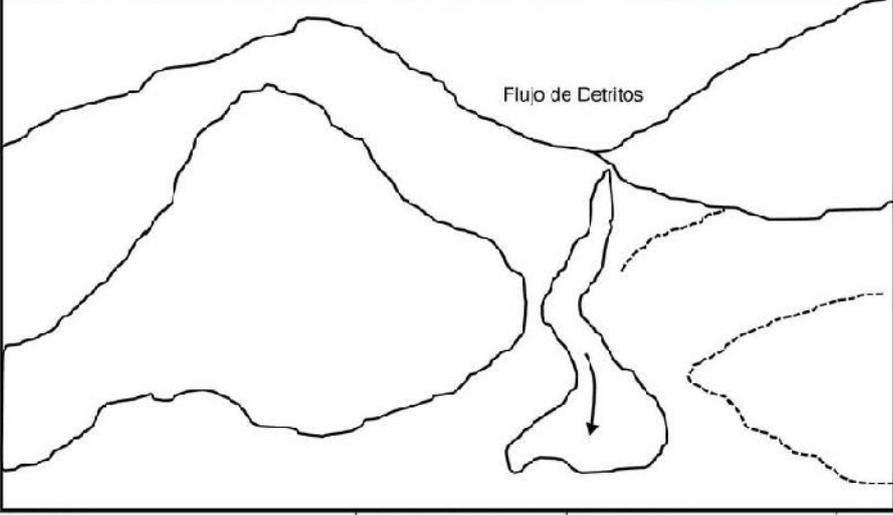
OBSERVACIONES:
Macizo rocoso medianamente compacto. Viviendas en condiciones muy precarias.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC - 05							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	ATE - HLAYCAN		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8672324 m	ESTE	301010 m	ELEVACIÓN	548 m.s.n.m.	
FECHA: 27/06/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO		Flujo de Detritos		LITOLOGIA		Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)		20 m x 100m		ESPEJOR		3 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD		60°		TIPO DE MATERIAL		Arenas con roca	
SUPERFICIE DE RUPTURA		NT		MATRIZ		Variable	

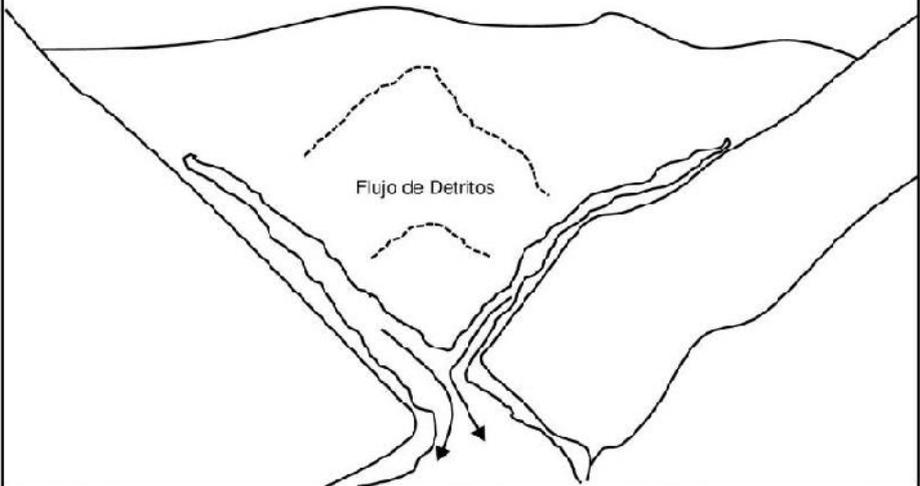
OBSERVACIONES:
Pendiente bien pronunciada, Muros de contención (Pircas sin cementar) que actúan como barrera ante caída de rocas.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
HUAYC - 06						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	ATE - HUAYCAN	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8672345 m	ESTE	301019 m	ELEVACIÓN	552 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Roca intrusiva		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	30 m x 70m		ESPEJOR	1 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	40°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		

OBSERVACIONES:
Material de arena suelta con rocas de 6" producto de caída de rocas. Pendiente pronunciada.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC - 07							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	ATE - HUAYCAN		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8672246 m	ESTE	301555 m	ELEVACIÓN	593 m.s.n.m.	
FECHA: 27/06/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos		LITOLOGIA	Roca intrusiva			
DIMENSIONES (Longitud, altura)	25 m x 150m		ESPESOR	2 m			
INCLINACIÓN DEL TALUD	50°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial			
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable			

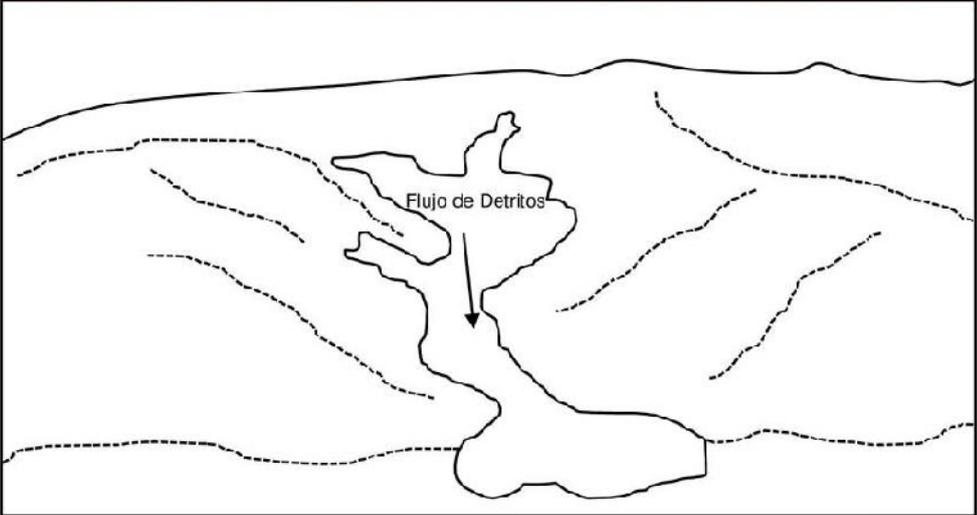
OBSERVACIONES:
Viviendas asentadas en la quebrada con alto grado de susceptibilidad a flujo de detritos y caída de rocas.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
HUAYC - 08					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	ATE - HUAYCAN
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8672070 m	ESTE	301820 m	ELEVACIÓN 614 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos		LITOLOGÍA	Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)	20 m x 150m		ESPESOR	2 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD	>50°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable	

OBSERVACIONES:

Viviendas asentadas en la quebrada con alto grado de susceptibilidad a flujo de detritos y caída de rocas.

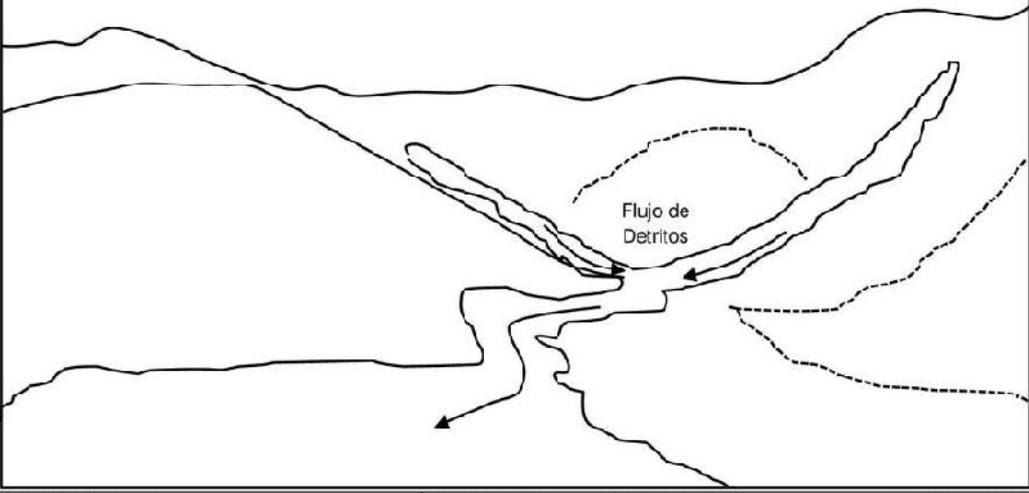
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC - 09							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8671394 m	ESTE	303930 m	ELEVACIÓN	872 m.s.n.m.	
FECHA: 27/06/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO		Flujo de Detritos		LITOLOGIA		Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)		20 m x 250m		ESPESOR		0.5 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD		50°		TIPO DE MATERIAL		Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA		NT		MATRIZ		Variable	

