



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



## PROGRAMA PRESUPUESTAL N° 068: REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES

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



ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LA  
CIUDAD DE QUILMANÁ

## **Instituto Geofísico del Perú**

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

### **Autores**

Isabel Bernal

Caracterización Geofísica de la ciudad de Quilmaná

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la ciudad de Quilmaná

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Pilar Vivanco / Mariana Vivanco

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Fabiola Rosado / Henry Salas / Wilfredo Sulla/  
Liliana Torres / Javier Oyola / Kelly Pari / Luz Arredondo / Jesús Huarachi / Jorge Salas

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez

### **Este Informe ha sido producido por:**

Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169, Mayorazgo IV etapa, Ate  
Teléfono (511) 3172300

**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LA  
CIUDAD DE QUILMANÁ**

**Distrito de Quilmaná – Provincia de Cañete - Región de Lima**

## RESUMEN

*En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Chilca (distrito de Chilca), Coayllo (distrito de Coayllo), Humay - Bernales (distrito de Humay), Imperial (distrito de Imperial), Nuevo Imperial (distrito de Nuevo Imperial), Quilmaná (distrito de Quilmaná), San Antonio (distrito de San Antonio), San Clemente (distrito de San Clemente) y San Luis (distrito de San Luis). Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.*

*El análisis e interpretación de los datos obtenidos permiten tener como resultado la “Zonificación Geofísica – Geotécnica de los suelos de la ciudad de Quilmaná”, información primaria que debe ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Este documento técnico debe constituirse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.*

## ÍNDICE

### **RESÚMEN**

### ÍNDICE

#### **PARTE 1: Presentación**

##### 1. Introducción

- 1.1. Objetivo
- 1.2. Historia
- 1.3. Accesibilidad y clima
- 1.4. Economía
- 1.5. Estudios Previos

##### 2. Condiciones locales de sitio

- 2.1. La Norma Técnica E.030

#### **PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de la ciudad de Quilmaná**

#### **PARTE 3: Caracterización geofísica de la ciudad de Quilmaná**

### **BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS:** Todo el material gráfico está contenido en formato digital y se adjunta al presente informe.

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “**Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2017 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrolló la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes ciudades (Figura 1):

- **Chilca**, distrito de Chilca, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Coayllo**, distrito de Coayllo, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Humay-Bernales**, distrito de Humay, provincia de Pisco, región de Ica.
- **Imperial**, distrito de Imperial, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Nuevo Imperial**, distrito de Nuevo Imperial, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Quilmaná**, distrito de Quilmaná, provincia de Cañete, región de Lima.
- **San Antonio**, distrito de San Antonio, provincia de Cañete, región de Lima.
- **San Clemente**, distrito de San Clemente, provincia de Pisco, región de Ica.
- **San Luis**, distrito de San Luis, provincia de Lima, región de Lima.

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región centro ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en los departamentos de Lima e Ica (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que, en el futuro, las mismas ciudades y/o 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.

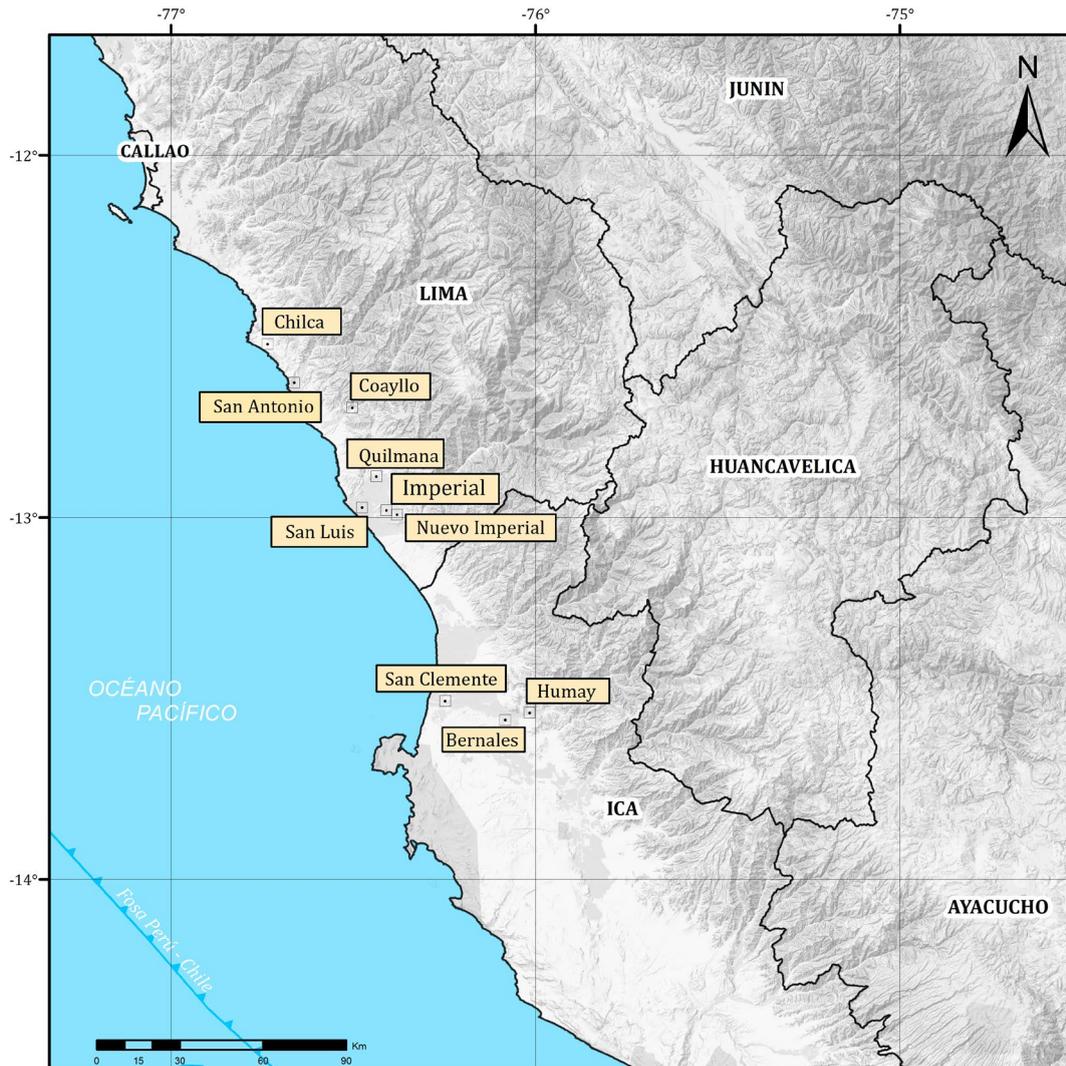


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2016: Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos.

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran datos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras apropiadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de la localidad de Quilmaná debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente ([www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)):

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

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

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

Es importante remarcar que los Mapas de Zonificación Geofísica – Geotécnica permiten conocer las características dinámicas del suelo y se constituyen como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada tipo de suelos identificados en cada zona de estudio. Asimismo, debe considerarse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

## 1.1. Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para la ciudad de Quilmaná, provincia de Cañete y región de Lima, a partir de la integración de los resultados obtenidos con diferentes métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos (Figura 2). Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

## 1.2. Historia

El distrito de Quilmaná, conocido como la "Capital de la Cordialidad y la Amistad", fue creado un 15 de setiembre de 1944. En la actualidad es uno de las 16 comunas que conforman la provincia limeña de Cañete. Entre sus atractivos turísticos se pueden mencionar el Parque Zonal (réplicas de algunas maravillas del mundo), Cerro Hueco, Arco de Recepción y la Parroquia Nuestra Señora del Rosario. En 1928 se trazó el plano en el terreno de la que se convertiría en la ciudad de Quilmaná, en tal plano se definió el contorno de la Plaza de Armas, pues, definitivamente allí se edificarían las escuelas, el Palacio Municipal, el local policial y la Iglesia. Así, entre 1928 y 1929 se iniciaron los

trabajos, mediante faenas dominicales, de la escuela y el Templo siendo estas obras primigenias para la formación educativa, cultural y espiritual de los pobladores

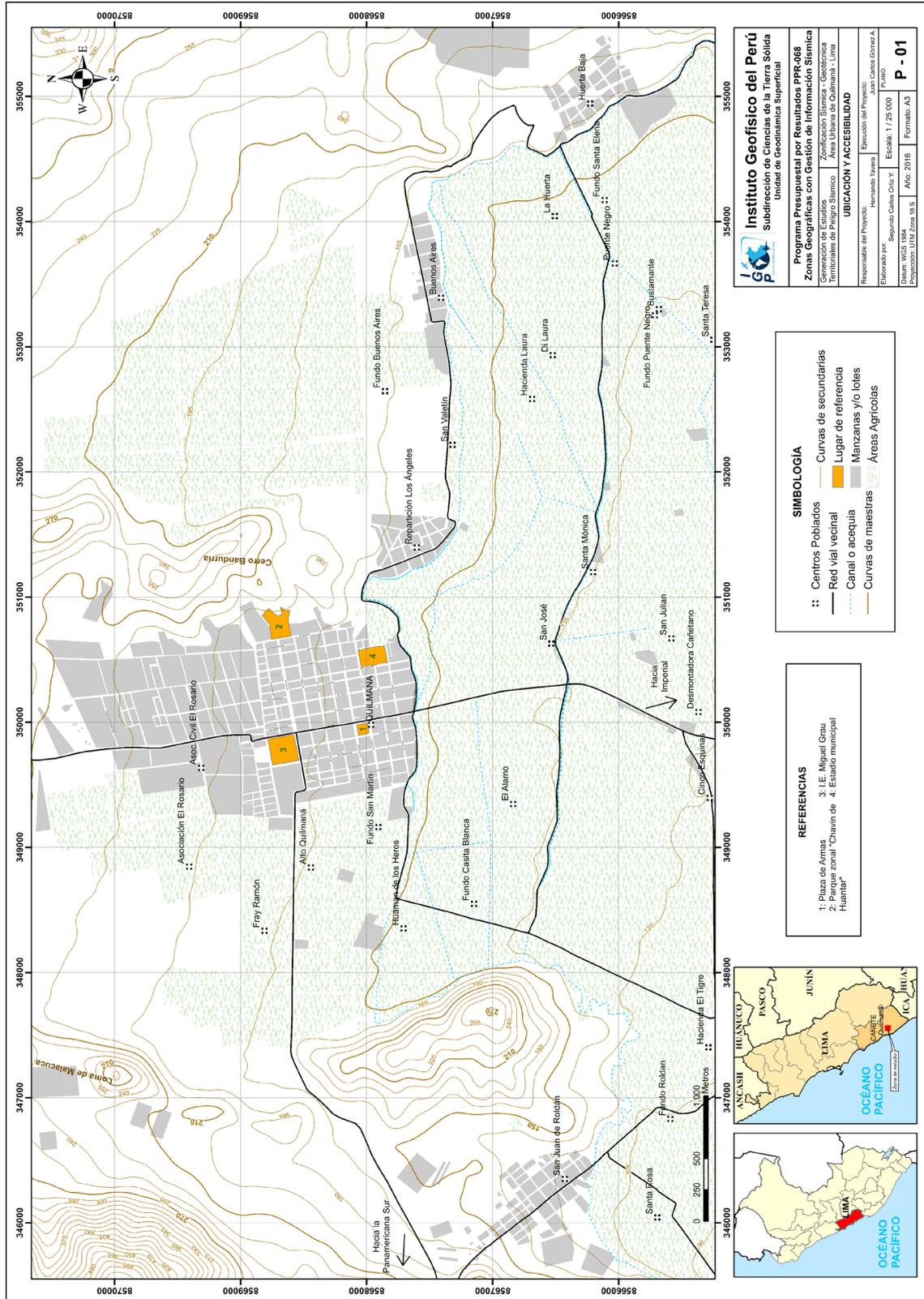


Figura 2: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Quilmaná.

La primera preocupación de los pobladores estuvo centrada en la conformación de la ciudad, recién por 1927 se tuvo la imperiosa necesidad de bautizar con un nombre al núcleo urbano. Sobre la denominación de Quilmaná, existen versiones que permiten explicar el origen etimológico de este pujante y sacrificado pueblo. Antenor Castillo de la Cruz manifiesta en su “Monografía de Quilmaná” que en la primera tienda que se estableció en el lugar, de propiedad de Abraham Sánchez, se exhibía un rótulo en el que se graficaba el nombre de “las afamadas llantas y cámaras “KILL” de marca extranjera; y de acuerdo a la versión del autor, se indica que un grupo de amigos al desear bautizar al caserío, tomaron dicha palabra al castellano como “Quill” que sumado a “mana” se podría obtener el nombre “Quilmaná”. Con el pasar del tiempo se consolidó como un pequeño centro poblado, para luego ser Quilmaná reconocido como anexo del Distrito de Imperial. Su primer agente Municipal fue Santos Villar. Entre los años de 1931 a 1932 luego de redimensionarse las áreas marginales de las tierras incorporadas se aprecia algunos sobrantes de áreas en la documentación de las inicialmente adjudicada”. Era el tiempo del gobierno del general Luis M. Sánchez Cerro quien genera la nueva parcelación de La Victoria con nuevos adjudicatarios por entonces todos los ciudadanos nacidos en el actual territorio de Quilmaná registraban su nacimiento en la Municipalidad “Imperialino”.



Figura 3: Vista panorámica al portal de bienvenida del distrito de Quilmaná.

El distrito de Quilmaná es uno de los dieciséis que conforman la provincia peruana de Cañete, ubicada en la región de Lima, bajo la administración del Gobierno Regional de Lima-Provincias (Figura 3). Limita por el norte con el distrito de Coayllo y Tauripampa (Yauyos); al este con el distrito de Nueva Imperial; al sur con el distrito de Imperial y San Luis; y por el oeste con los distritos de Cerro Azul y Asia. Dentro de la división

eclesiástica de la Iglesia Católica del Perú, pertenece a la Prelatura de Yauyos. En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica de la ciudad de Quilmaná.

### 1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a la ciudad de Quilmaná se realiza mediante una vía completamente asfaltada de doble sentido, desde el distrito de Imperial, vía que pertenece a la red troncal de carreteras del valle de Cañete. Representa una salida más corta a la Carretera Panamericana Sur.

Para determinar las condiciones climáticas en la ciudad de Quilmaná, se han tomado datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Los datos de la Tabla 1 corresponden a la estación meteorológica Cañete que se encuentra ubicada a 14.90 km al NO de la ciudad, en las coordenadas geográficas; Latitud: 13° 4' 29.1", longitud: 76° 19' 49.5" y en cota 158 m.s.n.m. Según la información registrada en esta estación (período 2004 – 2010), se entiende que la ciudad presenta un clima muy seco y semi-cálido, con una temperatura media mensual, que durante los meses de verano oscila entre 27.7 °C y 29.43 °C; mientras que, el mes más frío es en agosto con temperaturas de 12.69 °C en promedio, ver Figura 4.

Tabla 1: Datos de la estación meteorológica de Cañete que se ubica a 14.90 km al NW del área de estudio, Fuente: SENAMHI.

Estación: CAÑETE								
Tipo Convencional - Meteorológica								
Departamento	Lima	Provincia	Cañete	Distrito	Imperial			
Latitud	13° 4' 29.1"	Longitud	76° 19' 49.5"	Altitud	158			
Mes	Temperatura Promedio	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Enero	T° Max. Media mensual (°)	SD	27.69	28.1	28.19	27.42	28.49	SD
	T° Min. Media mensual (°)	SD	19.8	19.42	20.08	19.3	19.19	SD
Febrero	T° Max. Media mensual (°)	SD	28.06	29.43	28.89	28.8	SD	SD
	T° Min. Media mensual (°)	SD	19.61	20.62	20.06	19.49	SD	SD
Marzo	T° Max. Media mensual (°)	SD	28	28.29	27.9	28.93	SD	SD
	T° Min. Media mensual (°)	SD	19.16	19.39	19.61	19.81	SD	SD
Abril	T° Max. Media mensual (°)	27.08	26.34	26.23	26.61	26.9	27.86	SD
	T° Min. Media mensual (°)	17.8	17.76	17.27	17.41	17.43	18.09	SD
Mayo	T° Max. Media mensual (°)	23.23	22.35	23.19	SD	21.07	SD	SD
	T° Min. Media mensual (°)	14.53	14.98	14.28	SD	14.66	SD	SD
Junio	T° Max. Media mensual (°)	18.79	20.36	20.43	SD	19.52	20.23	28.93
	T° Min. Media mensual (°)	14.09	14.11	14.45	SD	14.96	14.72	13.58
Julio	T° Max. Media mensual (°)	18.84	19.05	SD	17.61	20.54	20.21	19.21
	T° Min. Media mensual (°)	14.08	13.72	SD	13.41	15.06	15.26	13.58
Agosto	T° Max. Media mensual (°)	18.75	19.54	19.8	18.04	19.88	SD	SD
	T° Min. Media mensual (°)	13.72	13.67	15.3	12.69	15.12	SD	SD
Septiembre	T° Max. Media mensual (°)	19.67	18.97	20.78	17.55	21.2	SD	SD
	T° Min. Media mensual (°)	14.49	13.78	14.72	13.03	14.75	SD	SD
Octubre	T° Max. Media mensual (°)	21.24	20.51	22	20.12	20.93	SD	SD
	T° Min. Media mensual (°)	14.35	13.25	15.67	13.32	14.6	SD	SD
Noviembre	T° Max. Media mensual (°)	21.85	22.64	23.59	22.1	23.44	SD	SD
	T° Min. Media mensual (°)	16.17	14.51	16.37	14.41	16.01	SD	SD
Diciembre	T° Max. Media mensual (°)	25.39	25.64	25.31	23.88	26.04	SD	SD
	T° Min. Media mensual (°)	17.93	17.12	17.6	16.27	17.41	SD	SD



Figura 4: Ubicación de la estación meteorológica Cañete.

#### 1.4. Economía

Actualmente se viene desarrollando la agricultura y la ganadería como actividad más importante del distrito de Quilmaná, en un área agrícola de 3771 hectáreas, distribuidas en 1399 predios o unidades agrícolas y que representan el 16% del área agrícola total del valle de Cañete. En dichas áreas agrícolas existen diversidades de cultivos, siendo los más importantes el algodón, el maíz, camote, yuca, espárrago, caña de azúcar y cultivo de paltos (Fuente: INDECI-PNUD-CIUDADES SOSTENIBLES, 2003).

#### 1.5. Estudios previos

Para la ciudad de Quilmaná, se ha recopilado información sobre estudios previos de geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones a fin de alcanzar los objetivos del presente estudio, además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- INDECI-PNUD-CIUDADES SOSTENIBLES (2003), Mapa de Peligros Plan de prevención ante desastres: Uso del suelo y medidas de mitigación en la ciudad de Quilmaná. Este documento concluye que, la ciudad de Quilmaná se encuentra asentada sobre una explanada denominada Las Pampas de Quilmaná, donde la mayor incidencia de crecimiento urbano es hacia el Norte, Este y Oeste de las pampas antes mencionadas, razón por la cual proponen realizar un plan de ordenamiento territorial. También, han realizado una evaluación de peligros

naturales, destacando como primer agente los huaycos e inundaciones por desborde de canales de riego, que afectan al área urbana de la ciudad y áreas agrícolas. Finalmente, han zonificado el casco urbano de acuerdo a la capacidad portante, definiendo lo siguiente:

Zona I: Comprende el 75% del área del casco urbano de Quilmaná, teniendo una capacidad portante superior a  $3.30 \text{ kg/cm}^2$ , presentado limos densos, mezcla de arenas compactas, gravas y bolonería superiores a 12" de diámetro.

Zona II: Comprende el 20% del área del casco urbano de una media a alta resistencia mayor a  $1.00 \text{ kg/cm}^2$  y menor a  $2.5 \text{ kg/cm}^2$ , presentando suelos limosos, arenosos más húmedo por estar cerca al canal de irrigación que pasa por el distrito.

Zona III: Comprende el 5% del área del casco urbano de la ciudad, en este lugar antiguamente fue una depresión que, al transcurrir de los años fue rellenado y compactándose con el paso del tiempo teniendo una resistencia de media a baja, menor o igual a  $1.00 \text{ kg/cm}^2$ .

## 2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Geofísica - geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2002), ver Figura 5.

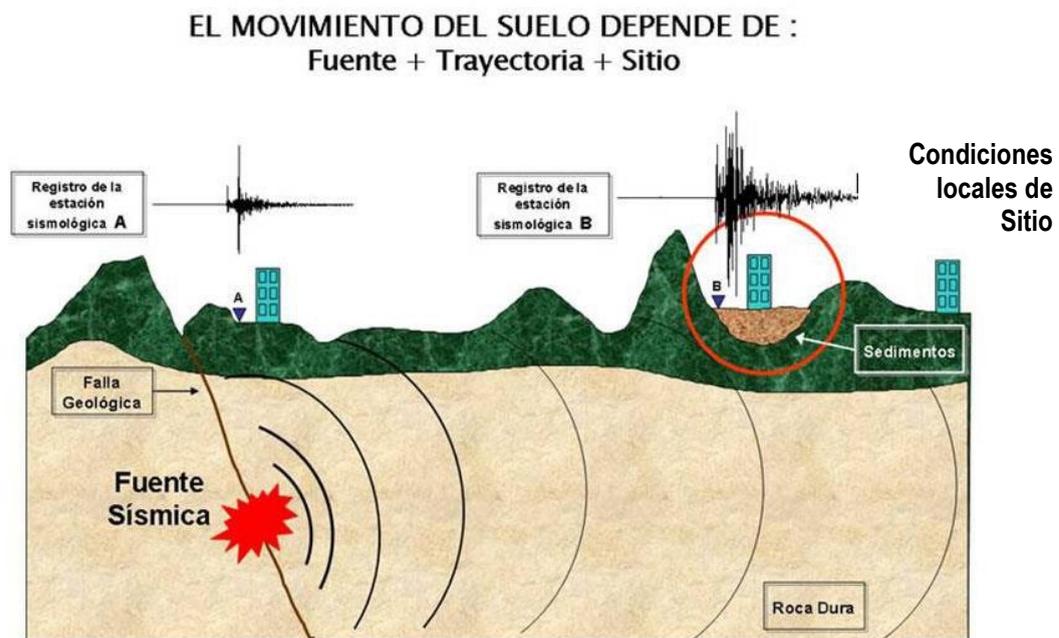


Figura 5: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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

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

### **2.1. La Norma Técnica E.030**

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades mecánicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N60 obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada  $S_u$  para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 2):

- **Perfil Tipo  $S_0$ : Roca Dura**, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ) mayor a 1500 m/s.
- **Perfil Tipo  $S_1$ : Roca o Suelos Muy Rígidos**, a este tipo corresponden rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$ , entre 500 y 1500 m/s.
- **Perfil Tipo  $S_2$ : Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  entre 180 y 500 m/s.

Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030.

Perfil	$V_{s30}$ (m/s)	Descripción
<b>S<sub>0</sub></b>	> 1500	Roca dura
<b>S<sub>1</sub></b>	500 a 1500	Roca o suelo muy rígido
<b>S<sub>2</sub></b>	180 a 500	Suelo medianamente rígido
<b>S<sub>3</sub></b>	< 180	Suelo blando
<b>S<sub>4</sub></b>	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

- **Perfil Tipo S<sub>3</sub>: Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S<sub>4</sub>: Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

La velocidad de propagación de ondas de corte para los primeros 30 metros ( $V_{s30}$ ) se determina con la siguiente fórmula:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

Dónde:

$d_i$  = espesor de cada uno de los estratos n.

$V_{si}$  = velocidad de ondas de corte (m/s)

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de la zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Geofísica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por Norma E.030 (Diseño Sismorresistente). En tal sentido, se establece la existencia de 5 zonas cuyas características son:

**ZONA I:** Zona conformada por estratos de grava coluvial-eluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene 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, con velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ )

varía entre 500 y 1500 m/s. Corresponden a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana.

**ZONA II:** En la zona se incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores entre 3 y 10 m. Subyaciendo a estos estratos se tiene grava eluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno varían entre 0.3 y 0.5 s, con velocidades de las ondas de corte ( $V_s$ ) entre 180 y 500 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana.

**ZONA III:** Zona conformada, en su mayor parte, por depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor que se encuentra en estado suelto. Los periodos predominantes de estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) fluctúa alrededor de los 180 m/s.

**ZONA IV:** Zona conformada por depósitos de arena eólicas de gran espesor, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana (Según la Norma E.030, es un caso especial y/o condiciones excepcionales).

**ZONA V:** Zona constituida por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos correspondientes a desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado con espesores entre 5 y 15 m. En esta zona se incluye 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 de estudios específicos.

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o de grandes obras de ingeniería. Se debe buscar que el periodo fundamental de respuesta de la estructura no coincida con la del suelo a fin de evitar el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA  
DE LA CIUDAD DE QUILMANÁ**

## CONTENIDO

### 1. METODOLOGÍA

### 2. GEOMORFOLOGÍA

- 2.1. Base topográfica
- 2.2. Modelo digital del terreno (MDT)
- 2.3. Pendientes
- 2.4. Unidades geomorfológicas

### 3. GEOLOGÍA

- 3.1. Geología regional
- 3.2. Geología local

### 4. GEODINÁMICA

- 4.1. Procesos de geodinámica interna
- 4.2. Procesos de geodinámica externa
- 4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

### 5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 5.1. Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D420)
- 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)
- 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)
- 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (Norma DIN 4094)
- 5.5. Clasificación de suelos SUCS (Norma ASTM D4827)
- 5.6. Ensayos de corte directo (norma ASTM D-3080)

## 1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en la ciudad de Quilmaná se ha seguido la siguiente metodología:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales georreferenciadas (GeoEye-1 del Servidor Digital Globe, 2013, con resolución 0.60 m), con la finalidad de delimitar la zona de estudio. Asimismo, la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1:25000. Asimismo, se identificó y delimito los eventos geodinámicos de la zona: áreas potencialmente susceptibles a la ocurrencia de flujos de lodos y/o detritos.
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos los cuales se detallan a continuación:
  1. Elaboración de calicatas: Estas se realizaron a una profundidad promedio de 3.00 m. En Quilmaná se realizaron 10 calicatas distribuidas en todo el casco urbano y área de expansión urbana.
  2. Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL), estos se realizaron con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En Quilmaná se llevaron a cabo 13 DPLs.
  3. Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora, estas se distribuyeron alternas a la ubicación de las calicatas, con el fin, de determinar el tipo de suelo. En el área de estudio se llevaron a cabo 05 posteos.
- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos del laboratorio tales como granulometría (clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico que adjunta anexos que contienen fichas geotécnicas de: calicatas, densidad, posteos, DPL, correlación DPL con el SPT y análisis granulométrico; así como, planos temáticos a escala 1:25000.

## 2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. La primera actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical; mientras que, la segunda, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutierrez, 2008). El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso-respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990). En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en la ciudad de Quilmaná, en relación a su origen.

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos: Modelo Digital de Terreno (MDT) y pendientes, con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno, éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo, para cartografiar y delimitar las unidades geomorfológicas en la ciudad de Quilmaná.

### 2.1. Base topográfica

Con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforma la ciudad de Quilmaná, se realizó el levantamiento topográfico sobre un área de 520 Ha y para ello, se utilizó la estación total (marca Nivo 3.C con resolución de 3") y un punto de control, cuyas coordenadas fueron establecidas con una antena y receptor GPS/GNSS de doble frecuencia, ver Tabla 1.

*Tabla 1: Punto de control ubicado cerca de un reservorio de agua potable.*

Luego, desde el punto de control antes mencionado se estableció una poligonal cerrada conformada por 8 vértices a partir de los cuales se tomaron 207 mediciones (puntos de relleno) con información planimétrica (coordenadas este y norte) y altimétrica (elevación ortométrica), datos que fueron proyectados en el sistema Universal Transversal Mercator (UTM), ver Tabla 2.

Tabla 2: Vértices de la poligonal cerrada.

Descripción	NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA (m.s.n.m)
Vértice 01 (punto de control)	8568102	350688	176
Vértice 02	8568192	350792	178
Vértice 03	8568887	350632	188
Vértice 04	8570623	350168	233
Vértice 05	8571510	350317	248
Vértice 06	8571160	348378	226
Vértice 07	8567787	347581	183
Vértice 08	8567761	350563	169

## 2.2. Modelo Digital del Terreno (MDT)

Los MDT son representaciones gráficas de la superficie del terreno, conformado por un número de puntos con información altimétrica y planimétrica. Por su naturaleza digital, permiten ser utilizados para realizar mapas de pendientes, acumulación de horas de radiación, parámetros morfométricos, entre otros (Felicísimo, 1994).

Para la elaboración del MDT de la ciudad de Quilmaná, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad, que cubre un área de 53.88 km<sup>2</sup>, que corresponden al 12.32% de la superficie distrital, para el formato de impresión se usara el tamaño A3, ver Figura 1.

En base al MDT elaborado de la ciudad de Quilmaná se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una llanura aluvial, la cual presenta un rango de cotas entre 140 y 190 m.s.n.m. En los alrededores, hacia la parte noreste de la ciudad en mención, se observan lomas que presentan un desnivel máximo de 105 m con respecto al área urbana. Hacia el extremo este y oeste, se evidencia la zona de montaña con un desnivel máximo de 330 m con respecto al área urbana.

## 2.3. Pendientes

Este parámetro influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, puesto que, mientras más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999).

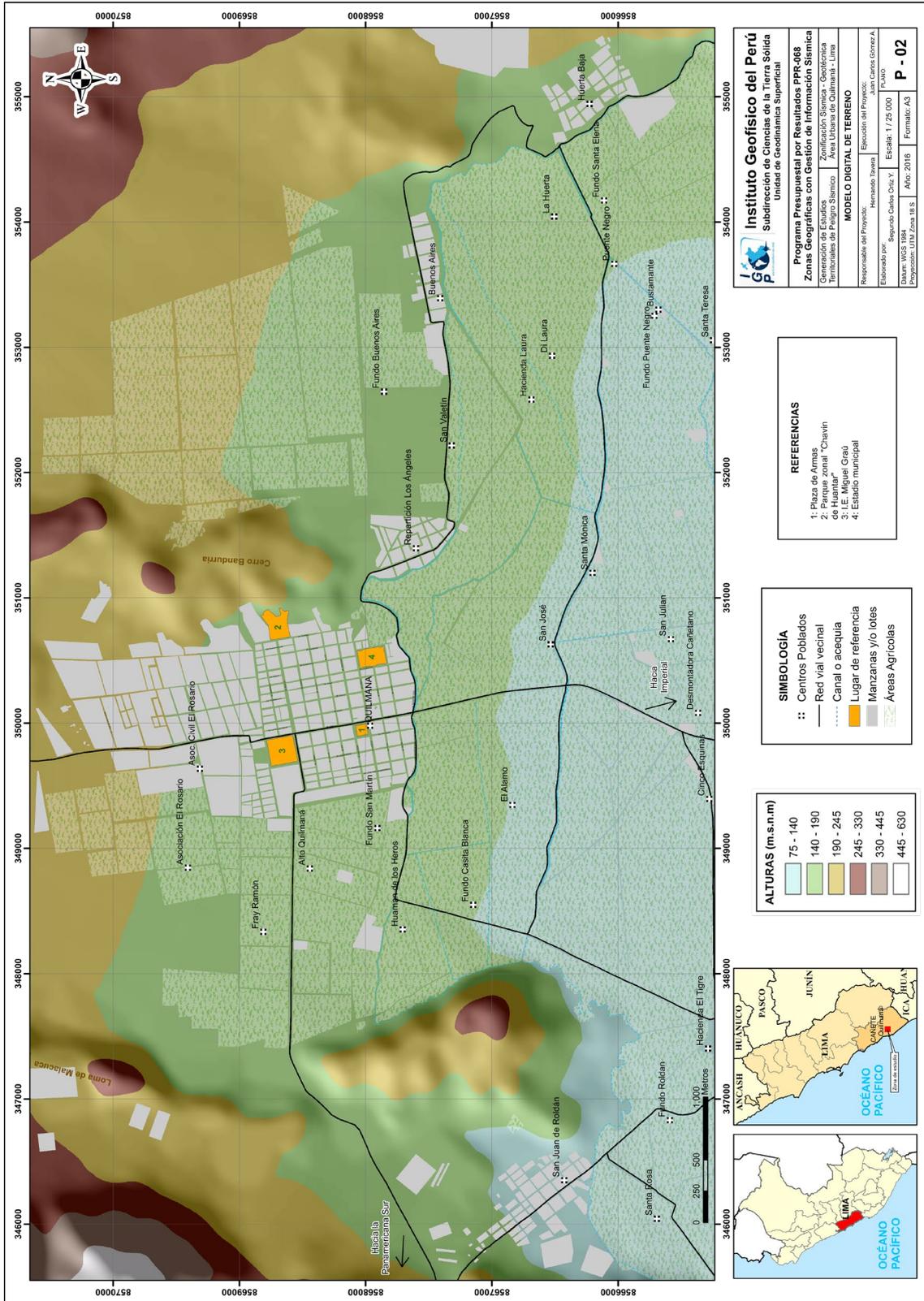


Figura 1: Mapa de modelo digital de Terreno (MDT) para la ciudad de Quilmaná.