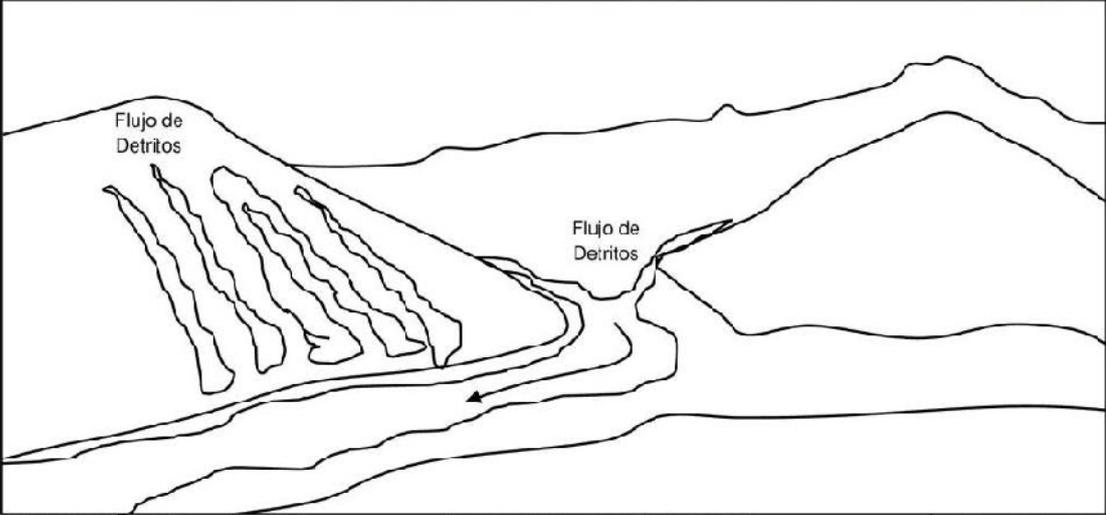
OBSERVACIONES:

En la parte alta se extrae material para la construcción el cual debilita el macizo rocoso en época de lluvias que luego originan los flujos de detritos y caída de rocas.

NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
HUAYC - 10					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PRCVINCIA	LIMA	DISTRITO	ATE - HUAYCAN
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8671330 m	ESTE	303928 m	ELEVACIÓN 878 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos		LITOLOGIA	Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)	50 m x 800m		ESPESOR	10 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°		TIPO DE MATERIAL	Co uviaI	
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable	

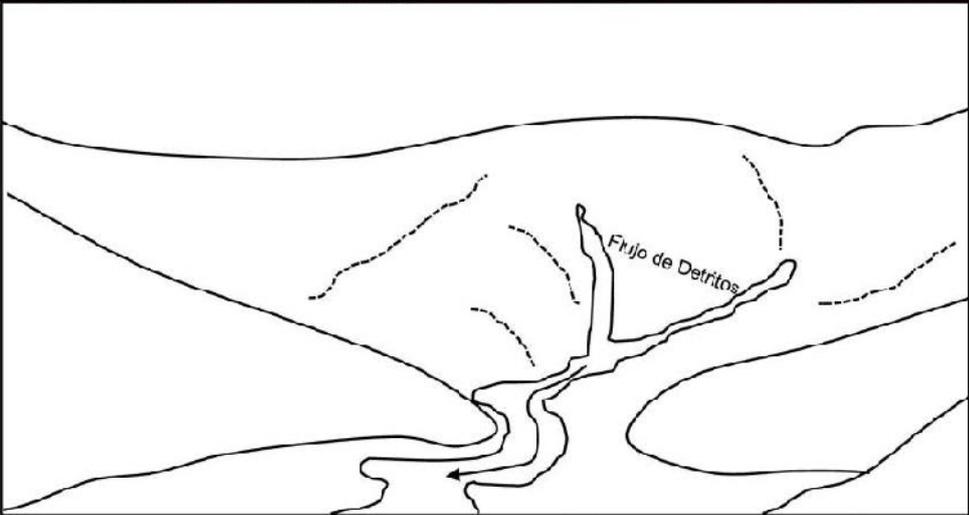
OBSERVACIONES:
Depósito de flujo de detritos de gran dimensión que se activa en época de lluvias.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC - 11							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN-ATE		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8671426 m	ESTE	303992 m	ELEVACIÓN	869 m.s.n.m.	
FECHA: 27/06/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO		Flujo de Detritos		LITOLOGIA		Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)		100 m x 400m		ESPESOR		10 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD		>45°		TIPO DE MATERIAL		Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA		NT		MATRIZ		Variable	

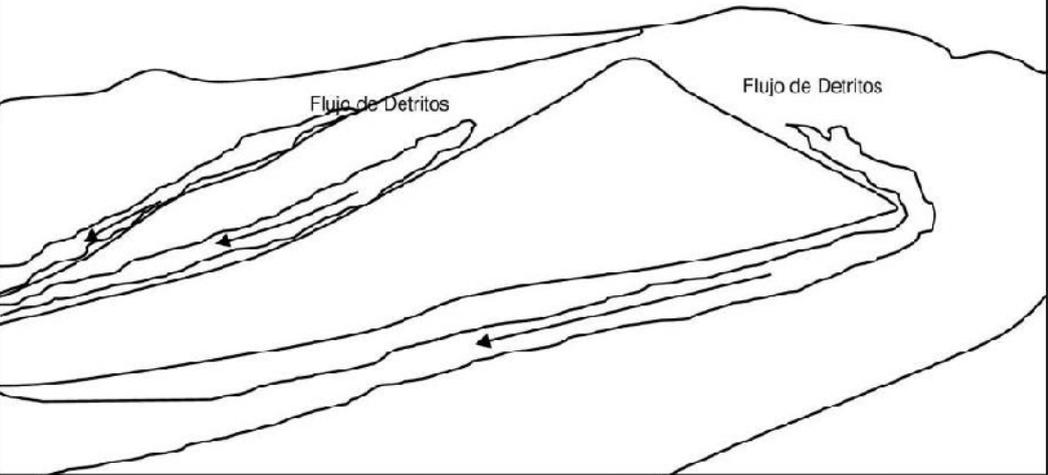
OBSERVACIONES:

Quebrada de gran dimensión que llega afectar a los pobladores (parte baja del cementerio zona Z) en época de lluvia al activarse y producir los depósitos de flujo de detritos.

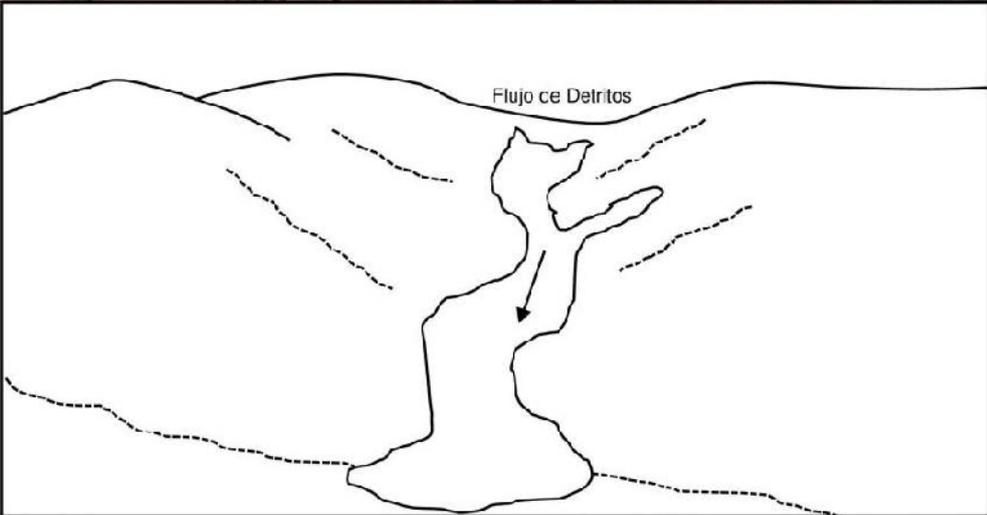
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
HUAYC - 12					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8671474 m	ESTE	303702 m	ELEVACION
833 m.s.n.m.					
FECHA: 27/06/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos		LITOLOGIA	Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)	50 m x 500m		ESPESOR	10 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD	50°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable	

OBSERVACIONES:
La población al expandirse invade terreno en depósitos de detritos y terraplenes, donde la susceptibilidad es mayor cada día.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC - 13							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN-ATE		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8671486 m	ESTE	303555 m	ELEVACIÓN	812 m.s.n.m.	
FECHA: 27/06/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO		Flujo de Detritos		LITOLOGIA		Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)		20 m x 350m		ESPESOR		3 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD		40°		TIPO DE MATERIAL		Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA		NT		MATRIZ		Variable	