El diseño del mapa de pendientes de la ciudad de Quilmaná, fue desarrollado a partir del MDT elaborado anteriormente, haciendo uso de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio.

### 2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la hipótesis de Fidel et al. (2006), ver Tabla 3. La mayor parte de la ciudad de Quilmaná se encuentra asentada sobre una llanura aluvial que presenta pendientes menores a 5° en promedio. Por otro lado, los anexos San Juan y La Huerta Baja presenta pendientes de, entre 5 a 10°, ver Figura 2.

Tabla 3: Rangos de pendientes del terreno (Fidel et al, 2006).

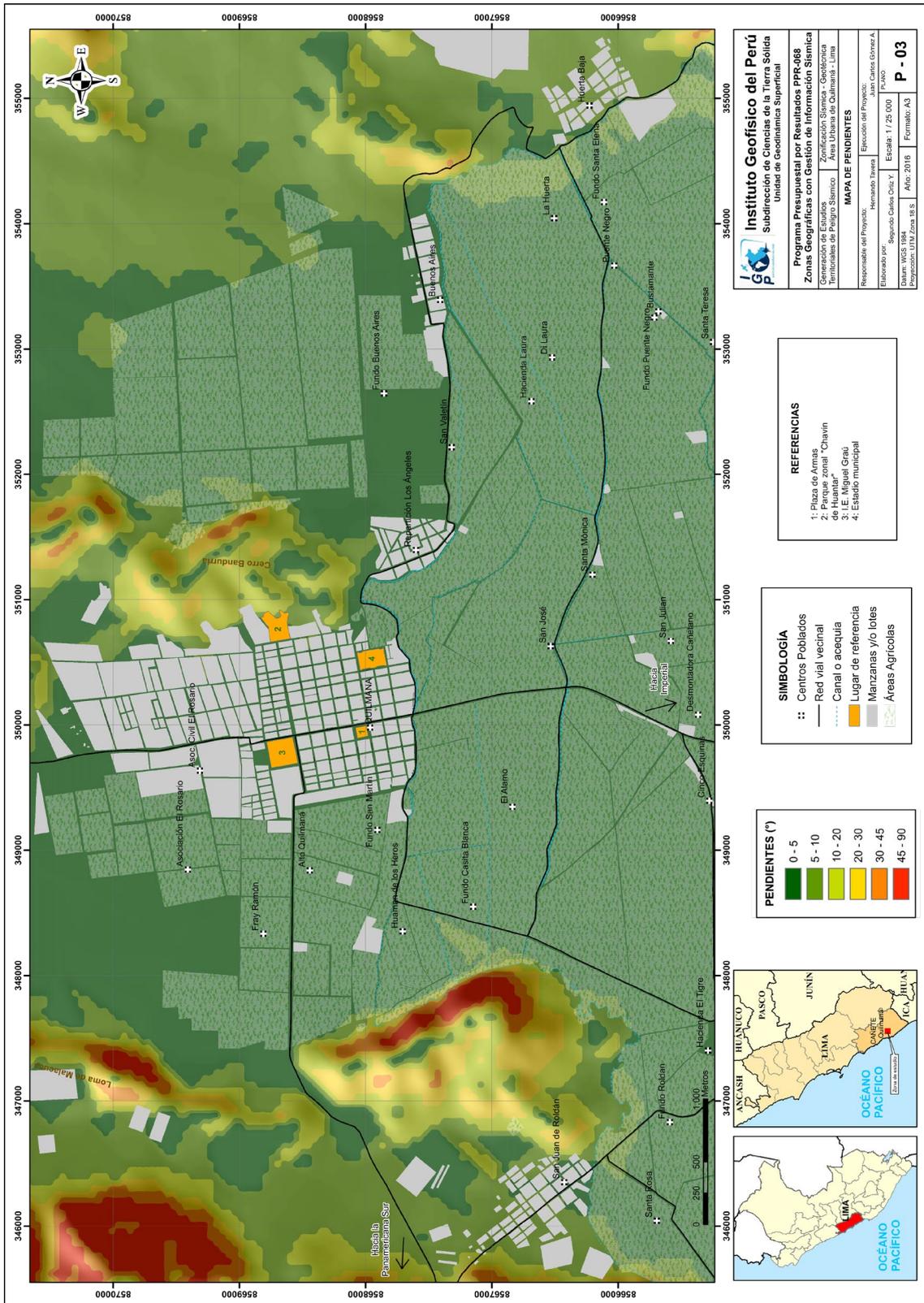
PENDIENTE EN GRADOS (°)	CLASIFICACIÓN
<5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

### 2.4. Unidades geomorfológicas

Estas unidades con ciertas características físicas son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno (procesos internos) y exógenos (procesos externos) formando relieves positivos y negativos.

**Características físicas:** Las características físicas de la geoforma; es decir, su relieve, expresa una combinación de parámetros como: pendiente, altura, geometría y drenaje (modificado de Pike et al., 2009). Estos parámetros son directamente accesibles a la percepción visual proximal o distal, sea humana o instrumental.

**Procesos:** Los agentes modeladores tales como el agua, viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como: intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación que generan diferentes geoformas. Esta se clasifica de acuerdo a su origen, en depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo y tectonismo generan geoformas de origen estructural.



En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en el distrito de Quilmaná, se cartografiaron tres unidades: llanura aluvial, loma y montaña (Tabla 4).

Tabla 4: Determinación de geoformas en el distrito de Quilmaná en base a las características físicas y su origen.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<5°	Deposicional	Llanura aluvial
Geometría	irregular		
Drenaje	irregular		
Pendiente	<35°	Denudacional	Loma
Altura	<300 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	>30°	Estructural	Montaña
Altura	>400 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	dendrítico		

**Llanura aluvial:** Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente <5°, así como una geometría y drenaje irregular. Abarca el 79% de la zona de estudio. Actualmente, sobre esta unidad se asienta la zona urbana de la ciudad de Quilmaná (Figura 4).

**Loma:** Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente de <35°, altura <300 m, geometría alargada, drenaje dendrítico y es de origen denudacional. Abarca el 11% de la zona de estudio. Se han identificado la presencia de lomas a 1.30 km al noroeste de la ciudad, específicamente en cerro Bandurria y 2.50 km en dirección oeste de la ciudad de Quilmaná (Figura 5).

**Montaña:** Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente >30°, altura >400 m, geometría alargada, drenaje dendrítico y de origen estructural. Abarca el 10% de la zona de estudio. Se ha identificado esta unidad a 5.20 km en dirección noroeste de la ciudad de Quilmaná (Figura 6).

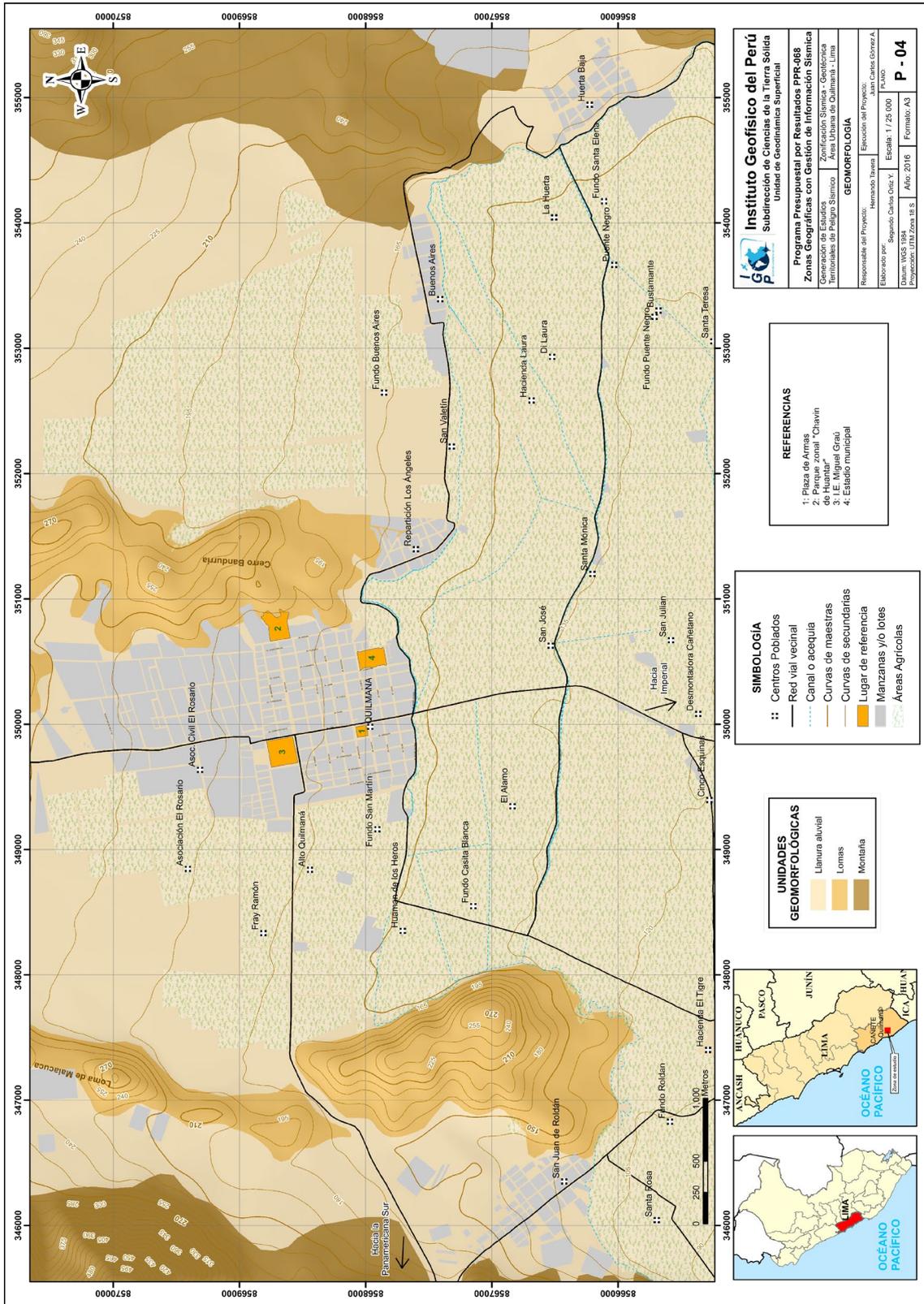


Figura 3: Mapa geomorfológico para la ciudad de Quilmaná y alrededores.

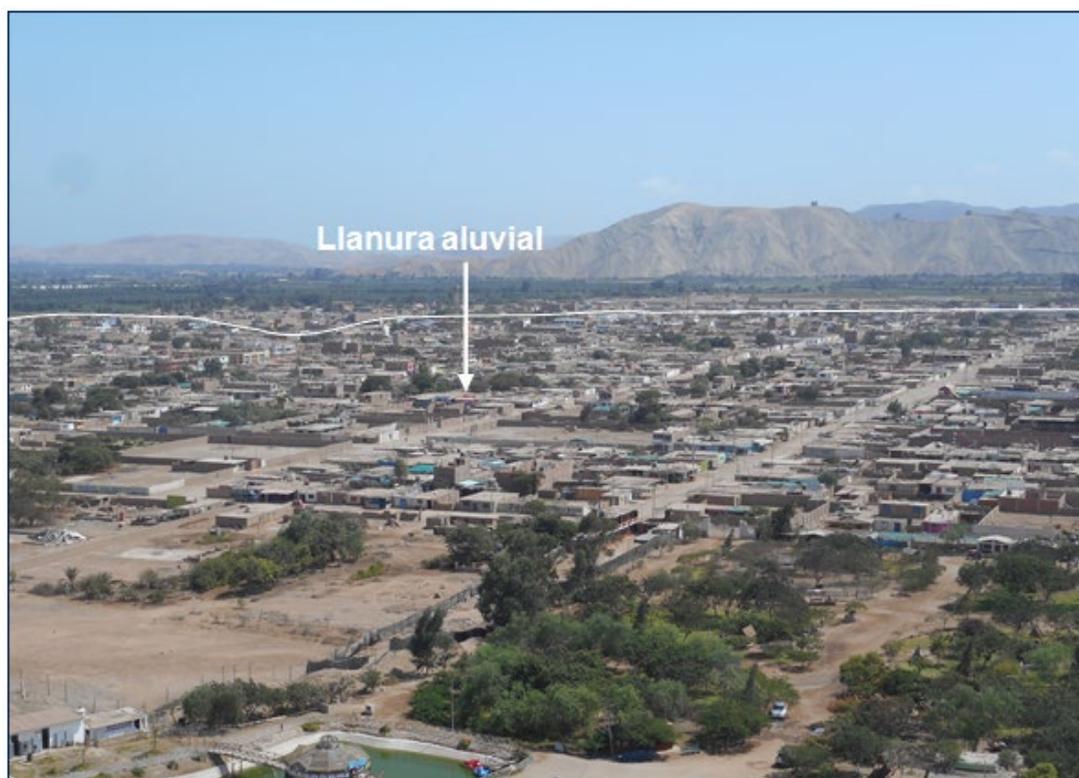


Figura 4: La ciudad de Quilmaná se asienta sobre una antigua terraza aluvial.

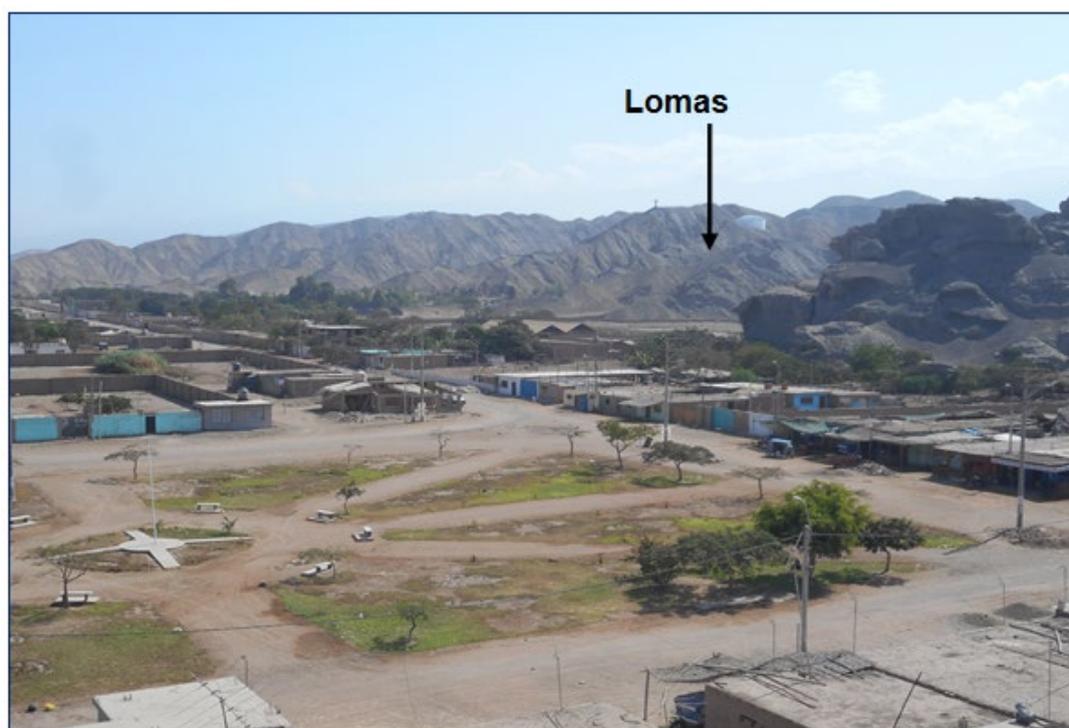


Figura 5: Secuencia de Lomas, ubicadas a 1.30 km al noreste de la ciudad.



Figura 6: Línea blanca delimita las lomas y montañas, las primeras, se encuentran situadas a 5.20 km al noroeste del área urbana de Quilmaná.

### 3. GEOLOGÍA

La geología es la ciencia que estudia la Tierra, los materiales que la componen, las estructuras y los procesos que actúan sobre y debajo de la superficie a lo largo de millones de años desde su origen hasta la actualidad. La litología como parte de la geología, estudia las características físicas de las rocas y depósitos que constituyen una formación geológica, es decir una unidad litoestratigráfica. Los tipos de rocas han sido originados por procesos internos (tectónica de placas, ascenso de magma, etc.) como también por la erosión, transporte y depositación de rocas preexistentes (procesos de meteorización).

El intemperismo asociado a los procesos de meteorización, es básicamente un proceso químico, el agua actúa como disolvente, la remoción de los elementos más pequeños del cuerpo de roca dejan espacios por donde el agua sigue penetrando y acelerando el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después, se descompone en fragmentos cada vez más pequeños, hasta que, al ser transportada y depositada se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su dureza y fragilidad. Por ejemplo: la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en forma de cuarzo es estable en climas templados, pero en climas ecuatoriales, las altas temperaturas y las precipitaciones pluviales contribuyen a su descomposición; es por ello que, es importante conocer los tipos de rocas y sus características físicas (Harvey, 1987). Estos procesos de meteorización, modelan tanto la roca como del suelo, dando como resultado las geoformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caída de rocas).

Para entender el comportamiento del terreno, es necesario conocer los procesos geológicos externos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación). Se estudian las rocas y los suelos que provienen de las mismas, analizando las propiedades asociadas al comportamiento mecánico.

La geología comprende varias disciplinas tales como la geología regional, histórica y estructural que permiten explicar el cómo, cuándo y que procesos actuaron en el emplazamiento de las rocas y materiales que constituyen los suelos sobre los que asienta la zona estudiada.

### 3.1. Geología regional

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala. Es así que, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), trabajo realizado por De la Cruz y Rosell (versión digital 2002) a escala 1:50 000. En este trabajo se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (145 Ma) hasta el Cuaternario Reciente.

**Geología histórica:** Según Fernández Dávila (1993), hace 132.9 millones de años, la ciudad de Quilmaná se encontraba en un mar somero con aporte de sedimentos provenientes de zonas de montaña. Se le denominó a esta etapa epicontinental de continuas transgresiones y regresiones, depositándose los sedimentos que darían lugar a las formaciones La Herradura y Marcavilca.

Luego, a fines del Valanginiano, tuvo lugar a una ligera subsidencia de las cuencas con el consiguiente avance del mar en sentido regional. La zona costanera está representada por la Formación Pucusana con un conglomerado basal, sobre yaciendo a las formaciones de arcillitas y rocas calcáreas. Pamplona y Atocongo, se desarrollaron en un mar nerítico (zona marítima cercana a la costa).

En el Albiano Superior (100.5 millones de años), surge la última transgresión del mar, denominada transgresión cretácea, donde se depositaron las rocas del Grupo Quilmaná, en el lado Occidental de la cuenca, asociada a la actividad volcánica, representada por cuellos volcánicos y flujos de lava con ocasionales intercalaciones de unidades sedimentarias. Durante el Cretáceo Superior, (97-96 millones de años), surgieron las pulsaciones de rocas intrusivas de la Superunidad Linga, conformadas por rocas de tipo granodioritas y monzogranito.

**Geología estructural:** Los eventos de deformación y metamorfismo produjeron el plegamiento de las estribaciones andinas y fallamientos en bloques evidenciados en esta parte de la costa. A continuación se detallan las estructuras resultantes de los eventos geológicos.

**Zonas de Plegamientos:** La deformación asociada a esfuerzos de compresión y distensión esta manifestada en los plegamientos existentes en la Cordillera Occidental interrumpidos por cuerpos intrusivos que forman parte del Batolito de la Costa. En la zona noroeste de la ciudad de Quilmaná existen plegamientos, pero estos no afectan al área de estudio.

**Zonas de fallas:** Las fallas geológicas pueden afectar grandes extensiones de paquetes de rocas y materiales, en algunas ocasiones, cambiando la geomorfología de la zona. En el cerro Bandurria, situado a 2.5 km al noreste de la ciudad de Quilmaná, existen dos fallas normales en dirección NW – SE, la misma que desplaza a las rocas de la formación Quilmaná y pone en evidencia a las rocas de la formación Marcavilca, ver Figura 7.

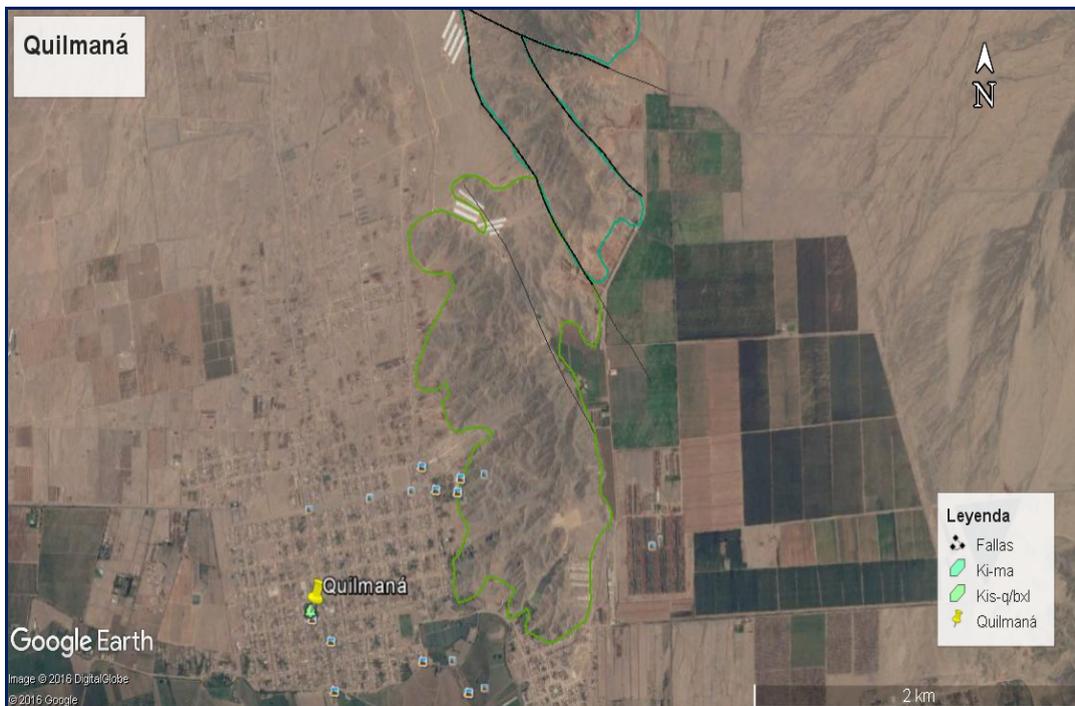


Figura 7: Fallas normales, ubicadas en el cerro Bandurria.

### 3.2. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Quilmaná a escala 1:25 000 sobre un área de 53.88 km<sup>2</sup>, aproximadamente. A continuación se describen éstas unidades (Figuras 8 y 9)

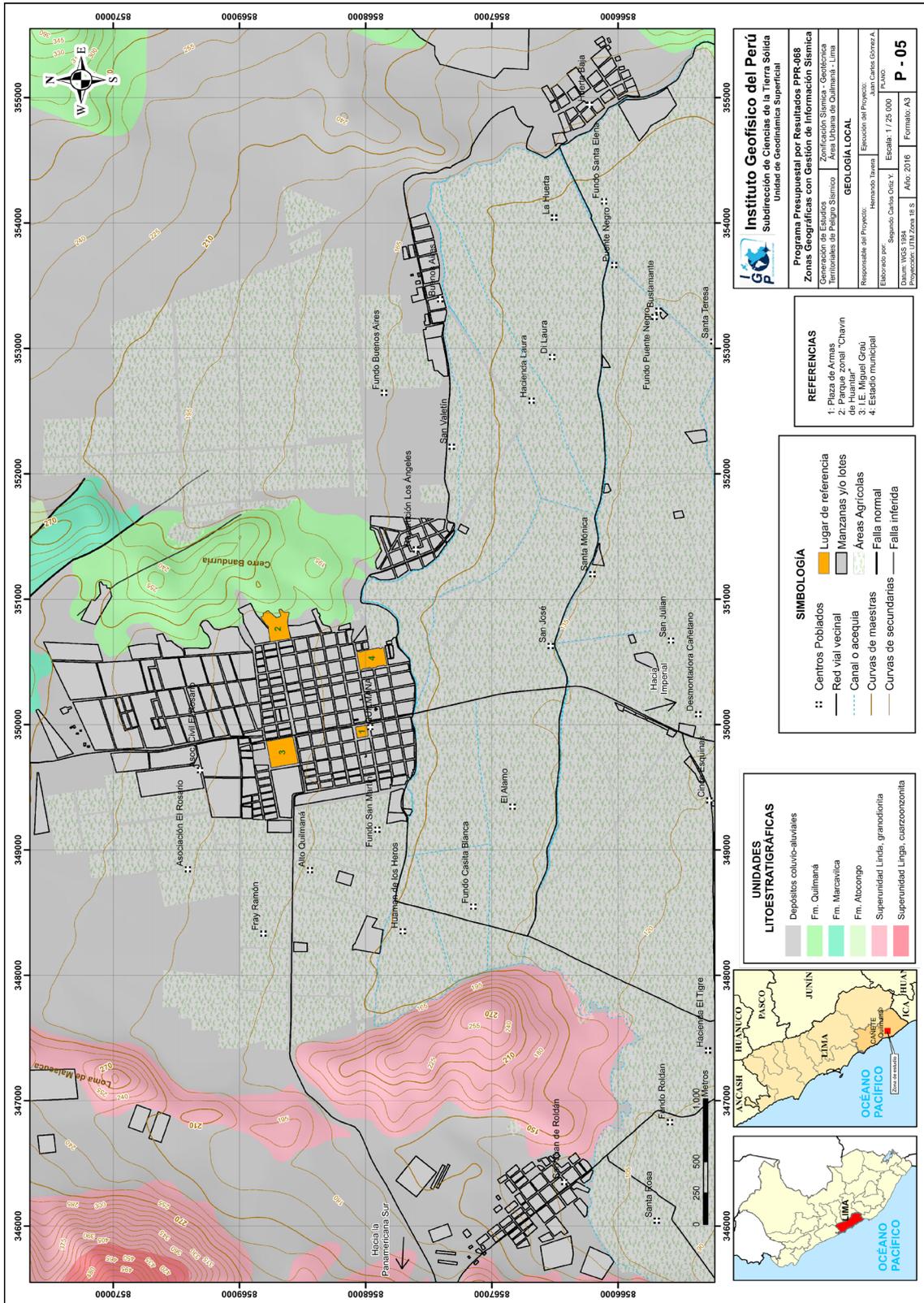


Figura 8: Mapa de geología local para la ciudad de Quilmaná.

Eratema	Sistema	Serie	Unidades Litoestratigráficas	Rocas Intrusivas
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos coluvio-aluviales	Superunidad Linga (Cuarzo monzonita y granodiorita)
MESOZOICO	CRETACEO	Superior	Formación Quilmaná Formación Marcavilca	
		Inferior		

Figura 9: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

**Súper Unidad Linga:** Se encuentra representada por rocas granodioritas y cuarzomonzonitas de edad Cretácico Superior distribuidas en el extremo suroeste, oeste y noreste de la ciudad de Quilmaná. Está conformando cuerpos irregulares de diferentes dimensiones. Los afloramientos de este macizo son visibles por su color y por las formas redondeadas de su superficie producidas por el intemperismo (Figura 10).

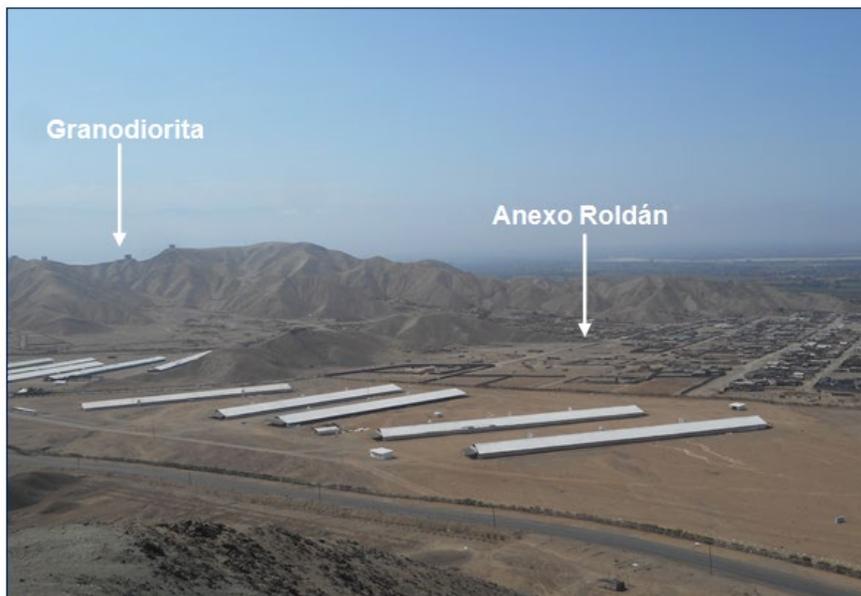


Figura 10: Afloramiento de rocas intrusivas de tipo granodiorita de la Superunidad Linga, ubicado en el anexo Roldán.

**Formación Marcavilca:** Perteneciente al Cretáceo Inferior (139.8 Ma), está conformada por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, se encuentra aflorando a 3.0 Km al noreste de la ciudad de Quilmaná (Figura 11). Esta unidad litológica representa el basamento rocoso e infrayace a la formación Quilmaná.

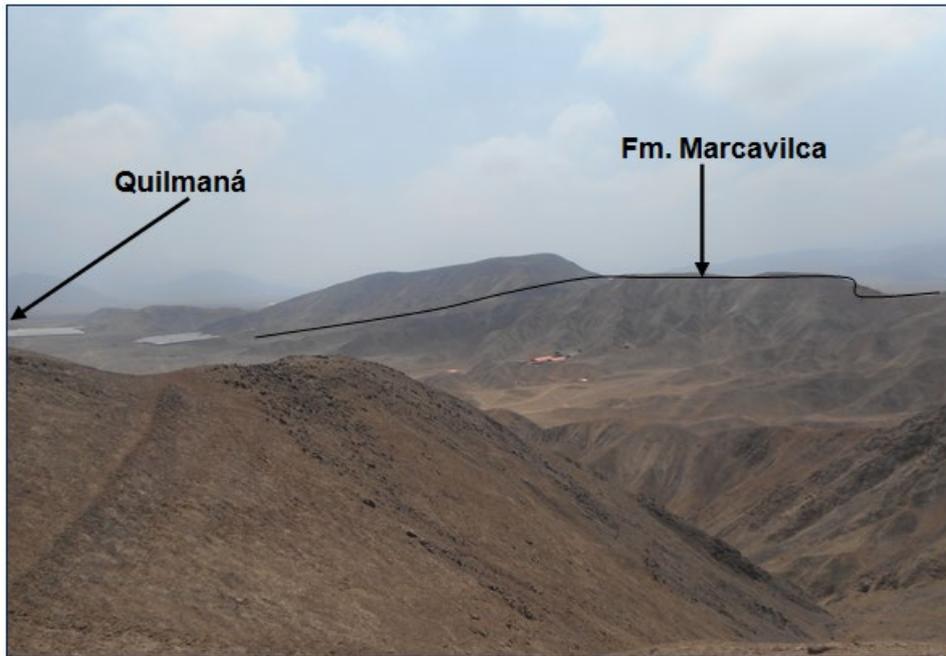


Figura 11: La línea de color negro, delimita la formación Marcavilca, el mismo que aflora a 3.0 km al noreste de la ciudad de Quilmaná.

**Formación Quilmaná:** Se dio a fines del Cretáceo Inferior e inicio de Cretáceo Superior, con este nombre se le denomina a una gruesa secuencia volcánica-sedimentaria de brechas volcánicas intercaladas con lavas andesíticas, muy fracturadas y meteorizadas. Se encuentran aflorando al este y noreste de la ciudad de Quilmaná, sobre-yaciendo a las rocas de la formación Marcavilca (Figura 12).

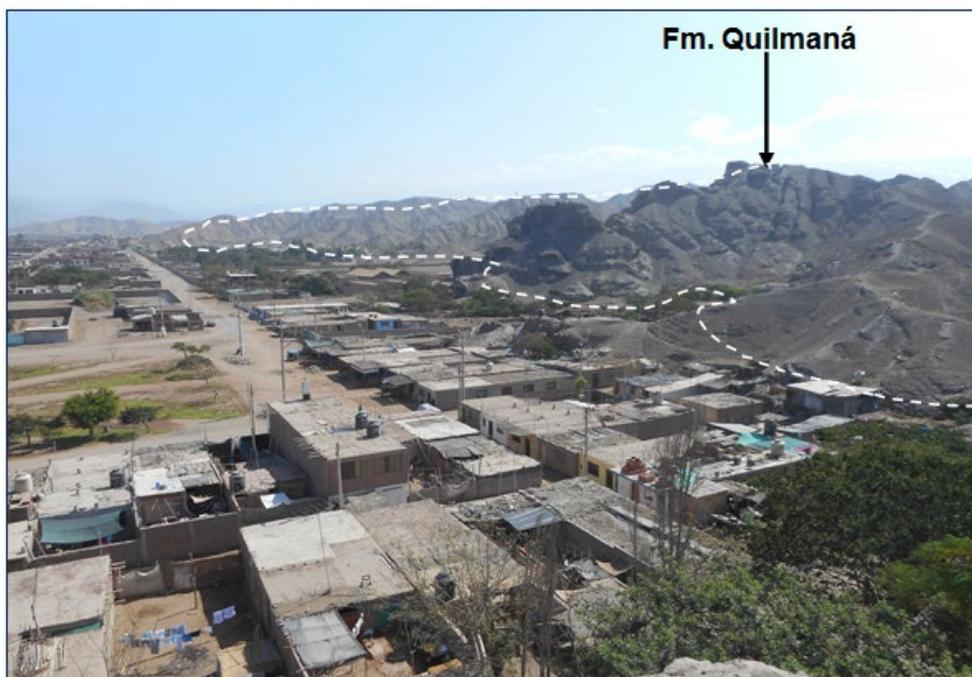


Figura 12: Afloramiento de brechas volcánicas intercaladas con lavas de composición variable, pertenecientes a la formación Quilmaná.

**Depósitos Cuaternarios:** Los depósitos cuaternarios se encuentran suprayaciendo a las rocas de la formación Quilmaná, son de edad Holocena y de origen coluvio – aluvial, principalmente (Tabla 5).

Tabla 5: Tipos de depósitos Cuaternarios.

Origen	Unidad cronoestratigráfica
Aluvial	Depósitos coluvio-aluvial (Qh-coal)

**Depósitos coluvio - aluvial (Qh-ce):** Estos materiales son resultantes de la meteorización, erosión, traslado y depositación de rocas preexistentes, transportados por la acción conjunta del agua y la gravedad, depositándose en la parte baja o llanura, formando las pampas de Quilmaná. Está constituida primordialmente por fragmentos angulares, redondeados y subredondeados, generalmente de tamaño grueso, englobados en una matriz areno-limosa o arenarcillosa. Sobre esta unidad geológica se encuentra asentada la ciudad de Quilmaná, La Huerta Baja y San Juan de Roldán (Figura 13).

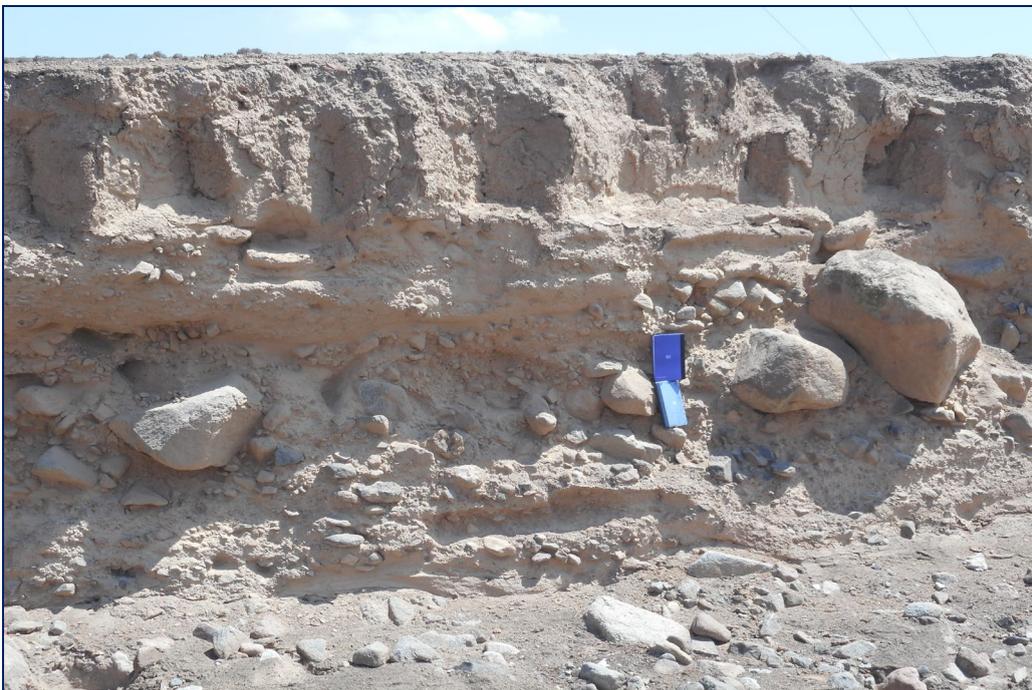


Figura 13: En este corte, se evidencia la composición de los depósitos coluvio-aluviales, compuesto por gravas redondeados a subredondeados, englobados en una matriz areno-limosa.

## **4. GEODINÁMICA**

La geodinámica es la rama de la geología que estudia las fuerzas o agentes que actúan en los procesos dinámicos de la tierra, se divide en geodinámica interna y externa, estos procesos originan cambios físicos y químicos que dan como producto eventos que modifican el actual relieve de la corteza terrestre.

Es importante recalcar que al analizar factores como la litología permite explicar el origen de los materiales que constituyen las geoformas (colinas, lomas, entre otras) y en las cuales se generan procesos como meteorización y erosión que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

### **4.1. Procesos de geodinámica interna**

La geodinámica interna estudia las transformaciones de la estructura interna de la tierra en relación con las fuerzas que actúan en su interior, usando técnicas de prospección geológicas (estudios estructurales, dataciones de muestras, medidas con Gps de alta precisión) y geofísicas (análisis de ondas sísmicas). Los procesos que transforman la estructura interna de la Tierra son los magmáticos, sísmicos y tectónicos junto con sus agentes.

El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, considerada como la principal fuente sismogénica en el Perú, produciendo los eventos de mayor magnitud conocidos hasta el presente.

Los procesos de tectonismo, originan la deformación de la corteza continental, que ha dado origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de magnitudes menores (Cahill & Isacks, 1992; Tavera & Buforn, 2001).

### **4.2. Procesos de geodinámica externa**

Entre estos procesos se encuentran la meteorización (física o mecánica) y la erosión (fluvial, eólica y marina). Estos procesos aprovechan la fuerza de la gravedad, es decir las rocas descienden algunos metros debido a desplazamientos masivos de terreno o son transportadas por medio de las corrientes fluviales hasta depositarse. En general,

estos procesos, transportan materiales desde la parte alta de la cuenca hacia la parte baja de ésta.

Asimismo, estos procesos tienen como factores condicionantes: geomorfología (formas de relieve), litología (tipos de rocas y/o suelos), estructuras geológicas (pliegues y disposición de estratos) que interactúan con los factores detonantes como sísmicos (sismicidad de la zona), climatológicos (incremento de las precipitaciones) y antrópicos (urbanismo, uso del suelo y construcción de vías de comunicación).

Como se indicó anteriormente existen dos procesos, los cuales serán descritos a continuación:

**Meteorización:** Las rocas que afloran en la superficie terrestre están expuestas a una lenta, pero a la vez efectiva, alteración. Ésta, puede ser física (la simple rotura de un bloque al caer, como química (la oxidación de un metal como resultado de la acción de los agentes externos, el tiempo de exposición de las rocas a estos agentes, de la naturaleza de la roca y del clima).

**Erosión:** Desgaste de los suelos y rocas de la superficie terrestre resultado de la acción combinada de varios factores, como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal, así como, se produce una erosión acelerada como el resultado de la acción humana. La erosión presenta tres fases: desgaste, transporte y depósito de los materiales, esto trae como consecuencia que se formen relieves por desgaste (degradación) y por depósito (agradación).

La acción, por separado o en conjunto, de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos, los cuales se dividen, según su origen, en: fluvio-aluvial e hidrogravitacional (Figura 14).

#### **a) Fluvio aluvial**

Los procesos de erosión (carcaveo, incisión y desgaste laminar), son originados por las precipitaciones que se presentan en la cuenca fluvial, la cual genera la escorrentía superficial, esto provoca el arrastre progresivamente de los materiales a posiciones de menor energía potencial (menor pendiente). La carga de sedimentos transportados por la quebrada o río incrementan la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los

materiales, (Brusi, 2013), como: Flujos de detritos e inundación. Los eventos geodinámicos originados por procesos pluviales y que podrían afectar a la zona de estudio, son descritos a continuación:

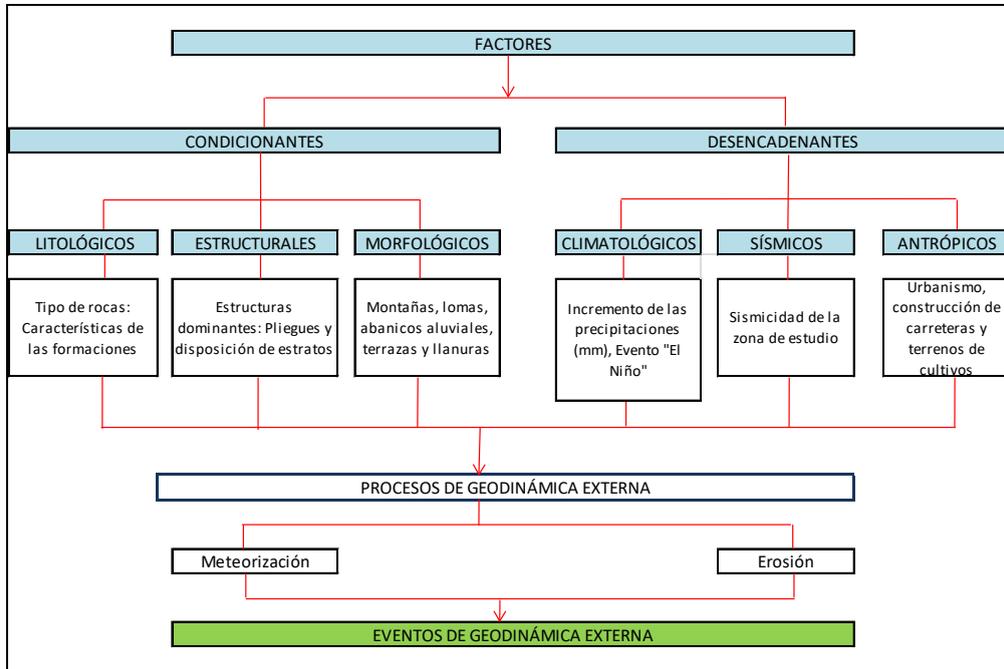


Figura 14: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

- **Flujos de detritos y/o lodos (huaicos):** Movimiento de materiales sin cohesión (materiales sueltos) que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura definidas, en algunos casos depositan sus materiales en forma de conos de deyección, ver Figura 15.

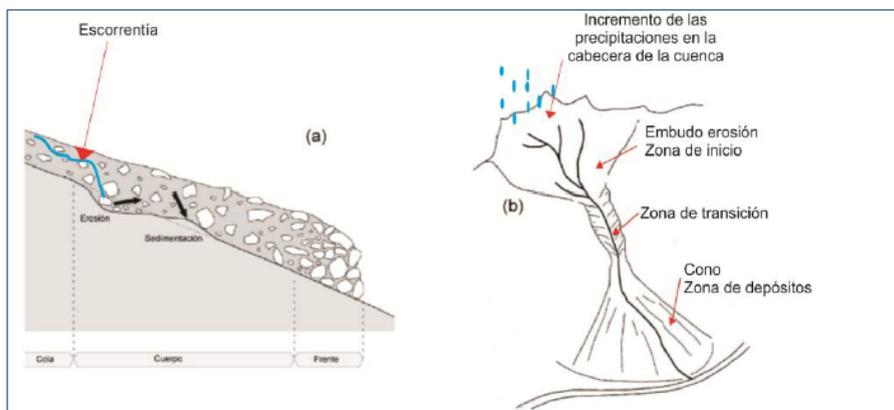


Figura 15: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la deposición del material).

- **Inundación:** Es el resultado del comportamiento de la cuenca hidrográfica en un período de incremento de precipitaciones. Es la ocupación ocasional de terreno por el agua de un río o una quebrada. Puede ocurrir en zonas litorales debido a tsunamis o a la superposición de oleaje y las mareas, pero las más frecuentes son las inundaciones en el interior de los continentes, producidas por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos y torrentes) que sufren una crecida (avenida) transitoria del cauda (Figura 16).

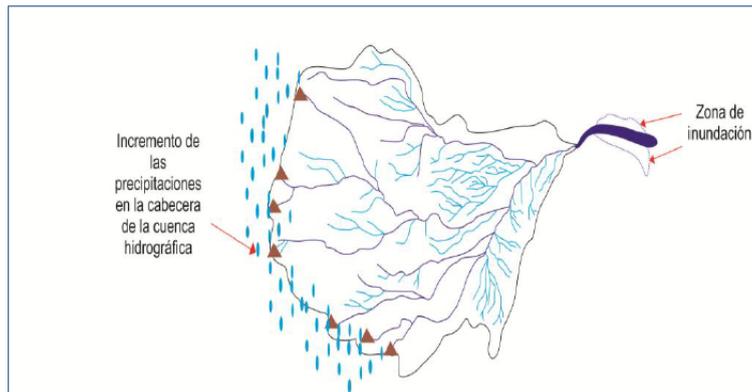


Figura 16: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

Cuando el caudal de una corriente llega a ser tan grande que supera la capacidad de su cauce, se desborda hacia sus márgenes. Estas se describen en términos de intervalo de recurrencia o período de retorno, es decir, la inundación puede repetirse en 30, 50 y 100 años. Un ejemplo es: El caudal de inundación que tiene un 1 por ciento de probabilidades de ser superado en un año cualquiera se denomina una inundación de 100 años. Las inundaciones pueden ser consecuencia de varios factores naturales y humanos (Tarbuck, 2005).

### b) Hidro-gravitacional

En este mecanismo interviene el agua y la gravedad. Se presentan en los fondos de los valles y en las partes bajas de las vertientes. En estos se encuentran los movimientos en masa (MM) que son todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de rocas, detritos o tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Para la descripción de los MM, se ha tomado en cuenta la clasificación de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988), la cual se basa en dos elementos: el tipo de movimiento (caída, volcamiento y deslizamiento) y el material sean rocas y suelos (divididos en detritos y tierras).

Asimismo, Wyllie & Norrish, (1996), indican como causas de las caídas de roca: la lluvia, la roca fracturada, el viento, la escorrentía, la infiltración, las fracturas planares, la erosión, las raíces de los árboles, fuentes de agua superficial, la descomposición del suelo, los sismos, los cortes de las vías, la explotación de materiales, el uso de explosivos, las vibraciones de la maquinaria, los vehículos y las diversas actividades antrópicas.

**Caída de rocas:** Es resultado del debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, produciendo un deterioro en la estructura del talud por la acción de la meteorización. En este caso se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, que caen por gravedad (Figura 17).

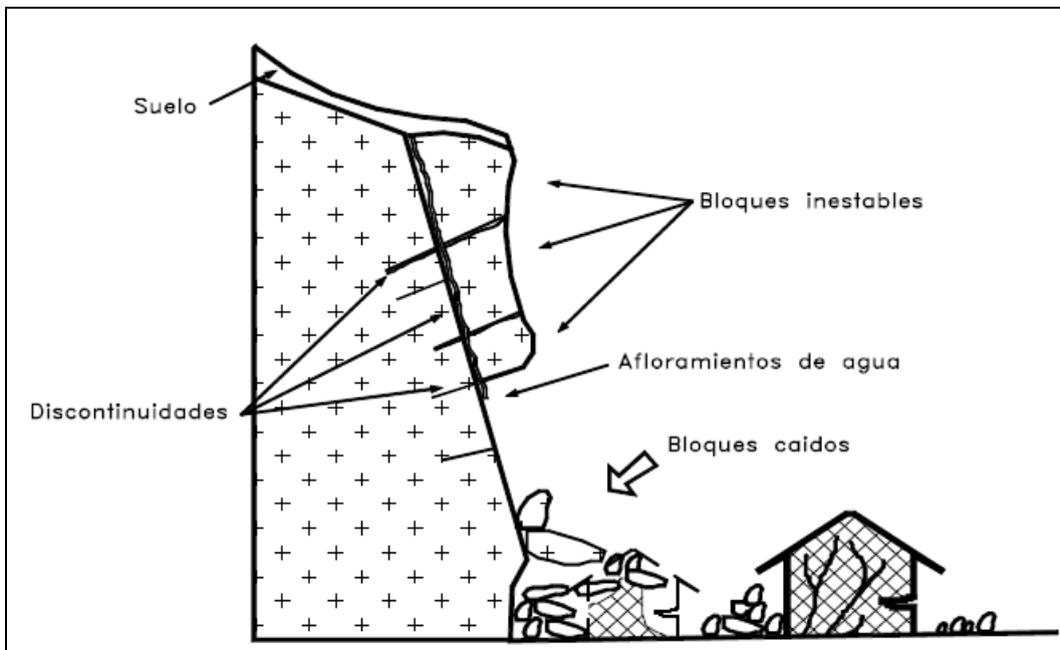


Figura 17: Proceso de caída de rocas. Fuente: Juárez (1998).

**Deslizamiento:** Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo, es decir, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla (Figura 18).

Se puede clasificar en:

**D. Rotacional** cuando la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

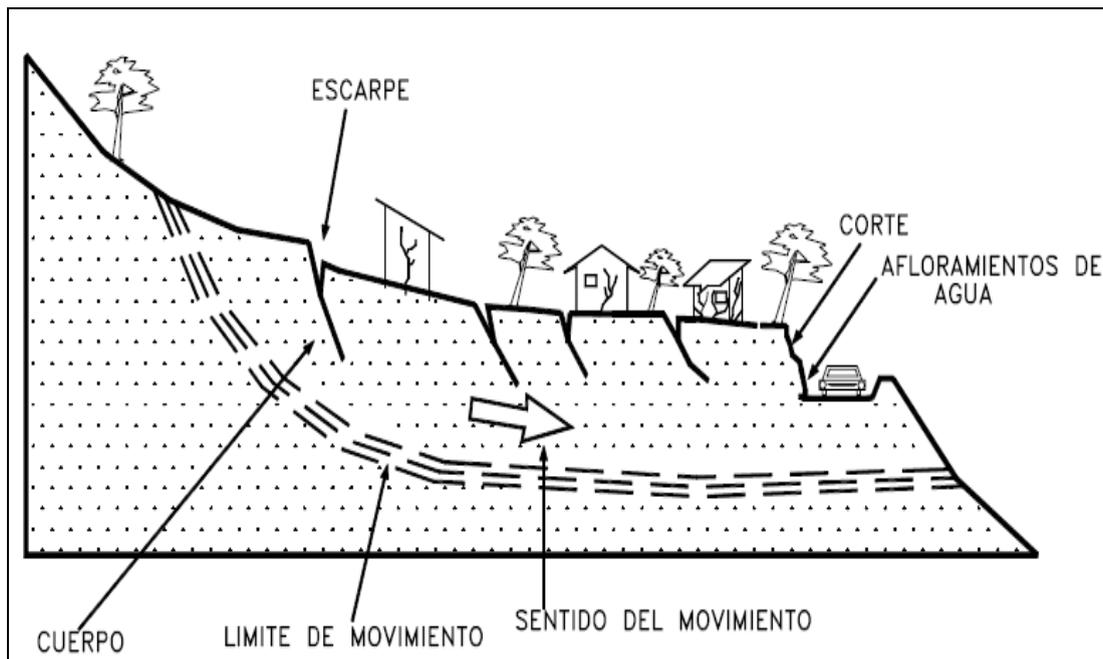
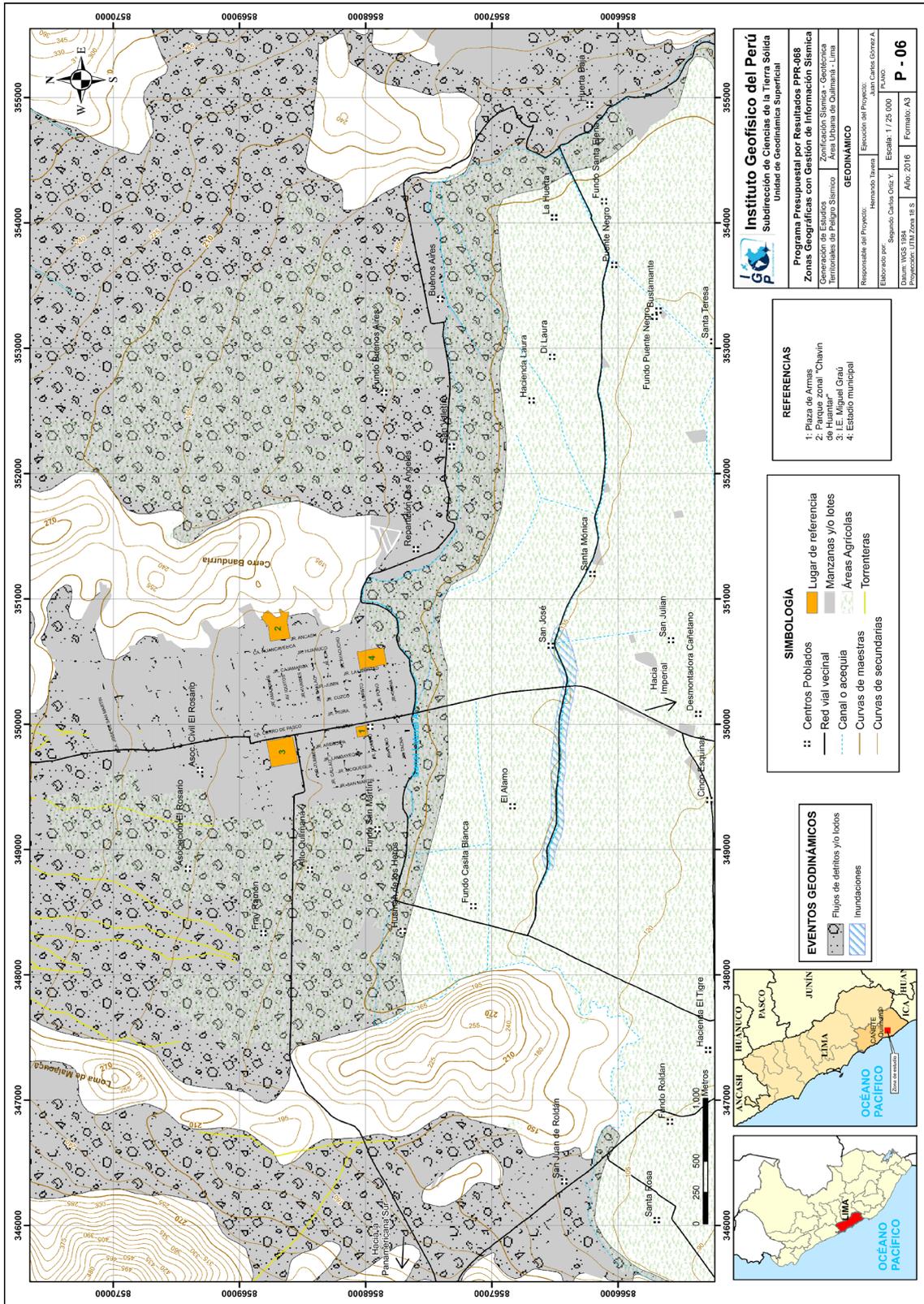


Figura 18: Deslizamiento en laderas, Fuente: Juárez (1998).

**D. Traslacional** cuando el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada.

En la ciudad de Quilmaná existen dos tipos de eventos geodinámicos (Figura 19), los cuales según el proceso y factores que intervienen, se han clasificado de la siguiente manera.

**Flujos de lodos y/o detritos:** En el área de estudio se han encontrado evidencias de relictos de antiguos flujos de detritos y/o lodos, esto debido a sus características físicas y geográficas de la zona. Estos flujos se producen repentinamente como resultado de las fuertes precipitaciones en zonas montañosas, situadas al extremo norte de la ciudad de Quilmaná. Estos flujos han formado torrenteras, mapeadas un total de 8 principales, por donde discurren los flujos que tienen una profundidad promedio de 1.50 m y ancho de 20 m. En el recorrido de éstas se encuentra escasa presencia de vegetación lo cual contribuye a la erosión de las torrenteras y de las pampas, así como el mayor grado de infiltración de las aguas de escorrentía. Durante su recorrido de los flujos pueden transportar gravas, cantos rodados y bolonería, cuyos diámetros son menores de 1.70 m (Figura 20).





*Figura 20: Torrenteras formadas por antiguos flujos de detritos y/o lodos, encontrados en la ciudad de Quilmaná.*

**Inundaciones por desborde de canales de riego:** En la ciudad de Quilmaná se han evidenciado tres canales importantes de riego, que son usados por los agricultores para los sembríos, que en épocas de lluvias pueden llegar a incrementar su caudal y generar inundación por desborde de canales de regadío, afectando áreas agrícolas y caminos carrozables (Figura 21).



*Figura 21: Canales de regadío, que en época de lluvias llegan a desbordarse y generar inundaciones.*

### 4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

La susceptibilidad está referida a la probabilidad de que suceda un evento geodinámico durante un período de tiempo en un sitio dado (Hauser, 1985 y 1993; Sepulveda, 2000).

Algunos autores definen como la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo, lo cual depende de los factores: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte). La identificación y delimitación de zonas afectadas por procesos de geodinámica externa, ha permitido reconocer zonas probables a la ocurrencia de estos, ver Figura 22.



*Figura 22: El canal de regadío presenta densa vegetación que obtura el cauce produciendo el incremento de caudal y su posterior desborde, afectando áreas agrícolas.*

La falta de mantenimiento en los canales de regadío, obtura gran parte de su cauce por tanto esto contribuye al incremento del nivel del agua en épocas de avenidas. Asimismo, produce el desborde afectando a áreas agrícolas, trocha carrozable y algunas viviendas aledañas al canal. La estimación del tipo de evento está en función a los factores y del proceso de origen fluvial (inundaciones), ver Tablas 7 y 8,

Tabla 7: Factores y procesos que delimitan las zonas susceptibles a eventos de flujos de lodos y/o detritos.

FACTORES					+	ORIGEN DEL PROCESO GEODINÁMICO EXTERNO	=	FLUJOS
LITOLÓGICOS	CLIMATOLÓGICOS	MORFOLÓGICOS	SÍSMICOS	ANTRÓPICOS		FLUVIO-ALUVIAL		
Rocas intemperizadas	Incremento de las precipitaciones cuyas escorrentías erosionan las rocas	Geoforma: lomas y colinas de pendiente > 30 °	Magnitud > 4	Urbanismo en zonas adyacentes a la quebrada				

Tabla 8: Factores y procesos que delimitan las zonas susceptibles a eventos del tipo inundaciones.

FACTORES				+	ORIGEN DEL PROCESO GEODINÁMICO EXTERNO	=	INUNDACIÓN
LITOLÓGICOS	CLIMATOLÓGICOS	MORFOLÓGICOS	ANTRÓPICOS		FLUVIO-ALUVIAL		
Depósitos aluviales	Incremento de las precipitaciones	Geoforma: abanico aluvial pendiente < 5 °	Urbanismo en zonas adyacentes a la quebrada				
		Canal de regadío 0-5 m de desnivel					

Se ha estimado que las zonas susceptibles para movimientos en masa de tipo flujos de detritos y/o lodos se localizan desde el extremo norte de la ciudad de Quilmaná, pasa por Nueva Jerusalén hasta el área urbana de la zona de estudio. Mientras que, las inundaciones por regadío afectarían áreas agrícolas, trochas carrozables y algunas viviendas aledañas a los canales de regadío, ver Figura 23.



## 5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los materiales inconsolidados que han sido resultado de los procesos de erosión y que posteriormente han sido transportados, en gran parte desde las nacientes de las cuencas hidrográficas hasta ser depositados a lo largo de la cuenca, principalmente en la parte baja, conforman los suelos sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. La clasificación, en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de estos materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica que presenten dichos procesos, en el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 24).

Se debe destacar que, en algunas ciudades se presentan materiales eólicos (arenas), cuyo aporte se debe, principalmente a las corrientes de aire que proviene del Océano Pacífico.