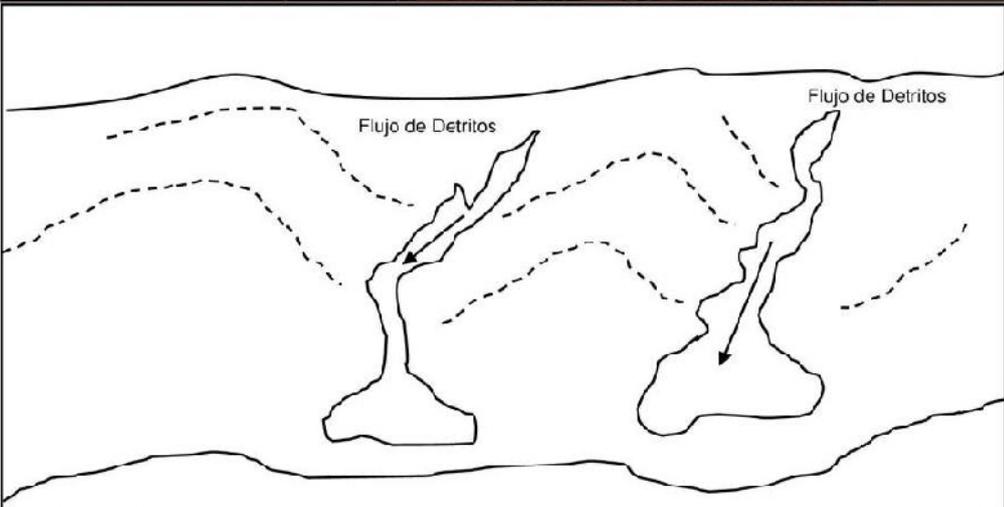
OBSERVACIONES:
Depósitos de flujo de detritos en la parte baja del Cementerio.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
HUAYC - 14						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN ATE	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8671464 m	ESTE	303345 m	ELEVACIÓN	788 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos	LITOLOGIA	Roca intrusiva			
DIMENSIONES (Longitud, altura)	5 m x 150m	ESPESOR	1.0 m			
INCLINACIÓN DEL TALUD	60°	TIPO DE MATERIAL	Coluvial			
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT	MATRIZ	Variable			

OBSERVACIONES:

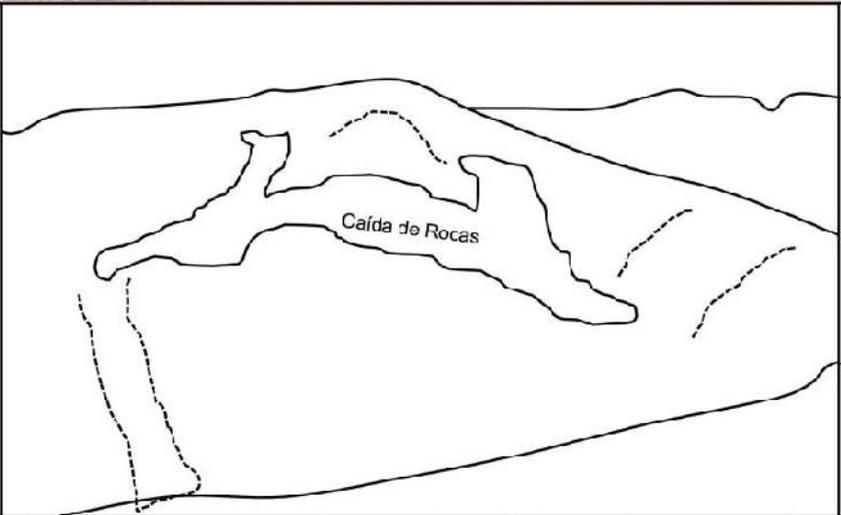
Asociado a los flujos de detritos se encuentran las caídas de rocas donde las viviendas se ven afectadas.

NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
HUAYC - 15					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8671512 m	ESTE	303337 m	ELEVACIÓN
784 m.s.n.m.					
FECHA: 27/06/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos	LITOLOGIA	Roca intrusiva		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	30 m x 200m	ESPESOR	1 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	40°	TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT	MATRIZ	Variable		

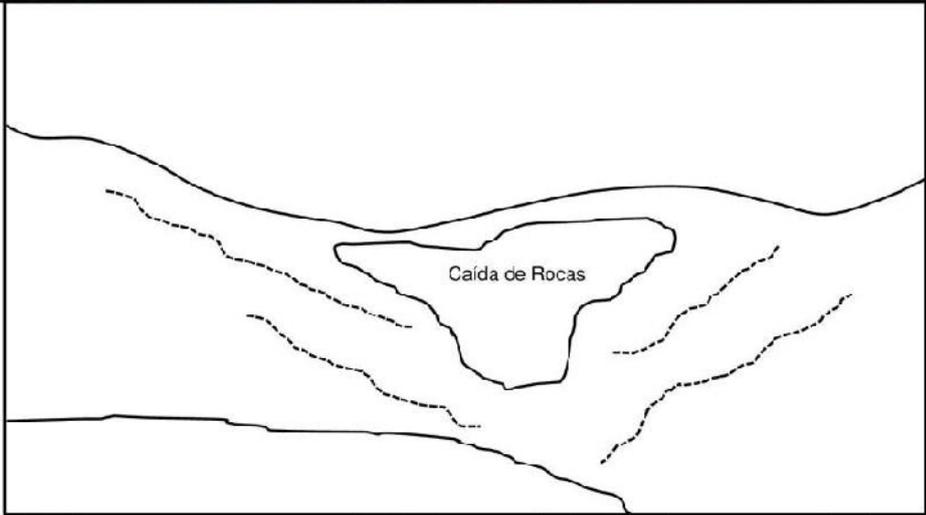
OBSERVACIONES:

NT = No tiene

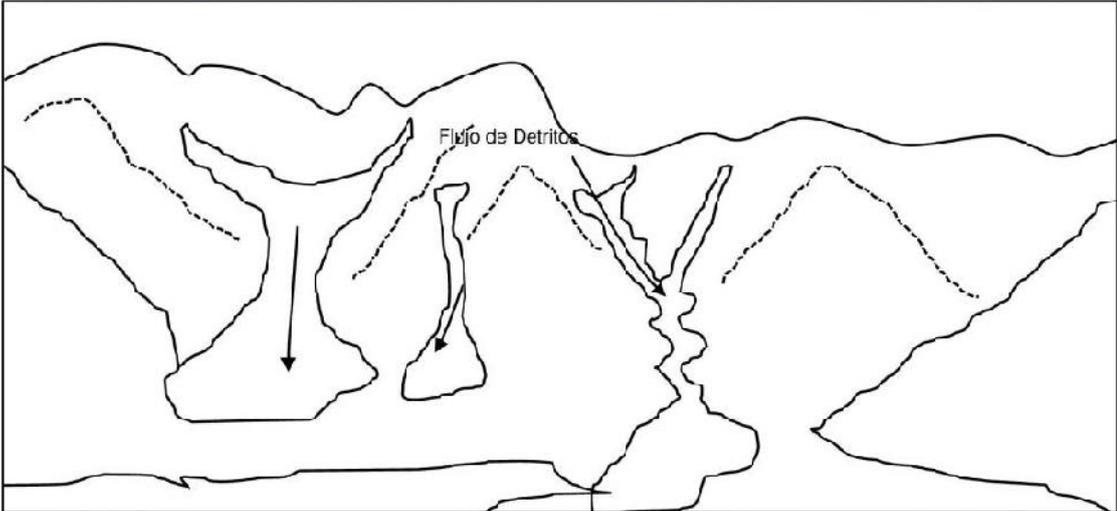
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
HUAYC - 16						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8671480 m	ESTE	302935 m	ELEVACIÓN	739 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas		LITOLOGIA	Roca intrusiva		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	100 m x 60m		ESPESOR	0.5 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	30°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		

OBSERVACIONES:
 Área susceptible a caída de rocas. Material de arena suelta con rocas de 5" Pendiente pronunciada.

NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
HUAYC - 17						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8670808 m	ESTE	302733 m	ELEVACIÓN	706 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Caída de Rocas	LITOLOGIA	Roca intrusiva			
DIMENSIONES (Longitud, altura)	100 m x 50m	ESPEJOR	0.5 m			
INCLINACIÓN DEL TALUD	>50°	TIPO DE MATERIA	Coluvial			
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT	MATRIZ	Variable			

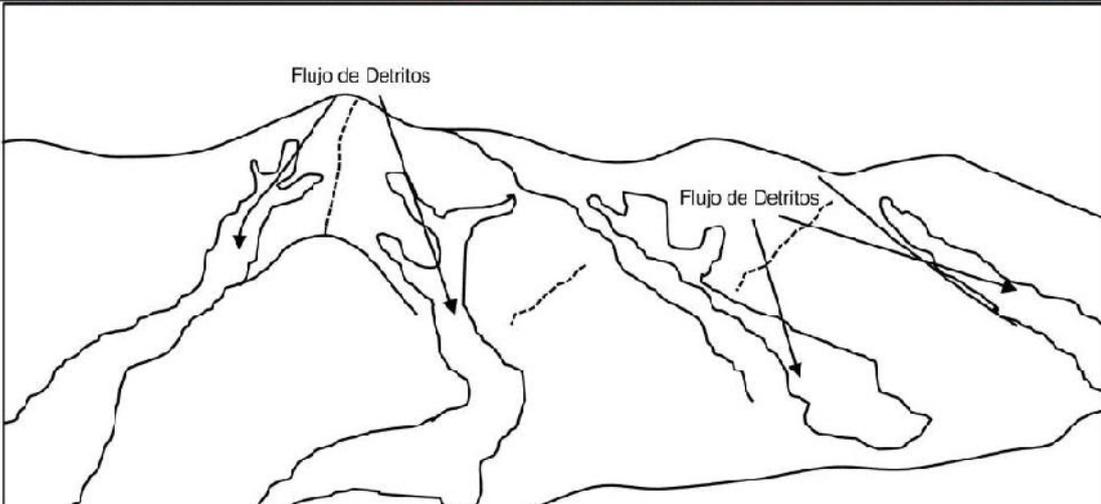
OBSERVACIONES:
Viviendas con alto grado de susceptibilidad, por consecuencia de caída de rocas.
NT = No tiene

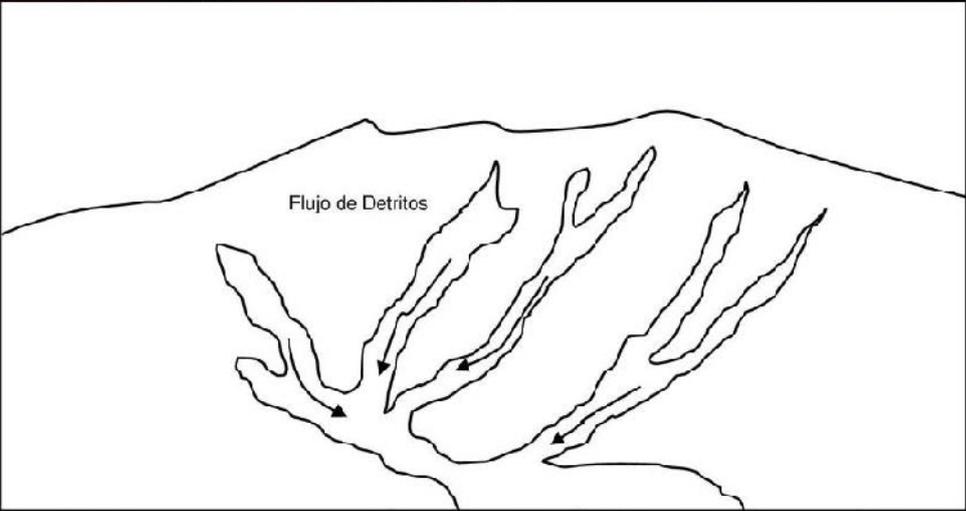
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
HUAYC - 18						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8669974 m	ESTE	303109 m	ELEVACIÓN	786 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos		LITOLOGÍA	Roca intrusiva		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	30 m x 400m		ESPESOR	2 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	>50°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT		MATRIZ	Variable		

OBSERVACIONES:

Rocas de tamaño de 8" de diámetro forman el depósito de flujo de detritos.

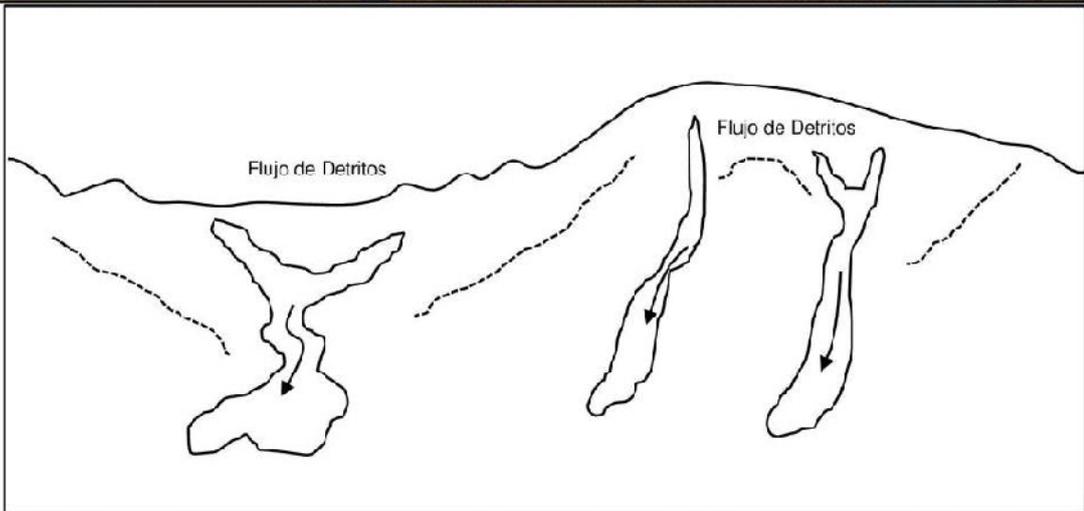
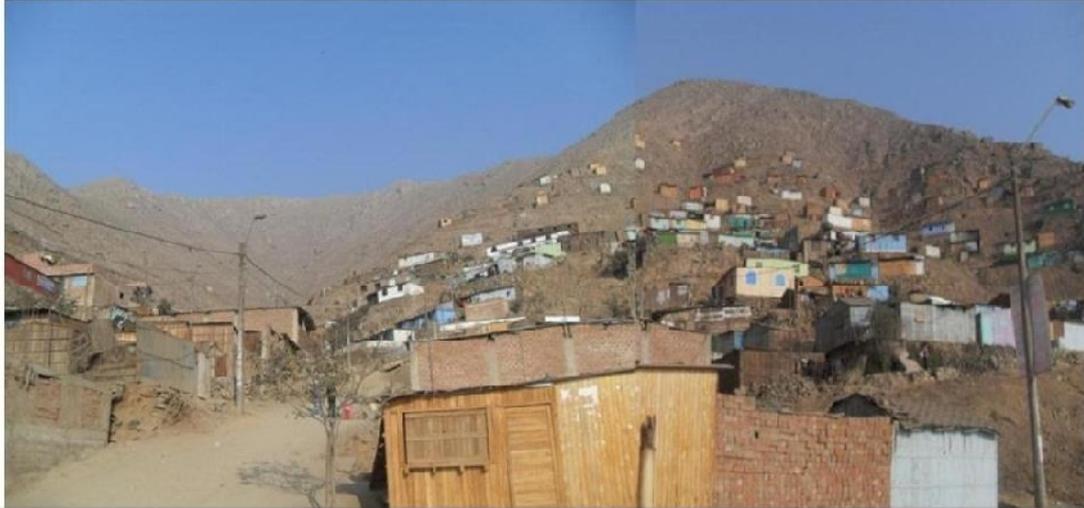
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
HUAYC - 19					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8670500 m	ESTE	302721 m	ELEVACIÓN
711 m.s.n.m.					
FECHA: 27/06/2012					
					
					
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos	LITOLOGIA	Roca intrusiva		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	30 m x 300m	ESPESOR	2 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	>45°	TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	NT	MATRIZ	Variable		
OBSERVACIONES:					
Macizo rocoso de gran potencia y roca de calidad buena. Se observan rocas sueltas posibles a desprendimiento					
NT = No tiene					

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC - 20							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8670442 m	ESTE	302682 m	ELEVACIÓN	721 m.s.n.m.	
FECHA: 27/06/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO		Flujo de Detritos		LITOLOGÍA		Roca intrusiva	
DIMENSIONES (Longitud, altura)		8 m x 30m		ESPEJOR		1 m	
INCLINACIÓN DEL TALUD		>45°		TIPO DE MATERIAL		Coluvial	
SUPERFICIE DE RUPTURA		N.T		MATRIZ		Variable	

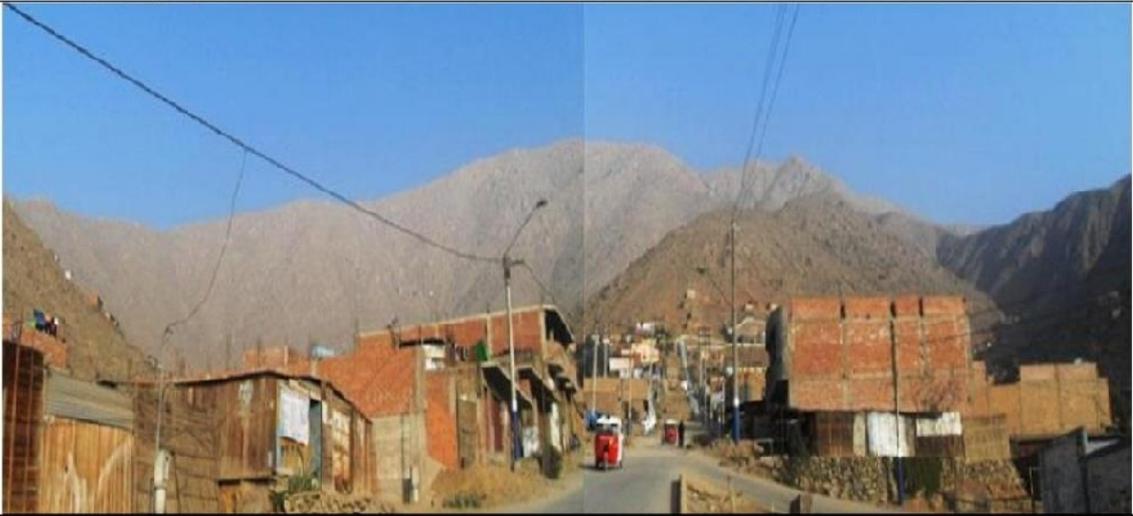
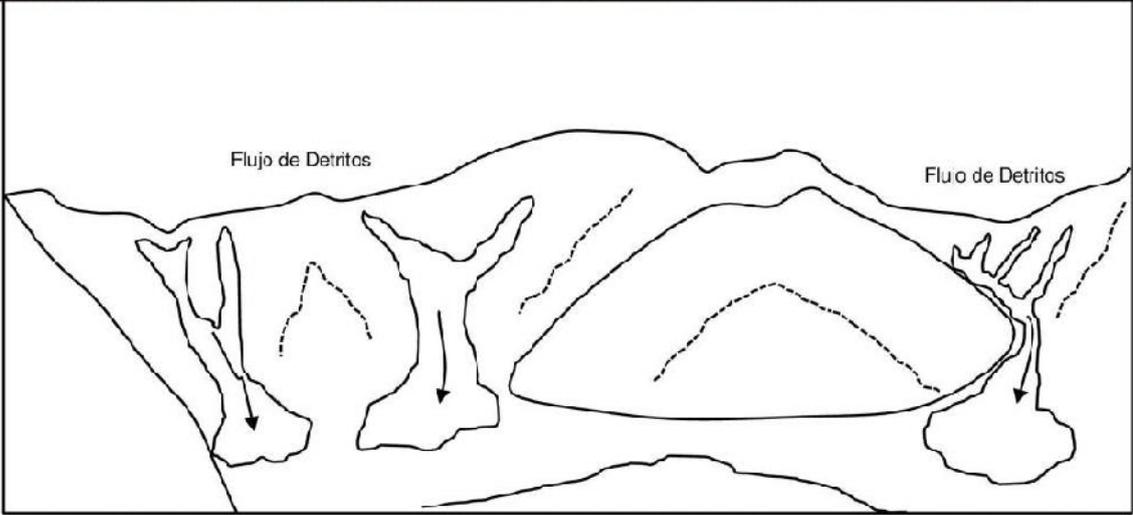
OBSERVACIONES:
Viviendas asentadas en la parte baja que son afectados por los flujos de detritos.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
HUAYC - 21						
UBICACION						
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8669709 m	ESTE	302051 m	ELEVACIÓN	763 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012 SIN PTO						



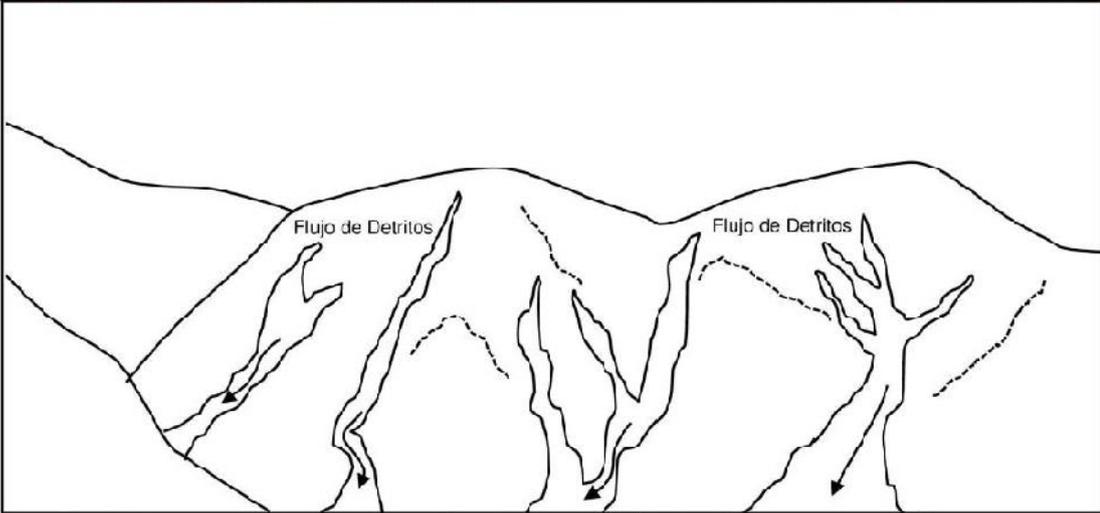
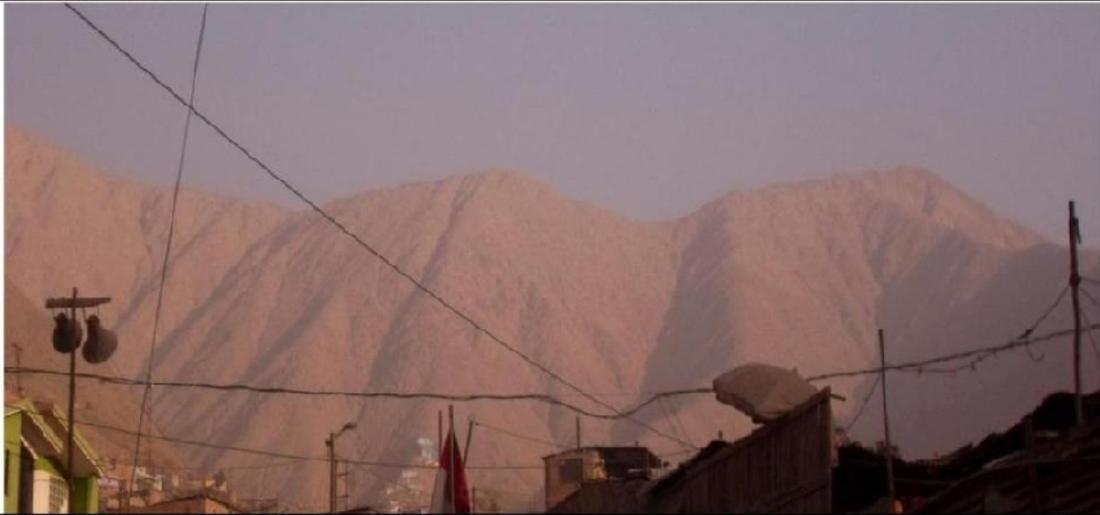
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos	LITOLOGIA	Roca intrusiva
DIMENSIONES (Longitud, altura)	30 m x 200m	ESPESOR	1.5 m
INCLINACIÓN DEL TALUD	>40°	TIPO DE MATERIAL	Coluvial
SUPERFICIE DE RUPTURA	N.T	MATRIZ	Variable

OBSERVACIONES:
Viviencas en la Zona X.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC – 22							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE		
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NOFTE	8669368 m	ESTE	301849 m	ELEVACION	764 m.s.n.m.	
FECHA: 27/06/2012							
							
							
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos	LITOLOGIA	Roca intrusiva				
DIMENSIONES (Longitud, altura)	50 m x 250m	ESPEJOR	1 m				
INCLINACIÓN DEL TALUD	>50°	TIPO DE MATERIAL	Coluvial				
SUPERFICIE DE RUPTURA	N.T	MATRIZ	Variable				