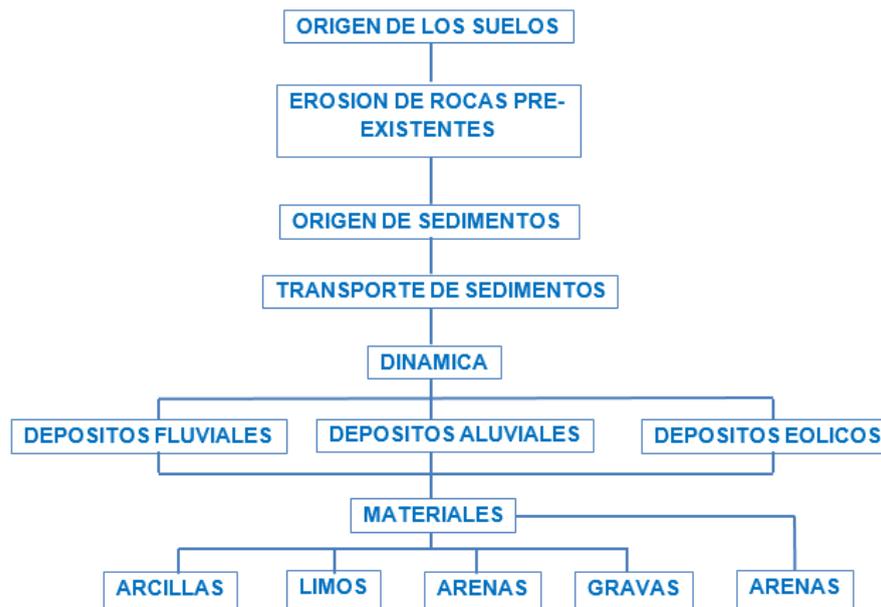


Figura 24: Diagrama del origen de los suelos (IGP, 2018).

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas, así como, el comportamiento en condiciones estáticas de los suelos y rocas, mediante la aplicación de técnicas de exploración, entre las cuales se tienen: calicatas, perforaciones y ensayos de suelos en laboratorio; a fin de determinar las propiedades físicas de los suelos de cimentación.

En la ciudad de Quilmaná, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, postes y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), y cuya distribución espacial se muestra en la Figura 25.

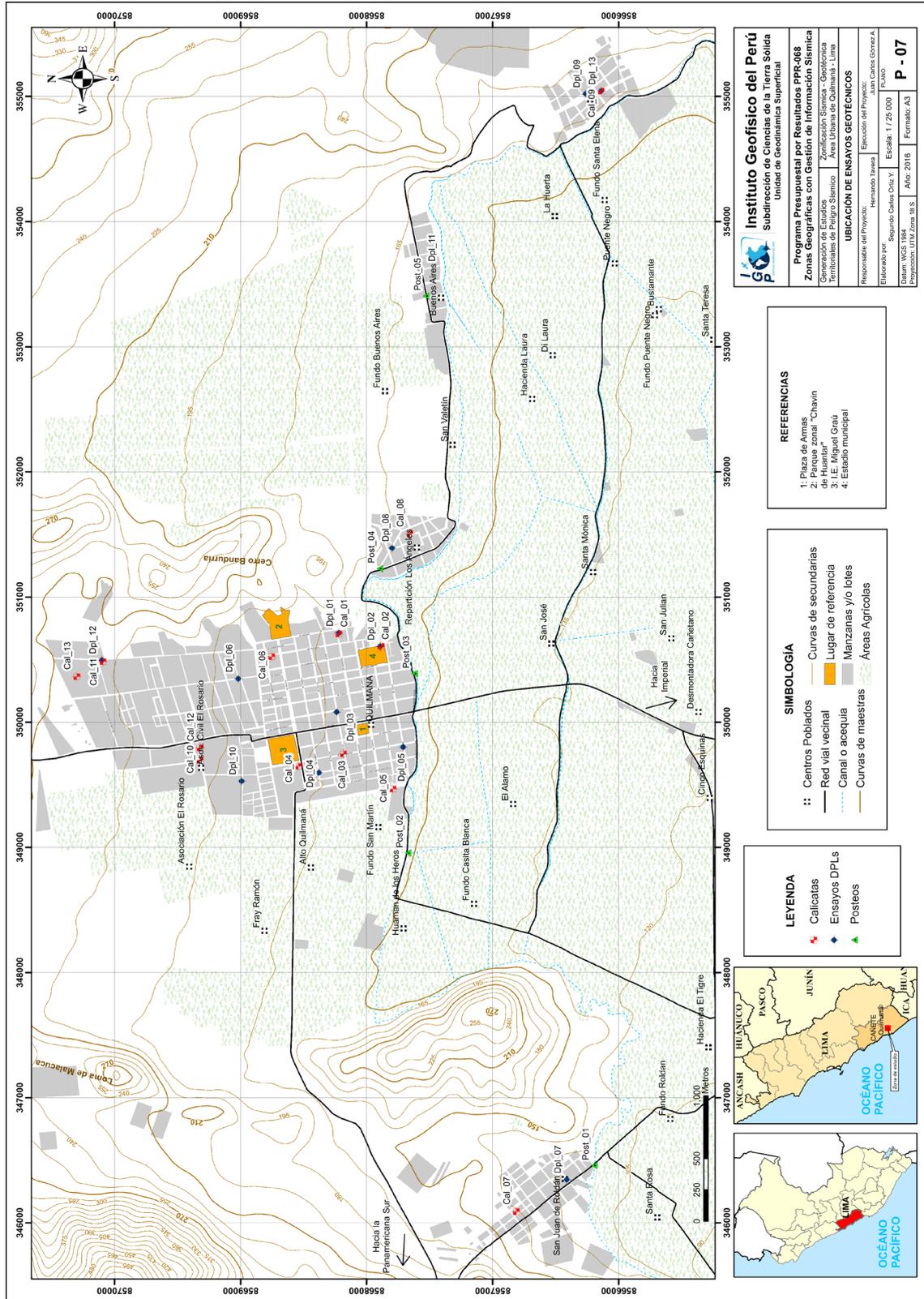


Figura 25: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en la ciudad de Quilmaná.

Asimismo, de las calicatas se extrajeron diez (10) muestras que fueron enviadas al laboratorio de suelos, con el fin de realizarles ensayos de mecánica de suelos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible. Además, se han realizado las descripciones litológicas de tres calicatas (Cal-11, Cla-12 y Cal-13) ya existentes como pozos artesanales.

### 5.1. Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D 420)

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo a cierta profundidad (aproximadamente 3.00 m.), a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos y análisis. Estas calicatas son realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual. El procedimiento seguido incluye las siguientes actividades:

**Reconocimiento de la zona de estudio:** Se realizó un análisis visual de las características geotécnicas superficiales del terreno (tipo de suelos, nivel freático, entre otros), accesibilidad y lugares apropiados donde ubicarlas.

**Excavaciones:** Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m y aproximadamente 3.0 m de profundidad.

**Muestreo:** Proceso de extracción de dos muestras alteradas de suelo (para la identificación y la otra para determinar las propiedades de resistencia del suelo) en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg, aproximadamente.

**Descripción de calicatas,** una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, para ello se han elaborado 13 fichas de descripción de calicatas, las mismas que se adjuntan en el anexo 1 de geotecnia. Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM (Tabla 9 y Figura 25). Cabe resaltar que, las ubicaciones de las calicatas se definieron por los siguientes motivos: distribución espacial, áreas libres para elaborarlas y zonas donde se realizaron los ensayos geofísicos.

Se debe indicar que, la calicata Cal-08 se trabajó a 1.40 m porque son suelos muy compactos y hay presencia de caliche. La calicata Cal-11 tiene 1.60 m profundidad, porque es una calicata ya existente.

Tabla 9: Ubicación de calicatas (NP, No Presenta).

Calicata	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)	Nivel Freático a (m)
Cal - 01	350706	8568221	93	3.00	N.P
Cal - 02	350607	8567885	93	2.90	N.P
Cal - 03	349747	8568185	185	3.20	N.P
Cal - 04	349649	8568542	189	3.10	N.P
Cal - 05	349467	8567792	177	3.20	N.P
Cal - 06	350524	8568753	190	3.00	N.P
Cal - 07	346090	8566813	156	3.60	N.P
Cal - 08	351507	8567657	178	1.40	N.P
Cal - 09	355043	8566139	185	3.00	N.P
Cal - 10	349698	8569325	203	2.90	N.P
Cal - 11	350485	8570093	213	1.60	N.P
Cal - 12	349795	8569322	204	2.90	N.P
Cal - 13	350365	8570300	233	3.40	N.P

## 5.2. Densidad de suelo in situ (Norma ASTM D1556)

Se define como la relación entre la masa del suelo (sólido y líquido) y el volumen total de un suelo o la medida del estado de empaquetamiento del suelo y consiste en extraer material del suelo a fin de obtener una relación entre la masa de este y el volumen que ocupa la arena del cono (arena calibrada).

En cada exploración (estratos muestreados) se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo a los suelos que crea conveniente, haciendo uso del método del cono, con la finalidad de conocer la relación entre la masa del suelo y el volumen que ocupa la arena calibrada del cono, también la compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, información necesaria para realizar los ensayos de corte directo a las muestras de suelo (en su estado inicial).

Sin embargo, en la calicata Cal-08 no se desarrolló, debido a que este método no se aplica en suelos que contengan clastos con diámetro superior a 1 ½" (38 mm) o cantidades excesivas de roca, así como suelos sin cohesión y/o suaves (arenas inconsolidadas), para este caso se asumieron valores teóricos de densidad. Los resultados contenidos se muestran en la Tabla 10 y las fichas de densidad que se adjuntan en los anexos. El procedimiento seguido considera las siguientes actividades:

**Excavación:** Proceso de diseño de agujero (profundidad de 10 a 12 cm) haciendo uso de cinces y comba, se tiene como guía el diámetro de la placa metálica.

**Extracción** de la muestra de suelo del agujero elaborado anteriormente y pesado de este material extraído.

**Posicionamiento** de cono de arena pesado sobre la placa, se espera hasta que este deje de vaciar arena y se llene el agujero.

Finalmente se pesa la arena que sobra en el cono y se procede a realizar los cálculos para la obtención de la densidad húmeda, mientras que, la densidad seca se obtiene en el laboratorio al momento de conocer la humedad natural de la muestra extraída.

Tabla 10: Resultado de densidades in – situ.

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Densidad Humedad (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido De Humedad (%)
Cal - 01	DC-Cal - 01	3.00	2.00	1.96	2.12
Cal - 02	DC-Cal - 02	2.90	2.04	1.85	9.28
Cal - 03	DC-Cal - 03	3.20	1.72	1.56	9.63
Cal - 04	DC-Cal - 04	3.10	1.86	1.84	1.07
Cal - 05	DC-Cal - 05	2.20	1.60	1.45	9.18
Cal - 06	DC-Cal - 06	3.00	1.89	1.87	1.02
Cal - 07	DC-Cal - 07	2.20	1.93	1.92	0.58
Cal - 08	DD-Cal - 08	1.40	2.10	2.05	0.88
Cal - 09	DC-Cal - 09	3.00	2.18	2.15	1.35
Cal - 10	DC-Cal - 10	2.90	2.05	1.99	2.93

Los datos mencionados en la Tabla 10, sirven para identificar las condiciones naturales del terreno (compactación y humedad), información necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo a las muestras de suelo en su estado inicial (in-situ).

Las densidades mostradas son características de suelos granulares, tales como arenas y gravas y se encuentran dentro del rango establecido por Centro Peruano Japonés de Investigación Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID (Tabla 11). El contenido de humedad es muy baja, no supera el 3%, a excepción de las calicatas C-2, C-3 y C-5 que presentan humedades de, entre 9.18 al 9.63%, eso debido que, los suelos

tienen contenidos de arcillas y fueron realizadas en zonas cercanas a áreas agrícolas. El bajo contenido de humedad es típico de zonas con climas muy secos y semí-cálidos.

Tabla 11: Valores típicos de densidad de suelos.

Materiales		Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
ARENA Y GRAVA	MUY SUELTA	1.70 – 1.80	1.30 – 1.40
	SUELTA	1.80 – 1.90	1.40 – 1.50
	MEDIO DENSA	1.90 – 2.10	1.50 – 1.80
	DENSA	2.00 - 2.20	1.70 – 2.00
	MUY DENSA	2.20 – 2.30	2.00 – 2.20
ARENA	POBREMENTE GRADUADA (SP)	1.70 – 1.90	1.30 – 1.50
	BIEN GRADUADA (SW)	1.80 – 2.30	1.40 – 2.20
	MEZCLA DE ARENA (SW Y SP)	1.90 – 2.30	1.50 – 2.20
ARCILLA	LODO NO CONSOLIDADO	1.60 – 1.70	0.90 – 1.10
	BLANDA, AGRIETADA	1.70 – 1.90	1.10 – 1.40
	TÍPICA (CONS. NORMAL)	1.80 – 2.20	1.30 – 1.90
	MORRENA (SOBREC.)	2.00 – 2.40	1.70 – 2.20
SUELOS ROJOS TROPICALES		1.70 – 2.10	1.30 – 1.80

### 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D 1452)

Se define posteadora como un barreador manual en forma de "T" que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 m, a fin de obtener muestras de suelo. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas, sin embargo sirven para reconocer el tipo de suelos y contenido de humedad que presenta.

Se debe mencionar que, la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas sacamuestras se entrampan con este tipo de suelos).

En la ciudad de Quilmaná se han realizado 05 ensayos con posteadora manual distribuidos en toda al área urbana de Quilmaná y anexos, de los cuales, 01 ensayo de posteos (Post – 02) se realizó a profundidad de 1.30 m y resto de los posteos no ha profundizado más de 0.40 m, puesto que, son suelos gravosos. El procedimiento seguido, considera las siguientes actividades:

Con la posteadora se penetra el subsuelo desde la superficie de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que va incrementando la profundidad, se van conectando y añadiendo las varillas de 1 metro de extensión para la obtención de muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas, lugares donde no existía información geotécnica a fin de obtener una mejor caracterización de los suelos de la ciudad de Quilmaná, a continuación se muestran los resultados obtenidos y ubicación en la Tabla 12 (Figura 25), respectivamente.

Tabla 12: Ubicación de Posteos y clasificación de suelos SUCS.

Posteos	UTM Este(m)	UTM Norte(m)	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)	Tipo de suelo (SUCS)	Nivel Freático a (m)
Post - 01	346458	8566195	133	0.50	GP	N.P
Post - 02	348955	8567672	154	1.30	SC	N.P
Post - 03	350389	8567619	169	0.40	SC	N.P
Post - 04	351228	8567896	167	0.40	GW	N.P
Post - 05	353407	8567529	162	0.25	SP	N.P

#### 5.4. Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL, Norma DIN4094)

Es un equipo de campo de registro continuo (se contabiliza el número de golpes para penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo), permite estimar la resistencia del material (suelo) en  $\text{kg/cm}^2$  al hincado del cono dinámico. La ventaja del instrumento es que, es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente.

Consiste en introducir al suelo una varilla de acero en la que se encuentra una punta cónica de  $60^\circ$ , mediante la aplicación de golpes con un martillo de 10 kg, que se deja caer desde una altura de 0.50 m. Como medida de la resistencia a la penetración se registra el número "N" (número de golpes en 10 cm de penetración), información que luego se correlaciona con algunas propiedades relativas del suelo, en particular, con sus parámetros de resistencia al corte, capacidad portante, densidad relativa, etc. A través de fórmulas empíricas donde se introduce el "N" y se obtiene el ángulo de fricción interna de los materiales.

Se hace mención que, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limo-arenosos, no recomendables en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. El procedimiento seguido incluyó las siguientes actividades:

**Ubicación de ensayos:** Se distribuyeron generalmente al costado y en puntos intermedios a algunas calicatas y posteos, a fin de obtener mayor información de la resistencia del suelo en el área estudiada.

**Ensamble de equipo:** Consiste en conectar los accesorios del equipo, la punta cónica va al final de la varilla de penetración, esta se une a la guía que contiene el yunque, posteriormente se ajusta las uniones y finalmente se empieza a hincar el suelo con la caída libre del martillo (acción de la gravedad).

**Proceso de toma de datos:** Se debe registrar el número de golpes por cada 10 cm que la varilla penetra el suelo; se sigue este procedimiento hasta que el suelo ofrezca resistencia (no exceder los 45 golpes de acuerdo a norma técnica).

En la Tabla 13, se indica la ubicación de los ensayos de penetración ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Quilmaná, la profundidad alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción interna), en la profundidad comprendida entre los 0.90 y 1.20 m, debido a que en este nivel se calculara los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción y cohesión) para el cálculo de la capacidad admisible. Las fichas de los ensayos se adjuntan en los anexos.

Tabla 13: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) parámetros obtenidos.

Ensayo N°	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)	N° de golpes	$\Phi$
DPL-01	350676	8568217	177	1.29	59	43.7
DPL-02	350605	8567894	171	0.40	45	39.7
DPL-03	350081	8568238	182	1.38	63	45.0
DPL-04	349597	8568379	186	0.56	50	41.0
DPL-05	349801	8567710	175	0.37	55	42.5
DPL-06	350348	8569019	191	0.35	50	41.0
DPL-07	346345	8566412	132	0.35	55	42.5
DPL-08	351392	8567798	176	0.47	45	39.7
DPL-09	355021	8566262	186	0.31	50	41.0
DPL-10	349529	8568991	194	1.03	50	41.0
DPL-11	353631	8567586	183	0.15	55	41.5
DPL-12	350496	8570102	215	0.46	60	44.0
DPL-13	355043	8566139	183	0.22	50	41.0

En tres ensayos DPL (01, 03 y 10) se ha logrado alcanzar una profundidad entre 1.00 a 1.30 m y el resto de ensayos la profundidad alcanzada es mínima (0.22 m), debido a la presencia de materiales granulares, conformados por gravas y arenas de grano grueso, con alta resistencia a la penetración.

**Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586):** El ensayo DPL no cuenta con correcciones normadas para la obtención del ángulo de fricción interna, es por ello que, los valores obtenidos del número de golpes del ensayo DPL ( $N_{DPL}$ ) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar ( $N_{SPT}$ ), a fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

Entre los diversos métodos de correlación para el número de golpes del ensayo DPL y SPT, en base a las características del terreno (compacidad, resistencia y deformabilidad), e incluso con las dimensiones de las cimentaciones requeridas, se utilizó una fórmula empírica que relaciona los parámetros de los equipos DPL y SPT, tales como: peso del martillo, altura de caída del martillo, área de la punta cónica, el espesor de la hinca y los número de golpes obtenidos con el DPL, a continuación se detalla dicha relación:

$$N_1 = N_2 \frac{W_1 * H_1 * A_2 * e_2}{W_2 * H_2 * A_1 * e_1}$$

Dónde:

$N_1$ = Número de golpes equivalente en SPT

$N_2$ = Número de golpes obtenidos en DPL

$W_1$ = Peso del martillo del DPL

$W_2$ = Peso del martillo SPT

$H_1$ = Altura de caída de DPL

$H_2$ = Altura de caída del SPT

$A_1$ = Área de la punta cónica del DPL

$A_2$ = Área de la punta cónica del SPT

$e_1$ = Espesor de la hinca del DPL

$e_2$ = Espesor de la hinca del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT ( $N_{SPT}$ ), se realizaron las siguientes correcciones por: nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro, para así

obtener un nuevo valor de número de golpes por ensayo SPT ( $N'_{SPT}$ ), con el cual se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos.

**Cálculo del ángulo de fricción interna:** Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas propuestas por diversos autores, por mencionar algunos autores tenemos: Dunham, Osaki (1959), Muromachi (1974), Peck (1974), Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996).

Para el caso de la ciudad de Quilmaná, se empleó la relación experimental propuesta por OSAKI (1959), que propone calcular el ángulo de fricción de los suelos arenosos en base al número de golpes ofrecidos al terreno, siendo la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores (Tabla 14).

Finalmente, se adjunta en los anexos, las fichas resumen de cada uno de los ensayos realizado en campo y sus respectivos valores de ángulos de fricción interna (Figura 26).

Tabla 14: Cálculo del ángulo de fricción interno, usando valores del SPT.

PROF. (m.)	$N_{spt}$ (golpes)	$\phi'_{spt}$ (°)			
		DUMHAM	OSAKI (1959)	MUROMACHI (1974) (1974)	Hatanaka y Uchida (1996)
0.00 - 0.30	11.85	36.9	30.4	32.1	35.4
0.30 - 0.60	11.37	36.7	30.1	31.8	35.1
0.60 - 0.90	10.40	36.2	29.4	31.3	34.4
0.90 - 1.20	8.47	35.1	28.0	30.2	33.0
1.20 - 1.50	4.84	32.6	24.8	27.7	29.8
1.50 - 1.80	7.02	34.2	26.8	29.3	31.8
1.80 - 2.10	8.95	35.4	28.4	30.5	33.4
2.10 - 2.40	5.81	33.3	25.8	28.4	30.8
2.40 - 2.70					
2.70 - 3.00					
3.00 - 3.30					
3.30 - 3.60					
3.60 - 3.90					
3.90 - 4.20					

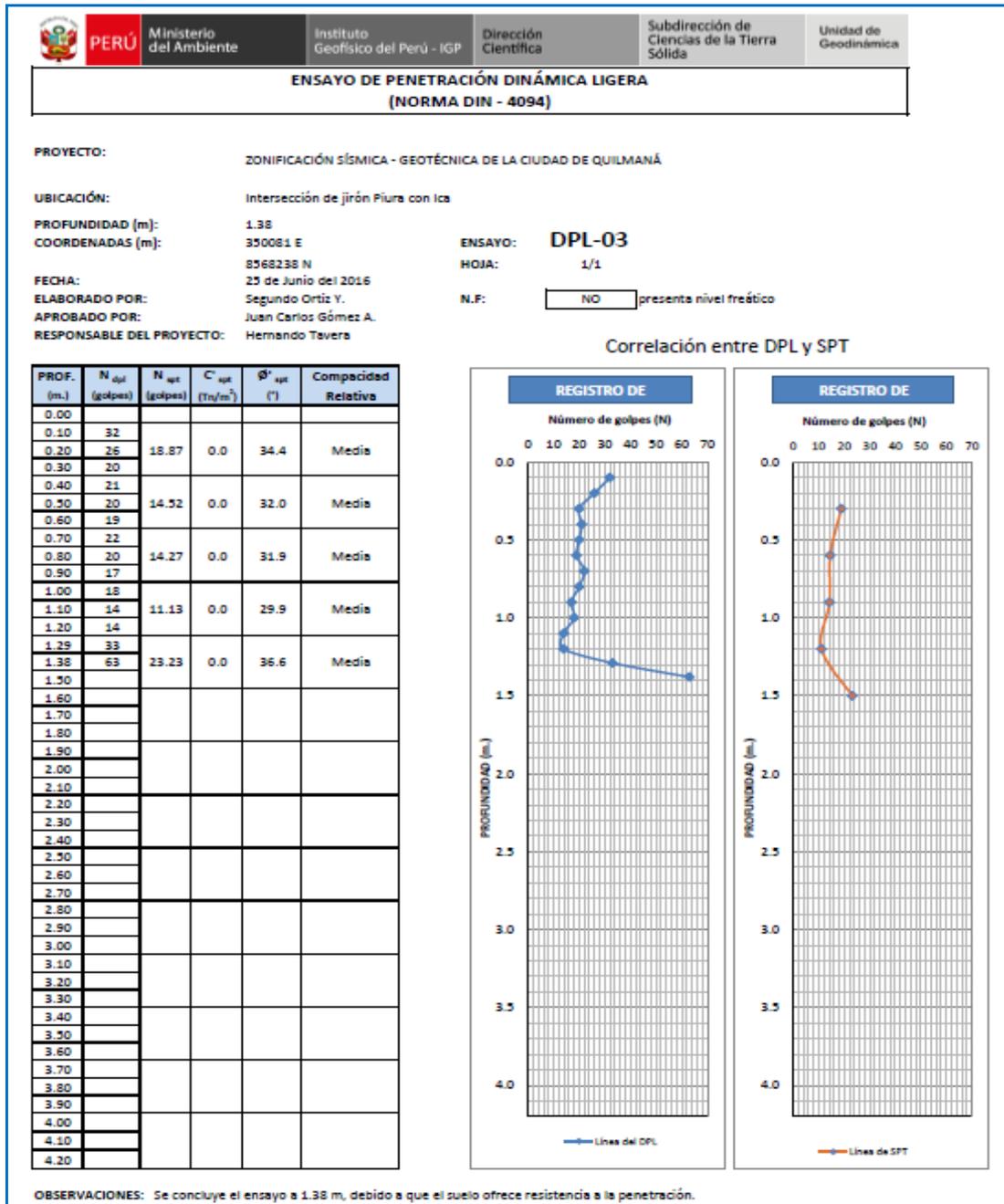


Figura 26: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido.

### 5.5. Clasificación de suelos SUCS (Norma ASTM D4827)

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, postes y DPL realizados en la ciudad de Quilmaná, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad realizados en el laboratorio de suelos de JCL Consultores S.A.C y la inspección visual del terreno se han identificado 05 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 15 y Figura 27.

Tabla 15: Clasificación SUCS de las nueve (09) calicatas elaboradas en la ciudad de Quilmaná (NP, no presenta).

Calicata	Prof. (m)	NF (m)	Gravas (>4.76)	Arenas (>0.074mm, <4.76mm)	Finos % (<0.074)	Uniformidad	Curvatura	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico	Contenido de humedad (%)	SUCS	Denominación
C - 01	3.00	NP	16.10	78.50	5.35	8.93	1.15	23.60	21.70	1.90	2.12	SW-SM	Arena Bien Graduado con limo
C - 02	2.90	NP	41.20	44.70	14.10	-	-	35.60	19.90	15.70	9.18	SC	Arena arcillosa
C - 03	3.20	NP	1.80	63.50	34.67	-	-	22.40	17.50	4.90	12.00	SC	Arena arcillosa
C - 04	3.10	NP	44.20	51.10	4.73	34.36	0.67	-	-	-	1.07	SP	Arena Mal Graduado
C - 05	3.20	NP	52.40	43.10	4.54	11.19	1.90	-	-	-	9.18	GW	Grava Bien Graduado
C - 06	3.0	NP	39.40	56.50	4.05	22.96	0.41	-	-	-	1.02	SP	Arena Mal Graduado
C - 07	3.20	NP	19.10	73.70	7.27	19.14	1.47	15.60	12.70	2.90	0.58	SW-SM	Arena Bien Graduado con limo
C - 08	1.40	NP	59.50	38.70	1.80	37.30	0.45	NP	NP	NP	0.80	GP	Grava Mal Graduado
C-09	3.0	NP	59.20	37.70	3.09	20.89	1.32	-	-	-	1.35	GW	Grava Bien Graduado
C-10	2.90	NP	44.30	52.30	3.42	24.89	0.54	-	-	-	2.93	SP	Arena Mal Graduado

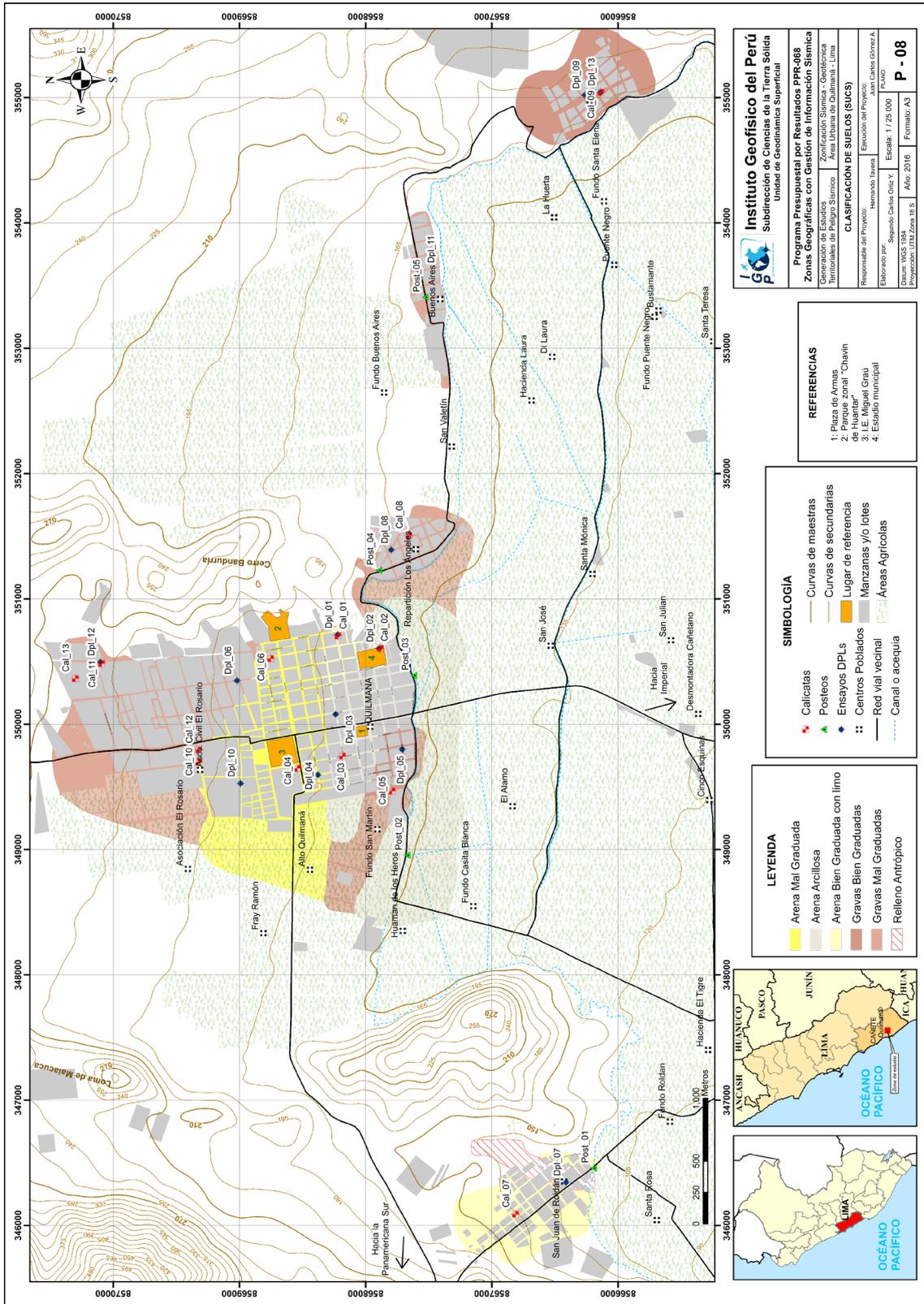


Figura 27: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de la ciudad de Quilmaná y alrededores.

**Suelos tipo SW – SM:** Están conformados por arenas bien graduadas con alto porcentaje de limos, el contenido de humedad es de 0.58% a 2.12%, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es muy baja, son suelos de compactación media, no presentan plasticidad. Cabe resaltar que, han sido identificados en el anexo San Juan de Roldán y en el parque Vista Alegre (Quilmaná).

**Suelos tipo SP:** Están conformados por arenas mal graduadas, el contenido de humedad es de 1.02% a 2.93%, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es muy baja, son suelos de compactación media y no presentan plasticidad. Cabe resaltar que, estos suelos representan el 27% del área de estudio y se localizan desde la Jirón Tumbes hasta la Asociación Civil El Rosario.

**Suelos tipo SC:** Están conformados por arenas arcillosas, el contenido de humedad es de 9.18% a 9.63%, se consideran suelos de compactación media, presentan plasticidad, ocupan el 22% de los suelos de la ciudad y han sido identificados en parte del área urbana de Quilmaná, Fundo San Martín y área agrícolas, situadas en la entrada a la ciudad.

**Suelos tipo GW:** Están conformados por gravas bien graduadas en matriz arenosa de grano fino a medio. Contiene clastos redondeados a subredondeados de diámetros máximo de 12". El contenido de humedad es de 1.35% a 9.18%, se consideran suelos de compactación medio, no presentan plasticidad. En Quilmaná ocupan el 6% de los suelos de la ciudad y ha sido identificado en la calicata 05, situada en el sector San Martín. También se ha identificado en el sector La Huerta Baja.

**Suelos tipo GP:** Están conformados por gravas mal graduadas en matriz arenosa (40%), el contenido de humedad es de 0.88%, se consideran suelos de compactación alto, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino), ocupan el 30% de los suelos de la ciudad y han sido identificados en el extremo norte de Quilmaná y en los anexos de Buenos Aires y Repartición Los Ángeles.

## **5.6. Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)**

La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simulen que existe o existiría en el terreno producto de la aplicación de

una carga. Esta resistencia al corte en los suelos se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares).

Para conocer esta resistencia en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más usado una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento ( $P_v$ ) y luego una carga horizontal ( $P_h$ ) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra. Los resultados obtenidos para los ensayos de corte directo se presentan en Tabla 16.

Tabla 16: Valores obtenidos del ensayo de corte directo.

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (°)	Cohesión aparente del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Densidad natural ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
C - 01	34	NP	2.00
C - 02	26.63	0.04	1.92
C - 03	32	0.04	1.72
C - 04	33	NP	1.86
C - 05	35.10	0.03	1.60
C - 06	37.50	NP	1.89
<b>C - 07</b>	<b>28.68</b>	<b>0.21</b>	<b>1.93</b>
<b>C - 08</b>	<b>33.48</b>	<b>0.01</b>	<b>2.10</b>
C - 09	35.10	0.03	2.18
C - 10	36	NP	2.05

De los resultados obtenidos anteriormente se evidencia que, presentan cohesión baja, quiere decir que tiene consistencia muy blanda a blanda, y los valores del ángulo de fricción interna superan los  $32^\circ$ , característicos de los suelos granulares de poca cohesión.

**Capacidad de carga admisible ( $q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$ ):** Se define como el esfuerzo máximo que puede

ser aplicado a la masa de suelo de tal forma que se cumplan los requerimientos básicos y se encuentra establecido por la relación entre la carga última y un factor de seguridad cuyo valor es de 3, de acuerdo a la norma técnica peruana para el diseño de cimentaciones E.050.

**Carga última ( $q_u$ ):** Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, J et al). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al NSPT (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usaran para determinar la capacidad portante última mediante las fórmulas por corte general y local de Terzaghi (1943), según sea el suelo a ensayar, a través de las siguientes expresiones:

Fórmula para falla por corte general:

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Fórmula para falla por corte local:

$$q_u = \frac{2}{3} \cdot c \cdot N'_c + q \cdot N'_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N'_\gamma$$

*C: cohesión*

*q: carga ( $\gamma \cdot D_f$ )*

*N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub>: Factores de carga, ver Tabla 17.*

Luego, en base a los resultados de la carga última ( $q_u$ ) se calculó de la capacidad admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.00 m y ancho de zapata de 1.00 m, así como también para profundidad de cimentación de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible de los 08 tipos de suelos analizados se presentan en el Tablas 18 y 19 (Figura 31).

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la Tabla 20, se ha determinado que, la zona urbana de la ciudad de Quilmaná presenta suelos con la siguiente capacidad de carga admisible.

Tabla 17: Factores de cohesión, carga y volumen aplicados para la Falla por Corte General propuesto por Terzaghi y Kumbhojkar (1993) y para la Falla por Corte Local. Modificado propuestos por Terzaghi.

para falla general				para falla de corte local			
TERZAGHI (según Kumbhojkar, 1993)				Modificado por TERZAGHI			
Ángulo Fi	Nc	Nq	Ng	Ángulo Fi	Nc	Nq	Ng
0	5.7	1	0	0	5.7	1	0
1	6	1.1	0.01	1	5.9	1.07	0.005
2	6.3	1.22	0.04	2	6.1	1.14	0.02
3	6.62	1.35	0.06	3	6.3	1.22	0.04
4	6.97	1.49	0.1	4	6.51	1.3	0.055
5	7.34	1.64	0.14	5	6.74	1.39	0.074
6	7.73	1.81	0.2	6	6.97	1.49	0.1
7	8.15	2	0.27	7	7.22	1.59	0.128
8	8.6	2.21	0.35	8	7.47	1.7	0.16
9	9.09	2.44	0.44	9	7.74	1.82	0.2
10	9.61	2.69	0.56	10	8.02	1.94	0.24
11	10.16	2.98	0.69	11	8.32	2.08	0.3
12	10.76	3.29	0.85	12	8.63	2.22	0.35
13	11.41	3.69	1.04	13	8.96	2.38	0.42
14	12.11	4.02	1.26	14	9.31	2.55	0.48
15	12.86	4.45	1.52	15	9.67	2.73	0.57
16	13.68	4.92	1.82	16	10.06	2.92	0.67
17	14.6	5.45	2.18	17	10.47	3.13	0.76
18	15.12	6.04	2.59	18	10.9	3.36	0.88
19	16.56	6.7	3.07	19	11.36	3.61	1.03
20	17.69	7.44	3.64	20	11.85	3.88	1.12
21	18.92	8.26	4.31	21	12.37	4.17	1.35
22	20.27	9.19	5.09	22	12.92	4.48	1.55
23	21.75	10.23	6	23	13.51	4.82	1.74
24	23.36	11.4	7.08	24	14.14	5.2	1.97
25	25.13	12.72	8.34	25	14.8	5.6	2.25
26	27.09	14.21	9.84	26	15.53	6.05	2.59
27	29.24	15.9	11.6	27	16.3	6.54	2.88
28	31.61	17.81	13.7	28	17.13	7.07	3.29
29	34.24	19.98	16.18	29	18.03	7.66	3.76
30	37.16	22.46	19.13	30	18.99	8.31	4.39
31	40.41	25.28	22.65	31	20.03	9.03	4.83
32	44.04	28.52	26.87	32	21.16	9.82	5.51
33	48.09	32.23	31.94	33	22.39	10.69	6.32
34	52.64	36.5	38.04	34	23.72	11.67	7.22
35	57.75	41.44	45.41	35	25.18	12.75	8.35
36	63.53	47.16	54.36	36	26.77	13.97	9.41
37	70.01	53.8	65.27	37	28.51	15.32	10.9
38	77.5	61.55	78.61	38	30.43	16.85	12.75
39	85.97	70.61	95.03	39	32.53	18.56	14.71
40	95.66	81.27	115.31	40	34.87	20.5	17.22
41	106.81	93.85	140.51	41	37.45	22.7	19.75
42	119.67	108.75	171.99	42	40.33	25.21	22.5
43	134.58	126.5	211.56	43	43.54	28.06	26.25
44	151.95	147.74	261.6	44	47.13	31.34	30.4
45	172.28	173.28	325.34	45	51.17	35.11	36
46	196.22	204.19	407.11	46	55.73	39.48	41.7
47	224.55	241.8	512.84	47	60.91	44.45	49.3
48	258.28	287.85	650.67	48	66.8	50.46	59.25
49	298.71	344.63	831.99	49	73.55	57.41	71.45
50	347.5	415.14	1072.8	50	81.31	65.6	85.75

Tabla 18: Capacidad de carga admisible de diez (10) muestras de suelo extraídas en la ciudad de Quilmaná.

Muestra	Capacidad de carga última (Kg/m <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga última (Kg/m <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )
C - 01	11.10	3.70	14.75	4.92
C - 02	5.12	1.71	6.59	2.20
C - 03	8.98	2.99	11.43	3.81
C - 04	8.97	2.99	11.96	3.99
C - 05	12.18	4.06	15.54	5.18
C - 06	17.70	5.90	23.15	7.72
<b>C - 07</b>	12.42	4.14	14.28	4.76
<b>C - 08</b>	11.16	3.72	14.76	4.92
C - 09	15.96	5.32	20.53	6.84
C - 10	15.24	5.08	20.07	6.69
Dimensiones de cimentación	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 19: Capacidad de carga admisible en base a los ensayos de DPL en la ciudad de Quilmaná.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )
DPL – 01	2.49	0.83	3.47	1.16
DPL – 03	1.79	0.60	2.50	0.83
DPL - 10	4.51	1.50	6.16	2.05
Dimensiones de Cimentación	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 20: Rangos de capacidad de carga admisible.

Capacidad Carga Admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Denominación
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA
> 3.0	ALTA

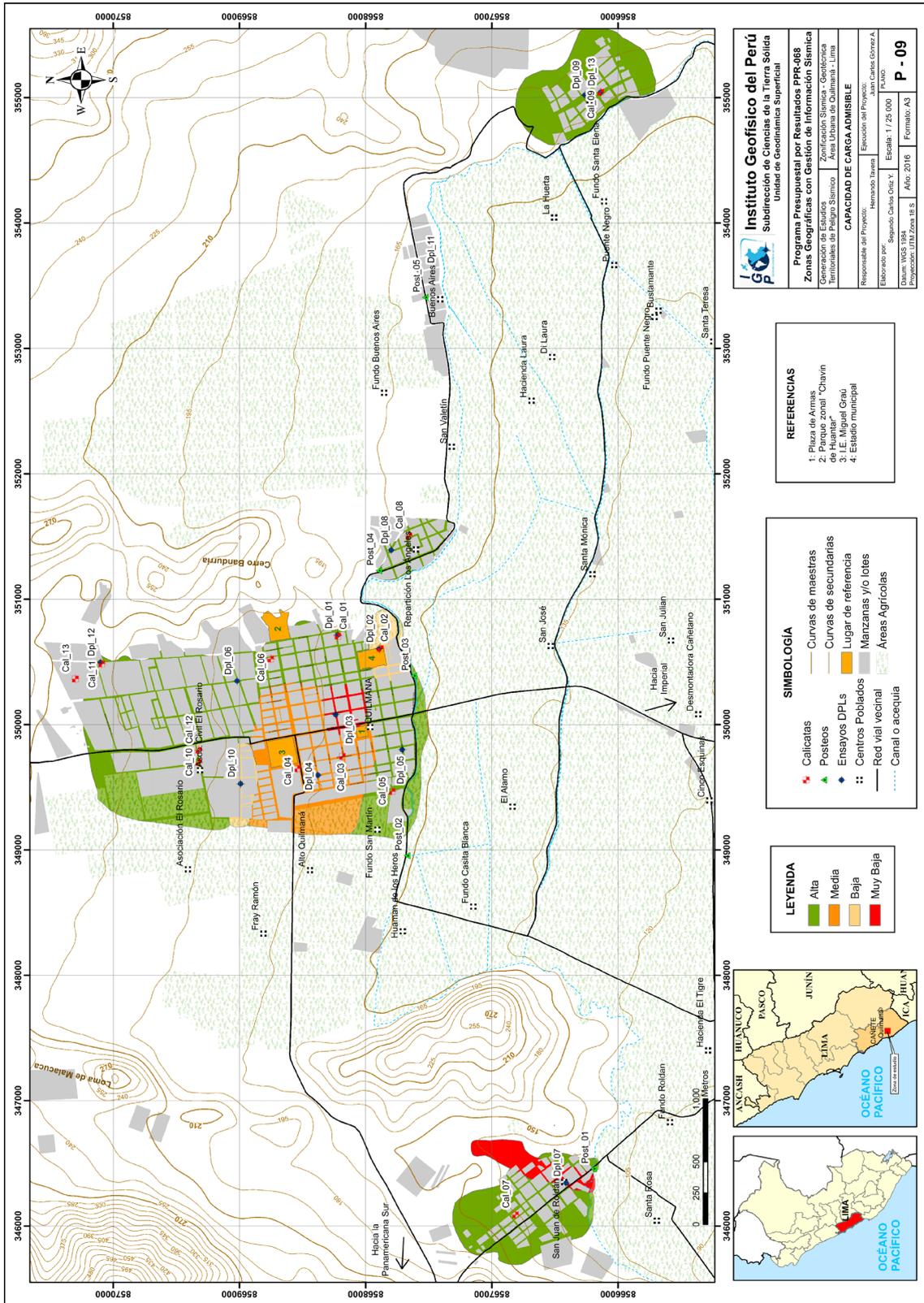


Figura 31: Mapa de capacidad portante a una profundidad de 1 metros para la ciudad de Quilmaná.

**Capacidad de carga admisible muy baja:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores de 1.00 kg/cm<sup>2</sup>, se consideran suelos sueltos. Abarca el 2% del área de estudio. Sobre este tipo de suelos se encuentra asentada parte del área urbana de Quilmaná.

**Capacidad de carga admisible baja:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm<sup>2</sup>, se consideran suelos sueltos a medianamente compactos. Abarca el 5% del área de estudio. Se ubican en la parte noroeste y sureste de la plaza principal de Quilmaná.

**Capacidad de carga admisible media:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 - 3.00 kg/cm<sup>2</sup>, considerados suelos moderadamente compactos. Representa el 16% del área de estudio. Sobre este tipo de suelo se encuentra asentada parte del casco urbano de la ciudad.

**Capacidad de carga admisible alta:** Comprende rangos de capacidad de carga admisible mayores a 3.00 kg/cm<sup>2</sup>, se consideran suelos compactos. Representa el 77% del área de estudio. Sobre estos suelos se sitúan los anexos San Juan de Roldán, Huerta Baja, Repartición Los Ángeles, parte del caso urbana de Quilmaná, San Martín y Asociación Civil El Rosario.

Al realizar un análisis comparativo con estudios anteriores, se puede comprobar que los suelos del casco urbano de la ciudad comprende entre el 75 – 77% presenta capacidad de carga admisible mayor a 3.30 kg/cm<sup>2</sup>.

**CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DE LA  
CIUDAD DE QUILMANÁ**

## CONTENIDO

### 1. METODOLOGÍA

- 1.1. Razones espectrales (H/V)
- 1.2. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)
- 1.3. Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

### 2. RECOLECCION DE DATOS

- 2.1. Registro de vibración ambiental H/V
- 2.2. Registro de arreglos lineales MASW
- 2.3. Registro de la resistividad del suelo ERT

### 3. ANALISIS E INTERPRETACION

- 3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V
- 3.2. Estudio Sísmico con la Técnica MASW
- 3.3. Periodos Dominantes
- 3.4. Estudio Eléctricos con la Técnica de ERT

### 4. ZONIFICACION GEOFISICA

- 4.1. Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica

### CONCLUSIONES

## 1. METODOLOGÍA

Para obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el área urbana de la ciudad de Quilmaná se ha seguido la siguiente metodología.

### 1.1. Razones Espectrales (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) descrito por Nakamura (1989), permite caracterizar la respuesta dinámica del sitio y estimar la amplificación sísmica.

Para la aplicación de esta técnica se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V que consiste en obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio. Estas características son definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas del suelo.

- **Procesamiento:** Para aplicar la técnica de cocientes espectrales H/V, se consideran los siguientes pasos:

- ✓ Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 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.
- ✓ Se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones

relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia).

En la Figura 1, 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. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

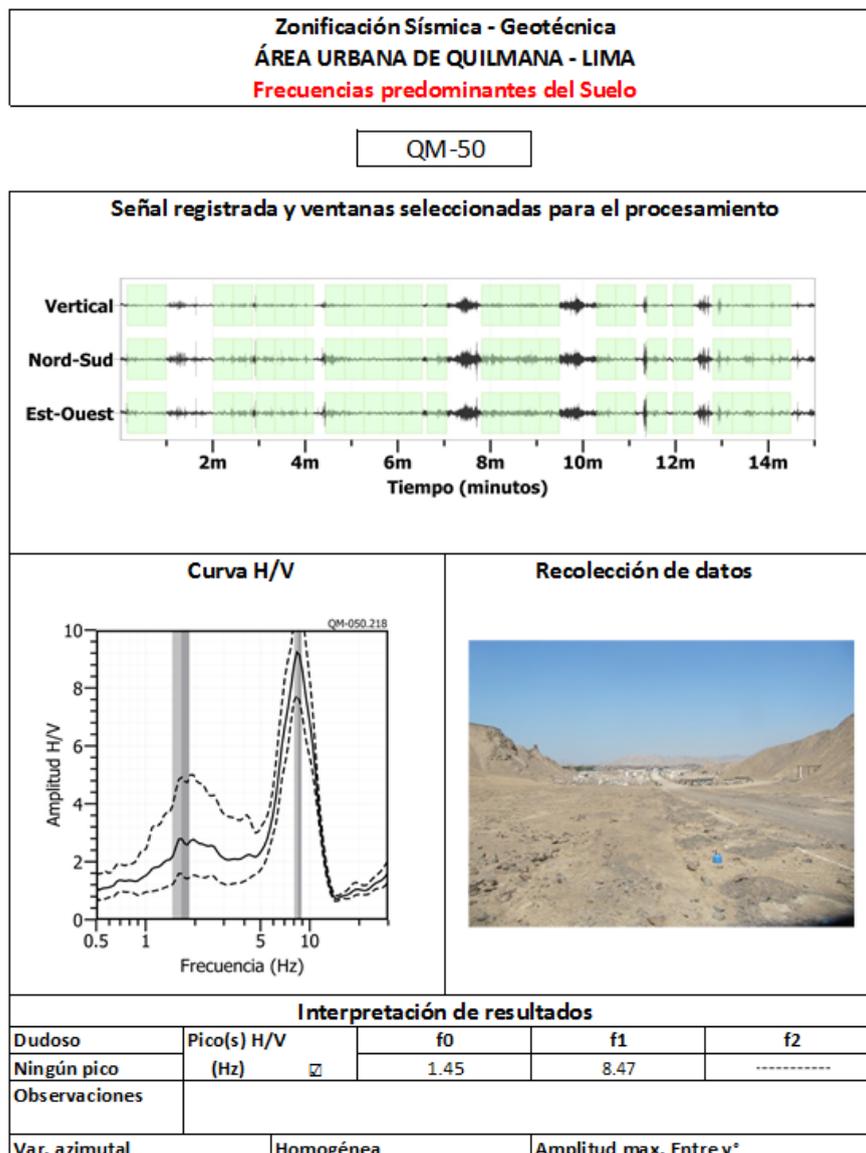


Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto QM-50 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

- **Interpretación:** Para la interpretación de los resultados se considera que: 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, 2004; Bernal, 2006). Asimismo se evalúa la correspondencia de los parámetros físicos-dinámicos encontrados con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que domina a la zona de estudio. La Figura 11 muestra un registro de vibración ambiental (QM-50).

## 1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales MASW

La técnica MASW es un método indirecto y permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, permite obtener la velocidad de propagación de las ondas de Corte Vs en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas Superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas, tal como muestra la Figura 2.

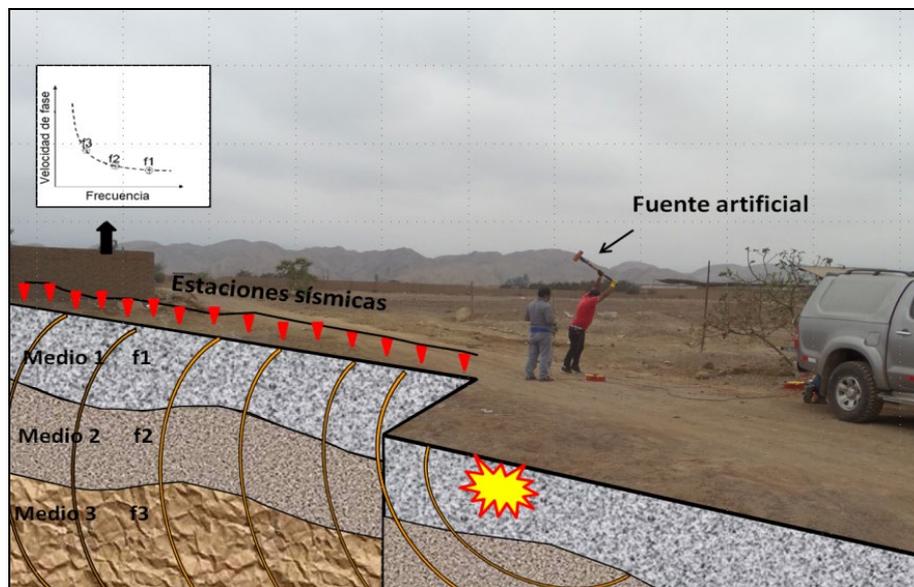


Figura 2: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

- **Procesamiento:** El procesamiento de los datos de MASW fue realizado en el programa de computación SeisImager y consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) en los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), lo cual permite la transformación de los datos en series de tiempo, dando como resultado una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas

de dispersión pertenecientes a un mismo perfil MASW son sometidas de forma individual a un proceso matemático de inversión con el fin de obtener los perfiles  $V_s$  en una dimensión (1D), para ello se considera como parámetros de entrada la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas). Finalmente, los perfiles  $V_s$  son promediados obteniendo un perfil unidimensional para cada línea sísmica. Los resultados al ser analizados proporcionan información útil sobre las características geotécnicas del subsuelo (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008).

En la Figura 3, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene a partir de la técnica de MASW. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y de la derecha, muestra el perfil de velocidad de ondas de corte  $V_s$  (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

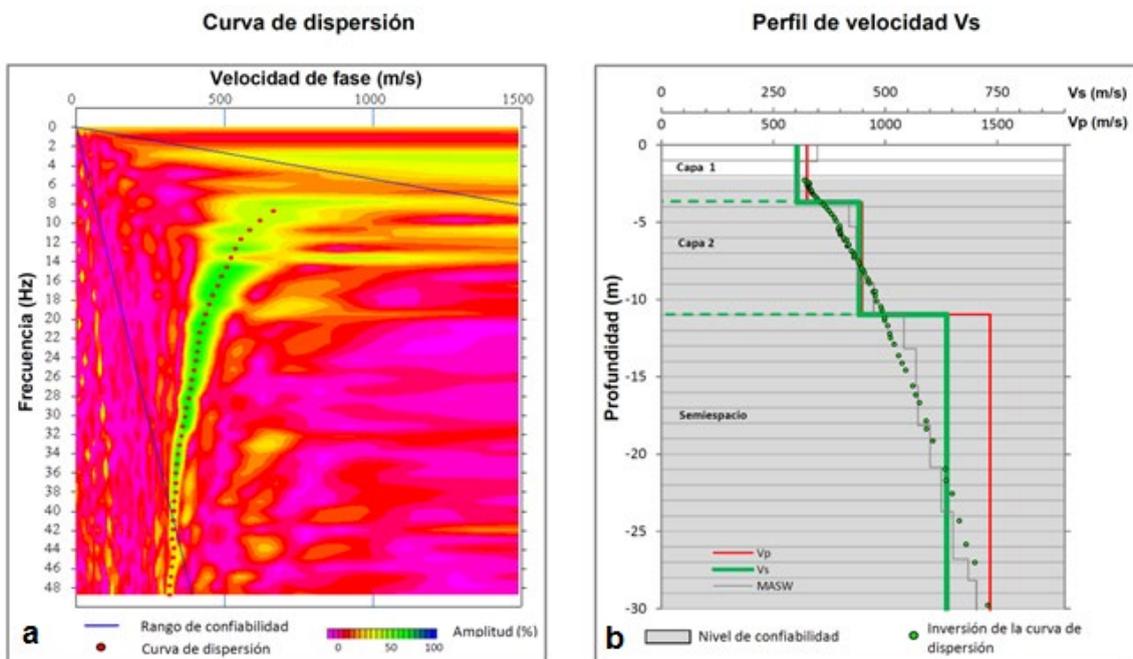


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo realizado próximo al AA.HH. Unión Quilmaná.

- **Interpretación:** Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este ítem se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030. En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos

clasificaciones adicionalmente. Asimismo, esta nueva clasificación del perfil del suelo es representado con colores, los cuales son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de perfiles de suelo, a partir de la norma E.030.

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	Vs		Norma E.030	Descripción
1	< 180 m/s	S <sub>3</sub>	Suelo blando	
2	180 m/s a 350 m/s	S <sub>2</sub>	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido
4	500 m/s a 800 m/s	S <sub>1</sub>	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura
6	> 1500 m/s	S <sub>0</sub>	Roca dura	

Finalmente, se realiza la correlación de las capas sísmicas obtenidas con la geología de la zona de estudio; asimismo, la relación con el contenido de humedad o nivel freático, parámetros que influyen en la variación de velocidad de ondas Vs.

### 1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica ERT

La tomografía eléctrica permite obtener información sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad al paso de la corriente eléctrica. Esta propiedad permite conocer la distribución de los valores de la resistividad del subsuelo, define o delimita los diferentes estratos con mayor o menor contenido de agua, sales disueltas presentes en las fracturas de las rocas y en la porosidad del suelo.

La tomografía eléctrica es un método convencional que se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A y B) conectados a un miliamperímetro, mientras que con los otros dos electrodos (M y N), que están conectados a un milivoltímetro donde se medirá cual es la diferencia de potencial eléctrica  $\Delta V$  entre esos dos puntos (Figura 4). Para este estudio se realizó el dispositivo polo-dipolo.

- **Procesamiento:** Para el análisis de la información obtenida en campo se ha procedido con su calificación en función de la diferencia del potencial con relación al valor de Intensidad de corriente en cada punto de lectura y en conjunto. Este procedimiento permite eliminar la posible influencia de corrientes externas que afecten los valores de resistividad aparente. El procesamiento de los datos (I: intensidad de corriente, Vp: diferencia de potencia y K: constante geométrica del

dispositivo), permite conocer los valores de Resistividad y su configuración en el subsuelo, incluyendo la corrección por topografía.

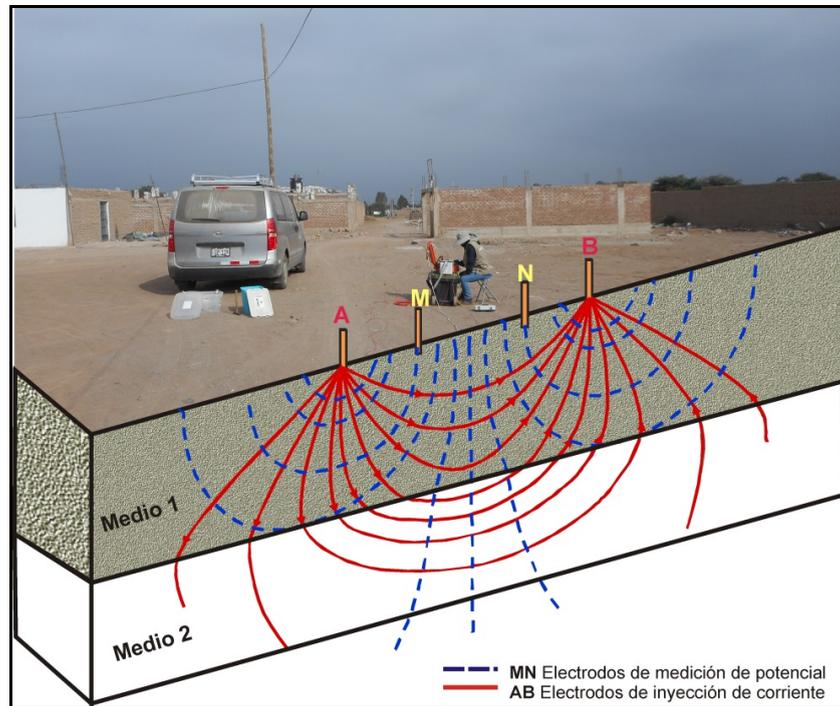


Figura 4: Principio del método de resistividad (LE03-QM), modificado de Orellana, E. (1982).

Finalmente, los resultados son presentados mediante Sección de Resistividad 2D (Resistividad) que relacionan la distancia - profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo y secciones de interpretación donde se detallan las posibles estructuras que conforman el subsuelo, las zonas saturadas, los cambios de litología que pudiera existir y otras estructuras que sean de utilidad para el cliente o interesado del estudio.

- **Interpretación:** La interpretación de la información considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados; es decir, grado de saturación del terreno, porosidad y la forma del poro, la salinidad del fluido, el tipo y composición de la roca, la temperatura, los procesos geológicos que afectan a los materiales y la presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico. Considerando la existencia de una estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, es posible definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. De existir incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

En este estudio se considera 5 rangos de resistividad (Muy alto resistivo, alto resistivo, resistivo, bajo resistivo y muy bajo resistivos), los cuales presentan las siguientes características:

**- Muy Alto Resistivo (color rojo):** Comprende valores mayores a 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a rocas Ígneas y metamórficas, y dentro de las sedimentarias, a los conglomerados. Un factor importante a señalar es que estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua; sin embargo, si hay presencia de arcilla, su grado de alteración permitiría la disminución en los valores de resistividad del suelo.

**- Alto Resistivo (color anaranjado):** Comprende valores entre los 500 y 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a las rocas sedimentarias, ya sean de origen detrítico o químico. Asimismo, incluye a los suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.

**- Medianamente Resistivo (color verde):** Comprende valores entre los 100 y 500 ohm.m. Dentro de este grupo se considera a suelos sedimentarios de composición variada; es decir, arenas, arcillas y limos, cada vez con mayor contenido de materiales orgánicos.

**- Bajo Resistivo (color celeste):** Comprende valores entre los 20 y 100 ohm.m. Según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la permeabilidad de los materiales. Así mismo, se puede considerar dentro de este grupo a los suelos orgánicos, arcillosos, limosos y aquellos con contenido de carbón, los cuales se comportan como buenos conductores de corriente.

**- Muy Bajo Resistivo (color azul):** Comprende valores menores a 20 ohm.m y estos están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico, arcillas. Se debe considerar que el grado de salinidad del agua afecta los valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 Ohm.m., equivalente al agua de mar.

Para el presente estudio se han resumido el rango de resistividades en la Tabla 2.

Tabla 2: Rango de Resistividades.

<b>Rango de resistividades</b>	<b><i>ohm.m</i></b>	<b>Tipo de suelo</b>	
Material muy resistivo	> 1500	Suelo muy seco o roca intacta	
Material resistivo	500 a 1500	Suelo seco o roca fracturada	
Material medianamente resistivo	100 a 500	Suelo con poco contenido de humedad	
Material bajo resistivo	20 a 100	Suelo saturado o roca con contenido de sales	
Material muy bajo resistivo	< 20	Suelo muy saturado	

Dado la estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, esto permitirá definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas del subsuelo. En tal sentido, se puede decir que al haber incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

## 2. RECOLECCION DE DATOS

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos, para lo cual se han utilizado diferentes tipos de registros y arreglos. Para aplicar la técnica de razones espectrales (H/V) se utiliza registros de vibración ambiental, mediante los arreglos sísmicos lineales (MASW) se obtiene registros sísmicos y los métodos eléctricos (ERT) los valores de resistividad del suelo. A continuación, se describe brevemente la toma de datos.

### 2.1. Registro de vibración ambiental H/V

Para la obtención de los registros de vibración ambiental se utiliza el equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes de registro tipo Lennartz (Figura 5).



Figura 5: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Quilmaná: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark II.

En el área urbana de **Quilmaná**, se consideró registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 105 puntos, distribuidos según la Figura 6, a fin de aplicar la técnica de razones espectrales. La distribución de los puntos donde se tomaran los registros de vibraciones ambientales, se define sobre el mapa catastral de Quilmaná, teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. En cada punto, se registran datos por un periodo de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis.