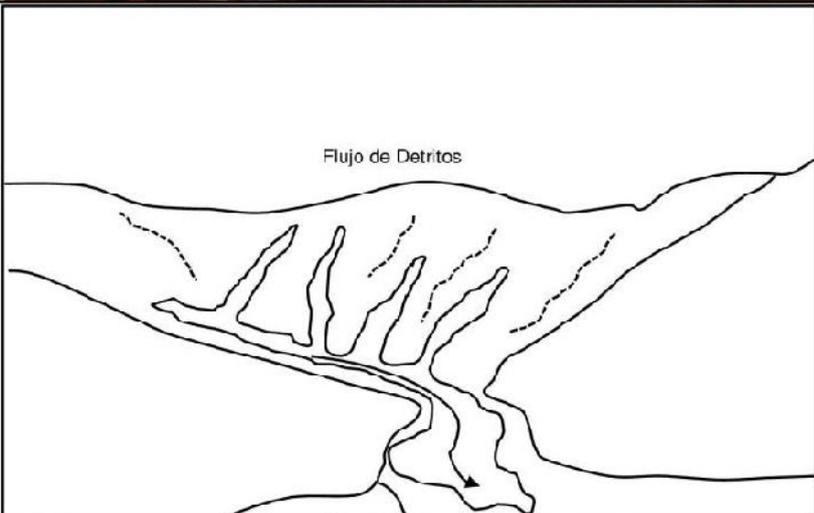
OBSERVACIONES:
Asociado a los flujos de detritos se encuentran desprendimiento de rocas.
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS							
HUAYC - 23							
UBICACIÓN							
DEPARTAMENTO	LIMA		PROVINCIA	LIMA		DISTRITO	HUAYCAN - ATE
COORDENADAS GPS							
ZONA 18 S	NORTE	8669296 m	ESTE	301435 m	ELEVACIÓN	775 m.s.n.m.	
FECHA: 27/06/2012							



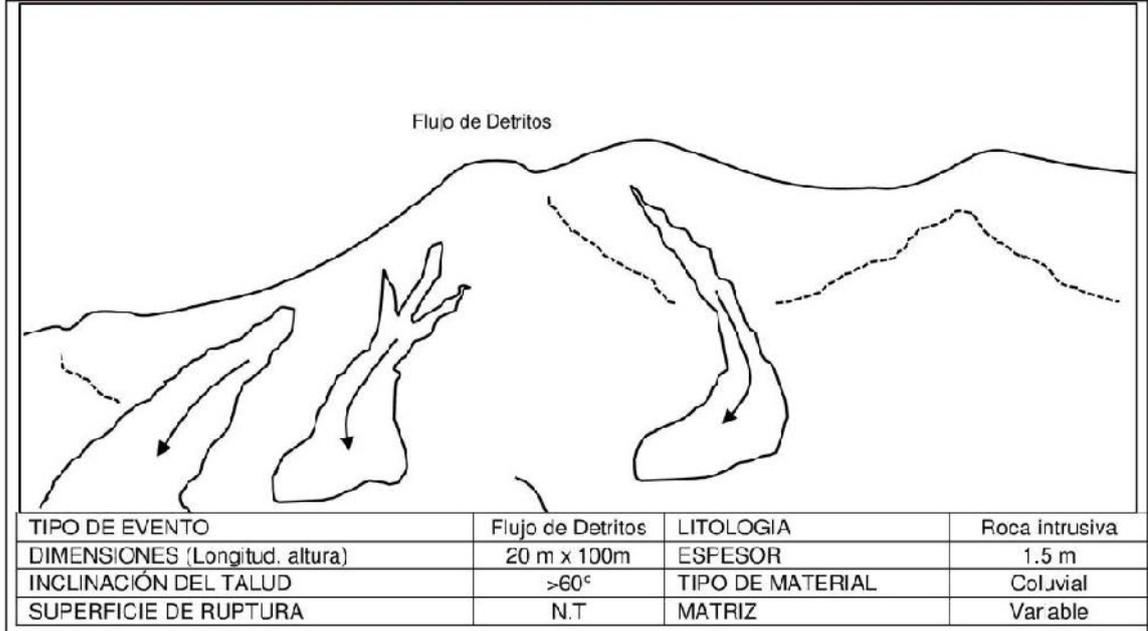
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos	LITOLOGIA	Roca intrusiva
DIMENSIONES (Longitud, altura)	100 m x 600m	ESPESOR	2 m
INCLINACIÓN DEL TALUD	>45°	TIPO DE MATERIAL	Coluvial
SUPERFICIE DE RUPTURA	N.T	MATRIZ	Variable

OBSERVACIONES:
NT = No tiene

FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS						
HUAYC - 24						
UBICACIÓN						
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE	
COORDENADAS GPS						
ZONA 18 S	NORTE	8669942 m	ESTE	301375 m	ELEVACIÓN	705 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012						
						
						
TIPO DE EVENTO	Flujo de Detritos		LITOLOGIA	Roca intrusiva		
DIMENSIONES (Longitud, altura)	15 m x 150m		ESPESOR	1 m		
INCLINACIÓN DEL TALUD	>50°		TIPO DE MATERIAL	Coluvial		
SUPERFICIE DE RUPTURA	N.T		MATRIZ	Variable		

OBSERVACIONES:
Pendiente bien pronunciada, Viviencias asentadas en la ladera del cerro.
NT = No tiene

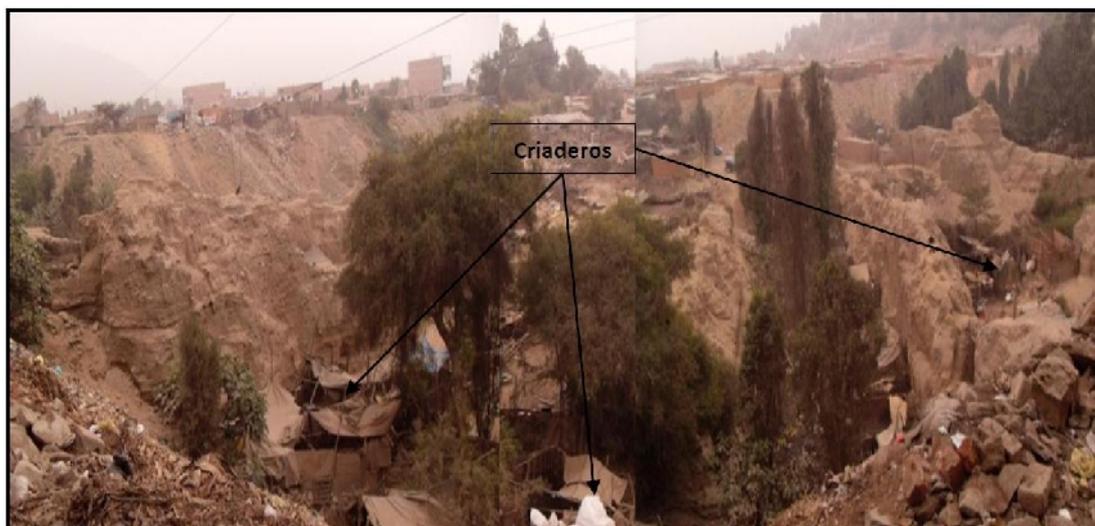
FICHA DE EVENTOS GEOLÓGICOS					
HUAYC - 25					
UBICACIÓN					
DEPARTAMENTO	LIMA	PROVINCIA	LIMA	DISTRITO	HUAYCAN - ATE
COORDENADAS GPS					
ZONA 18 S	NORTE	8670340 m	ESTE	301250 m	ELEVACIÓN
					645 m.s.n.m.
FECHA: 27/06/2012					



OBSERVACIONES:
Macizo rocoso medianamente compacto. Viviendas en condiciones muy precarias.
NT = No tiene

ANEXO 2

Inventario de zonas de alto riesgo presentes en el área urbana y alrededores de Huaycan



Zona explotada como cantera. En la actualidad se aprecia relleno antrópico y criadero de cerdos. Profundidad de 15 m aprox.

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
S.HUA-01	8672090 m	301120 m	560 m.s.n.m.



Parte del cerro ha sido cortado para construir camino y poder acceder a las casas en la parte alta. Pequeñas rocas desprendiéndose producto de este trabajo y por el intemperismo.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-02	8672060 m	301152 m	556 m.s.n.m.



Viviendas asentadas en la ladera del cerro siendo declarada como Riesgo Alto.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA -03	8672136 m	301447 m	571 m.s.n.m.



Parte del cerro ha sido cortado para construir sus viviendas.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA -04	8672210 m	301531 m	592 m.s.n.m.