En la Figura 7, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto QM-90 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en QM-66, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis, fueron filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

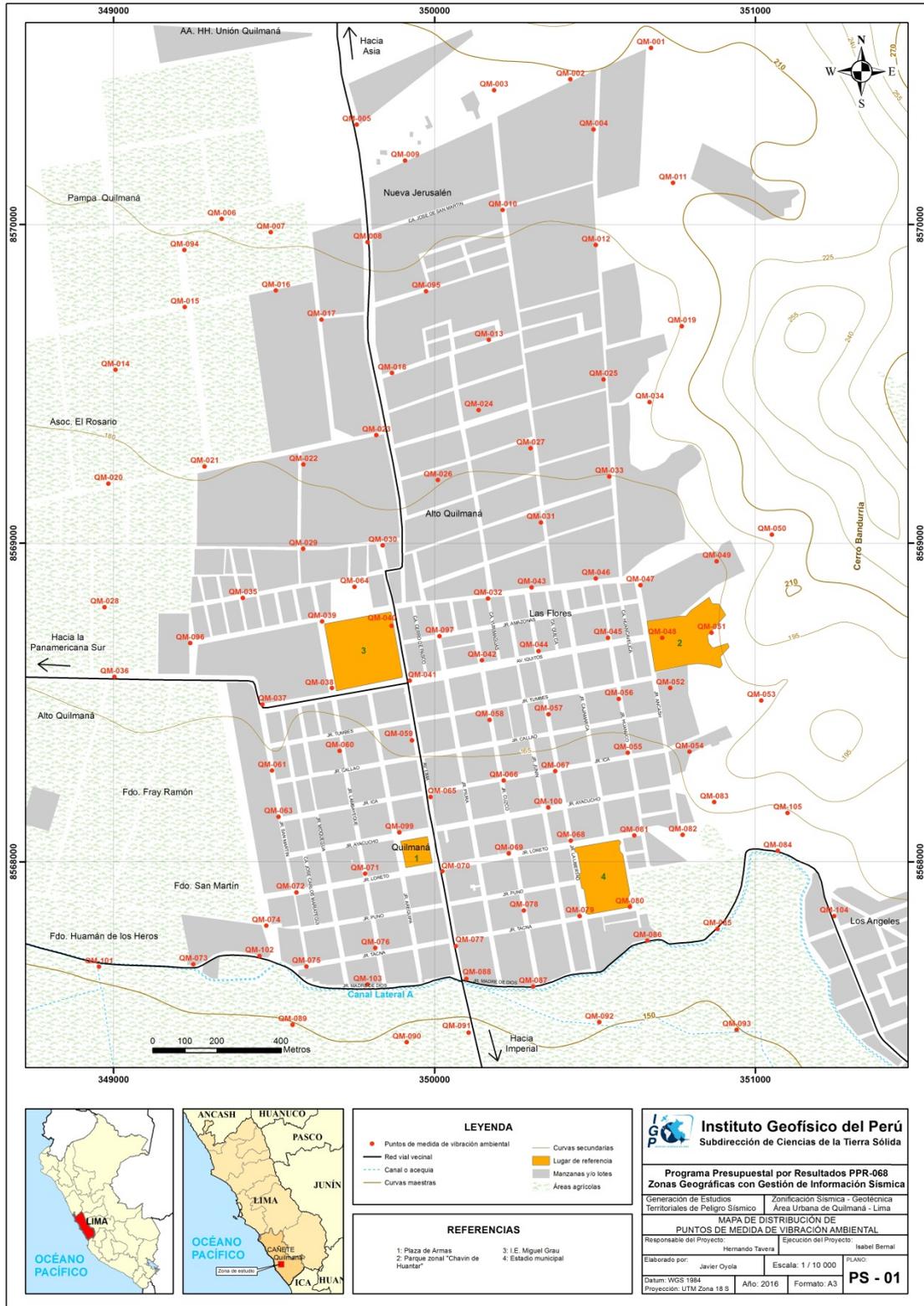


Figura 6: Mapa catastral del área urbana de Quilmaná con la distribución de puntos donde se tomaron los registro de vibración ambiental.

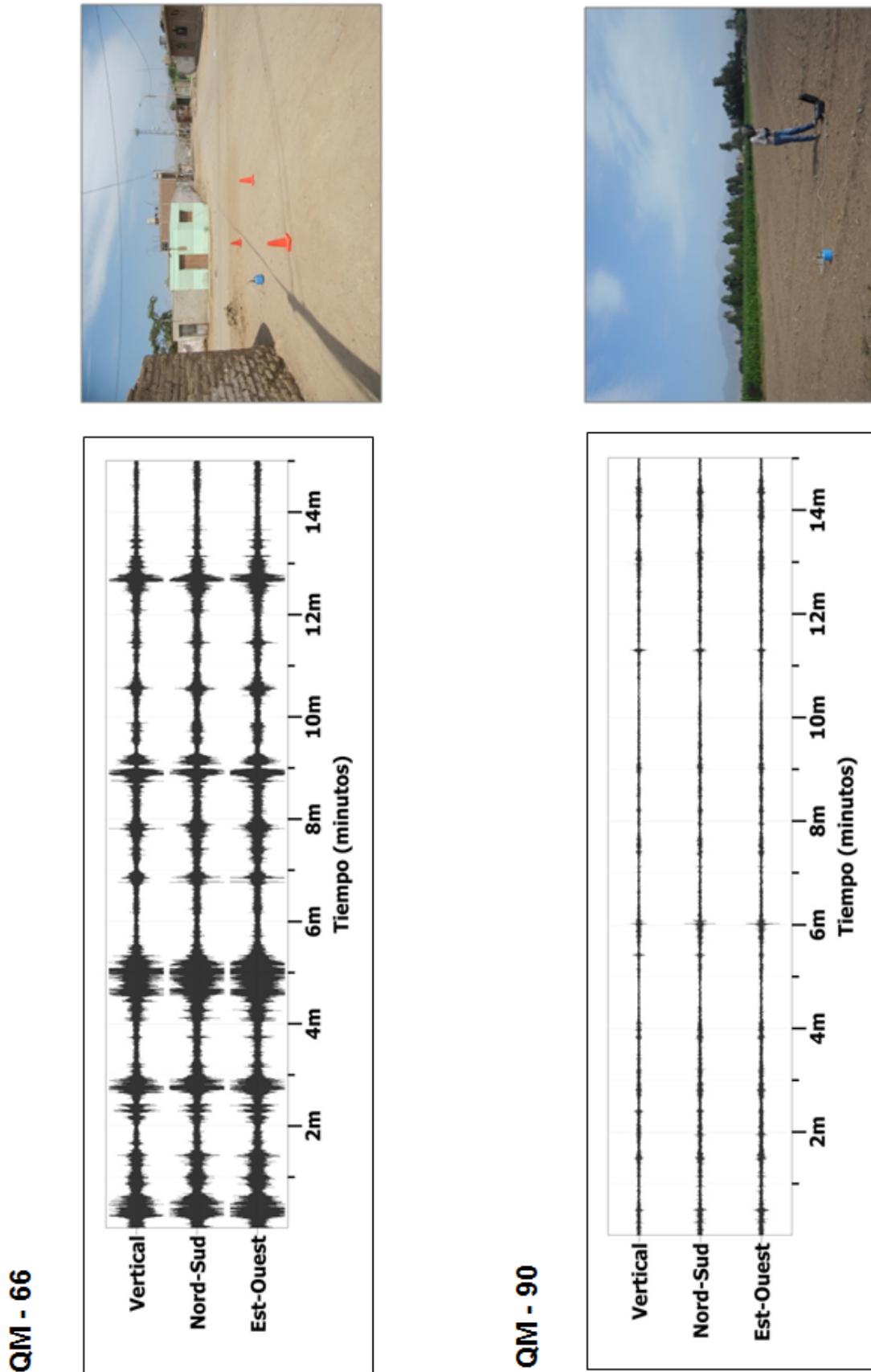


Figura 7: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (QM-66) y otro con ruido de fondo constante (QM-90). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

En el área urbana de Quilmaná se realizaron 07 arreglos sísmicos. En la Tabla 3 se presentan las coordenadas UTM de cada línea y en la Figura 8 su distribución espacial codificada como: LS01-QM, LS02-QM.

Para el registro de información se ha utilizado un equipo sísmico (sismógrafo) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs y para dar inicio a la grabación el dispositivo Hammer Swith, ver Figura 9. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos.

Tabla 3: Coordenadas y características de las Líneas Sísmicas.

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-QM	350107	8570065	221	4	92
	350194	8570093	221		
LS02-QM	349540	8568988	191	4	92
	349449	8568990	191		
LS03-QM	349876	8568106	175	4	92
	349860	8568196	175		
LS04-QM	350362	8568913	192	4	92
	350349	8569006	194		
LS05-QM	349405	8570619	225	4	92
	349498	8570613	225		
LS06-QM	350560	8567846	167	4	92
	350471	8567836	167		
LS07-QM	349905	8567611	173	4	92
	349814	8567608	173		
LS01-QM	350107	8570065	221	4	92
	350194	8570093	221		

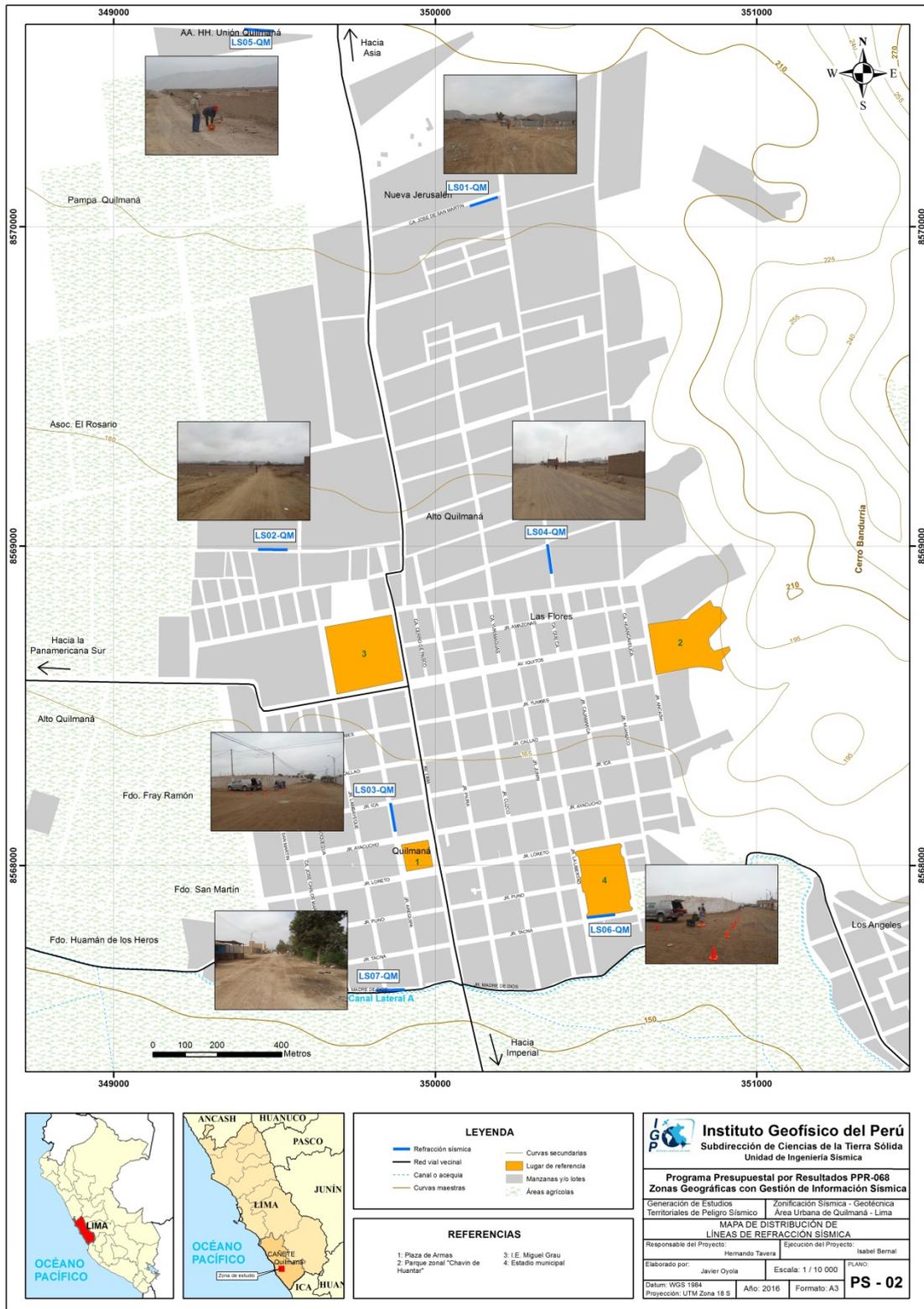


Figura 8: Mapa de Quilmaná con la distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-QM, ..., LS07-QM.

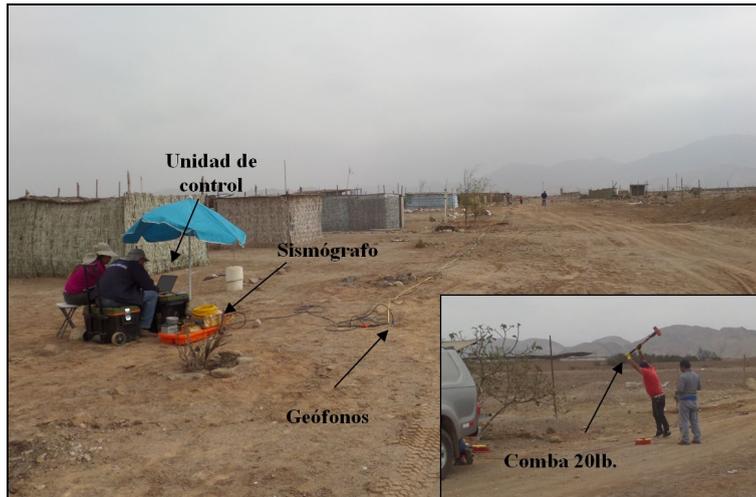


Figura 9: Equipos utilizados en la toma de datos de MASW realizado en la calle José de San Martín.

La profundidad máxima de investigación depende de la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos y la fuente activa, pudiendo variar entre los 10-30 m, según las características litológicas de los suelos y el espacio para realizar los arreglos considerando que se trabaja en zonas urbanas.

A fin de evaluar la calidad de la data y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 10, se verifica la relación señal/ruido mediante un apilamientos de señales (en cada punto de disparo se registran varios golpes y es acumulado al anterior), se realiza de cuatro a cinco golpes en cada punto “shot” y un procesamiento preliminar de la data.

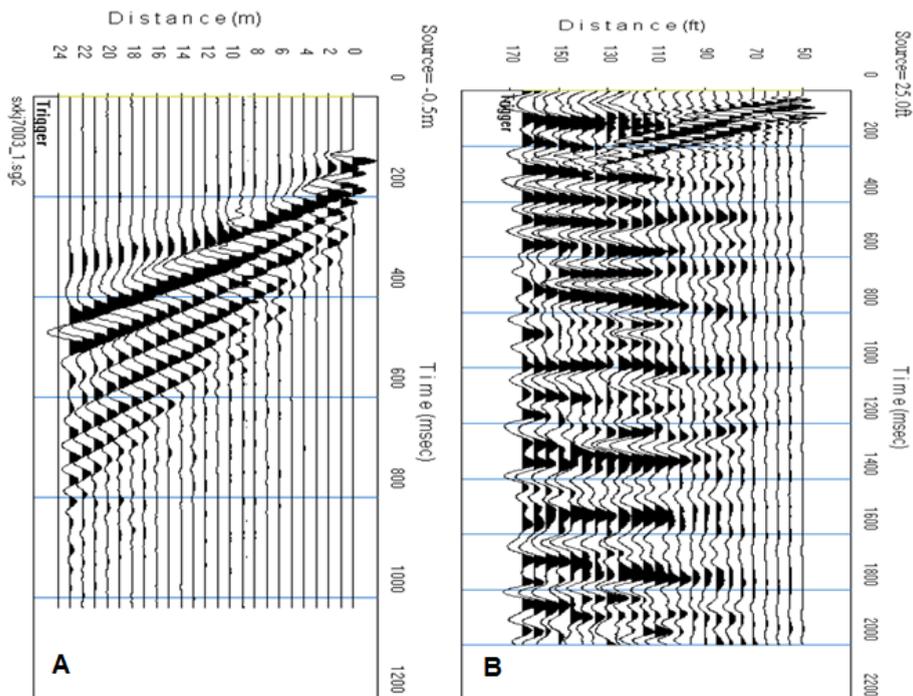


Figura 10: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 11, como ejemplo se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS06-QM, ubicado al costado del Estadio Municipal. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de ruido ambiental bajo, registrados por sensores ubicados a lo largo de la línea y cuyo punto de disparo se encuentra a una distancia de 3 metros al inicio de la línea sísmica.

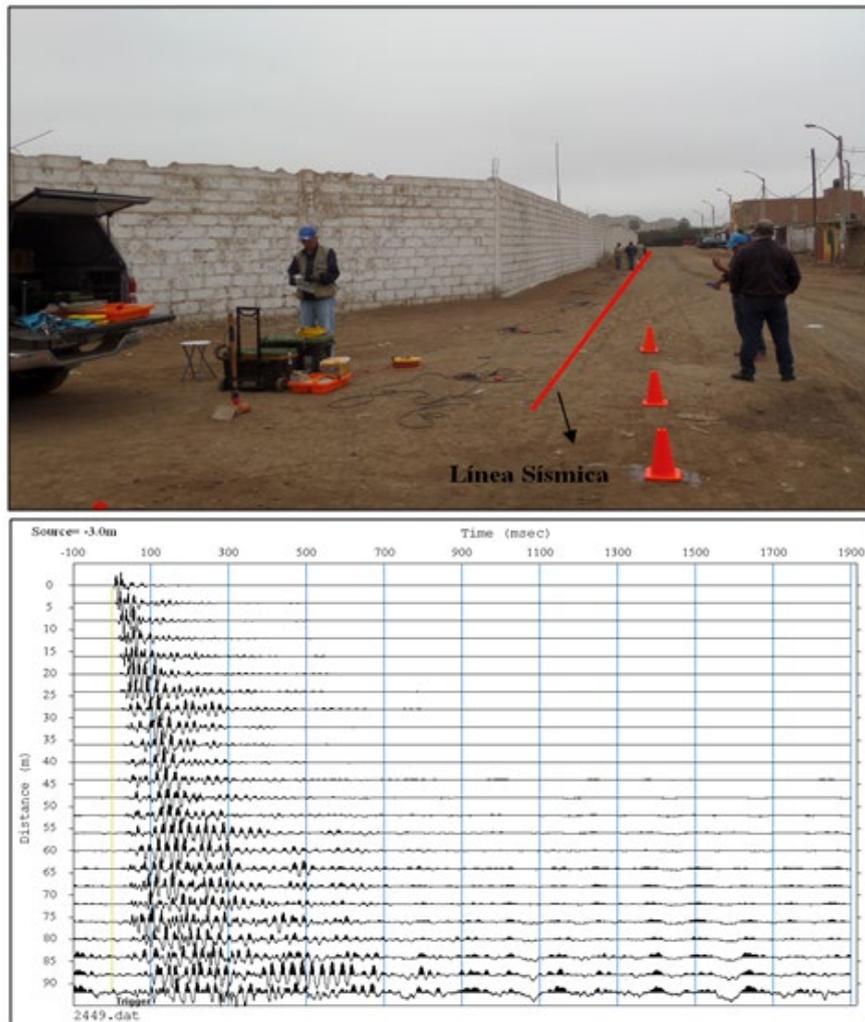


Figura 11: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

En el área urbana y de expansión de Quilmaná se han realizado 08 líneas de tomografía eléctrica (Figura 12) con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento que variaba en algunos perfiles de 10 metros, y 6 metros entre cada electrodo sobre un tendido longitudinal que variaba de 290 y 174 metros lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 39 y 29 metros.

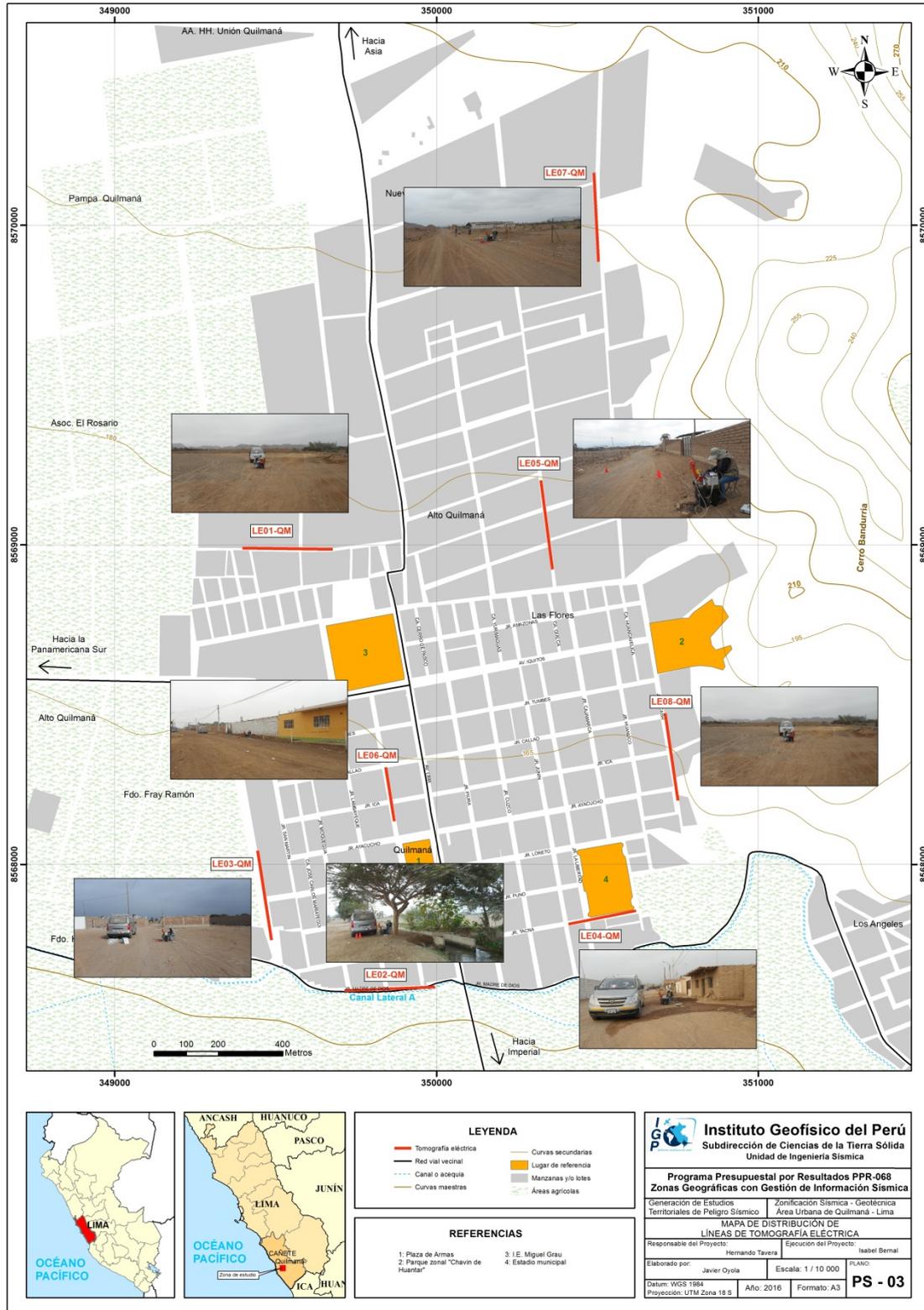


Figura 12: Mapa de Quilmaná con la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-QM, ..., LE08-QM.

La Tabla 3, muestra las coordenadas UTM (WGS84) que corresponden a los puntos extremos de las líneas eléctricas.

Tabla 3: Coordenadas de las Líneas eléctricas (LE) realizadas en el área de estudio.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-QM	349677	8568986	194	10	290
	349396	8568990	192		
LE02-QM	349995	8567616	165	10	290
	349714	8567605	166		
LE03- QM	349444	8568043	180	10	290
	349487	8567763	171		
LE04- QM	350620	8567855	169	10	220
	350410	8567813	170		
LE05- QM	350324	8569202	192	10	290
	350360	8568923	189		
LE06- QM	349842	8568304	176	6	174
	349869	8568135	173		
LE07- QM	350489	8570165	207	10	290
	350503	8569886	202		
LE08- QM	350710	8568473	180	10	290
	350750	8568200	176		

La calidad de la señal eléctrica de todos los registros se evalúa mediante un test de resistencia de contacto entre los electrodos y el terreno, garantizando datos confiables para el procesamiento, donde se busca mejorar las imágenes con el uso de filtros que disminuyeran los efectos de borde, medidas negativas de resistividad aparente y la obtención de dos ciclos de registro por cada punto de medida de resistividad. Este hecho permitió evaluar la fiabilidad mediante la comparativa de los dos valores de resistividad, siendo los más fiables aquellos con menores diferencias. Se consideran los siguientes criterios:

- ✓ La diferencia de potencial registrada debe ser mayor a 0.2 mV.
- ✓ La relación entre el potencial registrado y la intensidad de corriente (V/I) debe ser mayor o igual a  $5 \times 10^{-4} \Omega$ .
- ✓ La diferencia de resistividad entre los dos ciclos de medida realizados en cada punto de registro debe ser inferior al 3%.
- ✓ La resistividad mínima y máxima aparente ha de estar entre 1 y 100.000  $\Omega\text{m}$ .

Para el procesamiento de la información recolectada se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ. En la Figura 13, se tienen la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo del análisis preliminar del registro obtenido.

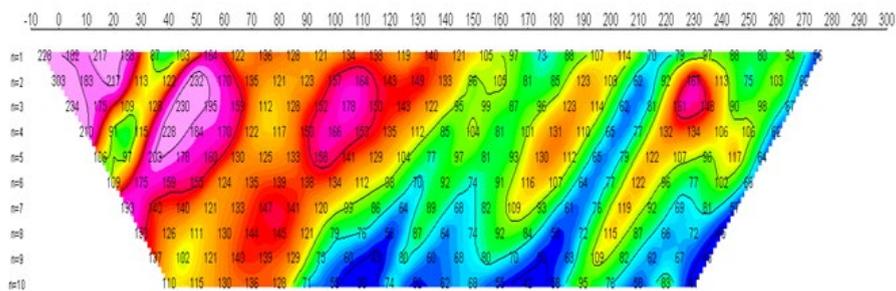


Figura 13: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE02-QM) y el registro eléctrico obtenido en campo.

### 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V), arreglos sísmicos lineales (MASW) y métodos eléctricos (ERT). Todos tienen como principal objetivo conocer las propiedades físicas y dinámicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, resistividades del subsuelo, etc.). A continuación, se describe el desarrollo de estos métodos y los principales resultados obtenidos en cada caso para el área urbana de Quilmaná.

#### 3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 100 puntos (Figura 6), la relación espectral de la componente horizontal con la vertical permite conocer las frecuencias y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

- **Distribución de frecuencias predominantes:** *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. Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permite definir dos rangos de frecuencias  $F_0$  ( $F \leq 2.0$  Hz) y  $F_1$  ( $F > 2.0$  Hz), en razón que en varios puntos de medición ubicados hacia el extremo Este de Quilmaná sobresalen dos picos de frecuencias con amplificaciones similares. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en Quilmaná.*
- **Frecuencia predominante  $F_0$ :** *En la Figura 14, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de  $F_0$ , donde predominan valores de entre 1.0 y 1.8 Hz. Estos valores se distribuyen de manera casi-uniforme en toda el área urbana y presentan amplificaciones máximas en los puntos ubicados entre el parque zonal Chavín de Huantar y la I.E. Miguel Grau.*

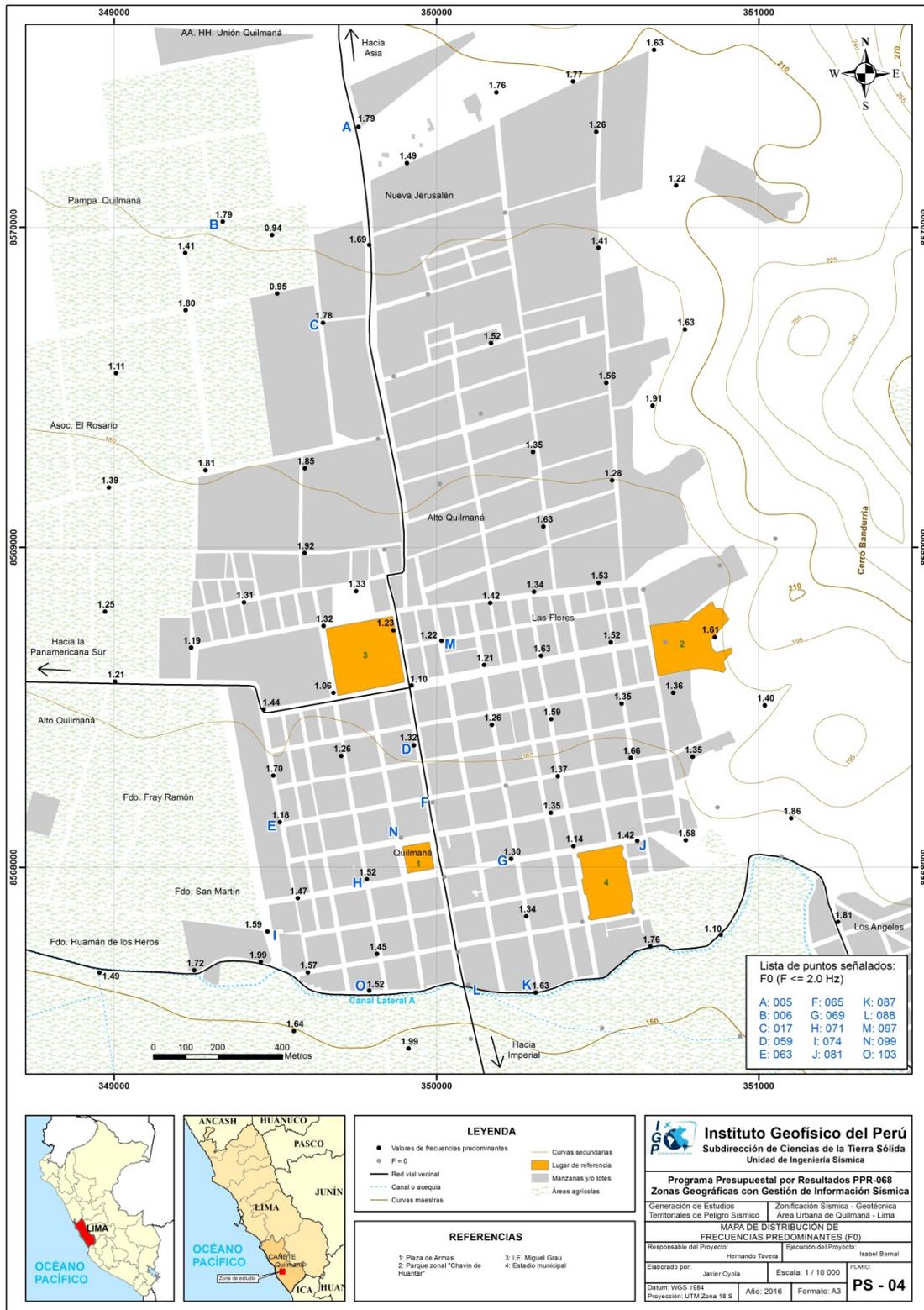


Figura 14: Mapa del área urbana de Quilmaná y la distribución espacial de las frecuencias predominantes  $F_0$  ( $F \leq 2.0\text{Hz}$ ). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 16 como característicos de este rango y los puntos en gris donde no se ha encontrado respuesta en este rango de frecuencia.

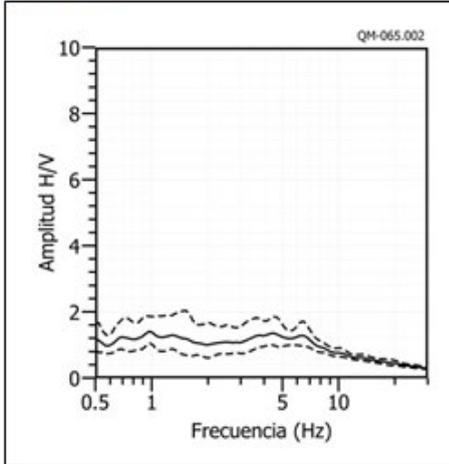
En la Figura 15, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos QM-65(F), QM-88(L) y QM-99(N), ubicados en la zona céntrica de Quilmaná, próximos a la plaza de armas, donde no sobresale ningún rango de frecuencia, sugiriendo la presencia de suelos rígidos bajo estos puntos.