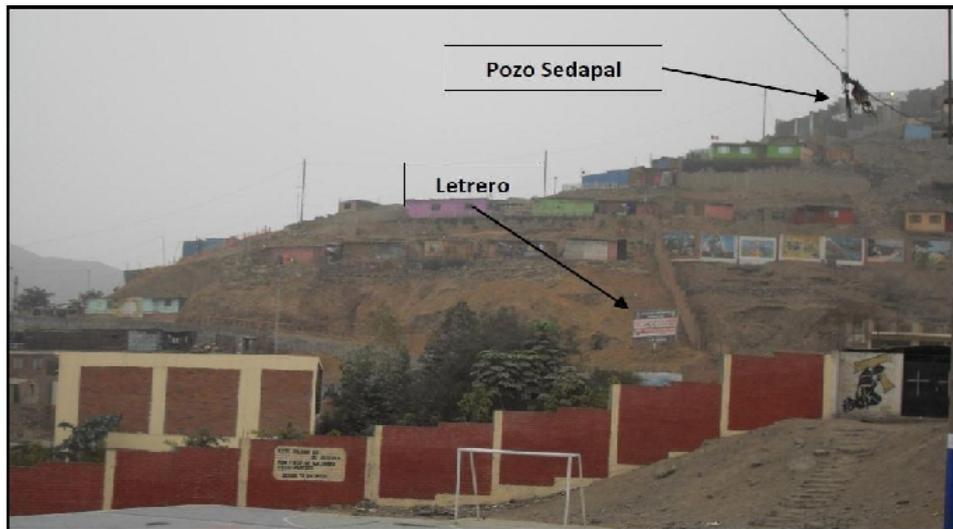
Casas pre-fabricadas asentadas en la ladera del cerro que están en constante peligro ante un fenómeno natural.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA -05	8672070 m	301820 m	614 m.s.n.m.



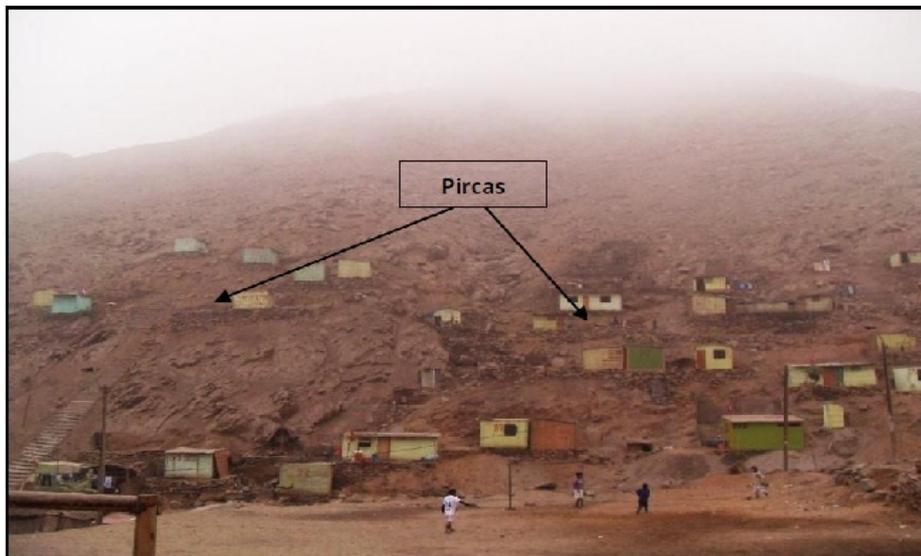
Canal de agua deteriorado por caída de rocas con arenas producto de construcción de viviendas en la parte alta.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA -06	8672028 m	301890 m	639 m.s.n.m.



Área declarada prohibida para ocupación.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA -07	8671978 m	301714 m	605 m.s.n.m.



Pircas construidos a base de rocas sin cementar.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA -08	8671850 m	302434 m	679 m.s.n.m.

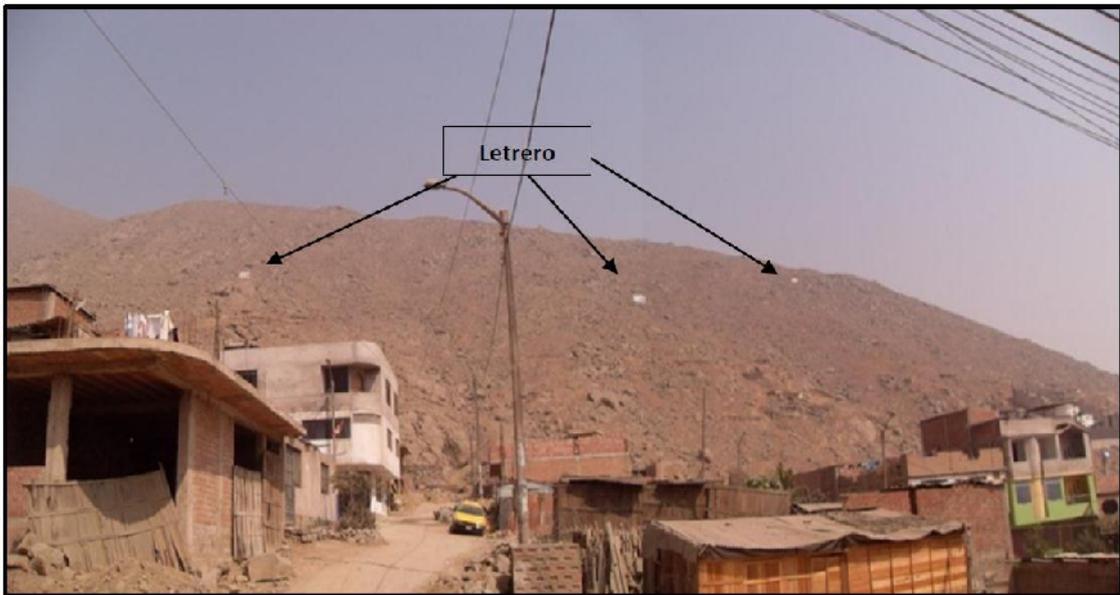


Parte alta de la Quebrada que alrededor está siendo habitada. Rocas desde 10” hasta 60”.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-09	8671330 m	303928 m	878 m.s.n.m.



Parte baja de la Quebrada que alrededor está siendo habitada. Rocas desde 10” hasta 100”.



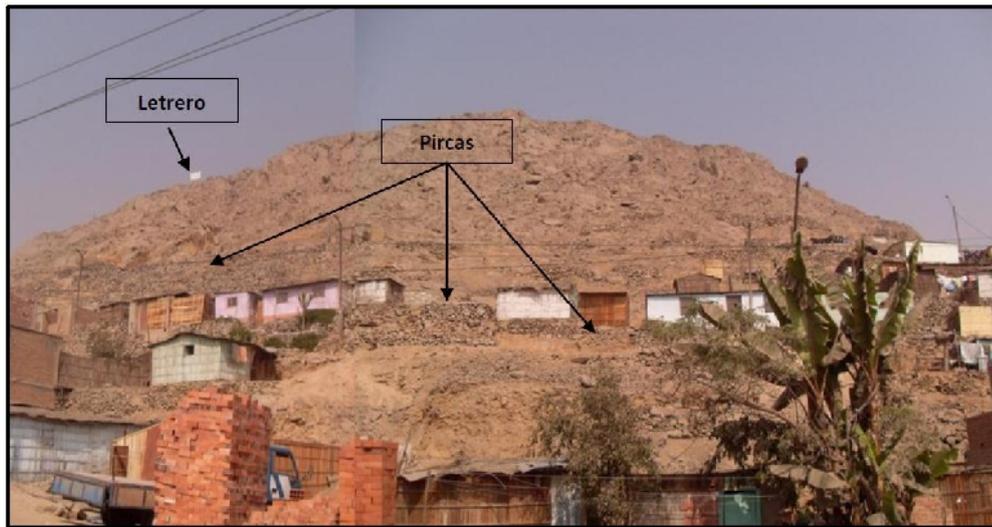
Zona declarada de alto riesgo e inhabitable por la Municipalidad de Ate (Según los letreros en la parte media del cerro)

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-10	8671460 m	303169 m	766 m.s.n.m.