A diferencia de lo observado hacia el extremo SO de la plaza de armas, donde se ubican los puntos QM-71(H), QM-74(I), QM-103(O) que evidencian el predominio de un pico de frecuencias a 1.5 y 1.6 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 4.5 veces. Y hacia su extremo SE, próximo al estadio Municipal, donde se ubican los puntos QM-69(G), QM-81(J) y QM-87(K), evidencian el predominio de dos picos de frecuencia, el primero a 1.31, 1.42 y 1.63 Hz respectivamente con amplificaciones de hasta 3.5 veces y el segundo a frecuencias de entre 3 y 6Hz con menores amplificaciones.

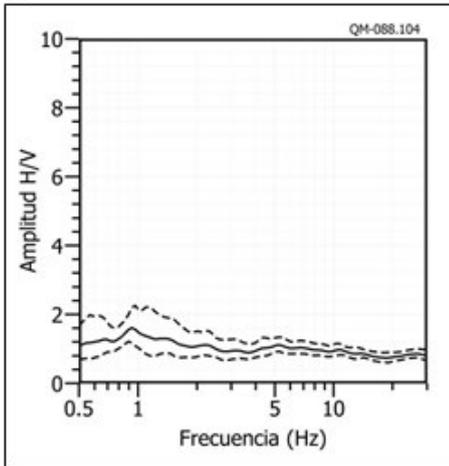
Estos resultados sugieren que próximos a la plaza de armas de Quilmaná, suelos presentan mayor rigidez respecto a sus extremo SO y SE. Asimismo, conforme se tiende en dirección SE, las frecuencias tienden a valores mayores, evidenciando que la capa sedimentaria superficial tiene a disminuir su espesor conforme hacia los cerros.

Hacia la zona céntrica próximos al I.E. Miguel Grau, se ubican los puntos QM-59 (D), QM-63(E) y QM-97(M) y hacia el extremo Norte del área de estudio, los puntos QM-05 (A), QM-06(B) y QM-17(C), donde predomina frecuencias de entre 1.2 a 1.8 Hz, con amplificaciones de hasta 8 veces, que evidencia la presencia de suelos medianamente rígidos a blandos.

**QM - 65**



**QM - 88**



**QM- 99**

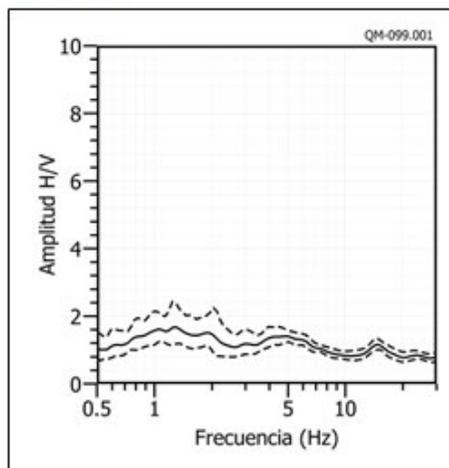
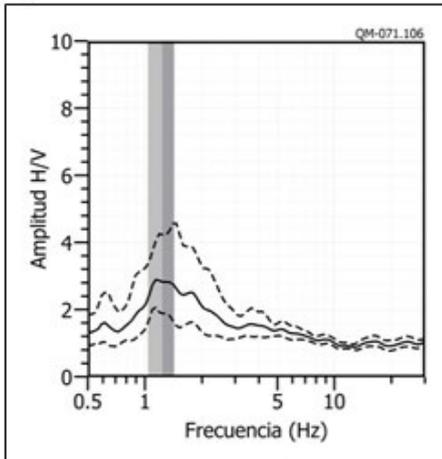
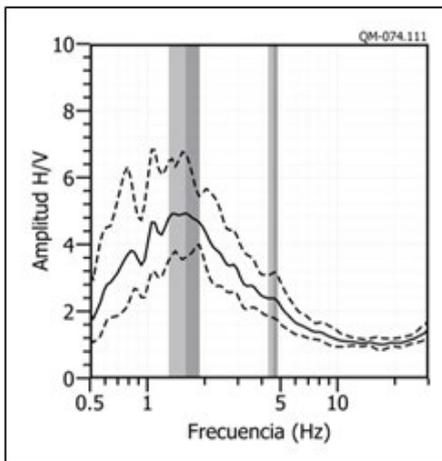


Figura 15: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 2.0\text{Hz}$ ): Para los puntos QM-65(F), QM-88(L) y QM-99(N), ubicados en la zona céntrica de Quilmaná, en las inmediaciones de la plaza de armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar.

### QM - 71



### QM - 74



### QM- 103

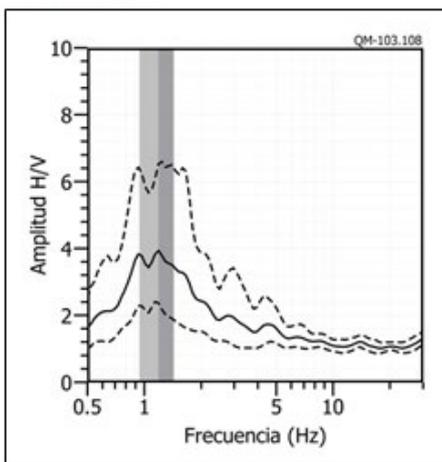
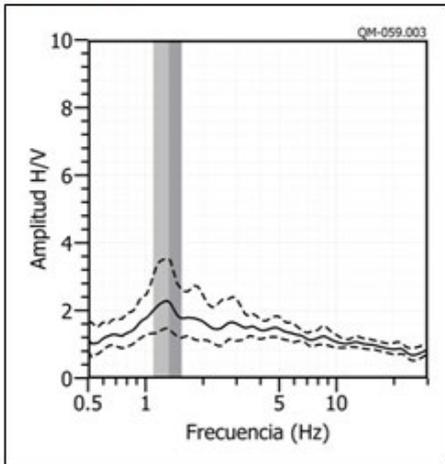
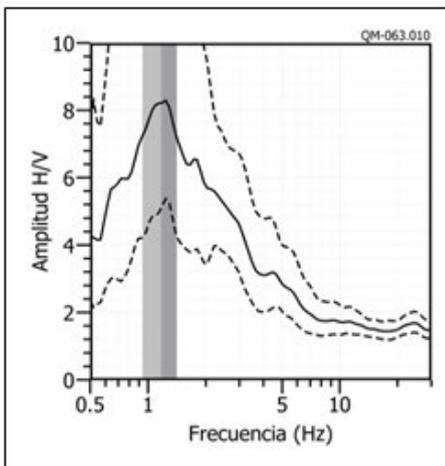


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 2.0\text{Hz}$ ): Para los puntos QM-71(H), QM-74(I) y QM-103(O), ubicados al sur oeste de la plaza de armas, próximo al Canal Lateral A. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**QM - 59**



**QM - 63**



**QM- 97**

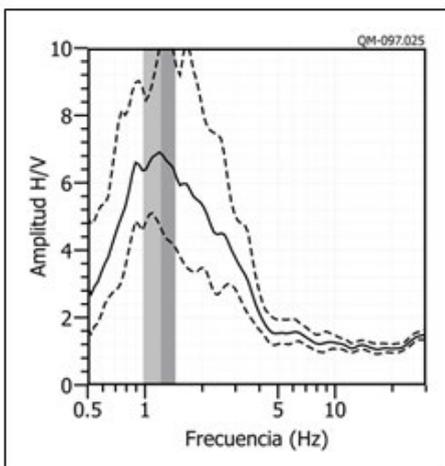
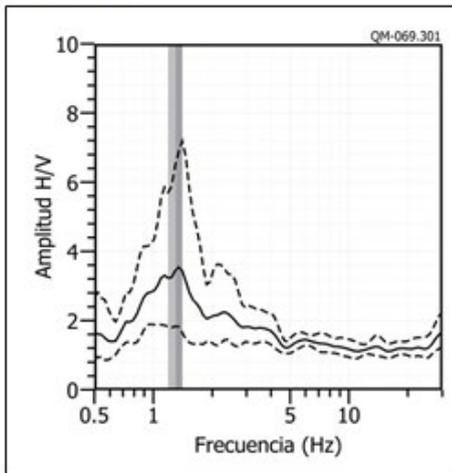
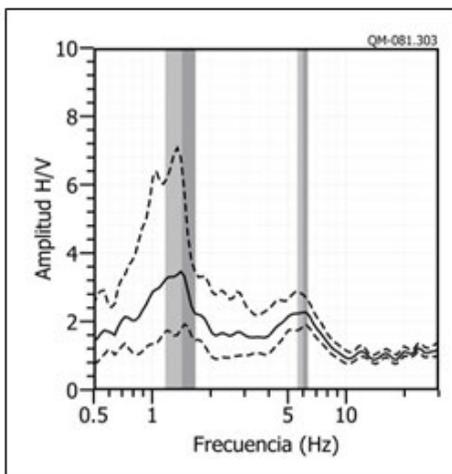


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 2.0\text{Hz}$ ): Para los puntos QM-59(D), QM-63(E) y QM-97(M), ubicados al norte de la plaza de armas, próximo a la IE Miguel Grau. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**QM - 69**



**QM - 81**



**QM - 87**

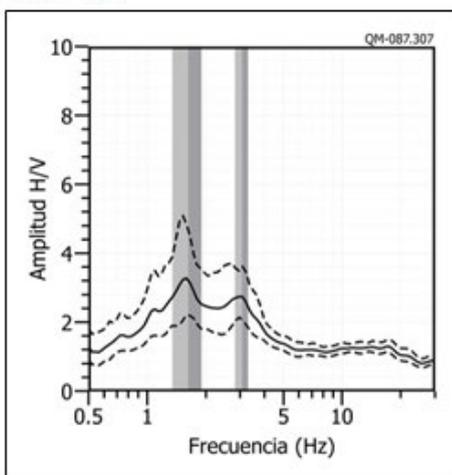
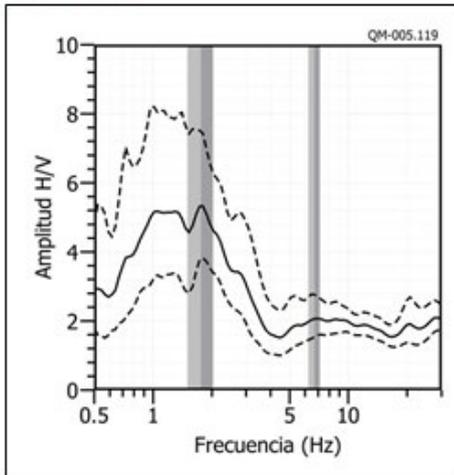
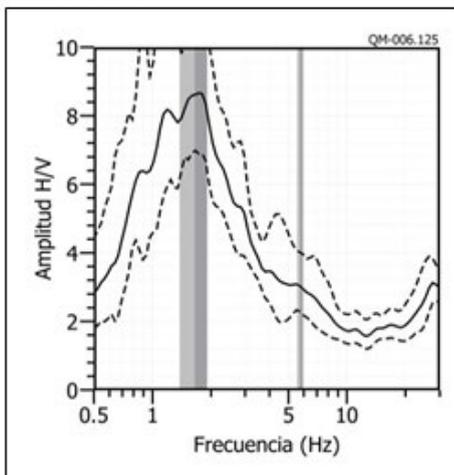


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango Fo ( $F \leq 2.0\text{Hz}$ ): Para los puntos QM-69(G), QM-81(J) y QM-87(K), ubicados al sureste de la plaza de armas, próximo al estadio municipal. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**QM - 05**



**QM - 06**



**QM - 17**

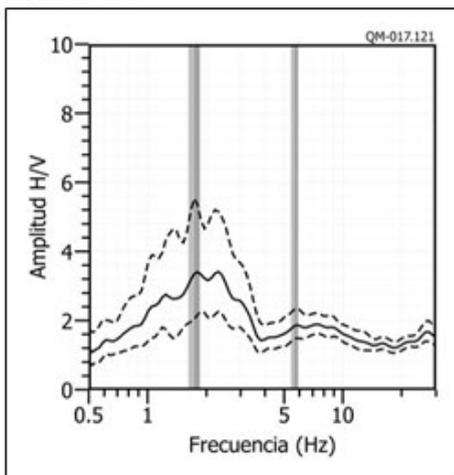


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 2.0\text{Hz}$ ): Para los puntos QM-05(A), QM-06(B) y QM-17(C), ubicados al noroeste entre Pampa Quilmaná y Nueva Jerusalén. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**Frecuencias predominantes F1:** En la Figura 16, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ( $F > 2.0\text{Hz}$ ) en Quilmaná y en la Figura 17, ejemplos de los gráficos de razones espectrales. De modo general, los suelos de Quilmaná, en este rango responden principalmente a frecuencias de entre 2 y 12.0 Hz y tienden a distribuirse hacia el extremo Este del área de estudio.

En las razones (H/V) obtenidas para los puntos QM-43(D), QM-44(E) y QM-57(H), ubicadas entre el parque zonal Chavín de Huantar y la I.E. Miguel Grau, sobre la Urb. Las Flores, predominan bandas de frecuencia de entre 1.3-3.6 Hz y de 1.6-6.3 Hz con amplificaciones de hasta 5 veces. La forma de las curvas de razones espectrales se observa la tendencia a altos valores de frecuencia. Estos resultados evidencian, que la respuesta dinámica de los suelos bajo estos puntos ante la ocurrencia de un sismo es variable y por ende compleja.

Asimismo, los puntos QM-11(A), QM-12(B) y QM-33(C), ubicados en el extremo NE del área de estudio, presentan frecuencias a 7.5, 9.4 y 8.0 Hz respectivamente con amplificaciones de hasta 5.0 veces y también un pico a bajas frecuencias que fluctúa entre 1.2 y 1.5 Hz. La forma de la curva, muestra que entre ambos picos las amplificaciones son ligeramente menores a las de estos picos, dado la apariencia de una banda, pero por el amplio intervalo de frecuencias que los separan se considera como predominante la frecuencia que presenta mayores valores. Asimismo, en estos gráficos se observa claramente la tendencia a valores de frecuencia mayores.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos QM-48(F), QM-49(G) y QM-84(I), ubicados en el extremo SE del área de estudio, próximos al parque zonal Chavín de Huantar, presentan frecuencias predominantes de 4.41, 5.82 y 5.48 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 6 veces. Las altas amplificaciones, sugieren la presencia de suelos blandos, a niveles superficiales.

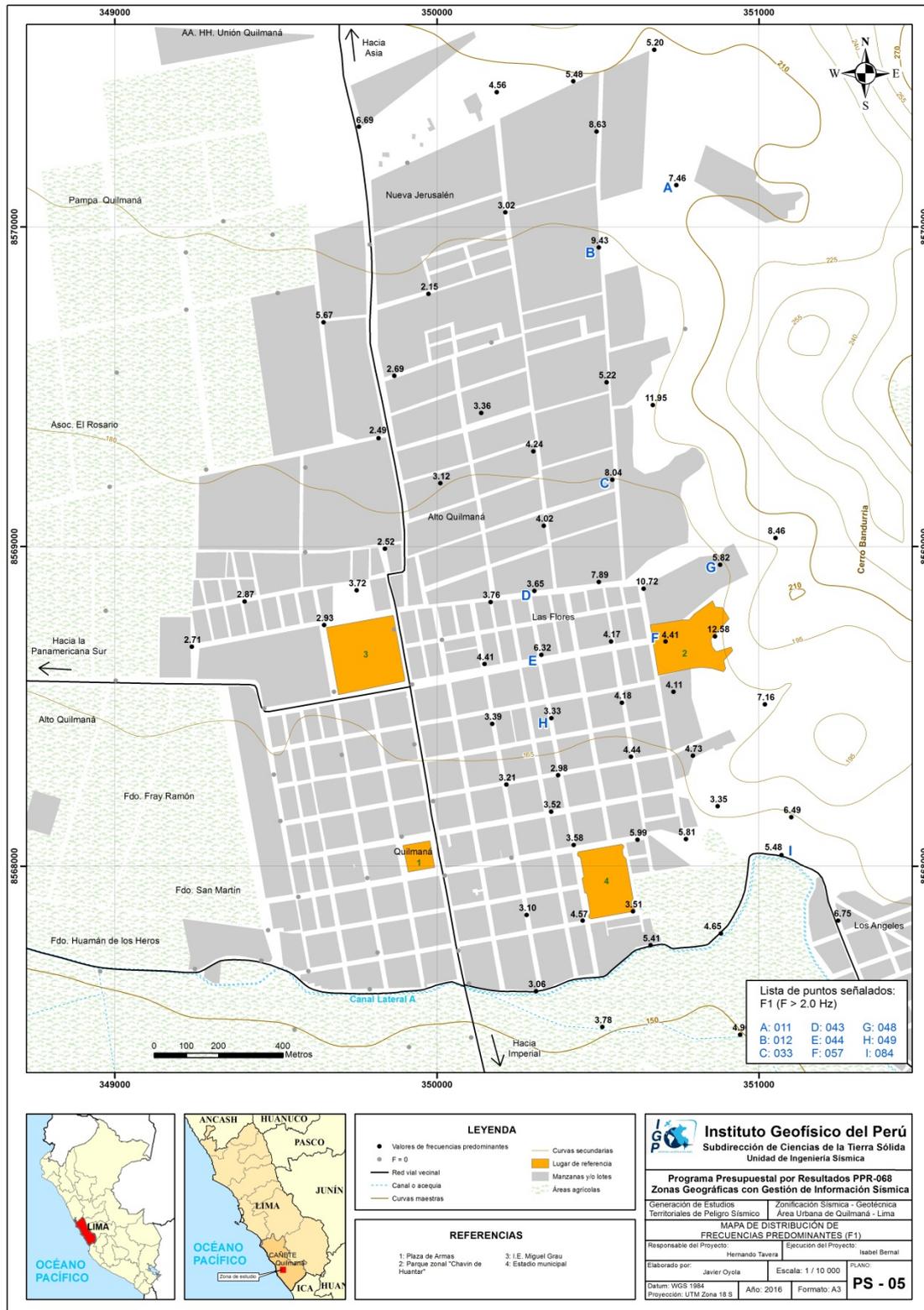
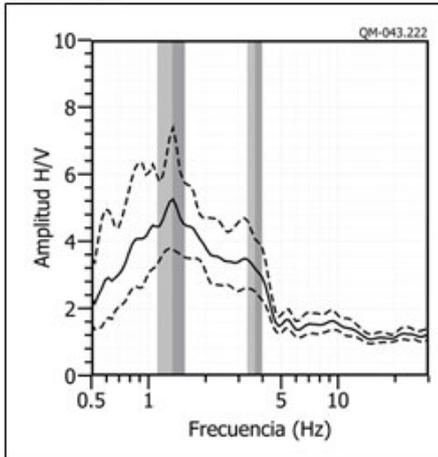
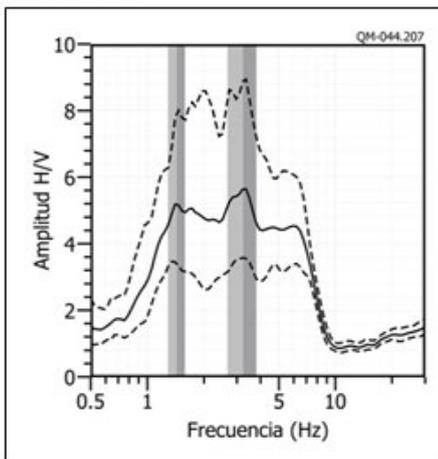


Figura 16: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 (F>2.0Hz). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 18 como característicos de este rango.

**QM - 43**



**QM - 44**



**QM - 57**

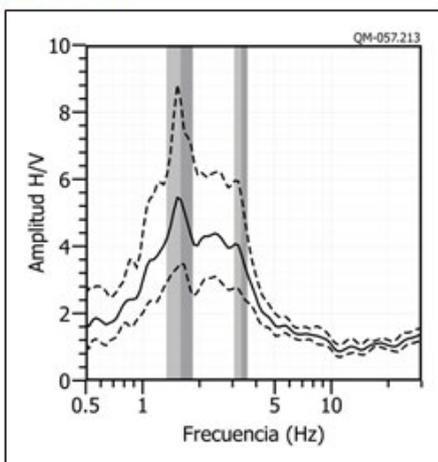
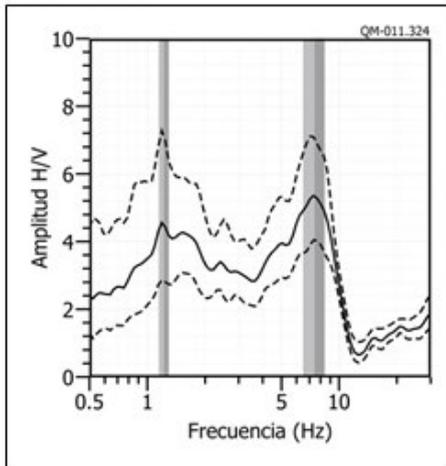
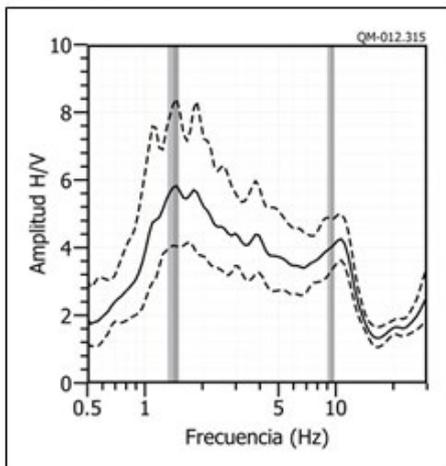


Figura 17: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 2.0\text{Hz}$ ). Para los puntos QM-43(D), QM-44(E) y QM-57(H), ubicados entre el parque zonal Chavín de Huantar y la i.e. Miguel Grau, sobre la Urb. Las Llores. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

### QM - 11



### QM- 12



### QM- 33

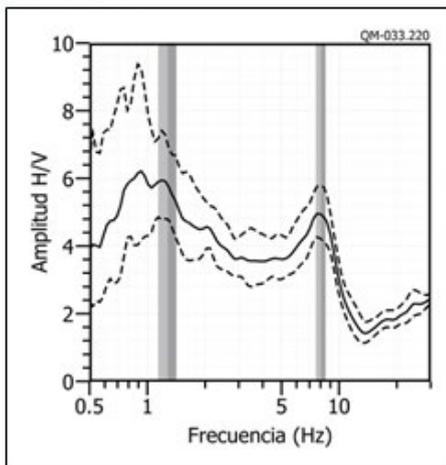
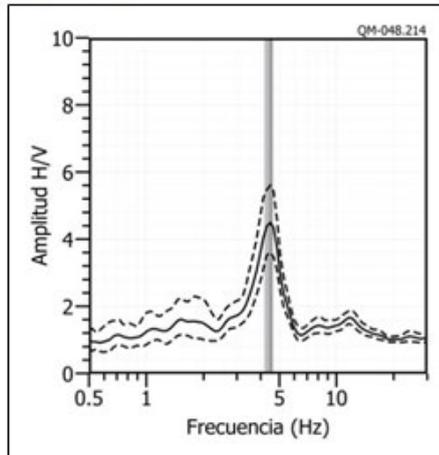
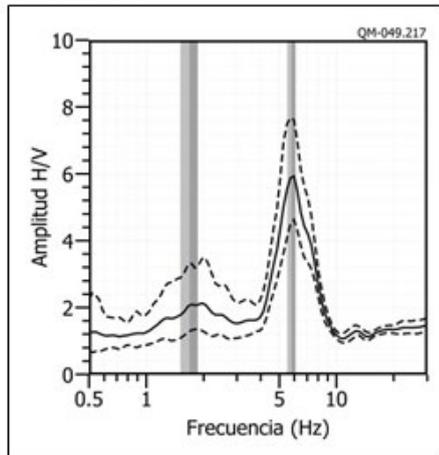


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 2.0\text{Hz}$ ). Para los puntos QM-11(A), QM-12(B) y QM-33(C), ubicados en el extremo NE del área de estudio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**QM - 48**



**QM - 49**



**QM - 84**

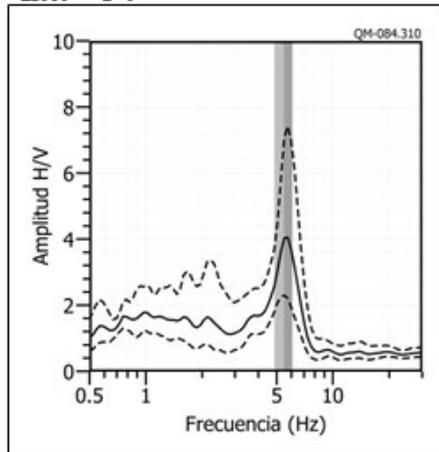


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 2.0$ Hz). Para los puntos QM-48(F), QM-49(G) y QM-84(I), ubicados en el extremo SE del área de estudio, próximos al parque zonal Chavín de Huantar. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

## **Interpretación**

El análisis de razones espectrales H/V para el área urbana de Quilmaná, ha permitido observar dos rangos de frecuencias bien definidos, F0 (1.0-2.0 Hz) presente en el 90% del área de estudio y F1 (2.0-12.0 Hz) distribuyéndose principalmente en el extremo Este del área de estudio. Entre el parque zonal de Chavín de Huantar y el I.E. Miguel Grau, el suelo responde en bandas de frecuencia, con tendencia a valores mayores.

En la zona céntrica de Quilmaná, hay un sector donde no se identifica ninguna frecuencia predominante y/o presentan mínimas amplificaciones, lo cual sugiere la presencia de suelos rígidos; por otro lado, las mayores amplificaciones se encuentran en la Urb. Las Flores, AA.HH Pampa Quilmaná y Nueva Jerusalén, sugiriendo la presencia de suelos menos consistentes.

### **3.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW**

Los modelos de velocidad de propagación ( $V_s$ ) son una información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general de la estructura y naturaleza del subsuelo.

El procesamiento permitió llegar desde profundidades mínimas de 2 metros a profundidades mayores de los 30 metros en cada línea sísmica. Posicionados: las líneas LS01 y LS05 al norte, LS02 y LS04 en la parte central, LS03 próximo a la Plaza de Armas y LS06 y LS07 al sur, con respecto a la zona urbana de Quilmaná (Figura 8). A continuación, se describe los resultados obtenidos agrupados según su similitud de la velocidad  $V_s$  en el perfil sísmico y ubicación:

***Líneas sísmicas LS01-QM, LS03-QM a LS05-QM y LS07-QM:*** Realizados en la calle José de San Martín (LS01), jirón Arequipa (LS03), sector las Flores (LS04), próximo al AA.HH. Unión Quilmaná (LS05) y en el jirón Madre de Dios (LS07), ver Figura 5. Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 3 a 7 metros de espesor y velocidades  $V_s$  de 223 a 324 m/s que sugiere suelos medianamente rígidos. La segunda capa, con velocidades entre 375 a 488 m/s y espesor de 7 a 13 metros es considerado como suelos rígidos. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades  $V_s > 518$  m/s que sugiere suelos muy duros.

**Líneas sísmicas LS02-QM y LS06-QM:** Líneas sísmicas ubicadas en la Asoc. El Rosario (LS02) y al costado del Estadio Municipal (LS06), ver Figura 5. Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 9 a 13 metros de espesor y velocidades Vs de 323 a 376 m/s que sugiere suelos medianamente rígidos. La segunda capa, en el caso de la línea LS02 con una velocidad de 481 m/s y espesor de 12 metros considera suelo rígido, a diferencia de la línea LS06 con una velocidad de 528 m/s y de igual espesor, sugiere suelos muy rígidos; es decir, la segunda capa en la línea LS06 es más compacto que en la línea LS02. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades Vs > 809 m/s en ambas líneas sísmicas, lo cual sugiere a roca moderadamente duro.

En la Tabla 3, se resume los valores de velocidad de ondas de corte Vs para los distintos tipos de perfiles de suelo. En la Figura 18 se presenta los resultados obtenidos para la línea sísmica LS01, siendo las líneas LS02 a LS07 mostrados en los anexos.

Tabla 3: Valores de espesor y Vs de las líneas sísmicas realizados en Quilmaná mediante el método de MASW.

Línea Sísmica	Superficie → Profundidad						VS30 (m/s)
	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		
Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)		
LS01-QM	324	7	488	11	739	-	496
LS02-QM	323	9	481	12	899	-	470
LS03-QM	247	3	375	8	518	-	421
LS04-QM	223	3	396	8	534	-	425
LS05-QM	303	4	442	7	637	-	505
LS06-QM	376	13	528	12	809	-	460
LS07-QM	257	5	394	13	576	-	390

	Suelo blando (Vs < 180 m/s)
	Suelo medianamente rígidos (180 – 350 m/s)
	Suelo rígidos (350 – 500 m/s)
	Suelo muy rígidos o roca blanda (500 – 800 m/s)
	Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)

### Interpretación

Finalmente, los resultados obtenidos definen 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 3). El análisis de los resultados según cada capa sísmica encontrado y su correlación geológica serán descritos a continuación:

En toda la zona la estudio, presenta suelos medianamente rígidos para la primera capa ( $V_s$  223 a 376 m/s), con espesores de 3 a 14 metros; estando los de mayor espesor ubicados en el entorno del sector Nuevo Jerusalén, Asoc. El Rosario y Estadio Municipal. La capa de suelo que subyace en casi toda la zona de estudio, son rígidos a muy rígidos ( $V_s$  375 a 739 m/s) en profundidad; pero conforme se avanza al sector oeste se tiene roca medianamente rígida ( $V_s$  899 m/s). Solo en el sector sureste, la capa subyacente presenta suelos muy rígidos a roca moderadamente dura ( $V_s$  528 a 809 m/s) en profundidad.

Según la geología el estrato superficial corresponde a los depósitos aluviales de gravas y clastos con matriz arenosa que a mayor profundidad son más consolidados, a excepción de la parte oeste (Asoc. el Rosario) y sureste (Estadio Municipal), que sugiere la posible presencia de intrusiones o materiales muy consolidados cubiertos por suelos de poco espesor.

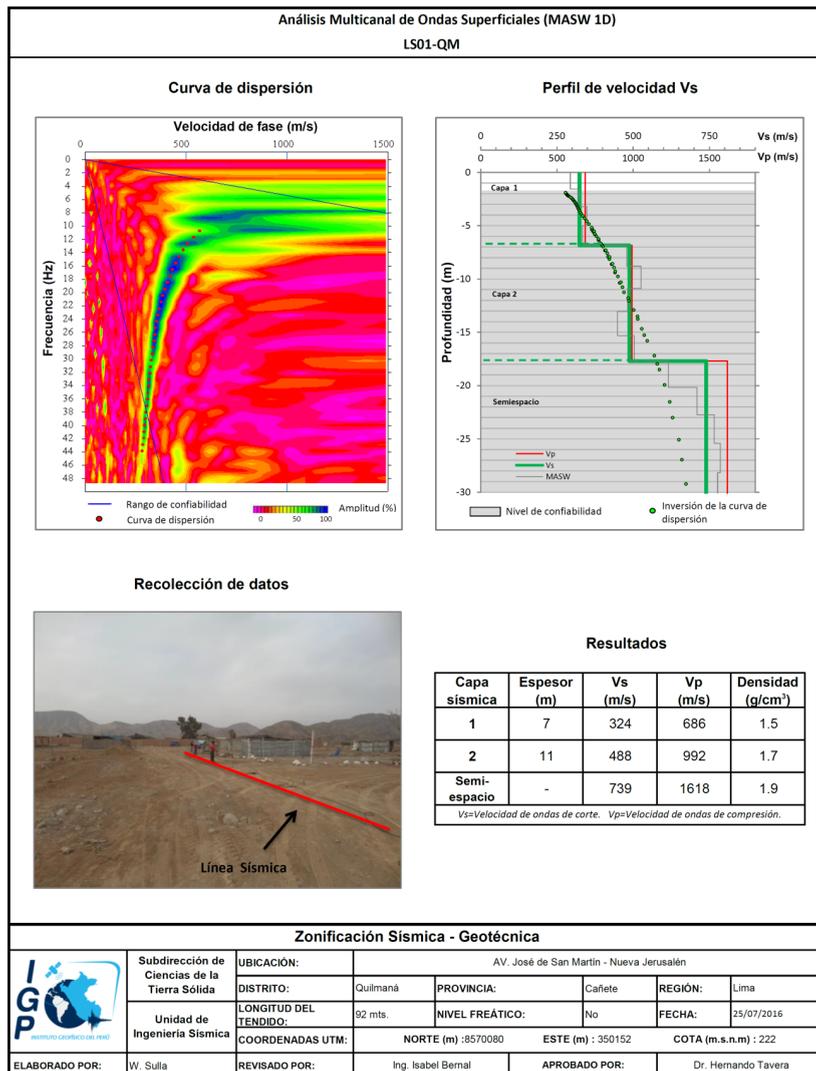


Figura 18: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-AL.

### 3.3. Periodos Dominantes

Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica razones espectrales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En la Figura 19 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en el área urbana de Quilmaná, los cuales han sido separados por tamaño del número, número más grandes para periodos menores e iguales a 0.3 segundos y más pequeños para los periodos mayores.

Los periodos de 0.1 a 0.3 segundos, predominan en el extremo Este de Quilmaná y se distribuye en un menor número de puntos y de manera muy dispersa, hacia su extremo Oeste. Asimismo, en el 90% de puntos, sobresale frecuencias de entre 0.4-0.8 segundos pero con menores amplificaciones, excepto en la Urb. Las Flores y Alto Quilamana, donde las amplificaciones son similares para ambos rangos de periodo. En la zona céntrica, no se identifica periodos, que caractericen esta zona.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de Quilmaná están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación  $T_0=4H/V_s$ , donde  $T_0$  es el periodo dominante,  $H$  el espesor del estrato y  $V_s$  es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 350 m/s y 500 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 8 a 15 metros. Del mismo modo, al considerar periodos de 0.3 y 0.5 segundos, los espesores de las capas del suelo varían entre 20 a 60 metros.

En el área urbana de Quilmaná, la distribución espacial de periodos mayores a 0.5 segundos sugiere la presencia en el subsuelo de una capa profunda de gran potencia y los periodos menores, una capa superficial de menor potencia, donde la primera influye moderadamente sobre la segunda. Por otro lado, los valores de 0.2 a 0.3 segundos con altas amplificaciones se presentan en la Urb. La Flores, AA.HH de Alto Quilmaná y Nueva Jerusalén, estos sugieren que los suelos son más flexibles en comparación con el resto del área de estudio.

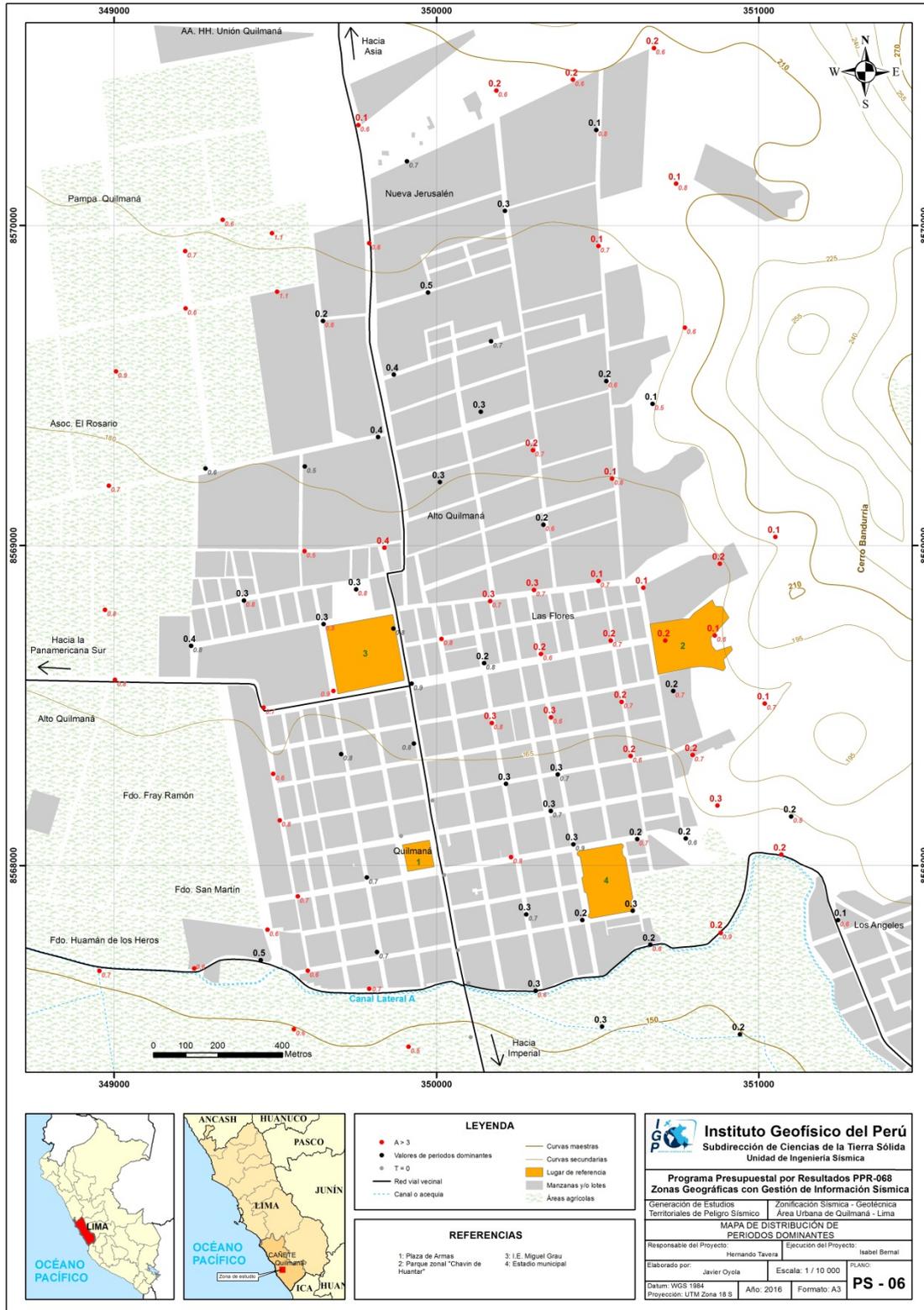


Figura 19: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

### 3.4. Estudio Eléctricos con la Técnica de ERT

A continuación, se describe los resultados obtenidos para las líneas de tomografía eléctrica realizados en el área urbana de Quilmaná:

**La línea LE07-QM** (Figura 12), la más septentrional del área de estudio, presenta dos horizontes geoelectricos, el primero y más superficial con valores de materiales resistivos a muy resistivos con espesores de 20 metros; mientras que, el segundo es un material medianamente resistivo y se encuentra en profundidad (Figura 20).



Figura 20: Vista de la línea LE07-QM, próxima al cerro Bandurria.

Las líneas LE01-QM, LE05-QM, LE06-QM y LE08-QM (Figura 12), presentan tres medios geoelectricos, el primero con materiales resistivos a muy resistivos, distribuidos de forma aleatoria no es un tramo continuo, el segundo con materiales medianamente resistivos que engloban tanto al primero y tercero y el tercer medio con material bajo resistivo a muy bajo resistivo representando a las zonas permeables donde estarían las zonas de mayor humedad. Presentan medios conductivos asociados a zonas saturadas, pero no presentan un horizonte definido del nivel freático, de acuerdo a los antecedentes, la presencia de la napa freática fluctúa entre los 124 y 98 m.s.n.m.

Las líneas LE05-QM, LE07-QM y LE08-QM (Figura 21) se tomaron próximas al cerro Bandurria compuesto de areniscas y calizas. Mientras que, las líneas LE01-QM y LE06-QM (Figura 23), fueron medidas al sobre depósitos aluviales, la primera cruzando un canal no revestido seco y la segunda en la zona céntrica de Quilmaná.



Figura 21: Vista de las líneas LE05-QM y su estratigrafía. Líneas (LE06-QM y LE08-QM) medidas en la parte Central del distrito de Quilmaná.

Las líneas **LE02-QM**, **LE03-QM** y **LE04-QM** (Figura 12), presentan dos medios geoelectrónicos, el primero con materiales medianamente resistivos, distribuidos desde la superficie y en profundidad de forma anómala e interrumpida y el segundo medio con material bajo resistivo a muy bajo resistivo representando a zonas permeables donde se encontrarían las zonas de mayor humedad.

Estas líneas están próximas al “Canal Lateral A” y a terrenos de cultivo (Figura 22), presentan medios conductivos asociados a zonas saturadas, donde el nivel freático se encontraría a partir de 20 o 25 metros de profundidad.



Figura 22: Líneas medidas en la parte Sur del distrito de Quilmaná, próximas al “Canal Lateral A” y a terrenos de cultivo.

### Interpretación

De acuerdo a la información analizada, hacia el extremo Norte de la Plaza de Armas de la ciudad de Quilmaná, los materiales medianamente resistivos a resistivos predominan en superficie y hacia el extremo sur, los valores medianamente resistivos. Una compilación de la información se presenta en la Tabla 7.

Al Norte de la Plaza de Armas de Quilmaná, en los sectores de Alto Quilmaná, Nuevo Jerusalem (LE01-QM, LE05-QM, LE06-QM y LE07-QM), no se observó la presencia de niveles freáticos hasta profundidades de 39 metros, aun así se observa zonas de humedad relacionadas a la actividad humana (riego). Hacia el sur de la Plaza de Armas de Quilmaná, en Canal Lateral A, Fdo. San Martín y el Estadio Municipal (LE02-QM, LE03-QM y LE04-QM) el nivel freático se encuentra a partir de los 20 metros de profundidad. Este nivel freático se asocia a la presencia de terrenos de cultivo que utilizan el riego por inundación y a la presencia del Canal Lateral A, el cual no se encuentra revestido en su totalidad.

Geológicamente Quilmaná está asentado sobre depósitos aluviales los cuales varían su compactación a medida que profundizan.

En la Tabla 4, se ha realizado la clasificación de los suelos de acuerdo a los rangos de resistividades de la Tabla 1, desde material muy bajo resistivo hasta muy resistivos. Asimismo, en la Figura 23 se presenta el resultado obtenido para la línea. LE02-QM y en el anexo el resultado de las demás líneas.

Tabla 4: Valores de resistividad obtenidos para el área de estudio.

Líneas Eléctricas	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizonte geoelectrico	Resistividad ( $\Omega.m$ )	Nivel freático (m)
LE01-QM	EW	39	1	1000 a 1700 500 - 1000	Mayor a 39 m
			2	100 - 500	
			3	20 - 100	
LE02-QM	EW	39	1	100 - 500 500 - 1500	25 m
			2	< 100	
LE03-QM	NS	39	1	100 - 500	20 m
			2	< 100	
LE04-QM	EW	39	1	100 - 500	20 m
			2	< 100	
LE05-QM	NS	39	1	1500 - 1700 500 - 1500	Mayor a 39 m
			2	100 - 500	
			3	< 100	
LE06-QM	NS	29	1	1500 - 1700 500 - 1500	Mayor a 29 m
			2	100 - 500	
			3	< 100	
LE07-QM	NS	39	1	1500 - 1700 500 - 1500	Mayor a 39 m
			2	100 - 500 < 100	
LE08-QM	NS	39	1	1500 - 1700 500 - 1500	Mayor a 39 m
			2	100 - 500	
			3	< 100	

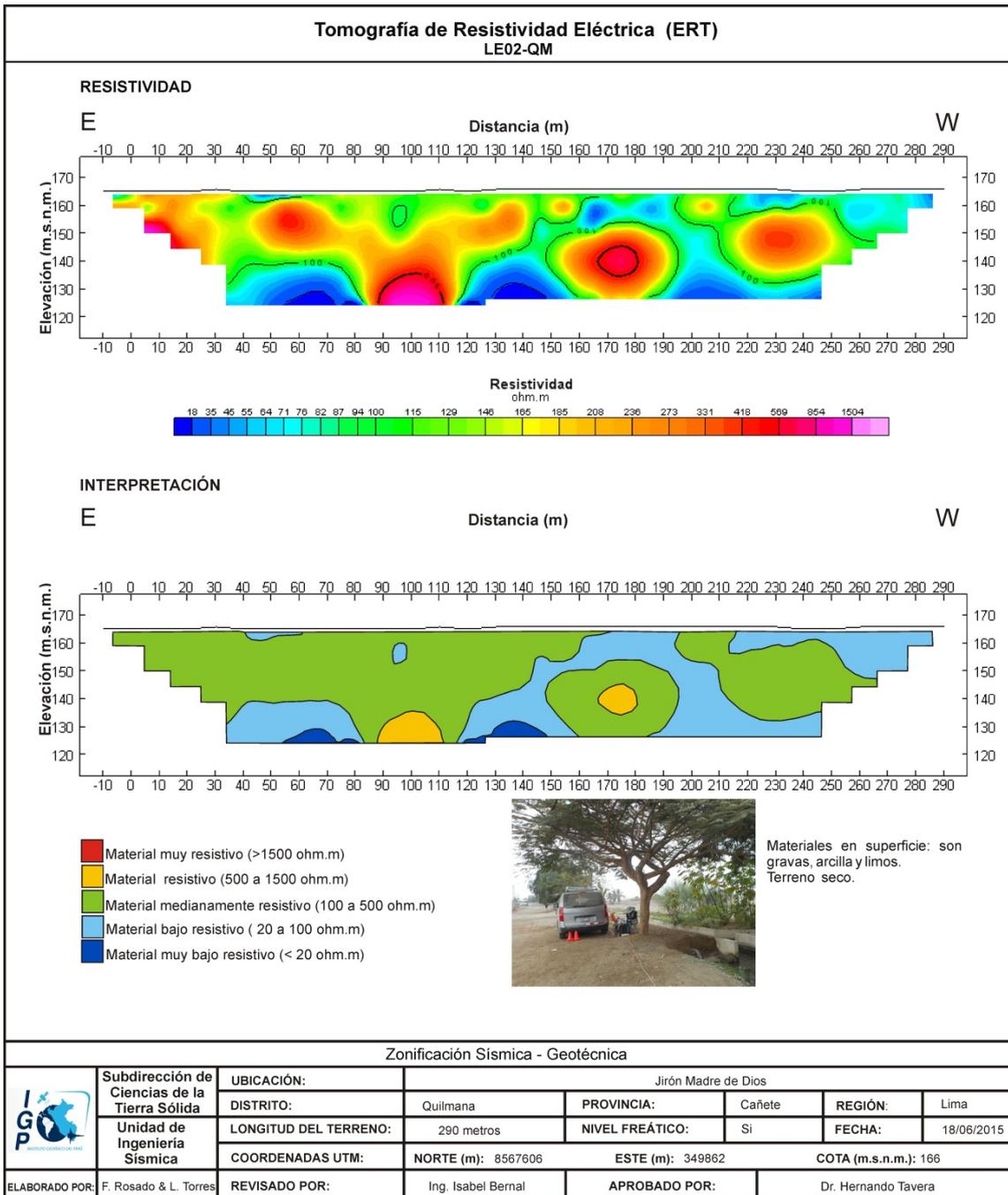


Figura 23: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE02-QM.

## 4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica se elabora en base a la integración de los resultados obtenidos desde los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos; mientras que, las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, son evaluadas considerando la Norma de Construcción Sismorresistente E.030. Finalmente, en la ciudad de Quilmaná se ha identificado la presencia de suelos de Tipo S1 y S2, que corresponden a suelos rígidos y medianamente rígidos.

### 4.1. Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica

Para el área urbana de Quilmaná, se propone la siguiente Zonificación Geofísica-Geotécnica (Figura 24).

**ZONA I:** *Conformada por estratos de depósitos de coluvial-aluvial, cubiertos por depósitos de material fino (arenas finas) de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento de medianamente rígido a rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos. Considerando velocidades de ondas de corte, entre 400 a 550 m/s, los suelos son del Tipo S1.*

*Esta zona se ubica principalmente hacia el extremo Este del área de estudio. Aquí con líneas de color rojo se delimita las áreas donde los suelos presentan las máximas amplificaciones. Asimismo, entre el parque zonal Chavín de Huantar y la I.E. Miguel Grau, los suelos además de presentar altas amplificaciones, muestran también sensibilidad a mayores periodos pero con mínimas amplificaciones.*

**ZONA II:** *Conformada por estratos superficiales de suelos granulares finos a gruesos (arenosos y areno-arcillosos) con espesores que varían entre 7 y 20 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava. Este suelo tiene un comportamiento medianamente rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.5 segundos. Según las velocidades de ondas de corte (250 y 400 m/s), los suelos son del Tipo S2. La capacidad admisible de los suelos es de 1.0-2.0 Kg/cm<sup>2</sup>.*

*Esta zona se ubica hacia el extremo Oeste del área de estudio. Aquí, con líneas en color rojo se delimita las áreas donde los suelos presentan las máximas amplificaciones. Las velocidades de ondas de corte indican la presencia de suelos Tipo S2 con periodos de entre 0.3 y 0.5 segundos, pero conforme se tiende más*

hacia el extremo Oeste, la sensibilidad es a periodos mayores (0.5-0.7 s) con mínimas amplificaciones.

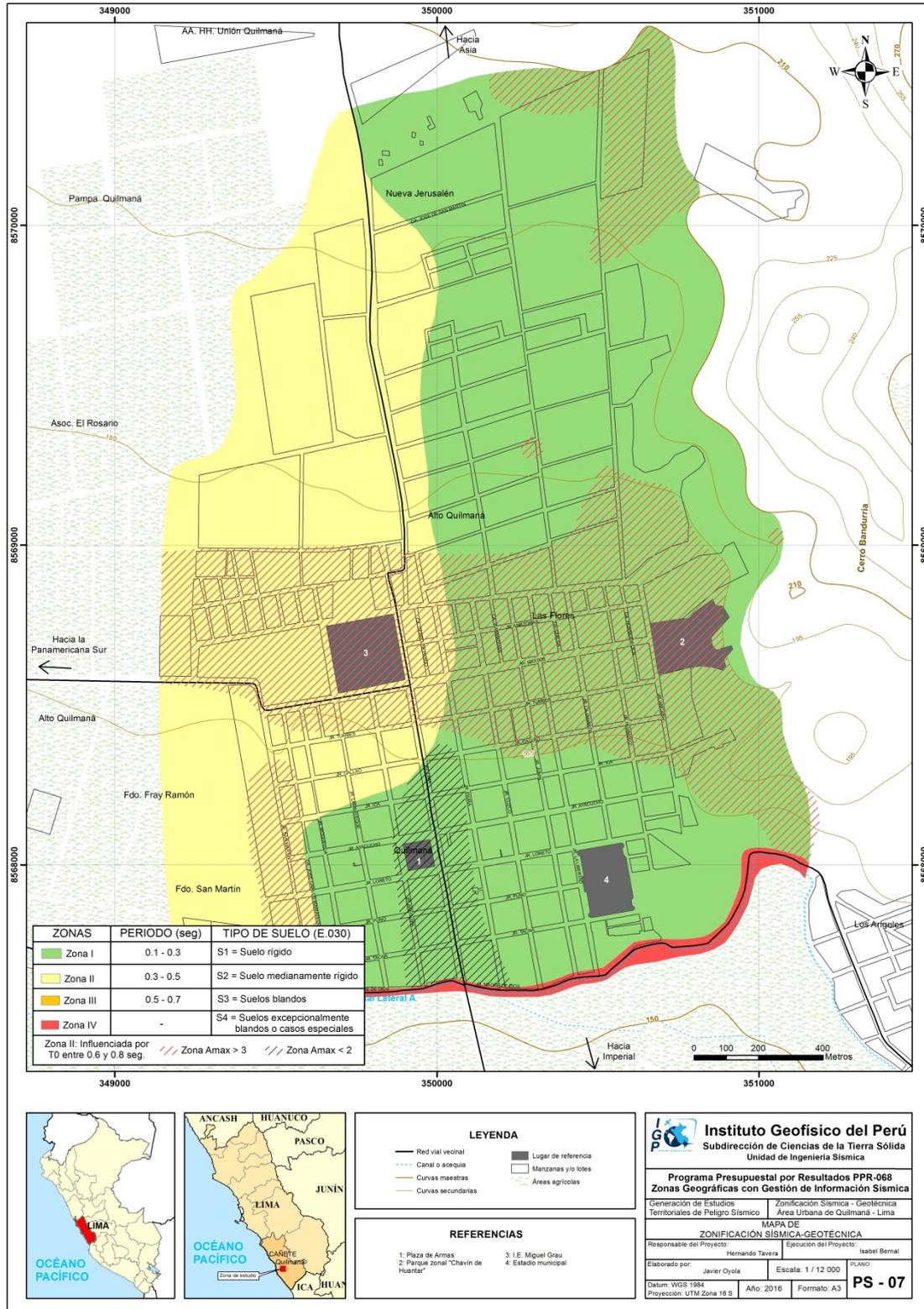


Figura 24: Mapa de Zonificación Geofísica del área urbana de Quilmaná.

## CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para la ciudad de Quilmaná, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los materiales que conforman el subsuelo de la ciudad de Quilmaná corresponden a depósitos coluvio-aluviales (gravas, arenas y arcillas) que tienen un espesor de entre 8 a 20 m. aproximadamente. El substrato rocoso de la ciudad en mención lo constituyen rocas tipo areniscas cuarzosas de la Formación Marcavilca e intrusivos de tipo (cuarzo-monzonita y granodiorita) y volcánicas-sedimentarias de la Formación Quilmaná que afloran alrededor de la zona de estudio (lomas).
- En la ciudad de Quilmaná se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos: flujo de detritos y/o de lodos e inundación por desborde de canales de riego. La primera, en caso de reactivarse afectarían las zonas de Pampa de Quilmaná, El Rosario y parte del casco urbano de Quilmaná. La segunda, por falta de mantenimiento de los canales de riego, presencia de vegetación que obtura el cauce, podría generar desborde al incrementarse su caudal, esto podría afectar áreas agrícolas, trochas carrozables y algunas viviendas situadas en ambas márgenes del canal.
- Se han identificado cinco tipos de suelos en la ciudad de Quilmaná, compuestos por: Arenas bien graduadas con limos (SW-SM) identificadas en el anexo San Juan de Roldán y parque Vista Alegre; arenas mal graduadas (SP), arenas arcillosas (SC), gravas bien graduadas (GW) y gravas mal graduadas (GP).
- En la zona de estudio el 77% de los suelos presentan capacidad de carga admisible alta ( $>3.0 \text{ kg/cm}^2$ ), dentro de ellos están los anexos: San Juan de Roldán, La Huerta Baja, Repartición Los Ángeles, San Martín y Asociación Civil El Rosario. Le sigue capacidad de carga admisible media ( $2.0 - 3.00 \text{ kg/cm}^2$ ) en el casco urbano y en menor porcentaje la capacidad de carga admisible baja y muy baja.

- Para la ciudad de Quilmaná se define la presencia de 2 capas sísmicas y un semi-espacio. Suelos medianamente rígidos para la primera capa ( $V_s$  223 a 376 m/s), con espesores de 3 a 14 metros; estando la capa con mayor espesor hacia el extremo Oeste. La capa que subyace en casi toda la zona de estudio, presenta suelos rígidos a muy rígidos ( $V_s$  375 a 739 m/s) en profundidad. Sin embargo, conforme se avanza al sector Este se tiene roca medianamente rígida ( $V_s$  899 m/s); y en el sector sureste, la capa subyacente presenta en profundidad suelos muy rígidos a roca moderadamente dura ( $V_s$  528 a 809 m/s).
- Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de Quilmaná están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación  $T_0=4H/V_s$ . Asumiendo velocidades de 350 m/s y 500 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores de entre 8 a 15 metros. Del mismo modo, al considerar periodos de 0.3 y 0.5 segundos, los espesores de las capas del suelo subyacente varían entre 20 a 60 metros.
- En la zona céntrica de la ciudad de Quilmaná predominan en superficie, la presencia de suelos medianamente resistivos a resistivos. Al Norte de la plaza de Quilmaná, no se observó suelos con nivel freático hasta la profundidad de 39 metros, aunque en superficie se observa zonas de humedad relacionadas a la actividad humana (riego de plantas). Hacia el extremo sur de la Plaza de Armas de Quilmaná, el nivel freático se encuentra a partir de los 20 metros de profundidad, debido a la presencia de terrenos de cultivo que utilizan el riego por inundación y a la presencia del Canal Lateral, que no se encuentra revestido en su totalidad.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio para la ciudad de Quilmaná, sumados a las características dinámicas del suelo y a sus propiedades mecánicas, se define la presencia de suelos Tipo S1 y S2, que comprende suelos rígidos y medianamente rígidos (Norma E.030).

## BIBLIOGRAFIA

- Alva H., Jorge E., Diseño de Cimentaciones.
- APESSEG (2005). Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
- Atala A., César A., (2011). Estudio Experimental sobre Correlaciones en Suelos Granulares Finos (Arenas) Compactados, Usando Equipos de Penetración.
- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Belústegui, S. (1999). Pendientes del Terreno y Fundamentos del Caudal Máximo No Erosivo. Hoja técnica N° 07. Buenos Aires – Argentina, 4 p.
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, “Nonlinear Soil Amplification: It’s Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2002) MicroZonificación Geofísica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Braja Das (2007): Principles of Foundation Engineering, seven edition, pág. 133-180.
- Bussel, M., (1995). Geología del Cuadrángulo de Casma, Hoja 19g (Boletín N°59-Carta Geológica Nacional-INGEMMET).
- Cahill & Isacks, (1992) Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Craig, A.K., & Shimada, I. (1986) – El Niño flood deposits at Batan Grande, northern Perú.
- Crespo V., Carlos (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Quinta edición.
- Cruden, D. M. (1991). A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
- Dorbath, L., Cistermas, A., Dorabath, C. (1990). Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576
- Felícísimo, M. (1994). Modelo digitales de terreno, Oviedo-España: Pentalfa. 222 p. ISBN: 84-7848-475-2 p.

Fernández Dávila, M (1993) Geología de los cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdova 28-k, 28-l, 29-k, 29-l, 29-m – (Boletín A 47).

Ferradas, P. (2000). Las aguas del cielo y de la tierra. Perú.

Fidel, L., Zavala, B., Núñez, S., Valenzuela, G. (2006) Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29. 383 p.

Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). "Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC", Geophysics, Vol. 24, N° 3, 438-445

Garrido G., Alonso A., (2011). Análisis de Variación del Índice de Penetración Dinámico (N10) por Influencia de la Precipitación en Taludes de Campo.

Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 47(1): 74-77.

GITS Grupo de investigación de transportes de sedimentos.

Gutiérrez, M. (2008) Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.

Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327

Harvey, J. C., (1987) – Geology for geotechnical engineers (Cambridge University Press), 5p y 13p.

<http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.

Hürlimann, M., (2011). Ingeniería Geológica. UPC.

Hutchinson, J. N. (1968). Mass Movement. In the Encyclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York), pp. 668-696 p.

Hutchinson, J., N. (1988). General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.), págs. 1, 3-35. Rotterdam: Balkema.

Imágenes satelitales obtenidas de: <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática, IX Censo Nacional de población y VI de vivienda. Lima, 2007.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. IX Censo Nacional de población y IV de

- vivienda. Lima, 1993.
- Juárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Klauer A., El Niño – La Niña: El fenómeno oceánico atmosférico del pacífico sur.
- Lavell, A. (1996). Sobre la Gestión del Riesgo: apuntes hacia una definición. España.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, Soil. Dyn. & Earthq. Eng. 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Macharé, J., Benavente, C., Audin., Laurence. (2008) – Síntesis descriptiva del mapa neotectónico [Boletín C-40].
- Mas-Pla, J., & Bach-Plaza, J., (2008) –Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica. ISB: 978-84-96742-37-6. Documenta Universitaria. Girona (España).
- Máximo Villón Béjar, (2002). “Hidrología”. Primera edición, Editorial Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Municipalidad Provincial de Casma, Plan de Desarrollo Concertado Provincial de Casma. Casma, 2010.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Naranjo A., Hector & Dranichnikov T. (2012). Cálculo de la capacidad portante basado en geofísica y método convencional: El caso del puente sobre el río Maicito.
- O'Brien J.S. 2009. FLO-2D User's Manual, Versión 2009, Nutrioso, Arizona. Página web: <http://www.flo-2d.com>.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves Geophysics 64 800-8.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface

- waves (MASW)—active and passive methods. *The Leading Edge*, 26 (1), 60–64.
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. *The Leading Edge*, 32(6):656-662.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- PNUD (2010). Riesgo sísmico y medidas de reducción del riesgo en Lima. PNUD,INDECI, Proyecto N° 00058530
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. *FastTIMES*, 15(3):16-28.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (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 Peru entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis\_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. *Near Surface Geophysics*, 6(4):255-267.
- Tarback, E., D. Lutgens, F., K., (2005) *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física* Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Tavera, H. & Buforn, E. (2001) - Source Mechanism of Earthquake in Peru. *Journal of Seismology*, en prensa.
- Tavera, H. (2014). Escenario sísmico en base a la intensidad máxima esperada en un probable sismo frente a la zona costera de Lima.
- Tavera, H., Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology* 5: 519–539, 2001.
- Tejada, G. (1994) - *Vocabulario de Geomorfología*. Ediciones AKAL. 184 p.

- Terzaghi K., & Peck R., B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, Jhon Wiley, New York.
- Terzaghi Karl, Peck, Ralph & Mesri Gholamresa (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, third edition.
- USGS. “Técnicas de campo en superficie”, <http://water.usgs.gov/nrp/index.php>.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, p. 9–33.
- Varnes, D.J. (1958). Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C., p. 20 — 47p.
- Ven Te Chow, David Maidment y Larry Mays, (1994), “Hidrología aplicada”. MacGRAW-HILL INTERAMERICANA. Santa Fé de Bogotá, Colombia.
- Villota, H. (1991) - Geomorfología de relieves montañosos, colinados y ondulados. IGAC. Santa Fé, Colombia. 212 p.
- Wells, L.E. (1987). Holocene history of the El Niño phenomenon as recorded in flood sediments of northern coastal Perú.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: Geophysics, 64, 691–700.
- Zinck, J. & Valenzuela, C. (1990) - Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294.
- Zinck, J. (1988) - Physiography and soils. Lecture notes. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).

## ANEXOs

La información contenida en el presente Informe Técnico. “Zonificación Geofísica – Geotécnica de la ciudad de Quilmaná”, está disponible en formato digital.

### **1.- Información Geológica Geotécnica:**

- Registros de calicatas
- Densidad de campo
- Fichas de granulometría
- Registro de posteos
- Registro de DPL
- Mapas

### **2.- Información Geofísica**

- Perfiles Sísmicos (MASW)
- Secciones Geo eléctricos (ERT)
- Mapas