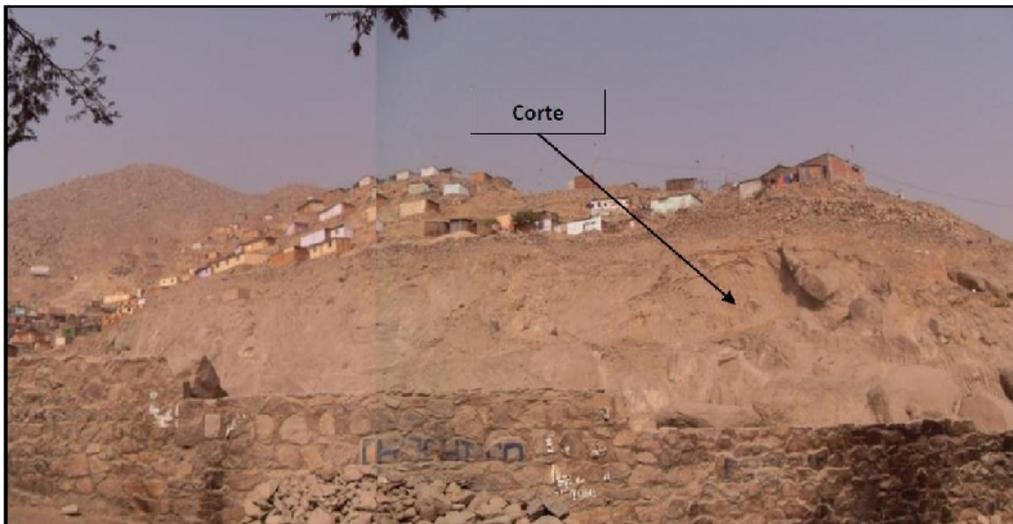
Pendiente de 30°

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-11	8671480 m	302985 m	739 m.s.n.m.



Pircas construidos a base de rocas sin cementar y que por efectos de naturaleza puede originar el colapso de estos y afectar a las viviendas.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-12	8671302 m	302735 m	709 m.s.n.m.



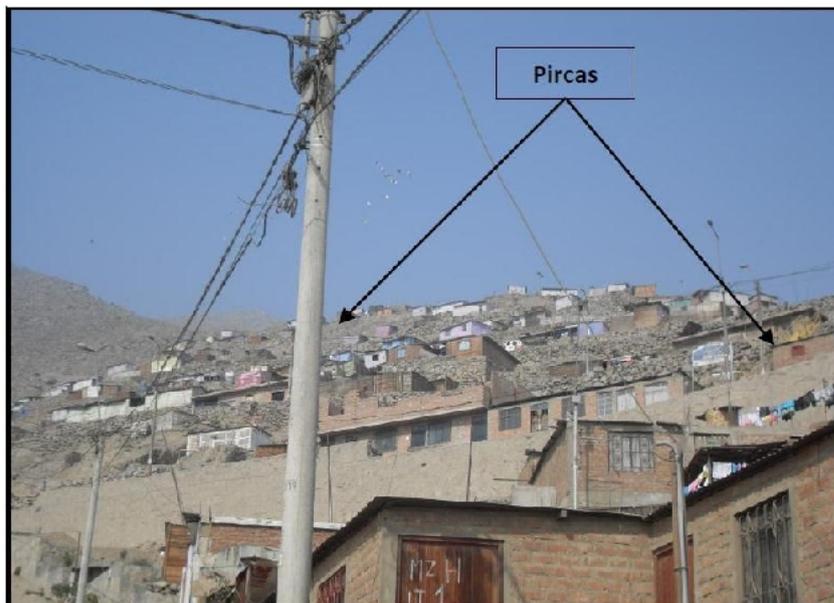
Muro construido a base de rocas cementado. Parte del cerro ha sido cortado para cercar toda la asociación de habitantes (antigua cantera).

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-13	8671134 m	302494 m	674 m.s.n.m.



Viviendas asentadas en la ladera del cerro que están en constante peligro sí hubiese un fenómeno de cualquier naturaleza.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-14	8670797 m	302689 m	698 m.s.n.m.



Pircas construidos a base de rocas sin cementar y que por efectos de naturaleza puede originar el colapso de estos y afectar a las viviendas.



Viviendas muy precarias asentadas en la ladera del cerro que están en constante peligro si hubiese un fenómeno de cualquier naturaleza.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-15	8670118 m	303058 m	773 m.s.n.m.



Viviendas de material noble asentadas en la ladera del cerro.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-16	8670107 m	303025 m	770 m.s.n.m.



Viviendas de material noble y muros construidos por la municipalidad de Ate para ampliar ladera del cerro para las pistas.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-17	8670380 m	302200 m	684 m.s.n.m.



Área de protección ambiental (letrero parte alta) declarado por la Municipalidad de Ate. Imagen al frontis de la anterior.



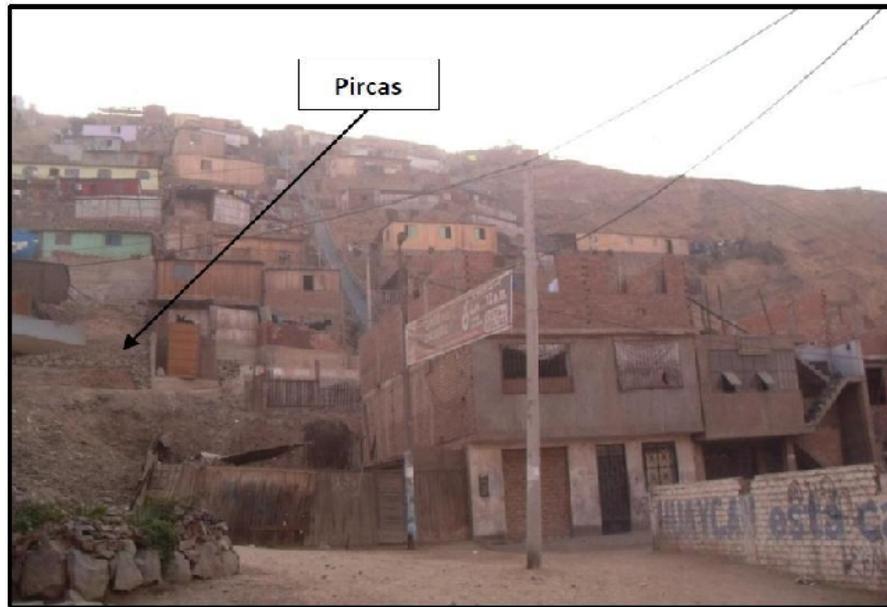
Se producen caídas de rocas en las laderas del cerro por el movimiento de material para la construcción de las casas.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-18	8669990 m	302038 m	740 m.s.n.m.



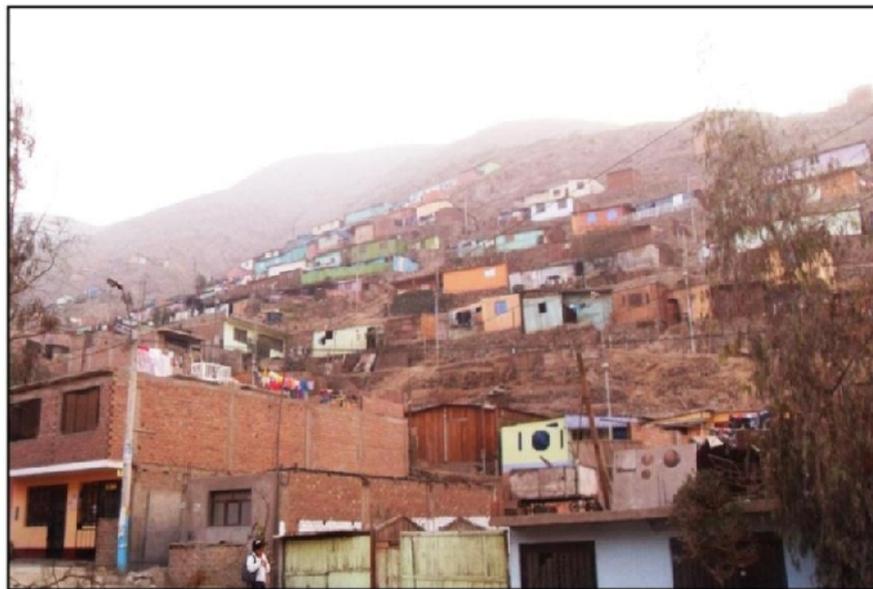
Viviendas de madera, material noble y muros construidos por la municipalidad de Ate para ampliar ladera del cerro para las pistas.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-19	8669250 m	301820 m	789 m.s.n.m.



Zonas J. Viviendas de material noble asentadas en la ladera del cerro.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-20	8669620 m	301462 m	721 m.s.n.m.



Zona I. Viviendas muy precarias asentadas en la ladera del cerro que están en constante peligro ante la ocurrencia de un fenómeno natural.

ESTACIÓN	NORTE	EST	ELEVACIÓN
S.HUA-21	8670034 m	301301 m	686 m.s.n.m.